МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

МАТЕРІАЛИ
ІІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МАГІСТРАНТІВ ІЕЕ

(за результатами дисертаційних досліджень магістрантів)

ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

26 – 27 листопада 2020 р.

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

КИЇВ
2020

ІІІ науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів). Зб. наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2020. – 485с.

У збірнику представлено доповіді молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на ІІІ науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

До збірника включено статті за такими напрямками: сталий розвиток енергетики, енергетичний менеджмент та інжиніринг, сучасні системи забезпечення електричною енергією, інжиніринг та автоматизація електротехнічних комплексів, мехатроніка енергоємних виробництв, проблеми видобутку корисних копалин, геотехнічне і міське підземне будівництво, інженерна екологія та ресурсозбереження, охорона праці, промислова та цивільна безпека, а також особливості функціонування паливно-енергетичного комплексу України з урахуванням природоохоронних вимог. Викладено методи аналізу системи електропостачання, дано оцінку рівнів енергозабезпеченості та енергоефективності з урахуванням екологічного фактора та впливу галузі на людину.

Організаційний комітет:
Голова комітету – **Денисюк С.П.**, д.т.н., професор, директор ІЕЕ.
Заступник голови – **Дичко А.О.**, д.т.н., проф., заст. директора ІЕЕ з наукової роботи;
Члени оргкомітету: Вапнічна В.В. – к.т.н., доц. каф. геоінженерії; **Дешко В.І.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження; **Закладний О.О.** – к.т.н., доц. каф. електропостачання; **Крючков А.І.** – к.т.н., доц., завідувач кафедри геоінженерії; **Лебедєв Л.М.** – к.т.н., доц. каф. автоматизації управління електротехнічними комплексами; **Лістовщик Л.К.** – к.т.н., доц. каф. електромеханічного обладнання енергоємних виробництв; **Попов В.А.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри електропостачання; **Розен В.П.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами; **Студенець В.П.** – к.т.н., доц. каф. теплотехніки та енергозбереження; **Чернецька Ю.В.** – к.т.н., ст. викладач кафедри електропостачання, заступник директора ІЕЕ з міжнародного співробітництва **Шевчук С.П.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри електромеханічного обладнання енергоємних виробництв.

Адреса організаційного комітету:

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22.
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Укладання збірника наукових праць: Закладний О.О.
Матеріали подані у авторській редакції.
Відповідальність за зміст і достовірність даних несуть автори тез.

© Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2020

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ № 1. СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

Класифікація та порівняльний аналіз моделей прогнозування цін на електричну енергію. ***Батюта К.В.*** **……..….9**

Вплив відновлюваних джерел енергії на керування електричним забезпеченням кінцевого споживача (на прикладі адміністративної будівлі). ***Бойчук О.І.*** **……16**

Оптимізація роботи комбінованої енергосистеми з використанням відновлюваних джерел енергії. ***М.Ф. Боровець*** **……..22**

Підвищення енергоефективності елементів систем електропостачання з відновлювальних джерел енергії. ***Василенко К.А.*** **……27**

Ціноутворення на роздрібному ринку електричної енергії України. ***Винар Я.Ю.*** **…….32**

Розробка способу класифікації інформаційних сигналів шляхом побудови оптимального дерева рішень. ***Гавор М.І.*** **……..39**

Аналіз сучасних систем обліку електричної енергії комунально- побутових споживачів. ***Г.О. Галушко*** **……..….45**

Блискавкозахист наземних СЕС. ***Дерев'янко Д.Г., Гілевич К.М., Дудко К.Д.*** **…….……49**

Розробка методу кластеризації вейвлет-перетворень графіків електричних навантажень. ***Гнатюк І.А.*** **……..…55**

Моделі та методи оцінювання та мінімізації втрат електричної енергії в розподільних мережах. ***Добровенко Д.Ю.*** **…….….60**

Основні засади побудови багаторівневої автоматизованої системи обліку електроенергії. ***Єсін Д. Г.*** **……..……...68**

Energy efficiency performance requirements for road lighting designs and luminaires in Ukraine. ***Tareq Emzekah*** **…….……..79**

Вакуумне комутаційне обладнання в електроенергетиці: аналіз використання та перспективи розвитку. ***Жилінський А. С.*** **…….……...84**

Вдосконалення прогнозування виробітку ФЕС на базі АСКОЕ. ***Журавльова Д.А.*** **……93**

Керування попитом промислового підприємства на базі АСКОЕ. ***Зінченко С.С.*** **…….102**

Сучасні системи автоматизації для існуючих житлових багатоквартирних будинків. ***Іванченко Р.П.*** **…….……...……...110**

Визначення оптимальних місць приєднання джерел розосередженої генерації. ***Іващенко Т.С.*** **……..117**

Моніторинг ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря. ***Карнажук Т.Р.*** **……..….122**

Короткострокове прогнозування графіків електричних навантажень на основі вейвлет-перетворення. ***Ковалішин А.Р.*** **…….……129**

Методи підвищення ефективності систем електропостачання об'єктів цивільного призначення. ***Колопенко В.М.*** **……...…134**

Аналіз методів управління попитом в умовах функціонування лібералізованого ринку електричної енергії України. ***Кононенко Л.О.*** **……..……141**

Інтелектуалізація електричної мережі при формуванні смарт системи. ***Копчиков О.М, Фроленков К.Д.*** **…….……149**

Облік невизначенсті інформації при техніко-економічному порівнянні варіантів організації електропостачання споживачів. ***Красномовець В.О.*** **……...154**

Investment economic calculation(NPV) – large solar power plant (Ukrainian Market). ***Lavrynovych P.*** **……..……...164**

Simulation of HVDC Transmission System Based on MATLAB. ***Li Chanchun*** **…….…...173**

Комплексна оцінка асиметрії напруги в електричній мережі та методи її усунення. ***Лисий В.В.*** **……180**

Механізм управління генерацією сонячних електростанцій. ***Лунін М.М.*** **……187**

Оцінка інноваційного рішення для стартап проекту «Forecast As A Service» з прогнозування попиту на електричну енергію. ***Людмирська В.В.*** **……..192**

Оцінка ризиків імплементації методів прогнозування в сучасному ринку електричної енергії. ***Мельник Д.О.*** **……...……199**

Determination of the optimal conditions for connecting distributed generation sources to electrical networks with various topologies. ***Hawkar Noori*** **……...……204**

Аналіз застосування спрощеного розрахунково-аналітичного методу для побудови електробалансів цеху з виробництва аміаку. ***Олійник В.В.*** **……..209**

Підвищення енергоефективності інженерних систем спорткомплексу університету. ***Підгурський І.П.*** **……...215**

Мультиагентне керування, розробка, визначення алгоритмів оптимального функціонування споживання у локальних системах з гнучкою генерацією та активними споживачами. ***Рибій М.В.*** **…….…….220**

Підвищення ефективності системи енергоспоживання на потреби охолодження та опалення лікарні. ***Слюсарь К.В.*** **……237**

Моніторинг рівнів електроспоживання на підприємствах. ***Тисячний С. Г.*** **……..241**

Захист ізоляції ПЛ 110-220 кВ від грозових перенапруг. ***Трегубов А.С.*** **……..248**

Моніторинг енергоефективності навчальних закладів м. Києва. ***Федіна О.О.*** **……251**

Аналіз питань енергозбереження та енергоефективності під час експлуатації електрифікованого підземного транспорту. ***Федоренко Д.С.*** **……...256**

СЕКЦІЯ 2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

Імітаційне моделювання енергії онця для підвищення рівня енергетичної ефективності гуртожитку сімейного типу. ***Радзівіл Б. І.*** **……...…267**

Аналіз характеристик стану будівель для подальшого підвищення його енергоефективності. ***Сиваченко О.А.*** **……272**

Дослідження теплоенергетичного стану корпусу №17. ***Шевчук С.І.*** **……..……275**

Особливості використання різних видів теплових насосів в навчальних закладах. ***Махлай Д.С.*** **……...……279**

Доцільність модернізації системи енергопостачання житлової будівлі з використанням теплового насосу. ***Рязанцев А.Ю.*** **……..…283**

Розподіл споживання теплової енергії у багатоквартирному будинку з використанням приладів-розподілювачів. ***Гончаров Н. С.*** **……..….287**

Покращення комфорту аудиторної зали за рахунок використання теплових панелей. ***Головецький О.П.*** **…….....……292**

Підвищення енергетичних характеристик студентського гуртожитку №1 КПІ ім .Ігоря Сікорського за рахунок комплексної термомодернізації. ***Новак Б.М.*** **……299**

Підвищення енергоефективності гуртожитку сімейного типу з порівняльним аналізом програмних продуктів для моделювання енергоспоживання будівлі. **Корженко О.В. ……303**

Математичні моделі для оцінювання рівня енергетичної ефективності житлового багатоквартирного будинку при термомодернізації. ***Лигіна М.Р.*** **……308**

Дослідження енергоефективності навчального корпусу №13 з варіативним споживанням теплової енергії від теплових насосів. ***Гайдар А.О.*** **……...314**

Моніторинг для подальшої модернізації системи енергопостачання будівлі з використанням сонячних панелей. ***Закревський М.А.*** **……..318**

Підвищення енергетичних характеристик студентського гуртожитку №1 КПІ ім. Ігоря Сікорського за рахунок комплексної термомодернізації. ***Багній В. І.*****……323**

СЕКЦІЯ 3. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Інтелектуальна система на базі нейронної мережі для диспетчеризації дорожнього руху електротранспорту. ***Топчу Т.Д.*** **……..…332**

Використання нейронної мережі на основі u-моделі для управління нелінійними електромеханічними системами. ***Хомяк А.О.*** **……..……337**

Інтелектуальна система управління на базі нейронної мережі для електроприводів з синхронним двигуном з постійними магнітами для ліфтової підйомної установки. ***Яковлєв Д.А*****……341**

Аналіз ефективності від впровадження частотно-регульованого електроприводу. ***Петрусьов М.О.*** **……345**

Методика підвищення енергоефективності багатодвигунових частотно-регульованих електроприводів магістральних стрічкових конвеєрів Місюк Б.В.……..…..350

Автоматизована система керування вентиляцією адміністративної будівлі з інтеграцією до системи пожежогасіння. ***Грищенко Р.В.*** **……..356**

Аналіз методу векторно-струмової оптимізації. ***Лановий О.І.*** **……..……359**

Автоматизована система керування провітрюванням адміністративної будівлі за критерієм енергоефективності. ***Блищик О.А.*** **……364**

Особливості керування електроприводом мостового крана. Кривуца О.С. ……368

Автоматизація процесу керування вхідного грузопотоку дробильно-сортувального заводу. ***Євграфова В.В*****…….. ……377**

Автоматизована система енергоефективного керування електроприводом конвейорної лінії видобувного комплексу. ***Моранець А.В.*** **……..…383**

Система керування каскадною насосною станцією водопостачання багатоповерхового житлового будинку. ***Іваненко В.І.*** **……..……388**

Підвищення енергоефективності мережевого насосу ТЕЦ. ***Лазоренко А.В.*** **..……391**

Розроблении системи автоматичного керування електроприводом прохідницького щита. ***Борщ А.О.*** **……...…396**

Автоматизація газового сховища середнього об'єму з інтеграцією даних у єдиний програмний комплекс. ***Загорський Д.І.*** **……400**

Використання автоматичних систем стеження для підвищення ефективності сонячних станцій. ***Чоудхурі А.М.*** **……404**

Розроблення системи автоматичного керування електроприводом свердловинного насосу. ***Березюк В.Р.*** **……412**
Автоматизація насосної установки станції підкачування води в будинку котеджного містечка. ***Канкулов М.С.*** **……..…..418**

Підвищення енергетичної та економічної ефективності насосних станцій підкачки на базі асинхронного електроприводу. ***Салій О.Є.*** **…….……..……422**

Автоматизована система оптимального керування ліфтовою установкою адміністративного будинку. ***Руденко Я.І.*** **……427**

Розроблення автоматизованої системи оптимального керування режимів роботи електропривода стрічкового конвеєра насипних вантажів. ***Кірзенко О.В.*** **……431**

Підвищення енергоефективності кранів шляхом застосування частотно-регульованого приводу. ***Чередарик М. І.*** **……435**

Розробка сценарію керування приладами в системі розумний будинок.
Такташов Р.Р. **……..……439**

Розроблення системи автоматизації контролю стану обладнання та мікроклімату підвальних приміщень житлового будинку. ***Такташов Р.Р.*** **……443**

Автоматизована система керування мостовим краном машинобудівного заводу. ***Соловйов Д.С.*** **……447**

Інтелектуальна система контролю та регулювання параметрів мікроклімату теплічного комплексу. ***Зацерковний А.В.*** **…….……453**

Енергоефективна автоматизована система вентиляції будівлі цивільного призначення. ***Попов В.Д.*** **……..457**

Автоматизована система керування електроприводом ліфтового механізму на основі безредукторної лебідки. ***Грищенко Г.С.*** **……462**

Автоматизована система керування режимом роботи електроприводу насосної установки подачі води до торгового центру. ***Єзгор Д.В.*** **……465**

СЕКЦІЯ 4. МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ

Development of instrument for pipeline cleaning device search.
Oduware Senseman Nosa-Doe **…….……...470**

СЕКЦІЯ 5. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ
Improving the system of monitoring water resources of the state with the use of geographic information systems. ***CUI Yuxi*** **……..…476**

The impact of urban development on aquifers in large coastal cities of west africa.
Andrew Kojo Amegbey **…….……...481**

СЕКЦІЯ 1.

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

УДК 621.311

Батюта К.В.
Кафедра електропостачання

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ

Анотація. *Метою статті є класифікація та проведення порівняльного аналізу моделей прогнозування цін на електричну енергію для визначення існуючих підходів до короткострокового прогнозування оптової ціни на електричну енергію, застосування яких дозволить мінімізувати ризики недоотримання прибутку під час купівлі-продажу електричної енергії на ринку «на добу наперед» та покращення прогнозів на рівні системи. В статті розглянуто загальну класифікацію моделей та методів прогнозування ціни на електричну енергію та проведено їх порівняльний аналіз за змістом та сферою практичної реалізації для визначення переваг та недоліків. На підставі проведеного порівняльного аналізу визначено найдоцільніші моделі та методи для короткострокового прогнозування ціни на оптовому ринку електричної енергії.*

Ключові слова: *класифікація моделей прогнозування цін на електричну енергію, порівняльний аналіз, короткострокове прогнозування, оптова ціна на електричну енергію.*

Abstract. *The goal of the article is to classify and conduct a comparative analysis of electricity price forecasting models to determine existing approaches to short-term wholesale electricity price forecasting, the use of which will minimize the risks of loss of profit when buying and selling electricity on the market "day ahead" and improve system-level forecasts. The general classification of models and methods of forecasting the price of electricity is considered in the article, their comparative analysis on the maintenance and sphere of practical realization for definition of advantages and lacks was carried out. Based on the comparative analysis, the most appropriate models and methods for short-term price forecasting in the wholesale electricity market were identified.*

Key words: *classification of electricity price forecasting models, comparative analysis, short-term forecasting, wholesale electricity price.*

Вступ

Після проведення останнім часом реформ у вітчизняній економіці в енергетичному секторі було створено нові умови функціонування ринку електричної енергії та участі в ньому промислових підприємств, які характеризуються великим ступенем невизначеності і зростанням різноманітних видів ризиків, і зокрема – ринкових. В цілому, ринкові ризики прийнято відносити до зовнішніх ризиків. Прикладом таких ризиків є недоотримання прибутку; зміну вартості капіталу; появу впливу великих транзакцій на параметри ринку; зміни кон'юнктури ринку; зміни цін на паливо; фінансово-економічні втрати; банкрутство; появу нових економічних агентів; зростання неплатежів споживачів і контрагентів тощо. Процеси лібералізації ринку електричної енергії, що відбуваються в Україні, призвели до появи наступних специфічних ризиків: ризик відмінності фактичних та контрактних цін при укладанні довгострокових договорів; ризики спотових цін; ризик прогнозування обсягу електроенергії, що споживається і цін на електричну енергію; ризик точного прогнозування прибутку для великих гравців ринку, які є акціонерними товариствами; ризики прогнозування навантаження як окремих клієнтів так і груп клієнтів. У випадку ігнорування або недостатнього врахування таких ризиків можливим наслідком може стати втрачена вигода; зменшення розмірів прибутку в порівнянні з очікуваним; зниження ефективності інвестицій тощо [1-6].

Для мінімізації ризиків, що можуть виникати під час купівлі-продажу електричної енергії та покращення прогнозів на рівні системи, слід досліджувати та розвивати інструменти короткострокового прогнозування оптової ціни електроенергії на ринку «на добу наперед» (РДН).

Мета та завдання

Метою даної статті є класифікація та порівняльний аналіз моделей прогнозування цін на електричну енергію для визначення існуючих підходів до короткострокового прогнозування оптової ціни на електричну енергію, застосування яких дозволить мінімізувати ризики недоотримання прибутку під час купівлі-продажу електричної енергії на ринку «на добу наперед».

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання.

1. Розглянути загальну класифікацію моделей та методів прогнозування ціни на електричну енергію.
2. Провести порівняльний аналіз існуючих моделей та методів прогнозування ціни на електричну енергію та надати їх переваги та недоліки.
3. Визначити існуючі підходи до короткострокового прогнозування оптової ціни електроенергії на РДН.

Матеріал та результати досліджень

Витоки сучасних підходів до моделювання цін в електроенергетиці лежать в області економічних і інженерних наук. З економічної токи зору, електроенергія є своєрідним товаром, що немає замінника і який неможливо зберігати у великих обсягах в економічно-доцільний спосіб. З іншого боку, стабільний розвиток енергетичної системи вимагає необхідності проведення постійного балансу між виробництвом та споживанням. Попит на електричну енергію залежить від погоди (температури, швидкості вітру, опадів тощо) та інтенсивності діяльності споживачів (в години пік, напівпікові та нічні години, будні вихідні, в святкові дні тощо) [7-8].

Складність побудови моделей полягає в адаптації використовуваних раніше моделей для нової системи взаємовідносин в електроенергетиці. Необхідно враховувати перехід від регульованої основи до ринкової, а також особливості ринку електричної енергії, під який проектується модель. При створенні економічних моделей прогнозування цін на оптовому ринку електричної енергії слід враховувати специфіку процесів виробництва і передачі електроенергії [8].

Відповідно до [7] існуючи підходи до моделювання прогнозу ціни на електроенергію можна класифікувати за наступними типами моделей та методів: мультиагентні моделі, фундаментальні моделі, стохастичні моделі, статистичні моделі і методи та методи машинного навчання.

Узагальнена класифікація цих моделей та методів з визначенням відповідних підкласів укладено за джерелами [7, 9-17, 19-20] та наведена на Рис.1

Для визначення переваг та недоліків існуючих моделей та методів прогнозування ціни на електричну енергію було проведено їх порівняльний аналіз за змістом та сферою практичної реалізації. Результати порівняльного аналізу наведено далі.

Мультиагентні моделі моделюють роботу системи різнорідних агентів (генеруючих одиниць, компаній), що взаємодіють між собою, і при цьому будують ціновий процес, узгоджуючи попит і пропозицію на ринку. Ці моделі в більшості фокусуються на якісних питаннях та застосовують для цього мультиагентне моделювання та теорію ігор. Вони можуть дати уявлення про те, чи будуть ціни вище граничних витрат, і який це матиме результат для агентів ринку. Однак недоліком їх застосування є проблематичність зробити кількісні висновки, особливо якщо треба здійснити прогноз ціни на електричну енергію з високою точністю [10-11].

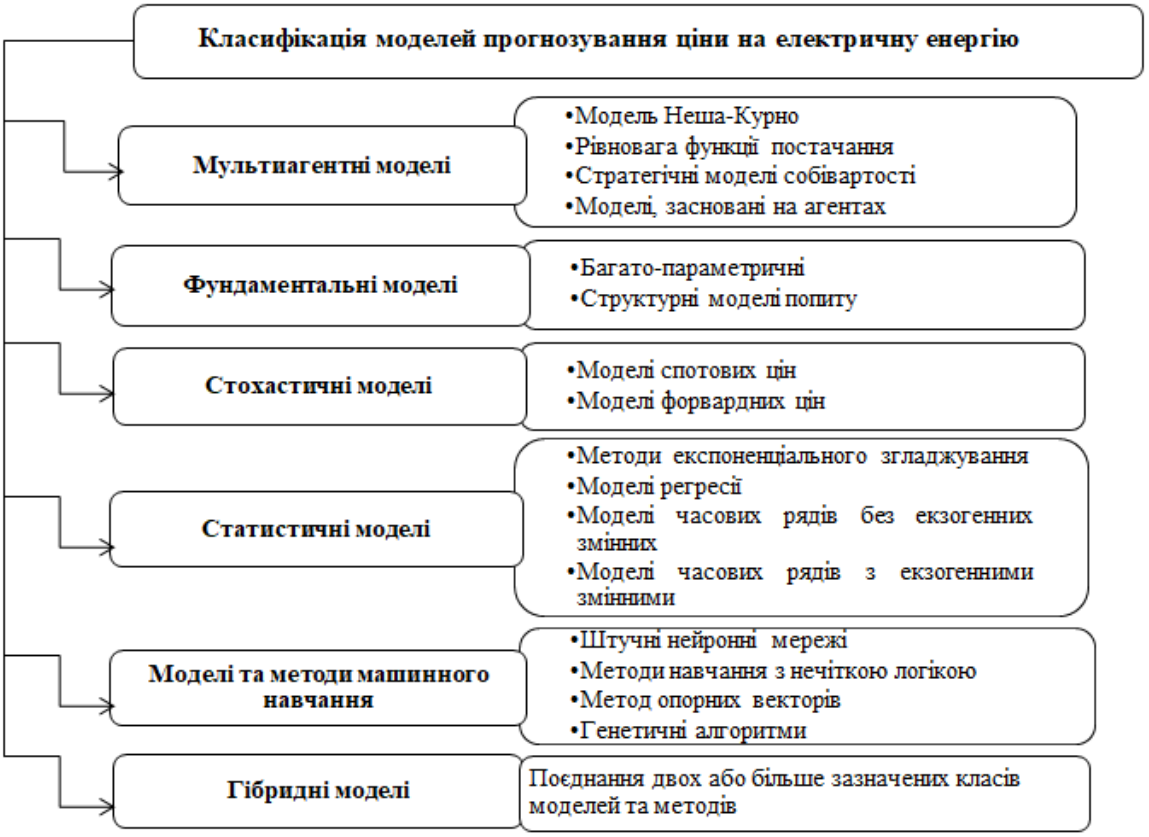


Рисунок 1 – Класифікація моделей прогнозування цін на електричну енергію, укладено за джерелами [7, 9-17, 19-20]

Фундаментальні (структурні) моделі допомагають відобразити динаміку цін шляхом моделювання впливу найважливіших фізичних та економічних факторів на ціну електроенергії. Характерною особливістю цих моделей є те, що для здійснення прогнозу вони моделюють цінові стратегії учасників ринку електричної енергії та охоплюють питання фізичних та економічних взаємозв'язків, які існують є у виробництві та торгівлі електроенергією. Прогнозоване значення ціни на електричну енергію можна визначити за результатами аукціону. Такий принцип ціноутворення включає заявки на ціну споживачів (покупців) і виробників (продавців) електроенергії, а також економічні та технологічні обмеження енергосистеми. Саме тому прогнозні ціни, що створюються такими моделями, дуже чутливі до порушень цих припущень. З урахуванням того, що фундаментальні моделі вимагають великого обсягу вихідних даних, їх використання для короткострокового прогнозування обмежена. При практичній реалізації фундаментальних моделей виникають дві основні проблеми: наявність даних та включення стохастичних коливань основних драйверів (навантаженням, погодними умовами, системними параметрами тощо) [12-13].

Стохастичні моделі характеризують статистичні властивості цін на електроенергію в часі, та мають на меті здійснити управління ризиками. Основним завданням таких моделей є відображення характеристик щоденних цін на електроенергію. В залежності від типу ринку у кількісних стохастичних моделях виділяють дві групи: моделі спотових та моделі форвардних цін на електричну енергію. Перша група – це моделі спотових цін відображають динамічність спотових цін електричної енергії. Найбільшим їхнім недоліком є проблема ціноутворення на похідні фінансові інструменти. Друга група – це моделі форвардних цін. Такі моделі визначають ціни на похідні фінансові інструменти у прямий спосіб, але лише з тими, які

записані на форвардній ціні на електроенергію. Однак найбільшими недоліками цієї групи моделей - це відсутність даних для калібрування та неможливість отримати властивості спотових цін на основі аналізу форвардних кривих [14-16].

Статистичні моделі здійснюють прогнозування поточної ціни за допомогою математичних попередніх цін та/або попередніх чи поточних значень екзогенних факторів, як правило, показники споживання та виробництва або погодні змінні Вагомою перевагою статистичних моделей є можливість додавати фізичну інтерпретацію до компонентів, що в свою чергу допомагає фахівцям проаналізувати їхню поведінку. Статистичний підхід є безпосереднім застосуванням статистичних методів прогнозування навантаження, а також реалізацією економетричних моделей на енергетичних ринках. Частина статистичних моделей базується на здійсненні аналізу часових рядів. Серед них виділяють дві найважливіші категорії – адитивна і мультиплікативна моделі. До статистичних моделей відноситься широкий клас моделей, який базується на застосуванні інструментів кореляційно-регресійного аналізу. До традиційних економетричних моделей відносяться моделі лінійної і нелінійної регресії, простої та множинної регресії, динамічної регресії та ін . Серед інших слід зазначити значний спектр моделей, що базуються на авторегресії. До них відносяться одномірні авторегресійні моделі (AR, ARMA, ARIMA, ARFIMA); авторегресійні моделі з компонентою стрибків на основі пуассоновского процесу (MRJD); авторегресійні моделі і моделі зі стрибковими компонентами з включенням екзогенних змінних (ARX, ARMAX, ARIMAX, ARFIMAX, MRJDX та ін .); багатовимірна векторна інтегрована модель авторегресії (VectorARIMA); моделі з умовною гетероскедастичністю (ARMA-GARCH, ARIMA-GARCH); багатовимірна векторна модель авторегресії VectorARIMAGARCH. Також використовуються моделі основі вейвлет-перетворення (WT), моделі з марковським перемиканням режимів та моделі екстраполяції за методом максимуму подібності. До певних недоліків статистичних моделей часто відносять їх обмежену здатність моделювати нелінійність цін та фундаментальні змінні [7-9, 17-19].

Моделі та методи машинного навчання, що базуються на застосуванні штучного інтелекту. За своїм змістом відносяться до непараметричних, нелінійних статистичних моделей, що поєднують елементи навчання та нечіткості для створення підходів, здатних адаптуватися до складних динамічних систем. Моделі, засновані на штучному інтелекті, відносяться також до групи моделей прогнозування часових рядів. Моделі цієї групи, здійснюючи прогнозування ціни на електричну енергію, використовують ретроспективні значення ціни та екзогенні змінні, дозволяють врахувати складний нелінійний взаємозв'язок між залежною і незалежними змінними вислідити вплив різних факторів на досліджуваний показник - ціну на електроенергію. Найвідомішою серед таких моделей є модель штучної нейронної мережі (ANN). Недолік таких моделей в тому, що функціональна форма залежностей, отриманих за їх допомогою, є неявною, тому їх аналіз є доволі складним [19-21].

Гібридні моделі. Багато підходів до моделювання та прогнозування цін є гібридними рішеннями, які є поєднанням двох та більше вище перерахованих моделей та методів. З цієї причини класифікація такої групи майже неможлива. Багато підходів до моделювання та прогнозування цін є гібридними рішеннями, що поєднують методи з двох або більше перелічених вище груп. Перевага гібридних моделей полягає в тому, що комбінації моделей дають кращий результат прогнозування цін на електричну енергію та зменшують ризики на практиці використовувати такі моделі, а також враховувати різні особливості ціни у порівняні з індивідуальними методами прогнозування.

Для учасників оптового ринку електроенергії найактуальнішими є короткострокові прогнози ціни на електроенергію на РДН. Дослідження існуючих підходів до короткострокового прогнозування оптової ціни електроенергії на РДН [19-23] показало, що розвиток інструментів короткострокового прогнозування оптової ціни електроенергії на РДН може мінімізувати ризики купівлі-продажу електричної енергії на добу наперед, забезпечуючи

кращі прогнози на рівні системи. Чим точнішим є прогнозування ціни на електричну енергію на РДН, тим раціональніше споживачі зможуть здійснювати купівлю електричної енергії у великих виробників, виробники матимуть можливість оптимізувати параметри генеруючого обладнання та звести до мінімуму збитки при виході на балансуючий ринок.

Споживання електричної енергії залежить від великої кількості чинників. Оптимальна модель з прогнозування ціни на електроенергію повинна враховувати щонайбільше факторів, які можуть бути пов'язані між собою та бути залежними один від одного. Тому для здійснення прогнозу слід виконати попередній аналіз. На сьогоднішній день не існує єдиного методу, що найкраще зміг виконати прогнозування оптової ціни, зміг найкраще описати усі особливості підприємства та врахував усі фактори, які впливають на зміну споживання електроенергії.

Важливим моментом при моделюванні і прогнозуванні ціни на електричну енергію є врахування сезонності. При короткостроковому прогнозуванні оптової ціни довгострокова сезонність зазвичай ігнорується, однак щоденні та щотижневі моделі (включаючи дані про свята) мають першочергове значення.

Висновки

На сьогоднішній день лібералізовані ринки використовують різноманітні моделі для здійснення прогнозування цін, які характеризуються різною успішністю і високою точністю.

Класифікуючи підходи до моделювання ціни на електричну енергію, можна виділити такі основні класи: мультиагентні моделі, фундаментальні (структурні) моделі, кількісні стохастичні моделі, статистичні моделі, моделі на основі штучного інтелекту, машинного навчання, (непараметричні, нелінійні статистичні моделі) та гібридні моделі.

На підставі проведеного порівняльного аналізу серед визначених методів найдоцільнішим є застосування статистичних моделей для короткострокового прогнозування ціни на оптовому ринку електричної енергії. Однак, якщо модель занадто складна, обчислювальне навантаження перешкоджатиме її використанню на торгівельних майданчиках.

При здійсненні прогнозування ціни на електричної енергії на РДН усім учасникам ринку треба звернути особливу увагу на специфічні фактори, які впливають на ціну і обсяг виробництва: сезонність; розміщення мережевих об'єктів; особливості регулювання галузі; бар'єри входу в галузь тощо.

Перелік використаних джерел

1. Анисимова Ю.А. Применение финансовых инструментов в условиях либерализации российского рынка электрической энергии и мощности / Ю.А. Анисимова // Вестник СамГУПС. 2009. Т. 2. № 5. С. 117-121.

2. Анисимова Ю. А. Современные подходы построения финансовых инструментов на рынках электрической энергии / Ю. А. Анисимова // Економіка: реалії часу. - 2014. - № 3. - С. 172-178. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econrch_2014_3_27.

3. Павлова, О.С. Риск-менеджмент на российских энергетических предприятиях [Текст] / О.С. Павлова // Вестник научно-технического развития. – 2011. – № 6(46). – С. 34 – 43.

4. Черкасова В. А. Влияние стратегических рисков на финансовые результаты компании /В.А. Черкасова, А. А. Батенкова// Корпоративные Финансы. – 2007. – № 3. – С.

5. Стрелкова, Г. Г. Форми організації конкурентної торгівлі на оптовому ринку електричної енергії на добу наперед / Г. Г. Стрелкова, М. Т. Стрелков, К. В. Батюта // Енергетика. Екологія. Людина : збірник наукових праць XII науково-технічної конференції Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, 7-8 травня 2020 р., м. Київ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 81-86. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36865

6. Стрелкова, Г. Г. Динаміка цін на роздрібному ринку електричної енергії в умовах функціонування нової моделі ринку електроенергії України / Г. Г. Стрелкова, М. Т. Стрелков, В. В. Людмирська // Енергетика. Екологія. Людина : збірник наукових праць XII науково-технічної конференції Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, 7-8 травня 2020 р., м. Київ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 110-115. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36856

7. Weron, Rafał (2006). Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: A Statistical Approach. Wiley. ISBN 978-0-470-05753-7.

8. Дробыш И.И. Статистические модели прогнозирования цен на оптовых рынках электроэнергии: российский и зарубежный опыт // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Экономика и менеджмент. – 2017. – №3. – С. 41–54.

9. Weron, Rafał (2014). [Open Access]. "Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future". International Journal of Forecasting. 30 (4): 1030–1081. doi:10.1016/j.ijforecast.2014.08.008.

10. Guerci, Eric; Ivaldi, Stefano; Cincotti, Silvano (2008). "Learning Agents in an Artificial Power Exchange: Tacit Collusion, Market Power and Efficiency of Two Double-auction Mechanisms". Computational Economics. 32 (1–2): 73–98. doi:10.1007/s10614-008-9127-5. ISSN 0927-7099. S2CID 154575281.

11. Batlle, Carlos; Barquin, J. (2005). "A strategic production costing model for electricity market price analysis". IEEE Transactions on Power Systems. 20 (1): 67–74. Bibcode:2005ITPSy..20...67B. doi:10.1109/TPWRS.2004.831266. ISSN 0885-8950. S2CID 22681492

12. Carmona, René; Coulon, Michael (2014). Benth, Fred Espen; Kholodnyi, Valery A.; Laurence, Peter (eds.). A Survey of Commodity Markets and Structural Models for Electricity Prices. Springer New York. pp. 41–83. CiteSeerX 10.1.1.380.3730. doi:10.1007/978-1-4614-7248-3_2. ISBN 978-1-4614-7247-6.

13. Burger, M.; Graeber, B.; Schindlmayr, G. (2007). Managing Energy Risk: An Integrated View on Power and Other Energy Markets. Wiley. doi:10.1002/9781119209102. ISBN 9781119209102

14. Benth, Fred Espen; Benth, Jūratė Šaltytė; Koekebakker, Steen (2008). Stochastic Modeling of Electricity and Related Markets. Advanced Series on Statistical Science & Applied Probability. 11. World Scientific. doi:10.1142/6811. ISBN 978-981-281-230-8.

15. Weron, Rafał; Zator, Michał (2014). "Revisiting the relationship between spot and futures prices in the Nord Pool electricity market" (PDF). Energy Economics. 44: 178–190. doi:10.1016/j.eneco.2014.03.007.

16. Eydeland, Alexander; Wolyniec, Krzysztof (2003). Energy and Power Risk Management: New Developments in Modeling, Pricing, and Hedging. Wiley. ISBN 978-0-471-10400-1

17. Weron, Rafał (2006). Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: A Statistical Approach. Wiley. ISBN 978-0-470-05753-7.

18. Системи енергетичного менеджменту: Прогнозування енергетичного попиту. Курсова робота [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Г. Г. Стрелкова, О. С. Іщенко. – Електронні текстові дані (1 файл: 855 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 61 с. – Назва з екрана. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33652

19. Conejo, Antonio J.; Contreras, Javier; Espínola, Rosa; Plazas, Miguel A. (2005). "Forecasting electricity prices for a day-ahead pool-based electric energy market". International Journal of Forecasting. 21 (3): 435–462. doi:10.1016/j.ijforecast.2004.12.005

20. Keles, Dogan; Scelle, Jonathan; Paraschiv, Florentina; Fichtner, Wolf (2016). "Extended forecast methods for day-ahead electricity spot prices applying artificial neural networks". Applied Energy. 162: 218–230. doi:10.1016/j.apenergy.2015.09.087

21. Прогнозування цін на електричну енергію з використанням нечітких часових рядів / В. А. Попов, П. О. Замковий, Д. С. Поплавець, Л. В. Охота // Енергетика: економіка, технології, екологія : науковий журнал. – 2017. – № 3 (49). – С. 45–50.

22. Золотова И.Ю. Краткосрочное прогнозирование цен на российском оптовом рынке электроэнергии на основе нейронных сетей / И.Ю. Золотова, В.В. Дворкин // Проблемы прогнозирования. – 2017. – №6. – С. 47–57.

23. Валь П.В. Краткосрочное прогнозирование цены на электроэнергию в условиях оптового рынка электроэнергии и мощности / Валь П.В., Клепче Н.С, Попов Ю.П.

УДК 621.311.16

Бойчук О.І.
Кафедра електропостачання

ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ КІНЦЕВОГО СПОЖИВАЧА (НА ПРИКЛАДІ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ)

*У статті представлені результати досліджень сучасного стану розвитку сонячної енергетики у світі та в Україні, як відновлюваного джерела енергії, що набуває широкого світового поширення. За допомогою програмного забезпечення (PV*SOL) спроектовано встановлення сонячної електростанції на даху адміністративної будівлі (ІТТФ НАН України, по вул. Булаховського, 2). Електроенергію, що вироблятиметься фотоелектричною станцією, можна використовувати для власних потреб будівлі, а надлишок продавати за «зеленим тарифом».*

Ключові слова: *альтернативні джерела енергії, сонячна енергія, електроенергія, сонячні батареї, фотоелементи, "зелений тариф".*

THE INFLUENCE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES ON THE CONTROL OF ELECTRICAL SUPPLY OF THE FINAL CONSUMER (ON THE EXAMPLE OF ADMINISTRATIVE BUILDING)

*The article presents the results of research on the current state of development of solar energy in the world and in Ukraine as a renewable energy source, which is becoming widespread worldwide. With the help of software (PV * SOL) the installation of a solar power plant on the roof of the administrative building (ITTF NAS of Ukraine, at 2 Bulakhovskoho Street) was designed. The electricity generated by the photovoltaic plant can be used for the building's own needs, and the surplus can be sold at a "green tariff".*

Keywords: *alternative energy sources, solar energy, electricity, solar panels, photocells, "green tariff"*

Вступ

Активний розвиток світової економіки обумовлює високий рівень енергоспоживання сучасного суспільства. Адже дуже важко в наш час уявити будь-яку перспективну сферу зайнятості, де не використовують технології, що потребують електроспоживання. Якщо звернутись до статистики, то у 2018 році [1] середнє енергоспоживання в Україні зросло на 2.3% і це навіть з урахуванням втрат в енергомережі. Загалом – кількість спожитої електроенергії сягнула 153214 кВт·год. Натомість у 2019 році споживання електроенергії знизилося на 2% (на 3 млрд кВт·год) в порівнянні з 2018 роком — до 150,22 млрд кВт·год.

Останні роки основними видами енергії в цілому світі залишається викопне паливо. Прості причини такої тенденції – ціна та якість цього енергоресурсу. Враховуючи ціни, що постійно коливаються (мається на увазі ціна на нафту), спричиняючи у свою чергу проблеми для економіки різних країн, забруднення навколишнього середовища, а також глобальні конфлікти на основі використання нафти та газу виникає необхідність в нових альтернативних видах джерелах енергії. До них зазвичай відносять сонячну, вітрову та геотермальну енергію, енергію морських припливів і хвиль, біомаси (рослини, різні види органічних відходів). Також до НВДЕ відносять малі ГЕС (потужністю до 30 МВт при потужності одиничного агрегату не більше 10 МВт.

Серед відновлюваних джерел енергії одним з найбільш перспективних напрямків є

сонячна енергетика. Вона екологічно безпечна і має досить великий потенціал. Загальна кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню Землі, становить (75-10) · 10^{17} кВт·год/рік, що значно перевищує енергію всіх світових запасів палива. Тому у світі активізується процес перетворення сонячної енергії в електроенергію. Тут використовуються два методи – термодинамічний та фотоелектричний, причому останній лідирує з великим відривом. Так, сумарна світова потужність автономних фотоелектричних установок станом на 2019 рік досягла 500 МВт [2]. Яскравим прикладом є проект «Тисяча дахів», реалізований в Німеччині, де 2250 будинків були обладнані фотоелектричними установками.

Матеріал і результати дослідження

За даними ДП НЕК «Укренерго» одним із найбільш ефективних шляхів забезпечення стабільної роботи ОЕС України та збереження темпів зростання потужності СЕС та ВЕС у подальшій перспективі, завдання щодо яких встановлені Енергетичною стратегією України на період до 2035 року, є впровадження систем акумулювання електроенергії для компенсації флуктуацій сонячної та вітрової генерації в обсягах 0,1 ГВт до 2021 року, та 0,5 ГВт до 2025 року, а також збільшення потужностей високоманеврових ТЕС зі швидким стартом в період з 2020 року по 2025 рік з 0,5 ГВт до 2- 2,5 ГВт з підтримкою на цьому рівні у подальшій перспективі.

Реалізація такого шляху забезпечує можливість інтеграції до складу ОЕС України до 2025 року до 4,2 ГВт потужностей ВЕС та 3,3 ГВт потужностей СЕС. При збереженні існуючої ситуації з розвитку генеруючих потужностей та відсутності реалізації спеціалізованих заходів щодо інтеграції ВЕС та СЕС (підвищення маневрових можливостей енергосистеми), можливості розвитку ВЕС та СЕС будуть обмежені на рівні 3 ГВт [3].

Сонячно-енергетичний потенціал України

Географічне розташування України є сприятливим для реалізації проектів генерації сонячної енергії. Для клімату України характерна велика кількість сонячних днів: за ступенем інсоляції Україна значно перевершує визнаного європейського лідера в сонячній енергетиці — Німеччину. Держава також декларує всебічну підтримку проектам генерації енергії на основі ВДЕ. Однак на практиці реалізація таких проектів вимагає врахування низки нюансів, без чого ініціатор проекту може зіткнутися з серйозними обмеженнями і ризиком не досягти цільових показників.

За даними Національної академії наук України та Державного комітету України з енергоефективності, середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 $м^2$ поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1070 кВт·год/$м^2$ в північній частині України до 1400 кВт·год/$м^2$ в південних регіонах. Оцінювальний потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоелектричного обладнання практично в усіх областях. Період ефективної експлуатації сонячних електростанцій в південних регіонах складає сім місяців — з квітня по жовтень. В північних регіонах на два місяці менше — з травня по вересень. Таким чином, сонячні системи в Україні працюють протягом всього календарного року, однак зі змінною ефективністю [4].

Моделювання дахової СЕС, розрахунок числа і потужності сонячних панелей (СП) здійснюється в програмі PV*SOL, тому що цей спосіб враховує безліч факторів, які при ручних розрахунках досить складно врахувати. Тому PV*SOL один з найбільш точних інструментів для проектування різних по конструкції та потужності СЕС

Як регіон будівництва у PV*SOL обрано м. Київ (50,47 пн.ш., 30,36 сх.д.). На основі даних з власної метеорологічної бази PV*SOL (MeteoSyn) значення середньорічного приходу сонячної інсоляції (СІ) на горизонтальну поверхню — 1166 кВт/$м^2$, а середньорічна температура становить 9 ºС.

Після вибору географічного положення СЕС в середовищі PV*SOL була виконана

3D-модель адміністративної будівлі з нанесенням на дах всіх конструкцій (вентиляційні виходи), які впливають на затінення покрівлі.

Вибір об'єкту для встановлення дахової СЕС

Як об'єкт встановлення мережевої СЕС в роботі розглянуто Інституту технічної теплофізики НАН України, по вул. Булаховського, 2 (Рис.1). Вибір об'єкта обумовлений тим, що Україна має значні перспективи у розвитку сонячної енергетики, а також низку серйозних екологічних проблем від викидів в атмосферу речовин, що забруднюють навколишнє середовище.

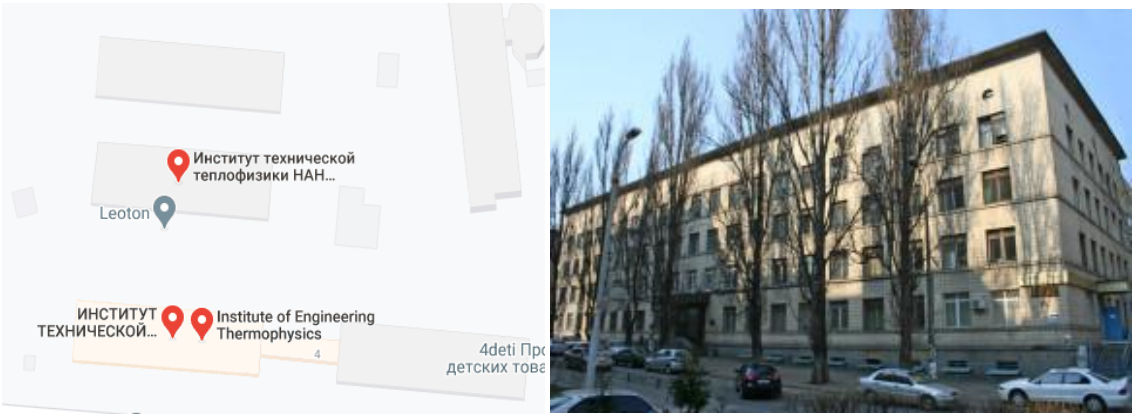


Рис.1 – Зображення будівлі на карті

Даний проект вважається доцільним тому, що в першу чергу відповідає напрямку розвитку Інституту, а саме: розробці та впровадженні нових інноваційних технологічних проектів, які допоможуть знизити енергоспоживання.

По-друге, дозволить раціональне та ефективне використання площі даху. І по-третє, можливість продажу виробленої електроенергії за «зеленим» тарифом.

Для більш точного визначення встановленої потужності СЕС була зібрана і проаналізована інформація про споживану об'єктом потужність. Значення встановленої потужності СЕС визначалося з урахуванням того, що споживання потужності у вихідні дні значно нижче, ніж в робочі.

Проектування роботи дахової сонячної електростанції

Мережева СЕС проектується з метою виробництва екологічно чистої електроенергії та покриття власного споживання електричної енергії. Для нормальної її роботи необхідно підключення до зовнішньої електромережі. Наявність і якість зовнішньої електромережі (крім сонця) має критичне значення для роботи СЕС. При її відсутності, або невідповідності нормам, така СЕС стає марною навіть в саму сонячну і безхмарну погоду. Ця залежність від центрального електропостачання є головним недоліком таких СЕС.

У порівнянні з СЕС, що використовує акумулятори, розглянутий тип СЕС має ряд переваг: меншу вартість через відсутність акумуляторів і контролерів заряду, високу надійність, більший термін служби. АКБ має період експлуатації не більше 10 років, а сонячні батареї 15-30 років. Таким чином, за час експлуатації СЕС з акумуляторами доведеться кілька разів проводити заміну АКБ, що збільшує експлуатаційні витрати. Особливий інтерес представляє використання паралельно працюють з електричною мережею СЕС малої потужності для будівель державних організацій: освітніх і медичних установ, муніципалітетів і органів державної влади, де застосування цього методу може дозволити знизити навантаження на бюджети різного рівня. Розглянутий тип СЕС також можуть використовувати представники малого та середнього бізнесу.

Функціональна схема роботи СЕС

Сонячні батареї перетворять сонячну енергію в електроенергію постійного струму.

Мережевий інвертор перероблює постійний струм від сонячних батарей в змінну синусоїдальної напруги частотою 50 Гц і здійснює автоматичну синхронізацію СЕС з електричною мережею. Інвертор може володіти функцією обмеження виданої в мережу потужності СЕС. Електроенергія, вироблена СЕС, через лічильник надходить в електричну мережу споживача (Рис.2). Облік електроенергії, що надходить з електричної мережі енергосистеми, здійснюється окремим (розрахунковим) лічильником. Лічильник енергії виробленої СЕС не призначений для розрахунків за електроенергію, він використовується тільки для контролю вироблення енергії. Вимоги до значення класу точності цього лічильника не пред'являються.

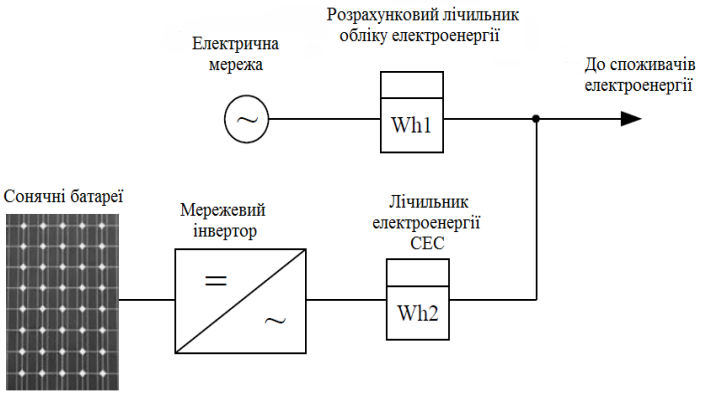




Рис.2 - Схема мережевої СЕС

Рис.3 - Vitovolt 300 M300

Вибір сонячних панелей

Для того щоб визначитися з вибором сонячних панелей, розглянемо всі види СП. Залежно від того, яким чином організовані атоми кремнію в кристалі, сонячні елементи діляться на види:

- Сонячні елементи з монокристалічного кремнію
- Сонячні елементи з полікристалічного кремнію
- Сонячні елементи з аморфного кремнію

ККД сонячної батареї на основі монокристалічного кремнію становить 15-20%. Монокристалічні елементи мають найвищу ефективність перетворення енергії. Основний матеріал — вкрай чистий кремній, з якого виготовлені монокристалічні сонячні панелі, добре освоєний в області виробництва напівпровідників. Кремнієвий монокристал зростає на насіння, яке повільно витягується з кремнієвого розплаву.

Стрижні, отримані таким шляхом, ріжуться на частини товщиною від 0,2 до 0,4 мм. Потім ці диски піддаються ряду виробничих операцій, таких як:

- обточування, шліфування та очищення;
- накладення захисних покриттів;
- металізація.

У зв'язку з цим вибираємо сонячну панель на основі монокристалічного кремнію — Vitovolt 300 M300 (Рис.3), потужністю 300 Вт. Розміщення сонячних панелей на даху корпусу планується в 9 рядів. За допомогою програми PV*SOL було спроектовано 303 фотоелектричні модулі загальною потужністю – 90,9 кВт (Рис.4).



Рис.4- Розміщення фотоелектричних модулів на даху корпусу

Вибір мережевого інвертора

Сонячні панелі підключаються до мережевих інверторів. Обраний інвертор повинен відповідати діапазону установленої потужності, а також ряду технічних вимог. Зокрема, при наявності трифазної мережі слід застосовувати трифазні інвертори з синусоїдальною формою вихідного сигналу. Для даного проекту було обрано 3 інвертори потужністю 30 кВт марки Huawei SUN2000 - 33KTL-A.

Вибір системи з'єднання модулів

Для з'єднання фотоелектричних панелей в стрінги та підключення до інвертора використовується PV кабель IBC SOLAR FlexiSun 6мм², в подвійній силіконовій ізоляції, стійкий до ультрафіолетового випромінювання, та герметичні PV конектори LAPP EPIC SOLARMC 4.

Роботи по монтажу фотоелектричної системи складаються з декількох етапів. Спочатку проводяться підготовчі роботи і монтаж конструкції під фотомодулі. Усі кріпильні елементи виконані з алюмінію та нержавіючої сталі.

Вибір описаної системи з'єднання модулів дозволяє найбільш оптимально розмістити обладнання на площадці СЕС, оптимізувати електричні втрати в кабелях з дотриманням технологічних вимог виробника обраного силового обладнання (Рис.5).

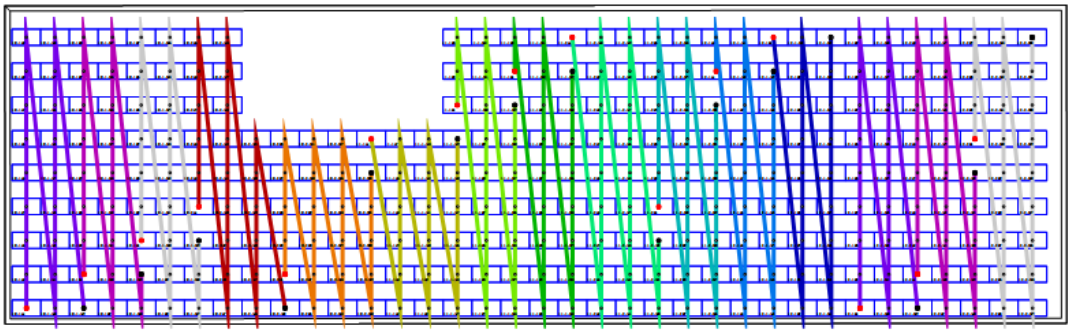


Рис.5 - Система з'єднання модулів на даху будівлі

Вартість вибраного обладнання

Розрахунок капіталовкладень в СЕС (з урахуванням проектних та будівельно-монтажних робіт) виконувався за даними приблизної оцінки реалізованих в регіоні проектів. Для оцінки економічного ефекту від впровадження СЕС в програмі було розраховано річний виробіток СЕС (Рис.6). Розрахунки проводилися з урахуванням чинних у 2020 році цін на обладнання.

Повна вартість встановлення дахової сонячної електростанції потужністю 90,9 кВт

становить 76,744 тис.$.

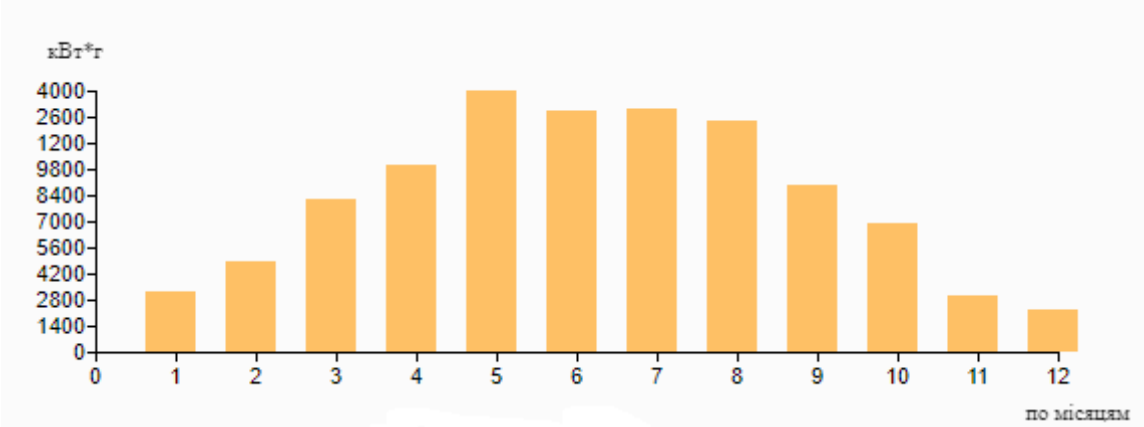


Рис.6 – Річна генерація дахової СЕС потужністю 90,9 кВт

Висновок

Україна робить важливі кроки для розширення використання ВДЕ та альтернативних видів палива в межах стратегії щодо зниження залежності від традиційних викопних видів палива. Клімат та географічне положення сприятливі для розвитку сонячної енергетики та будівництва сонячних електростанцій. Навіть північні області України мають значний потенціал для розвитку даної галузі, який не поступається більшості європейських регіонів.

У статті було розроблено модель сонячної електростанції на даху Інституту технічної теплофізики НАН України (вул. Булаховського, 2) за допомогою спеціального програмного забезпечення (PV*SOL). Повна вартість встановлення дахової сонячної електростанції, потужністю 90,9 кВт, становить 76,744 тис.$.

Встановлення такої фотоелектричної станції дасть змогу щорічно економити на платежах за електроенергію та продавати залишок виробленої електроенергії за «зеленим тарифом».

Список літератури

1. Споживання електроенергії в Україні в 2019 році скоротилося на 2% https://delo.ua/business/potreblenie-elektroenergii-v-ukraine-v-2019-godu-363659/

2. СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ file:///C:/Users/USER/Downloads/efek_2010_10_21.pdf

3. Розвиток низьковуглецевої енергетики як ключовий елемент сталого розвитку країни [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://old2.niss.gov.ua/content/articles/files/Bobro-fbf25.pdf

4. Средний месячный уровень солнечной радиации в городах Украины URL: atmosfera.msk.ru/stati-geliosistemy/solar-insulation-ukraine/

УДК 621.316

М.Ф. Боровець
кафедра електропостачання

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

У роботі вирішується питання оптимального розподілу навантаження між окремими джерелами енергії комбінованої енергосистеми з можливістю акумулювання енергії. Розглянуто можливість вирішення багатокритеріальної оптимізаційної задачі при заданих цільових функціях, із врахуванням обмежень, використовуючи метод нелокального пошуку та підходу Беллмана-Заде.

Ключові слова: *комбінована енергосистема, багатокритеріальна оптимізаційна задача, цільові функції, метод нелокального пошуку.*

OPTIMIZATION OF COMBINED ENERGY SYSTEM OPERATION USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

The possibility of solving a multicriteria optimization problem for given objective functions is also considered, taking into account the limitations, using the method of nonlocal search.

Keywords: *combined power system, multicriteria optimization problem, objective functions, nonlocal search method.*

Вступ

Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є важливим стратегічним напрямом розвитку енергетики в Україні, який направлено на заощадження паливно-енергетичних ресурсів і покращення екологічного стану країни. Для досягнення високих техніко-економічних показників із використанням альтернативних джерел живлення, стабільної роботи параметрів енергетичного обладнання та постійного енергопостачання споживачів, необхідно створювати комбіновані енергосистеми. Для оптимізації роботи такої системи енергозабезпечення, необхідно вирішити питання розподілу навантаження між кожним джерелом енергії комбінованої енергосистеми.

Метою статті є пропозиція методики вибору оптимального рішення, щодо розподілу навантаження між установками комбінованої енергосистеми. Адже одного і того ж споживача можна забезпечити енергією від різних джерел живлення. Щоб вирішити дану задачу, необхідно враховувати всі фактори, які впливають на роботу кожного джерела живлення, й обрати найбільш оптимальне рішення, яке буде доцільним і забезпечить потреби споживача.

Матеріал та результати досліджень

Основною альтернативою для генерації електричної енергії є використання енергії сонця, вітру, біомаси, водних ресурсів тощо [1]. Проте, основним недоліком альтернативних джерел енергії є нестабільність у роботі, так як робота обладнання залежить у першу чергу від погодних умов. Наприклад, при похмурій погоді сонячні батареї виробляють меншу кількість енергії, а під час «активного» сонячного дня виробіток енергії може перевищувати споживання, тому виникає необхідність в акумулюванні енергії. Щоб забезпечити безперебійне енергозабезпечення споживачів і досягти високих значень техніко-економічних показників застосовують комбіновані (гібридні) енергосистеми (рис. 1). Головна мета таких установок – максимально використовувати ВДЕ, накопичувальні елементи для забезпечення безперебійного електропостачання. Гібридна система найчастіше включає у себе два найбільш розповсюджених джерела енергії – вітрогенератор і сонячні батареї [2, 4]. Для підвищення надійності, в якості резерву використовують дизельгенератор.

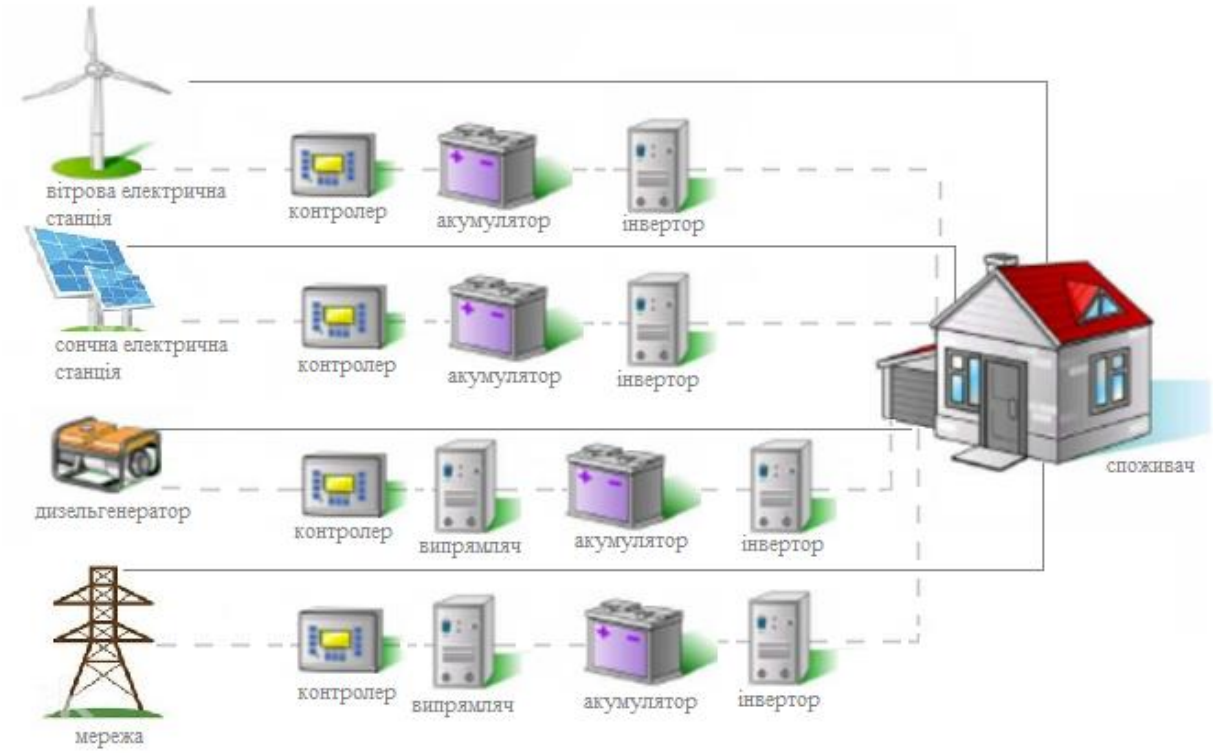


Рисунок 1 – Комбінована енергосистема

Покажемо визначення оптимального режиму роботи такого комплексу показаного на рис. 1, тобто якою мірою потужність кожного джерела енергії, що є компонентом цієї енергосистеми, використовувати у кожний довільний момент часу *t*.

Попередньо формується перелік цілей, що на думку особи, яка приймає рішення, дають змогу забезпечити оптимальні умови роботи окремих складових комбінованої енергосистеми у кожний конкретний момент часу *t*, враховуючи вплив зовнішніх чинників (наявність вітру, інтенсивність сонячної радіації, рівень навантаження і т.п.), які мають місце у момент часу *t*. Цільові функції, що характеризують ступінь оптимальності роботи комбінованої енергосистеми, представлено у лінгвістичній формі, яка є найбільш зручною для звичайних користувачів. Математично вони формуються таким чином:

$$F_{jt}(\boldsymbol{P}) \to \underset{\boldsymbol{P}\in L}{\text{extr}}; \quad j=1, ..., m; \quad \boldsymbol{P}=\{P_1, ..., P_i, ..., P_n\}; \quad L \subseteq \Omega,$$

де Ω – область рішень, оптимальних за Парето.

В якості обмежень розглядаються:

1) технічні можливості окремих генеруючих джерел та система централізованого електропостачання

$$P_{it}^{\min} \le P_{it} \le P_{it}^{\max},$$

де P_{it} – відповідна доля електричного навантаження, яка надається *i*-м джерелом РГ та системою централізованого електропостачання, у кожний період часу *t*;

$P_{it}^{\min}$, $P_{it}^{\max}$ – відповідні обмеження за електричною потужністю для кожного джерела РГ та системою централізованого електропостачання, яке розглядається у кожний період часу *t*;

2) так і умова обов'язкового виконання балансу генерація-споживання з урахуванням за необхідності потенціалу акумулюючих пристроїв і втрат потужності для ділянки мережі, яка розглядається

$$\sum_{i=1}^{n} P_{it} = \boldsymbol{A}_t,$$

де $\boldsymbol{A}_t$ – сумарне навантаження ділянки мережі у кожний період часу *t*, нехтуючи втратами потужності для ділянки мережі, яка розглядається.

Для вирішення питання оптимального розподілу навантаження між окремими джерелами енергії використаємо алгоритм розподілу ресурсів, який базується на методі нелокального пошуку запропонованого І.М. Гельфандом і М.Л. Цетліним та підходу Беллмана-Заде [3]. Задача оптимізації полягає у пошуку вектора цільових змінних, який задовольняє виконання заданих обмежень. Дана задача називається багатокритеріальною (векторною), основною особливістю є наявність невизначеності, яка полягає в тому, що невідомо яким саме критеріям надати перевагу та в якій мірі. Підхід Беллмана-Заде застосовується для оцінки ефективності рішення на кожному кроці оптимізаційного процесу шляхом одночасного аналізу всіх використовуваних цільових функцій. Згідно із запропонованим методом кожна оціночна функція $F_j(\boldsymbol{P})$; $j = 1, ..., m$ замінюється нечіткою цільовою функцією або нечіткою множиною виду

$$A_k = [\boldsymbol{P}, \mu_{A_k}(\boldsymbol{P})]; \quad k = 1, ..., m,$$

де $\mu_{A_k}(\boldsymbol{P})$ являє собою функцію належності нечіткої функції A_k.

Вибір оптимального рішення знаходиться з умови

$$\max \mu_D(\boldsymbol{P}) = \max_{\boldsymbol{P} \in L} \min_{k=1,...,m} \mu_{A_k}(\boldsymbol{P}).$$

Таким чином, точка $\boldsymbol{P}^* = \arg\max_{\boldsymbol{P} \in L} \min_{k=1,...,m} \mu_{A_k}(\boldsymbol{P})$ приймається як оптимальна на кожному кроці локального та нелокального пошуків при реалізації процесу вирішення задачі. Розрахунок завершується, якщо різниця значень характеристик $\min_{k=1,...,m} \mu_{A_k}(\boldsymbol{P})$ для суміжних точок стає меншою ніж заздалегідь задана точність розрахунків.

Принципово важливо, щоб функція належності $\mu_{A_k}(\boldsymbol{P})$ адекватно відображала характер відповідних оціночних функцій. Зокрема, таким умовам відповідають функції належності, що формуються таким чином:

– для цільових функцій, що підлягають максимізації

$$\mu_{A_k}(\boldsymbol{P}) = \left[\frac{F_j(\boldsymbol{P}) - \min_{\boldsymbol{P} \in L} F_j(\boldsymbol{P})}{\max_{\boldsymbol{P} \in L} F_j(\boldsymbol{P}) - \min_{\boldsymbol{P} \in L} F_j(\boldsymbol{P})} \right]^{\lambda_j};$$

– для цільових функцій, що підлягають мінімізації

$$\mu_{A_k}(\boldsymbol{P}) = \left[\frac{\max_{\boldsymbol{P} \in L} F_j(\boldsymbol{P}) - F_j(\boldsymbol{P})}{\max_{\boldsymbol{P} \in L} F_j(\boldsymbol{P}) - \min_{\boldsymbol{P} \in L} F_j(\boldsymbol{P})} \right]^{\lambda_j},$$

де λ_j – показник, що відображає ступінь важливості *k*-ї оціночної функції та визначається експериментальним шляхом.

Важливо підкреслити, що отримане при цьому рішення належить як області компромісів, так і області допустимих рішень.

Покажемо виростання запропонованого методу для енергосистеми наведеної на рис. 1.

Для визначення оптимального режиму роботи використовувалися три критерії: собівартість згенерованої електричної потужності, кількість годин роботи з максимальним навантаженням T_{max}, рівень шкідливих викидів (емісії CO_2). В якості обмежень, наприклад для періоду часу t = 18 год, задавалися попередньо розраховані: сумарне навантаження

комбінованої енергосистеми $\sum_{i=1}^{4} P_{it} = \boldsymbol{A}_t = 500$ кВт і можливі граничні значення потужності окремих генеруючих установок: $0 \le P_{CEC} \le 250$ кВт, $0 \le P_{BEC} \le 70$ кВт, $0 \le P_M \le 450$ кВт та $0 \le P_{ДГ} \le 50$ кВт.

Для розв'язання задачі розподілу навантаження між складовими комбінованої енергосистеми сформовано три цільові функції: 1) у першу чергу віддати перевагу джерелам енергії з більшими питомими капітальними витратами; 2) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним значенням $T_{\max}$; 3) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним рівнем шкідливих викидів в атмосферу; які у математично представлено:

1. $F_1(\boldsymbol{P}) = a_{11}P_1 + a_{12}P_2 + a_{13}P_3 + a_{14}P_4 \to \max$, де a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14} відповідають питомому (на 1 кВт) значенню капітальних витрат генерованої потужності, що характерне для окремих генеруючих установок;
2. $F_2(\boldsymbol{P}) = a_{21}P_1 + a_{22}P_2 + a_{23}P_3 + a_{24}P_4 \to \min$, де a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24} відповідають значенню $T_{\max}$, характерному для окремих генеруючих установок;
3. $F_3(\boldsymbol{P}) = a_{31}P_1 + a_{32}P_2 + a_{33}P_3 + a_{34}P_4 \to \min$, де a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34} відповідають питомим значенням кількості шкідливих викидів у атмосферу, характерним для окремих генеруючих установок.

Для ілюстрації у таблиці 1 наведено результати, отримані для режиму, який мав місце о 18:00.

Таблиця 1 – Оптимальний розподіл навантаження між компонентами комбінованої енергосистеми

Компоненти комбінованої енергосистеми	Граничні значення потужності, кВт	Розподіл навантаження, кВт	Завантаження у відсотках від встановленої потужності установки
СЕС	$0 \le P_{\text{СЕС}t} \le 250$	177,54	71,02
ВЕС	$0 \le P_{\text{ВЕС}t} \le 70$	17,19	24,56
Мережа	$0 \le P_{\text{М}t} \le 450$	305,27	67,84
Дизельний генератор	$0 \le P_{\text{ДГ}t} \le 50$	0	0
Навантаження споживача		500,0	

Розрахунок проведено за допомогою програмого забезпечення *Microsoft Excel*.

Для оптимізації роботи заданої нами комбінованої системи енергопостачання (рис. 1) виконано розподіл-навантаження, таким чином, як показано у таблиці 1 та нижче на рис. 2.

Реалізація розробленого методу розподілу навантаження між компонентами енергосистеми підтверджує ідею, що для задоволення потреб споживачів електричною енергією, у першу чергу за відсутності обмежень, мають застосовуватися мережа, СЕС і ВЕС (у разі наявності такої можливості). А для покриття решти навантаження джерела енергії на органічному паливі – дизель генератор.



Рисунок 2 – Завантаження у відсотках від встановленої потужності установки

Висновок

Оптимальне співвідношення окремих елементів енергосистеми на основі відновлюваних джерел визначається з урахуванням багатьох факторів. Оптимізація структури здійснюється за економічними показниками, такими як собівартість енергії, а також за технічними, – що враховують надійність енергопостачання. Коректно поставлена багатокритеріальна задача має містити цільову функцію й обмеження. У випадку комбінованої енергосистеми в якості цільових функцій може бути використано енергетичні характеристики елементів системи (криві потужності, характеристика зарядки/ розрядки акумуляторів тощо).

У роботі показано оптимальний розподіл навантаження між окремими джерелами енергії комбінованої енергосистеми з можливістю акумулювання енергії, із врахуванням обмежень, використовуючи метод нелокального пошуку та підходу Беллмана-Заде.

Список використаної літератури

1. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище. Харків: САГА, 2008. 364 с.
2. Badwawi R.A., Mallick T.K. A Review of Hybrid Solar PV and Wind Energy System. *Smart Science*. 2015,V. 3, №3. P. 127–138.
3. Попов В.А., Ярмолюк Е.С., Замковой П.А. Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. Харків, 2014. № 2/2 (68). С. 61–68.
4. Мхитарян Н.М., Кудря С.О., Яценко Л.В. Комплексное использование энергии возобновляемых источников. *Альтернативная энергетика и экология*. 2013. № 17. С. 15–22.
5. Плєшков С.П., Солдатенко В.П., Федунцель А.Д. Розробка математичної моделі оптимальних режимів вироблення та споживання енергії в комплексній електроенергетичній системі з відновлювальними джерелами енергії для сільськогосподарського виробництва. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2009. № 87. С. 24–26.
6. Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации. Москва: Наука, 1986. 141 с.

УДК 621.3

Василенко К. А.
кафедра електропостачання

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Анотація. *Автономне електропостачання є актуальною темою для України. У більшості дрібних населених пунктів, наявні мережі, досягли високого ступеня зношеності і не можуть забезпечити електроенергією всіх споживачів. Основними генеруючими джерелами систем автономного електропостачання України є паливні електростанції. При виборі потужності паливних електростанцій, використовуваних в якості основного джерела електропостачання, зазвичай орієнтуються на покриття максимуму електричного навантаження і забезпечення можливості запуску великих електродвигунів [1]. В даній темі детально розглядається сучасний стан відновлювальних джерел енергії, а також можливість України підвищити їх використання для побудови комбінованих систем електропостачання.*

Ключові слова: *комплексна енергосистема, автономна енергосистеми, комбінована система електропостачання, відновлювані джерела енергії, нетрадиційні джерела енергії, енергоефективність.*

Abstract. *Autonomous electricity supply is a topical issue for Ukraine. In most small settlements, the existing networks have reached a high degree of wear and tear and cannot provide electricity to all consumers. The main generating sources of autonomous power supply systems in Ukraine are fuel power plants. When choosing the power of fuel power plants used as the main source of power supply, usually focus on covering the maximum electrical load and providing the ability to start large electric motors. This topic examines in detail the current state of renewable energy sources, as well as the possibility of Ukraine to increase their use for the construction of combined power supply systems.*

Вступ. Сучасні споживачі в основному забезпечується централізованим електропостачанням від електричних мереж, але деякі об'єкти віддалені від централізованих електричних систем, зокрема, від ліній електропередачі на значну відстань. Заповнити відсутність централізованого енергопостачання і виключити недоліки паливних електростанцій, які використовують в цих ситуаціях, можуть комбіновані системи електропостачання, що використовують як традиційні джерела енергії (паливо), так і нетрадиційні, відновлювальні джерела енергії (ВДЕ).

Мета та завдання. Необхідно дослідити можливі моделі автономних енергосистем з використанням ВДЕ, їх оцінка в якості джерела енергії, а також можливі ризики, які можуть з’явитися під час роботи системи. Основна мета – запровадити найраціональнішу комбіновану систему електропостачання для майбутнього об’єкту.

Матеріал і результати досліджень.

Аналіз схем побудови гібридних електростанцій на прикладі закордонних публікацій. Серед публікацій закордонних науковців і дослідників чітко виділяється тенденція до використання ВДЕ у якості джерел живлення мобільних споживачів, які віддалені від загальної мережі електропостачання. Відомі кілька способів сполучення вітроенергетичних установок (ВЕУ), фотоелектричних установок (ФЕУ) і дизельних генераторів (ДГ) за умови електропостачання одного споживача. Всі ці варіанти побудови гібридних електростанцій мають істотні відмінності і за складом використовуваного обладнання, і по техніко-економічним параметрам.

У статті [2] автори описують схему вітро-сонячну системи заснованої на шині змінного струму зі вставкою шини постійного струму (ШПС). У даній системі не передбачено використання ДГ, що набагато знижує надійність електропостачання.

Gagari Deb, Ramananda Paul та Sudip Das в своїй доповіді [3] представляють модель вітро-дизельної системи, яка працює виключно на змінному струмі. Реалізація такої схеми не розрахована на наявність перетворювачів, але веде за собою ряд проблем, такі як синхронізація напруги і частоти, отже, виникає необхідність використання складної системи управління.

Стаття [4] містить в собі порівняльний аналіз трьох найбільш розповсюджених способів сполучення джерел енергії (ФЕП, ВЕУ, ДГ) і обрана в якості опорної для даної роботи.

Можливі варіанти побудови комбінованих систем електропостачання. Розглянемо перший варіант (рис.1). В даному випадку використовується сполучення на шині змінного струму без будь-яких заходів щодо перетворення електроенергії. До переваг можна віднести простоту, можливість легкого масштабування, наприклад, встановити кілька ВЕУ, також схема досить ефективна при наявність додаткового підключення до магістральної мережі. Однак, існує і ряд недоліків: на виходах електричних генераторів потрібно забезпечити однакові і постійні значення частоти і напруги мережі, що сильно здорожує допоміжне обладнання ВДЕ.

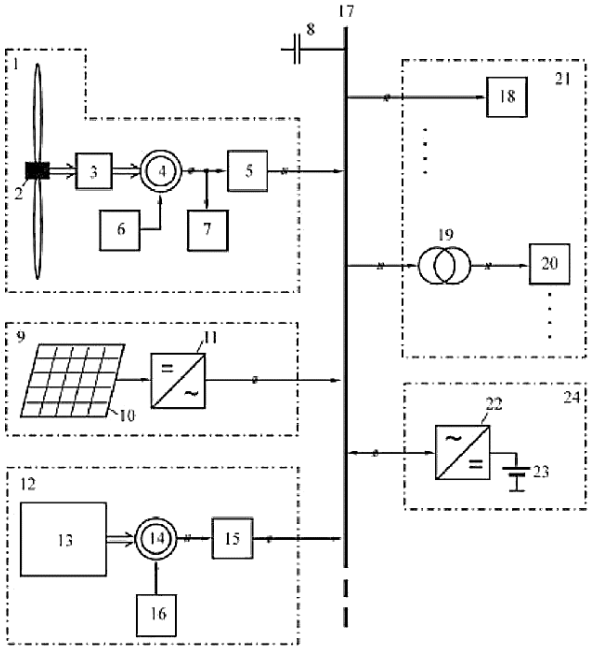


Рисунок 1 - Схема сполучення джерел на шині змінного струму.

Розглянемо основні компоненти: 1 - вітроенергетична установка; 2 - вітротурбіна; 3 - редуктор-мультиплікатор; 4, 14 - синхронний електромашинний генератор; 5, 15 - пристрій плавного пуску; 5, 15 регулятор струму збудження синхронного генератора; 7 - блок баластних навантажень; 8 - компенсатор реактивної потужності; 9 - фотоенергетична установка; 10 - сонячна панель; 11 - імпульсний перетворювач постійної напруги в змінну напругу (інвертор); 12 - дизель-генератор; 13 - дизельний двигун; 17 - шина змінного струму 220/380В 50 Гц.; 18 - споживачі електроенергії; 19 - силовий трансформатор, що підвищує; 20 - споживачі електроенергії напругою 6 або 10 кВ; 21 - об'єкт децентралізованого електропостачання; 22 - двонаправлений перетворювач змінної напруги в постійну напругу; 23 - блок акумуляторних батарей; 24 - буферний накопичувач електроенергії.

Перейдемо до розгляду другого варіанту (рис. 2). Дана схема побудована на принципі

використання додаткової шини високої частоти. Цей спосіб зручний тим, що дозволяє скоротити кількість реактивних елементів в системі, тим самим зменшивши вартість. Однак, у зв'язку з необхідністю застосування дорогих перетворювачів і існуючими проблемами втрат потужності, представлений варіант схильний сумніву в ефективності і вимагає додаткового, більш поглибленого вивчення.

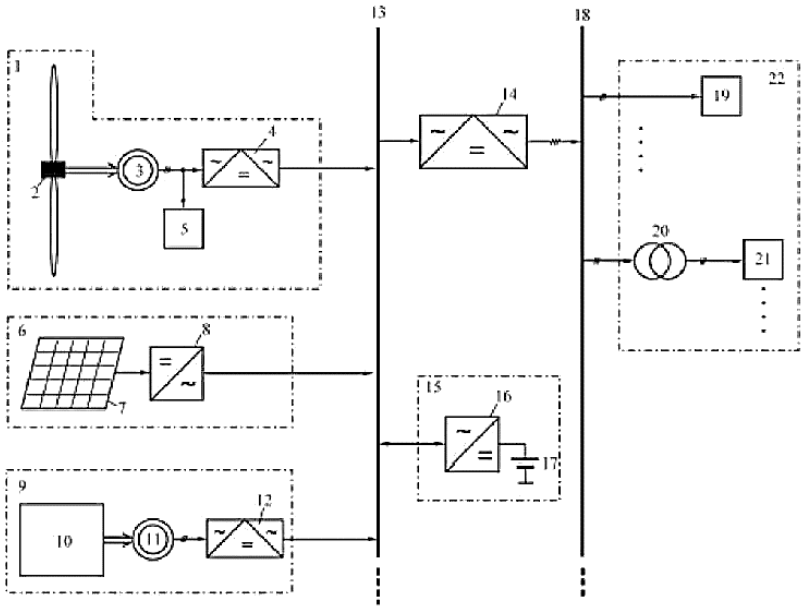


Рисунок 2 - Схема сполучення джерел на шині змінного струму високої частоти.

Компоненти: 1 - вітроенергетична установка; 2 - вітротурбіна; 3,11 - синхронний електромашинний генератор; 4, 12, 14 - статичні перетворювачі частоти; 5 - блок баластних навантажень; 6 - фотоенергетична установка; 7 - сонячна панель; 8 - інвертор напруги; 9 - дизель-генератор; 10 - дизельний двигун; 13- шина змінного струму високої частоти; 15 - буферний накопичувач електроенергії; 16- двонаправлений імпульсний перетворювач; 17 - блок акумуляторних батарей; 18 - шина змінного струму 220/380В 50 Гц.; 19 - споживачі електроенергії; 20 - силовий трансформатор; 21- споживачі електроенергії напругою 6 або 10 кВ; 22 - об'єкт децентралізованого електропостачання.

Основною проблемою при проектуванні комбінованих електростанцій є пошук оптимізації витрат, і, як наслідок, пошук співвідношення кількості задіяних елементів. На даний момент відсутня єдина вірна і відпрацьована методика оптимізації, існують тільки концептуальні алгоритми, які також мають певні переваги і недоліки.

Характеристика джерел енергії для подальшого використання їх в комбінованій системі електропостачання.

- Паливні електростанції. В даний час для автономного електропостачання переважно застосовують паливні електростанції. Структурна схема автономної системи електропостачання на основі ПЕ представлена на рисунку 3. Вони складаються з електромеханічного генератора, що приводиться в рух бензиновим, газовим або дизельним двигуном внутрішнього згоряння, об'єднані в єдиний агрегат на монтажній рамі. Паливні електростанції є найбільш універсальним джерелом електроенергії змінного і постійного струму з широким діапазоном потужностей і напруг. Мають хороші показники, ККД, а також високу ступінь технологічності виготовлення.



Рисунок 3 - Загальний вигляд структурної схеми автономної системи електропостачання на основі ПЕ.

➢ Вітроенергетична установка. Вітроенергетична установка (ВЕУ) використовує ефект виникнення підйомної сили, що діє на лопаті вітротурбіни, яка, в свою чергу, обертає генератор, що виробляє електроенергію. Загальний вигляд структурної схеми автономної системи електропостачання на основі вітроенергетичних установок представлений на рисунку 4. Використання в ВЕУ швидкохідних вітродвигунів дозволяє зменшити число редуктора. Це призводить до зниження малогабаритних, вартісних і експлуатаційних характеристик енергоустановки.



Рисунок 4 - Загальний вигляд структурної схеми автономної системи електропостачання на основі ВЕУ.

➢ Фотоелектричні перетворювачі. В даний час перетворення сонячної енергії в електричну енергію здійснюється за допомогою фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), які є пріоритетним з наступних причин:

- екологічна чистота перетворення енергії;
- безшумна робота;
- відсутність рухомих частин;
- безпеку для навколишнього середовища;
- фотоелектричні перетворювачі мають високі експлуатаційні якості (термін служби 25 - 30 років).

Структурна схема автономної системи електропостачання на основі ФЕП представлена на рисунку 5.



Рисунок 5 - Загальний вигляд структурної схеми автономної системи електропостачання на основі ФЕП.

Акумуляторний накопичувач електричної енергії в комбінованій електросистемі. Акумулятор - це буфер для накопичення електричної енергії за допомогою оборотних

хімічних процесів. Оборотність хімічних реакцій, що відбуваються всередині акумулятора, дає йому можливість працювати в циклічному режимі постійних зарядів і розрядів [5].

Акумулятори, які застосовуються в різних енергетичних системах, розрізняються по номінальній напрузі, номінальної ємності, габаритам, типу електроліту, ресурсу, швидкості заряду, вартості, робочому діапазону температур, тощо.

Енергія багатьох енергоджерел потрібна не тільки тоді, коли вона доступна (в першу чергу це відноситься до сонячних систем), тому її доводиться запасати і зберігати до моменту пред'явлення вимоги. Надійність електропостачання не повинна залежати від освітленості сонячних систем, тому навіть в денний час наявність акумулятора необхідна.

Висновки. Найбільша частка електроенергії надходить від електросистеми. Питання про продуктивність сонячних або вітрових систем є одним із перших, яким задаються люди, що планують інвестувати в автономну комбіновану електростанцію. Треба розуміти, що у більшості дрібних населених пунктів, наявні мережі не можуть забезпечити електроенергією всіх споживачів. Перш за все комбінована енергосистема вирішує це питання. В роботі було спроектовано два варіанти ефективних комбінованих енергосистем, а також досліджені їх основні компоненти для подальшого використання їх для проектування.

Список використаної літератури.

1. Денисюк С.П. Принципи побудови автономних систем енергопостачання на базі нетрадиційних джерел енергії / Денисюк С.П. - Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, №2. - К.:Державний комітет з енергозбереження України, НАН України, АТ "Укренергозбереження", - 1999. - С.33-40.

2. Пученкін А.В., Титов В.Г., Ходикіна І.В. Аналіз алгоритмів управління регулятором точки максимальної потужності для сонячних батарей //http://ivdon.ua/uploads/article/pdf/IVD 6 puchenkin.pdf 2020.pdf

3. Степанов С.Ф., Павленко І.М., Ерба Е.Т. Забезпечення ефективної роботи мультімодульнойветроелектростанції при зміні швидкості вітру і навантаження // Сучасні проблеми науки та освіти. - 2013.- № 6.

4. Шкрадюк І.Е. Тенденції розвитку відновлюваних джерел енергії в Україні та в світі. - М.:, 2010. - 88 с.

5. Smart Solutions. Акумулятор. Промислові акумулятори. [Електронний ресурс] / – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://elektryka.ivano-frankivsk.ua/elektromontazh/elektrobezpeka/akumulyatory/.

Винар Я.Ю.
кафедра електропостачання

ЦІНОУТВОРЕННЯ НА РОЗДРІБНОМУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Анотація. *З 1 липня 2019 року в Україні запроваджено лібералізований ринок електричної енергії відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії». Новий ринок надає право споживачам вільно обирати електропостачальника, а вартість електроенергії визначається залежно від обсягів електроспоживання, кон'юнктури ринку, часу доби та сегменту ринку, на якому було здійснено закупівлю електричної енергії. Проте, переваги лібералізації нового ринку електричної енергії може бути реалізовано лише за умови забезпечення точності, повноти, достовірності та актуальності даних обліку, на базі яких здійснюються розрахунки за електричну енергію та керування режимами електроспоживання. Такі дані повинні формуватися повномасштабними АСКОЕ, які надійно функціонують в автоматичному режимі.*

Ключові слова: *АСКОЕ, електропостачання, електрична енергія, графік навантаження, комерційний облік, лічильник електроенергії.*

Abstract: *In Ukraine, on July 1, 2019, a liberalized electricity market was introduced in accordance with the Law of Ukraine "On the Electricity Market". The new market gave the opportunity to freely choose contractors and the right of consumers to freely choose the electricity supplier and the cost of electricity is determined by the volume of electricity consumption, market conditions, time of day and market segment in which the electricity was purchased. However, the benefits of liberalization of the new electricity market can be realized only if the accuracy, completeness, reliability and timeliness of accounting data, on the basis of which the calculations for electricity and management of electricity consumption regimes are carried out. Such data should be generated by full-scale AMI, which function reliably in automatic mode.*

Key words: *AMI, smart metering system, power supply, electric energy, load profile, commercial metering, smart meter.*

Вступ

Електрична енергія – один з найважливіших видів енергії. В останні два десятиліття на ринках електричної енергії в усьому світі відбуваються радикальні зміни у бік лібералізації та реорганізації основ функціонування ринку. Галузь, в якій переважали контрольовані державою монополії, піддається масштабній приватизації та лібералізації [1]. Нині практично в усіх державах-членах Європейського Союзу (ЄС) впроваджено лібералізовані ринки електричної енергії, а всі споживачі мають право і можливість самостійно обирати електропостачальників. Україна не стала винятком. З 1 липня 2019 року в Україні почала функціонувати нова модель ринку електричної енергії відповідно до закону України «Про ринок електричної енергії».

Нова модель ринку електричної енергії може ефективно функціонувати лише за умови повної автоматизації обліку електричної енергії, тобто, коли всі дані для проведення розрахунків та керування режимами електроспоживання збираються, обробляються, верифікуються і валідуються в автоматизований спосіб із застосуванням автоматизованих систем комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ). Проте, не у всіх споживачів електричної енергії впроваджено АСКОЕ.

Якщо АСКОЕ немає, тоді немає повної та достовірної інформації щодо обсягів виробленої, відпущеної, переданої, розподіленої, імпортованої та експортованої, а також спожитої електричної енергії у визначений проміжок часу. І проблема в тому, що кожного дня оператор балансувального ринку має проводити розрахунки , а комплекту даних немає. І для

того, щоб комплект даних був, знайшли спосіб їх заміщувати, скинувши всі втрати на тих споживачів, які не мають автоматизованого обліку. І відповідно виникає проблема великих відхилень, великих небалансів, тому що дані недостовірні і на основі цих даних не можна балансувати ринок. В результаті кошти виходять з обороту і недоступні електропостачальникам. Це все призводить до неефективності ринку.

Мета та завдання

Метою дослідження є аналіз принципів ціноутворення на роздрібному ринку електричної енергії для різних споживачів, особливості ціноутворення залежно від реалізації комплексного енергомоніторингу та керування режимами електроспоживання на підставі повних, достовірних та актуальних даних комерційного обліку електричної енергії, отриманих допомогою Smart Metering Systems задля підвищення ефективності функціонування лібералізованого ринку електричної енергії України.

Матеріал та результати досліджень

Комерційний облік – облік електроенергії, призначений для розрахунків між продавцем і покупцем електроенергії (потужності) або системних послуг.

Комерційний облік електроенергії на ринку електричної енергії України здійснюється відповідно до вимог Кодексу комерційного обліку електричної енергії (постанова НКРЕКП від 14.03.2018 №311 (у редакції постанови НКРЕКП від 20.03.2020 № 716))[2].

Робота з системою комерційного обліку електроенергії розділяється на кілька етапів (Рис. 1)

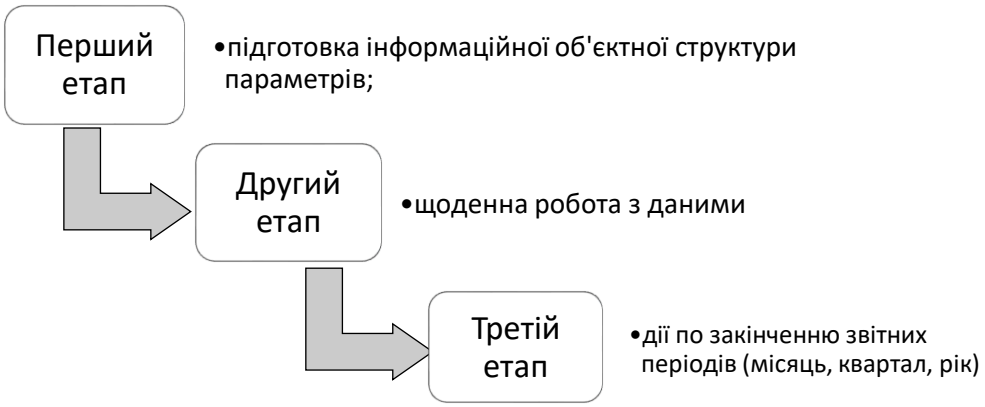


Рисунок 1. Етапи роботи з системою комерційного обліку

Перший етап – підготовка інформаційної об'єктної структури параметрів. Формується структура енергооб'єктів, точок обліку, розрахункових перетинів, структура основної і замісної АСКОЕ (поділ параметрів на оперативні і статистичні дані). Здійснюється прив'язка параметрів до джерел інформації (АСКОЕ, макети) для забезпечення завантаження даних до бази даних (БД).

Другий етап – щоденна робота з даними. Проводиться завантаження результатів обліку з АСКОЕ (в автоматичному або ручному режимі), введення положень обхідних вимикачів (за необхідності), аналіз відсутніх даних, недостовірної і некомерційної інформації, розрахунок сумарних показників, розрахунок короткострокових прогнозів електроспоживання, формування звітних форм, макетів.

Третій етап – дії по закінченню звітних періодів (місяць, квартал, рік). Проводиться розрахунок інтегральних значень по закінченню інтервалу, формування звітних форм і макетів, перевірка збіжності даних макетів [3].

У всіх точках на приєднаннях електроустановок споживачів (крім побутових

споживачів) до мереж ОСР/НЕК та/чи до мереж основних споживачів, де вимірюється надходження електричної енергії на площадки вимірювання групи «а» з приєднаною потужністю електроустановок 150 кВт і більше, мають бути встановлені лічильники погодинного комерційного обліку електричної енергії та забезпечена можливість щодобового дистанційного зчитування показів лічильників, а з приєднаною потужністю електроустановок до 150 кВт – лічильники погодинного або багатозонного (багататарифного) комерційного обліку електричної енергії із гарантованим щодобовим зчитуванням даних з лічильників. Якщо цю умову не виконано або споживач не призначив Оператора АСКОЕ або постачальника послуг комерційного обліку (ППКО), то такі площадки вимірювання має бути віднесено до групи «б» [4]

Залишковий графік – сформований ОСР/НЕК добовий погодинний графік, який використовується для розрахунку графіка споживання електричної енергії площадок вимірювання групи «б». Добовий погодинний графік для площадок вимірювань групи "б" споживачів розраховується ОСР/НЕК по кожному електропостачальнику на підставі залишкового графіка та частки електропостачальника, визначеної із застосуванням обсягів фактичного споживання електричної енергії за період поза минулого місяця відповідних площадок вимірювань споживачів групи "б" електропостачальника (з урахуванням зміни електропостачальника споживачем та/або зміни групи "а"/"б" станом на 25 число попереднього місяця) [3]. Проблема споживачів групи «б» полягає у тому, що звіт погодинного споживання формує оператор системи розподілу за своїми графіками. ОСР від загального графіку споживання віднімає загальне споживання групи «а» і залишок розподіляє на групу «б», формує погодинний звіт, виходячи з прогнозного обсягу, який подає споживач перед початком місяця. Також по групі «б» немає можливості побачити фактичне погодинне споживання по конкретному об’єкту, тому що в звіті представлені сумарні результати усіх споживачів по конкретній області.

З точки зору НКРЕКП знайшли нібито вдалий спосіб заміщувати дані. Тому що для операторів системи розподілу по факту немає небалансів, тобто немає втрат. Він взяв усі втрати і скинув на тих, у кого немає АСКОЕ або там, де воно не функціонує. Здавалося, що це гарна ідея. А по факту виявилося, що втрат немає, а балансувати не можна, тому що дані недостовірні і на основі цих даних не можна звести баланс.

Якщо ми розглядаємо споживача облік електроспоживання якого здійснюється на базі АСКОЕ, то виникає можливість формувати прогнозні величини, так як обсяг споживання є більш передбачуваним. Також можна впливати на те, щоб сам споживач надавав допоміжні послуги в балансуванні та плануванні. А той комплект даних, що надає оператор системи розподілу, не має жодного відношення до цього споживача, в результаті прогнози на них будувати не можна. Це просто не вірні і не його дані і відповідно ніякого прогнозу не буде.

Відповідно до цього виникає проблема великих відхилень, а там де великі відхилення, великі небаланси за які оператор системи передачі формує рахунки вартості цих небалансів. В результаті кошти виходять з обігу і є недоступними електропостачальникам на досить довгий проміжок часу. Все це все призводить до неефективності ринку, неефективності роботи та неточного формування тарифу для споживачів групи «б».

На основі оптових цін енергопостачальники формують ціни для споживачів, крім цін для населення. Розглянемо приклад проведення розрахунків за поставлену електричну енергію електропостачальником ТОВ «ЕНЕРГОЛАЙТ КОМПАНІ» для промислового підприємства потужністю понад 150 кВт (далі – Завод). Варто зазначити, що Завод має АСКОЕ.

Постачання електричної енергії здійснюється за цінами (тарифами), які розраховуються виходячи із вартості закупівлі електроенергії для потреб Споживача на організованих сегментах ринку електричної енергії, розміру тарифу на послуги з передачі електричної енергії та визначається за формулою 1:

$$Тариф = (РДН + БР_{(к)} - БР_{(пр)}) / V + Т_{(осп)}, \quad (1)$$

де РДН – вартість придбаної електричної енергії за ціною ринку «на добу наперед» у відповідну годину;

$БР_{(к)}$ – вартість придбаної (недозамовленої) електричної енергії за фактичними цінами небалансів у відповідну годину;

$БР_{(пр.)}$ - вартість проданої (надмірно замовленої) електричної енергії за ціною балансуючого ринку у відповідну годину;

V – обсяг поставленої електричної енергії;

$Т_{(осп)}$ – тариф оператора системи передачі.

Розрахунки проводяться в Excel, куди завантажено погодинні ціни ринку «на добу наперед» (РДН), з електронного ресурсу [5], погодинний план споживання від споживача, фактичний погодинний графік споживання, завантажений з платформи Market Management System (MMS), погодинні фактичні ціни позитивного та негативного небалансу з ресурсу [6].

Вартість придбаної електричної енергії за ціною ринку «на добу наперед» розрахуємо за формулою 2:

$$РДН = \sum_{i=30}^{n} Ц_{РДНtn} \cdot V_{tn}, \quad (2)$$

де $Ц_{РДНtn}$ - ціна на РДН у відповідну годину у відповідний день n;

V_{tn} - замовлений обсяг у відповідний день у відповідну годину n.

Знайти обсяги позитивного і негативного небалансу у відповідну годину відповідного дня можна за формулою (3):

$$V_{tнебалансу} = V_{tn} - V_{tn(факт)}; \quad (3)$$

де $V_{tn(факт)}$ - фактичне споживання у певну годину. Дані, що передаються з АСКОЕ і завантажуються на платформу Market management system (MMS).

Якщо $V_{tнебалансу}$ >0 – це позитивний небаланс (надмірно замовлений обсяг електроенергії), якщо $V_{tнебалансу}$ <0 – це негативний небаланс (недозамовлений обсяг електричної енергії).

Вартість придбаної (недозамовленої) електричної енергії за ціною балансуючого ринку у відповідну годину розрахуємо за формулою 4:

$$\begin{aligned} БР_{к} &= \sum_{i=30}^{n} \left| V_{tнебалансу(негат)n} \right| \cdot Ц_{БРк(n)} \\ БР_{к(серпень)} &= 91943,04грн \quad ; \quad (4) \\ БР_{к(вересень)} &= 100463,20грн \end{aligned}$$

де $Ц_{БРк}$ - ціна позитивного небалансу у відповідну годину.

Вартість проданої (надмірно замовленої) електричної енергії за ціною балансуючого ринку у відповідну годину розрахуємо за формулою 5:

$$\begin{aligned} БР_{пр} &= \sum_{i=n}^{30} \left| V_{tнебалансу(позит)n} \right| \cdot Ц_{БР(пр)n} \\ БР_{пр(серпень)} &= 55335,98грн \quad ; \quad (5) \\ БР_{пр(вересень)} &= 88384,51грн \end{aligned}$$

де $Ц_{БРпр}$ - ціна негативного небалансу у відповідну годину.

Для зручності, розрахунки проводилися в таблиці Excel.

Підставивши усі значення в формулу 1, розрахуємо тариф для Заводу:

$$Тариф_{серпень} = (2176172,59 + 91943,04 - 55335,98) / 1707852 \cdot 0,25 = 1,55 грн;$$

$$Тариф_{вересень} = (2959379,77 + 100463,20 - 88384,51) / 2011815 \cdot 0,25 = 1,73 грн$$

За підрахунками, тариф серпня місяця для Заводу склав 1,55 грн, а для вересня – 1,73 грн. Звернемо увагу, що план на серпень місяць складав 1 714 150 кВт·год, а факт 1 707 852 кВт·год. Тобто відхилення плану від факту становить 0,37%. Також маємо кількість позитивного небалансу по даному споживачу 59 098 кВт·год, що становить 3,45% від замовленого обсягу і кількість негативного небалансу 54 354 кВт·год, що становить 3,17%. Тобто небаланси для Заводу за серпень місяць складають приблизно 3% (<5%), що є нормальним показником.

План на вересень місяць складав 2 045 600 кВт·год, а факт 2 011 815 кВт·год. Тобто відхилення плану від факту становить 1,65%. Також маємо кількість позитивного небалансу по даному споживачу 88 726 кВт·год, що становить 4,34% від замовленого обсягу і кількість негативного небалансу
52 249 кВт·год, що становить 2,55%. Тобто небаланси для Заводу за вересень місяць складають до 4% (<5%), що є нормальним показником.

Для порівняння енергопостачальна компанія ТОВ «ЕНЕРГОЛАЙТ КОМПАНІ» має споживачів групи «б». В даному випадку це фізична особа підприємець (ФОП), а саме готелі з сумарним місячним споживанням 400 000 кВт та кіностудія зі споживанням 150 000-200 000 кВт на місяць.

На серпень місяць було замовлено 547 600 кВт·год для 8 готелів та кіностудії. А фактичне споживання склало 591 062 кВт·год. Відхилення плану від факту становить 7,35%.

На вересень місяць було замовлено 606 300 кВт·год, а фактичне споживання – 585 339 кВт·год. Відхилення плану від факту становило 3,46%.

Тариф закриття розрахункового місяця для даних споживачів є більш сталим. Він формується, включаючи усі затрати загальної вартості купленої електроенергії мінус затрати загальної вартості по групі «а». У серпні і вересні тариф становив $T_{Ф,К} = 1,98 грн$.

Порівнюючи відхилення плану і факту Заводу і споживачів групи «б» за серпень $\Delta V_З = 1,65\%$, $\Delta V_{Ф,К} = 7,35\%$ і за вересень $\Delta V_З = 0,37\%$, $\Delta V_{Ф,К} = 3,46\%$ бачимо суттєву різницю.

Серпень	Завод, група «а»	Готелі + кіностудія, група «б»
Плановий обсяг	1 714 150 кВт·год	547 600 кВт·год
Фактичний обсяг	1 707 852 кВт·год	591 062 кВт·год
Відхилення плану від факту	0,37%	7,35%
Тариф	1,55 грн	1,98 грн

Рисунок 2. Дані по споживачам за серпень

Вересень	Завод, група «а»	Готелі + кіностудія, група «б»
Плановий обсяг	2 045 600 кВт·год	606 300 кВт·год
Фактичний обсяг	2 011 815 кВт·год	585 339 кВт·год
Відхилення плану від факту	1,65%	3,46%
Тариф	1,73 грн	1,98 грн

Рисунок 3. Дані по споживачам за вересень

Припустимо, що в готелях та кіностудії впроваджено АСКОЕ. Тоді тариф за ці ж розрахункові періоди зменшиться на:

$\Delta V_{Ф,К} - \Delta V_З = 7,35\% - 1,65\% = 6,98\%$ - за серпень місяць.

(6)

$\Delta V_{Ф,К} - \Delta V_З = 3,46\% - 0,37\% = 1,81\%$ - за вересень місяць.

Тоді тариф становив би:

$$T_{Ф,К серпень_2} = \frac{1,98 \cdot (100 - 6,98)}{100} = 1,84 грн;$$
$$T_{Ф,К вересень_2} = \frac{1,98 \cdot (100 - 1,81)}{100} = 1,94 грн. \quad (7)$$

Розрахуємо економію за формулою 8:

$$E_{серпень} = T_{Ф,К} \cdot V_{Ф,К_{факт}} - T_{Ф,К серпень_2} \cdot V_{Ф,К_{факт}} =$$
$$= 1,98 \cdot 591062 - 1,84 \cdot 591062 = 82748,68 грн$$
$$E_{вересень} = T_{Ф,К} \cdot V_{Ф,К_{факт}} - T_{Ф,К вересень_2} \cdot V_{Ф,К_{факт}} = \quad (8)$$
$$= 1,98 \cdot 585339 - 1,94 \cdot 585339 = 23413,56 грн$$

Отже, за серпень місяць споживач зекономив би 82 748,68 грн, а за вересень 23 413,56 грн і це без врахування небалансів, які також оплачуються.

Впровадження АСКОЕ для готелів та кіностудії. Фінансові розрахунки.

Сучасну АСКОЕ слід розглядати як систему, що включає чотири зв'язаних між собою рівні обладнання і програмне забезпечення, які функціонують одночасно (Рис. 4):

вимірювальні прилади (лічильники електроенергії), які служать для безперервного вимірювання параметрів енергообліку.	пристрої збирання і передавання даних (модеми), які цілодобово накопичують, обробляють і передають вимірювальні дані на наступні рівні.
персональний комп'ютер зі встановленим спеціалізованим програмним забезпеченням, що здійснює підсумкову обробку отриманих даних.	сервер центру зі збору й обробки даних, який на основі отриманої інформації формує платіжні документи для розрахунків за електроенергію.

Рисунок 4. Рівні обладнання сучасної АСКОЕ

Вартість АСКОЕ для готелів та кіностудії оцінюється в суму 600 000 грн.

При вже встановленій АСКОЕ на даних об’єктах, економія складає приблизно

$$E_{ср} = \frac{E_{серпень} + E_{вересень}}{2} = \frac{82748,68 + 23413,56}{2} = 53081,12 грн \text{ в місяць.} \quad (9)$$

Термін окупності АСКОЕ на даних об’єктах становитиме:

$$T_{окупності} = Ц / E_{ср} = 600000 / 53081,12 = 11,3 \text{ місяця.} \quad (10)$$

Прийнятний термін окупності для АСКОЕ – 1,2-1,5 роки. Для споживачів ТОВ «ЕНЕРГОЛАЙТ КОМПАНІ» термін окупності АСКОЕ складатиме менше року. Тобто, впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії для готелів та кіностудії є економічно вигідним.

Висновки

З метою забезпечення розрахунків за поставлену електричну енергію і визначення справедливого тарифу для споживачів є надзвичайно важливим отримання достовірної, відповідної чинним нормативним документам, інформації про постачання товарної продукції (електроенергії, потужності) для організації комерційних розрахунків. Пакет даних повинен бути об'єктивним, достовірним, точним. Для цього дані повинні збиратися і оброблятися автоматизовано, без участі оператора. І це все можна реалізувати за допомогою Smart Metering System або АСКОЕ. Це покращить інформаційну взаємодію споживача і електропостачальника, знизить кількість небалансів, а відповідно, у споживача буде нижчий тариф закриття місяця, а в електропостачальника фінансова складова не буде виходити з обігу. Такий підхід дає можливість підвищення ефективної роботи лібералізованого ринку електричної енергії України, який може ефективно функціонувати лише за умови повної автоматизації обліку електричної енергії.

Список літератури

1. Закон України «Про природні монополії» від 20.04.2000 № 1682-III
2. Про затвердження кодексу комерційного обліку електричної енергії /Постанова НКРЕКП № 311 від 14.03.2018 (у редакції постанови від 2020 №716)
3. Порядок контролю достовірності даних комерційного обліку в АСКОЕ ОРЕ / Розроб.: М. Арбузов, А. Скрипниченко, М. Смик, А. Сливченко, В. Войціцький, В Арбузов (керівник розробки) // Затв. ТОВ «НВП «Преобразователь» 30.04.2013р. – 80 с.
4. Про затвердження Тимчасового порядку визначення обсягів купівлі електричної енергії на оптовому ринку електричної енергії електропостачальниками /Постанова НКРЕКП № 2118 від 28.12.2018.
5. Погодинні середньозважені ціни купівлі-продажу електроенергії URL: https://www.oree.com.ua/index.php/pricectr (дата звернення 24.11.202).
6. Фактичні ціни небалансів за серпень та жовтень 2020 URL: https://ua.energy/uchasnikam_rinku/rezultaty-balansuyuchogo-rynku-2/#1590479495816-2c212666-d2fa (дата звернення 24.11.2020)

науковий керівник: канд.техн.наук, доцент **О.В.Коцар**

Гавор М.І.
Кафедра електропостачання

РОЗРОБКА СПОСОБУ КЛАСИФІКАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ШЛЯХОМ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОГО ДЕРЕВА РІШЕНЬ.

Метою статті було відобразити мій план по здійсненню та написанню магістерської дисертації, а також показати результати дослідження за даною темою.

В ході виконання статті були розглянуто основні принципи аналіз та обробки інформаційних сигналів, досліджено принципи використання вейвлет-перетворень для аналізу інформаційних масивів, розглянуто доцільність їх використання. Було проаналізовано принципи побудови бінарних дерев рішень, вибрана оптимальна структура для аналіз інформаційних сигналів в енергетичній галузі.

***Ключові слова:**, інформаційний сигнал, дерево рішень, вейвлет, вейвлет-перетворення, інформаційний масив даних, вейвлет-коефіцієнти, вейвлет-декомпозиція.*

HavorM. I.
Department of Power Supply

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CLASSIFYING INFORMATION SIGNALS BY CONSTRUCTING AN OPTIMAL DECISION TREE.

The purpose of the article was to reflect my plan for the implementation and writing of a master's thesis, as well as to show the results of research on this topic.

In the course of the article was considered the basic principles of analysis and processing of information signals, were investigated the principles of using weave-transformations for the analysis of information arrays, the expediency of their use was considered. Were analyzed the construction principles of binary decision trees, and was chosen the optimal structure for the analysis of information signals in the energy sector.

Вступ

Метою наукової роботи є дослідження сучасних способів ідентифікації та класифікації інформаційних сигналів, аналіз їх ефективності, переваг та недоліків, а також розробка методу на основі використання структури оптимального дерева рішень.

У даній роботі розглядається метод класифікації інформаційних сигналів, при якому задача класифікації розбивається на два типи: із чітко розділеними кластерами (задача кластер-аналізу) і з умовними границями, які можуть безперервно переходити із одного в інший клас (задача групування).

Тому у даній роботі буде показано метод класифікації інформаційних сигналів на основі використання властивостей вейвлет-перетворення. Спрощення алгоритму буде забезпечено завдяки використанню оптимальної структури дерева рішень, у той же час забезпечується висока точність та швидкодія кластеризації та класифікації.

Актуальність теми

Актуальність роботи полягає в тому, що значна кількість даних в енергетичній галузі являє собою реалізацію випадкового процесу, тому його ідентифікація повинна представляти собою розклад на детерміновану та випадкову складові. Як показує аналіз наукових публікацій, існуючі методи або забезпечують задовільну точність, за умови досить складних алгоритмів їх використання, або на рівні зі швидкодією та простотою алгоритмів навпаки не дозволяють досягти заданої точності. Тобто, вони можуть застосовуватись для вирішення тих чи інших вибіркових задач, але забезпечення оптимального співвідношення між точністю класифікації, швидкодією та простотою алгоритмів залишається досить складною проблемою.

Тому у даній роботі представлений метод класифікації інформаційних сигналів на основі використання пакетних вейвлет-перетворень для побудови збалансованого дерева рішень.

Принципи аналізу та обробки інформаційних сигналів

Теорія та методи аналізу сигналів передбачають їх математичні та функціональні перетворення, основним завданням таких маніпуляцій є отримання відомостей щодо специфічних особливостей об'єктів чи процесів, що їх породжують. В загальному, до основних завдань теорії аналізу сигналів можна віднести:

- оцінювання кількісних характеристик сигналів (апертура, енергія, потужність тощо);
- оцінювання складу сигналів, шляхом розкладання на елементарні, зокрема гармонійні, компоненти;
- оцінювання міри подібності чи відмінності сигналів, їх реалізацій та кількісних оцінок.

При цьому основною платформою для виконання класифікації інформаційних сигналів є дискримінація, кластеризація та групування. При дискримінаційному аналізі класи задаються площинами ймовірностей або навчальними вибірками. Поняття дискримінації має декілька синонімів: розпізнавання образів, діагностика, автоматична класифікація, статистична класифікація.

Використання вейвлет-перетворення для аналізу та обробки сигналів.

Основна область застосування вейвлет-перетворень – аналіз і обробка сигналів і функцій, нестаціонарних в часі або неоднорідних в просторі, коли результати аналізу повинні містити не тільки загальну частотну характеристику сигналу (розподіл енергії сигналу по частотних складових), але і відомості про певні локальні координати, на яких проявляють себе ті або інші групи частотних складових, або на яких відбуваються швидкі зміни частотних складових сигналу. В порівнянні з розкладанням сигналів на ряди Фур'є, вейвлети здатні з набагато вищою точністю представляти локальні особливості сигналів. Загальний принцип побудови базису вейвлет-перетворення полягає у використанні масштабного перетворення і зсувів. Будь-який з найчастіше вживаних вейвлетів породжує повну ортонормовану систему функцій з кінцевим носієм побудованих з використанням масштабного перетворення і зсувів. Саме за рахунок зміни масштабів вейвлети здатні виявити відмінність в характеристиках на різних шкалах, а шляхом зрушення проаналізувати властивості сигналу в різних точках на всьому інтервалі, що вивчається. Через властивість повноти цієї системи можливо зробити зворотне перетворення.

Основні принципи вейвлет-перетворення

Як відомо, згідно з теорією вейвлет-перетворення будь-яку послідовність дискретних вибірок x(t_i) можливо представити у вигляді упорядкованої сукупності їх коефіцієнтів розкладання по системі масштабних функцій $\varphi_{\mathrm{m,k}}$ та вейвлетів $\psi_{\mathrm{m,k}}$. Термін вейвлет-перетворення об'єднує два типи перетворень - пряме та зворотне, яке, відповідно, переводить досліджувану функцію f(x) в набір вейвлет-коефіцієнтів і назад. Розрізняють неперервне та дискретне перетворення інформаційних сигналів. Масштабні функції та вейвлети визначаються відповідно до теорії Малла, запропонованої для розрахунку апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів, інтерпретуються як послідовна двуполосна фільтрація вхідного сигналу, за допомогою каскадно-з'єднаних блоків фільтрів низької та високої частоти.

При цьому каскадування проводиться по низькочастотній області, через припущення, що ця область містить більше інформації про сигнал. В результаті отримуємо так зване "однобоке дерево". На практиці, для багатьох реальних сигналів дане твердження не зовсім вірне, і тому більш доцільним є застосвання пакетних вейвлетів. В результаті отримаємо збалансоване дерево вейвлет-перетворення.

Як відомо, таке пакетне вейвлет-перетворення являється адаптивним. Ця адаптація не потребує навчання або відомостей про статистичні властивості сигналів і дозволяє більш точно враховувати особливості аналізуємого сигналу шляхом вибору відповідної оптимальної форми дерева розкладу. В процесі дослідження це дозволяє забезпечити мінімальну кількість вейвлет-коефіцієнтів при заданій точності стискання/відновлення сигналів, їх класифікації.

Побудова оптимального дерева рішень

В основу розробляємого методу кластеризації (класифікації) інформаційних сигналів покладено властивість частотно-просторового розподілення вейвлет-коефіцієнтів і відповідно їх енергії в залежності від структури інформаційного сигналу.

Дослідження проводиться в плані розробки метода класифікації та стискання/відновлення графіків електричного навантаження(ГЕН) за допомогою побудови оптимального дерева тому, що, по-перше, бінарні дерева доволі просто можуть бути представлені у вигляді списків, або масивів. При цьому кожний елемент дерева має поле даних і два поля покажчиків. Один покажчик зв'язує елемент з правим нащадком, а другий – з лівим. Бінарне дерево завжди має строго означене число вершин на кожному рівні, які нумеруються зліва – направо послідовно за рівнями і використовуються в якості індексів у одномірних масивах.

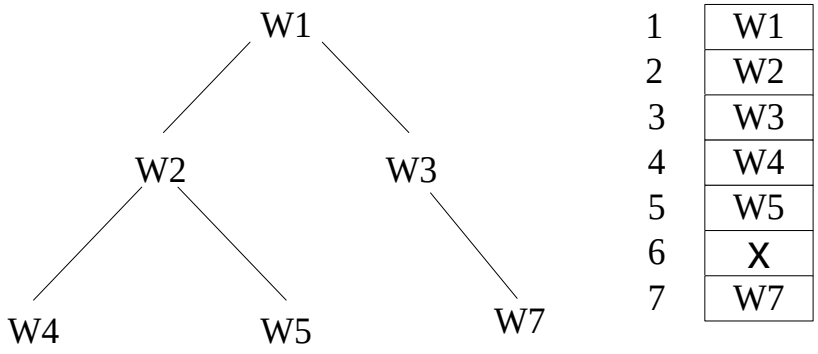


Рисунок 1– Представлення бінарного дерева у вигляді масиву

Також, в зв'язку з тим, що в процесі обробки число рівнів дерева суттєво не змінюється, такий спосіб представлення бінарного дерева є значно більш економічним на відміну від стекової структури. При цьому, адреса будь-якої вершини в одномірному масиві обчислюється, як

$$agp = (2k - 1) + (i - 1),$$

де k – номер рівня вершини, i – номер на рівні k в повному бінарному дереві.

Як було відмічено раніше, за допомогою побудови оптимального дерева декомпозиції при проведенні зворотної вейвлет-декомпозиції (реконструкція сигналу) незначні, інформаційно-надлишкові, або зовсім непотрібні деталі сигналів виключаються. Мірою оптимальності при цьому являється кількість апроксимуючих і деталізуючи коефіцієнтів для реконструкції сигналу при заданій похибці.

Побудова оптимального дерева декомпозиції проводилась шляхом визначення ентропії вузлів і його апроксимуючих і деталізуючих коефіцієнтів – нащадків. Якщо ентропія вузла була менше ентропії нащадків, подальша декомпозиція в даному вузлі закінчувалась і дерево

“обрізалось”.

Для побудови вектора ознак класифікації ГЕН на основі оптимального дерева декомпозиції мають бути проаналізовані ГЕН за певний період. Для ГЕН можна виділити три класи: вихідні, святкові дні та робочі дні. В межах одного класу структури оптимальних дерев декомпозиції буде однакова. Приклади оптимальних дерев, на основі наукових статей, відповідних класів можуть бути представлені вигляді рисунку 2.

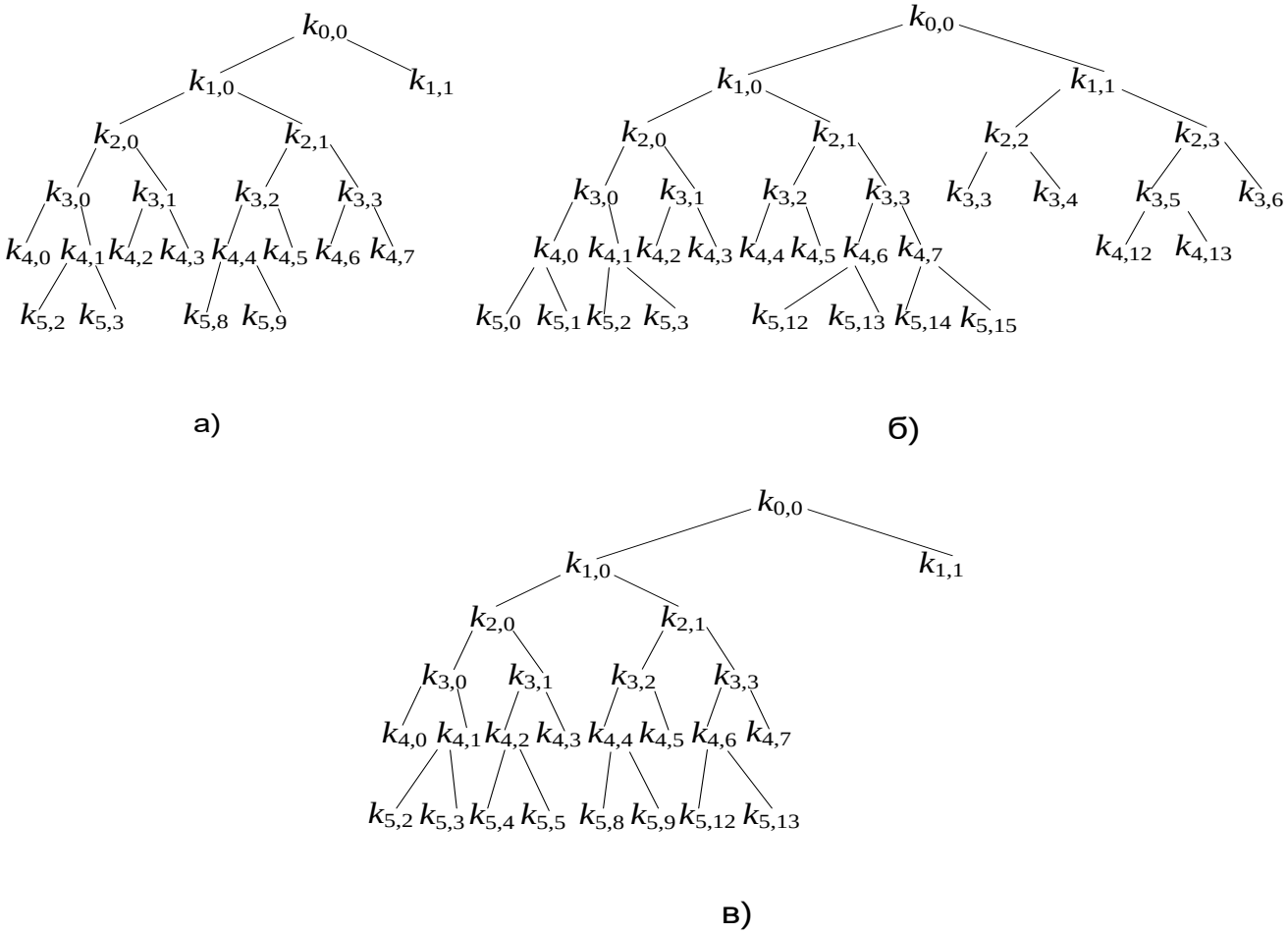


Рисунок 2 – Оптимальні дерева: а) – вихідні, б) – святкові, в) – робочі дні

Порогові значення δ_1, δ_2, δ_3 – адаптуються до технологічного процесу, характеру виробництва на стадії попередньої статистичної обробки реальних графіків. Проведений порівняльний аналіз даного методу кластеризації з відомими показав наявність похибки 1- го роду у межах ~ 8 %, та 2- го роду у межах ~ 7,5 %. Економія пам’яті для зберігання значень ГЕН знаходиться у
межах 35 %, швидкість класифікації та пошуку типових графіків у базі даних збільшується в 1,6 рази.

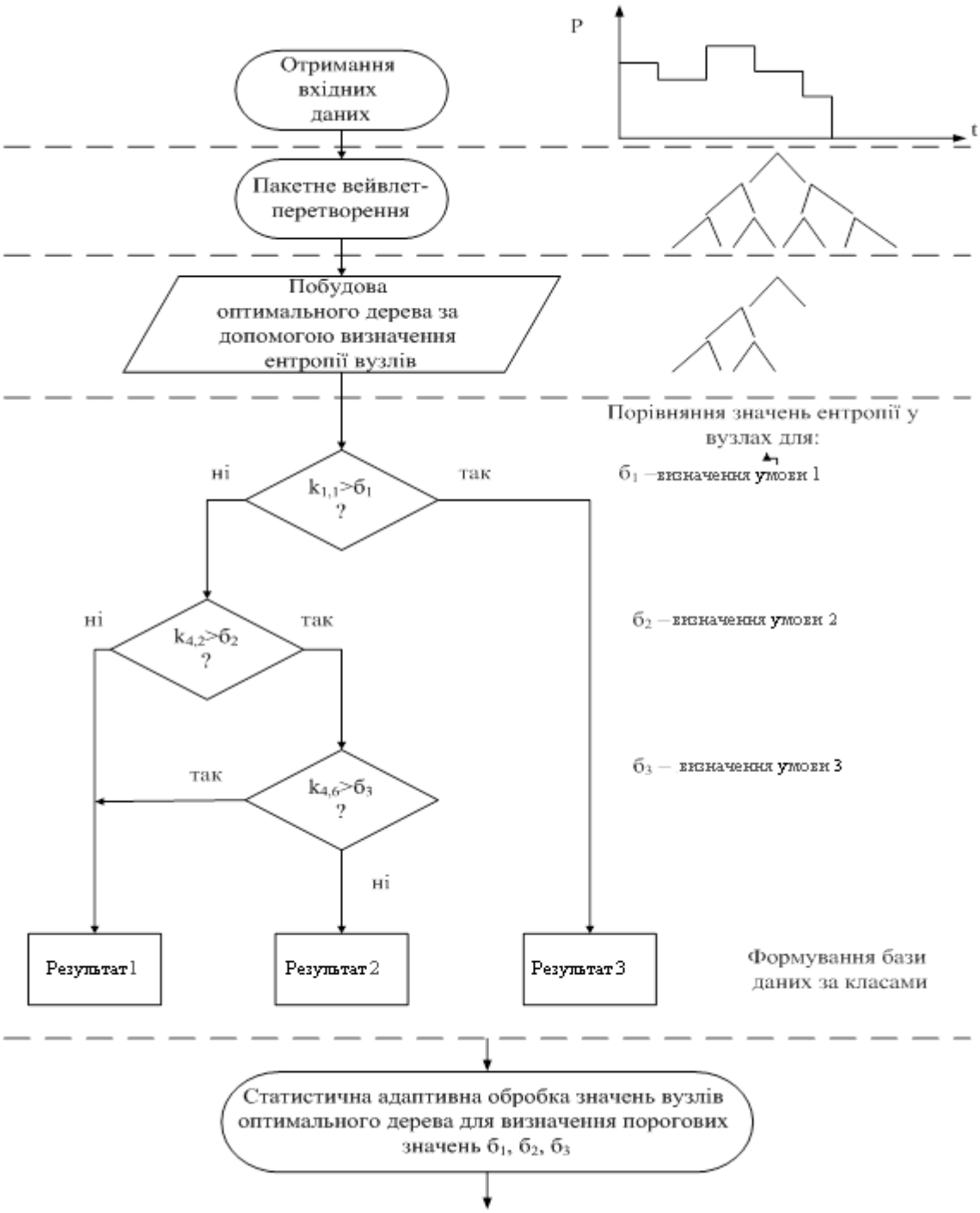


Рисунок 3 – Алгоритм побудови дерева рішень для ГЕН по трьом визначеним класам.

Висновок

Розроблений метод класифікації інформаційних сигналів на основі синтезу використання частотно-просторових властивостей вейвлет-перетворення, алгоритму застосування оптимальної структури дерева рішень та енергетичних властивостей вейвлет-коефіцієнтів забезпечує високу точність та швидкодію. Точність класифікації залежить як від кількості базових вибірок, так і від способу коригування еталонних характеристик кластерів.

Застосування методу класифікації на основі відносної ентропії за рівнями вейвлет-декомпозиції з використанням оптимального дерева декомпозиції завдяки стійкості його

рішень до наявності шумових компонент у поєднанні із високою точністю та швидкодією виглядає найбільш доцільним для класифікації інформаційних сигналів.

Підвищення точності класифікації інформаційних сигналів методом відносної ентропії на основі застосування оптимального дерева рішень досягається підвищенням об'єму базових вибірок та адаптивним коригуванням еталонних характеристик кластерів

Перелік використаних джерел

1. Варакин Л. Е. Теория систем сигналов / Леонид Егорович Варакин. – Москва: «Советское радио»: Редакция литературы по вопросам космической радиоэлектроники, 1978. Ст.9-22.
2. Орлов А.И. Статистические методы и анализ данных// Социология. – 1991.- № 2. - С. 28 – 49.
3. Дж. Вэн Райзин. Классификация и кластер. Перевод с английского П.П.Кольцова под редакцией Ю.И.Журавлева// Издательство. – М.:Мир, 1980. – 389 с.
4. Daniuseviciute L. Wavelet-based Entropy Analysis of Electromyography during 100 Jumps/L. Daniuseviciute, K. Pukenas, A. Skurvydas // Electronics and Electrical Engineering. – 2010. – № 8 (104). – P. 93 – 96.
5. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / Изд-во иностр. Литературы. – Москва. – 1963. – 832 с.
6. Шитов А. Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных : дис. канд. фіз.-мат. наук : 05.13.18 / Шитов Андрей Борисович – Иваново, 2001. – 125 с
7. Волошко А.В. Класифікація інформаційних сигналів за відносною ентропією по рівнях вевлет-декомпозиції /А.В. Волошко, Т.М. Лутчин, Д.Ю. Терещенко// Енергетика, екологія. Людина. - 2015. С. 20 – 27.
8. Бурнаев Е.В. Применение вейвлет преобразования для анализа сигналов: учебно-методическое пособие, - М.:МФТИ,2007-138с.
9. Mallat S. A wavelet tour of signal processing / Stphane Mallat. // 2. – 2005. – С. 671.

УДК 621.316

Г.О. Галушко
Кафедра електропостачання

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ

У даній статті розглянуто комунально – побутового споживача. Сучасні системи обліку для комунально-побутового споживача. На основі аналізу ринку України було сформовано перелік виробників лічильникі

Ключові слова: *енергетика, лічильник, мережа, АСКОЄ*

ANALYSIS OF MODERN ELECTRICITY ACCOUNTING SYSTEMS OF COMMUNAL CONSUMERS

This article discusses modern accounting systems for household consumers. Based on the analysis of the Ukrainian market, a list of manufacturers of meters and special management programs was formed.

Key words: *energy, meter, measure, ASKOE*.

Вступ

На сьогодні побутовий споживач є однією з найбільших проблем не лише України, але і світу. У зв'язку з прийняттям закону про ринок електричної енергії, стало потрібним його контролювати та прогнозувати споживання, а також стимулювати до активної участі на ринку.

Розвиток та удосконалення систем обліку електричної енергії є однією з задач розвитку сучасної електроенергетики. Це надає можливість для впровадження новітніх тарифів та контролювання потоків енергії без великих втрат. Впровадження нових систем обліку дозволяє своєчасно виявляти крадіжки електричної енергії у комунально- побутового споживача та робити точний прогноз споживання електричної енергії.

Метою статті є аналіз сучасних систем обліку електричної енергії, які успішно впроваджуються в Україні. Ознайомлення з особливостями їх формуванням.

Матеріал та результати досліджень

Комунально-побутовим споживачем - є фізична особа, яка використовує електричну енергію для забезпечення власних побутових потреб, що не включають професійну та комерційну діяльність, на підставі договору про постачання електричної енергії з електропостачальником [1]. Даний споживач складає 30% ринку електричної енергії, саме тому він є досить сильним та в одночас самим не контрольованим гравцем, тому інтелектуальні системи обліку в даному напрямку розвиваються швидкими темпами. Вживання терміну АСКОЕ в широкому обсязі почалося приблизно декілька десятків років, а саме тоді коли лічильники почали широко використовувати в побуті і на промисловості і виникла необхідність якось контролювати потоки електричної енергії.

Розглянемо особливості впровадження системи обліку АСКОЄ.

Встановлення автоматизованих систем має три обов'язкові рівні:

– Нижній рівень-до якого входить розроблення та затвердження Робочого проекту АСКОЕ.

– Середній рівень-це безпосередньо монтажні роботи з встановлення лічильників згідно проекту, що було погоджено на нижньому рівні.

– Верхній рівень- включає в себе встановлення програмного забезпечення АСКОЕ.

–

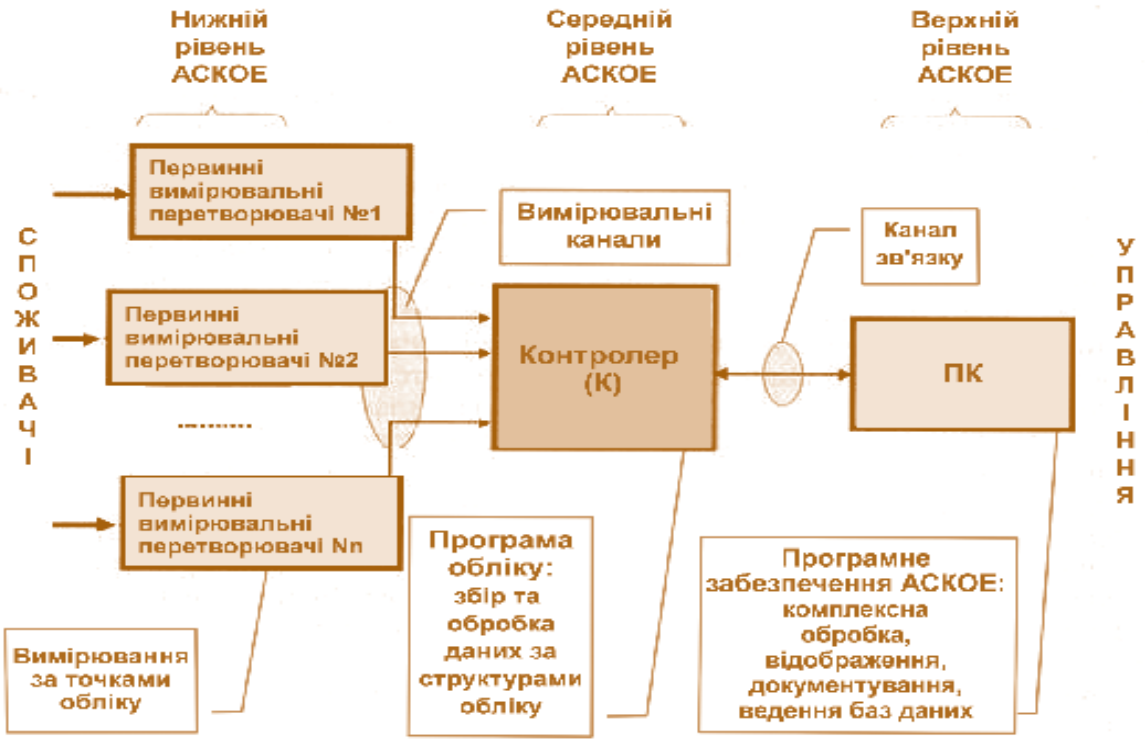


Рисунок 1 – Узагальнена схема трьохрівневої АСКОЄ[2]

Серед працюючих систем АСКОЄ в Україні найбільше поширені telegestore та novasys «energysale» розглянемо їх більш детально.

Система telegestore

Система складається з трьох основних частин: дистанційної системи обліку, системи управління абонентами і потенційної системи надання додаткових оплачуваних послуг. Як комунікаційного середовища для передачі інформації використовується розподільна мережа низької напруги (PLC-технологія), а також телекомунікаційна мережа загального користування. Архітектура системи приведена на рис. 2



Рисунок 2- Система telegestore .[3].

АСКОЕ novasys «energysale».

Розроблена компанією NIK для забезпечення обліку комунально-побутового споживача. Дана система забезпечує контроль побутової мережі, захищає її від крадіжки, також здійснює регулювання використання електроенергії відключаючи боржників від мережі. Складає звіти про небаланс електроенергії на підстанціях та будинках. Ліквідує без облікове споживання енергії побутовими споживачами. Забезпечує швидку передачу даних на верхній рівень.

Система noyasys, проводить збір даних за допомогою: Ethernt, PLC, радіоканал 2,5 ГГ ц; Дана система може забезпечити високу точність даних незалежно від кількості квартир; дозволяє здійснювати моніторинг віддалено або безпосередньо на самій апаратурі системи збору даних. Має власну пам'ять для фіксації втручання в цілісність системи.

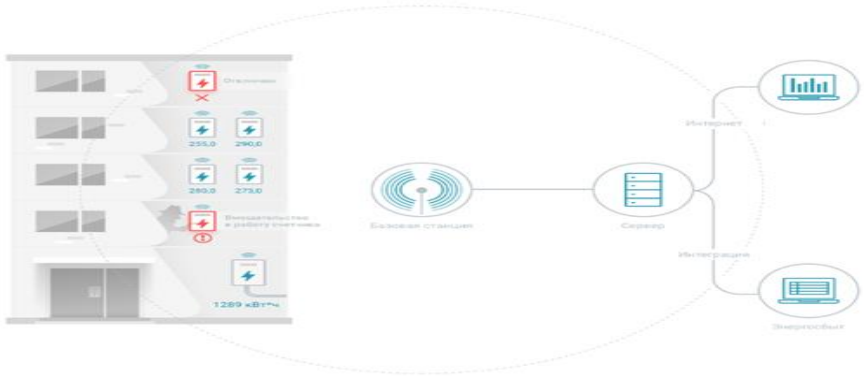


Рисунок 3- Загальний вигляд улаштування автоматизованого обліку noyasys [4]

Електронний лічильник об'єднує в собі функції приладу обліку, переривника ланцюга і пристрої зв'язку з каналом розподільної мережі (DLC). Лічильник вимірює активну і реактивну енергію, розроблений з урахуванням міжнародних стандартів (CEN 61036, CEN 61268) і має наступні основні параметри: клас точності - 1, діапазон струмів 5-40 А чи 5-50 А, термін служби 15 років. Концентратор, встановлений майже на кожній трансформаторної підстанції 20; 10 / 0,4 кв, здатний управляти передачею інформації як в центральну систему, так і в електронні лічильники.

Проведемо аналіз виробників лічильників України

На ринку України присутні такі виробники: вітчизняні (рис.4) та закордонні. Найпоширенішими серед вітчизняних компаній є підприємства NIK та Teletec.

Відсоткові дані наведемо за допомогою програми Microsoft Excel.

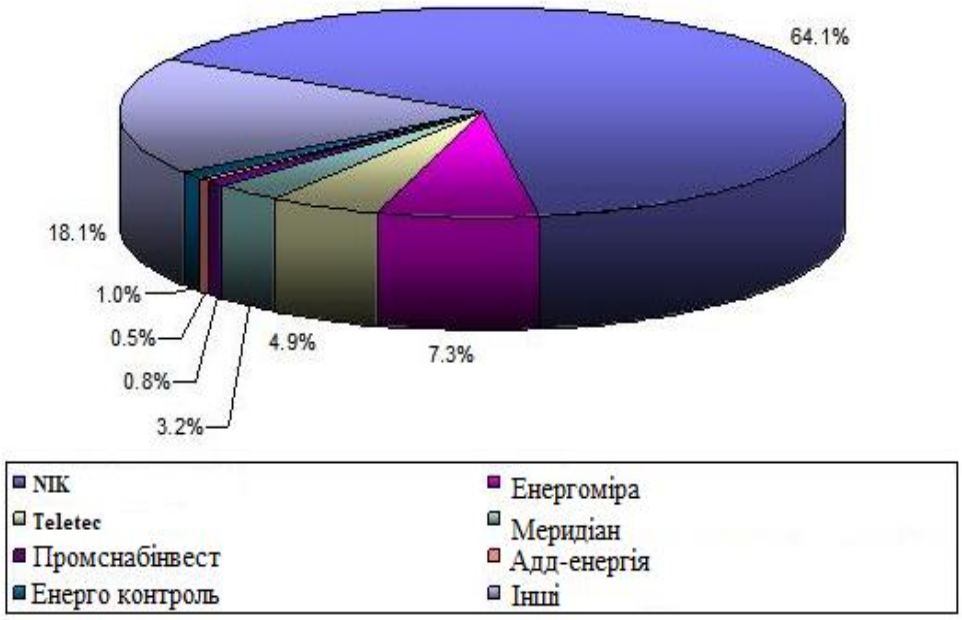


Рисунок 4– Діаграма розподілу на ринку вітчизняних лічильників

Висновок

Вище наведені системи обліку зручні та вигідні для всіх учасників ринку. Дані системи робить облік електроенергії не тільки простим, але й економічним. PLC зв'язок в режимі реального часу дозволяє зчитувати дані. Впровадження системи не потребує додаткових витрат на прокладку та захист лінії зв'язку, а лічильники електроенергії готові до роботи уже спочатку включення в мережу. Контролеру даних постачальника більше не потрібно доступу до приміщення де встановлений прилад обліку, інформація з лічильника автоматично, або по запиту передається на необхідний рівень АСКОЕ розміщений в енергокомпанії. Використання даної системи обліку значно збільшує точність обліку а значить і точність розрахунку за відпущену електроенергію. Використання PLC технології дозволяє швидко виявити непрацюючі лічильники, а значить запобігати витратам енергії.

Список використаної літератури

1. С.П. Денисюк, Т.М. Базюк «Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах» Вінниці 2014. С 75 – 79

2. «Автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии бытовых потребителей на основе PLC-технологий» веб-сайт. URL: https://sistema_telegestore.

3. «Структура АСКОЕ, засоби та способи зв'язку що забезпечують інформаційну взаємодію рівнів системи». Веб-сайт. URL: http://derjavne-pidpriyemstvo-doneceka-vugilena-energetichna-kompaniy-v14-stor-26 (дата звернення: 1.06.2019).

4. «Каталог NIK». Веб-сайт. URL:http://www.nik.net.ua/files(дата звернення: 1.06.2019).

УДК 621.314

Дерев'янко Д.Г. к.т.н.,
Гілевич К.М., Дудко К.Д.
Кафедра електропостачання

БЛИСКАВКОЗАХИСТ НАЗЕМНИХ СЕС

Розглянуто проблеми, які можуть завадити функціонуванню наземної СЕС. Запропоновано шляхи вирішення проблем пов'язаних із шкодою від прямих ударів блискавки (ПУБ) для наземних СЕС. Досліджено активний і пасивний типи блискавкозахисту для наземних СЕС та здійснено їх моделювання.
Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, сонячна електрична станція, енргоефективність, блискавкозахист, прямі удари блискавки, пасивний блискавкозахист, активний блискавкозахист, SWOT-аналіз.

Problems that may interfere with the functioning of the ground SES are considered. A way to solve the problem of damage from direct lightning strikes (PUB) for ground SES is proposed.
Active and passive lightning protection for terrestrial SES and their graphic modeling are investigated.
Keywords: renewable energy sources, solar power plant, energy efficiency, lightning protection, direct lightning strikes, passive lightning protection, active lightning protection, SWOT-analysis.

Вступ. Український сектор енергетики прагне змінити політику функціонування орієнтуючись на рішення і інновації Європи у розвитку відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Згідно «Нова Енергетична стратегія України до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» плануються реформи, які збільшать частку ВДЕ до 25% в Україні [1]. Це дасть змогу зробити енергетичний сектор України цікавим для іноземних інвесторів, зменшить частку шкідливих викидів та стане кроком для імплементації Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди в українське законодавство.

Приріст потужностей СЕС Україні з 2018 року до 2020 зріс у 7 раз. Встановлена потужність СЕС на січень 2020 року стновить 5300 тис.МВт [2] Із зазначених даних можна зробити висновок, що сонячна енергія є популярним видом ВДЕ в Україні. Географічне розташування України та її кліматичні зони дозволяють впроваджувати будівництво СЕС та розвивати дану галузь ВДЕ однак у деяких Південних та Східних регіонах ризик потрапляння блискавки у сонячну станцію є істотно великий (див. рис. 1).

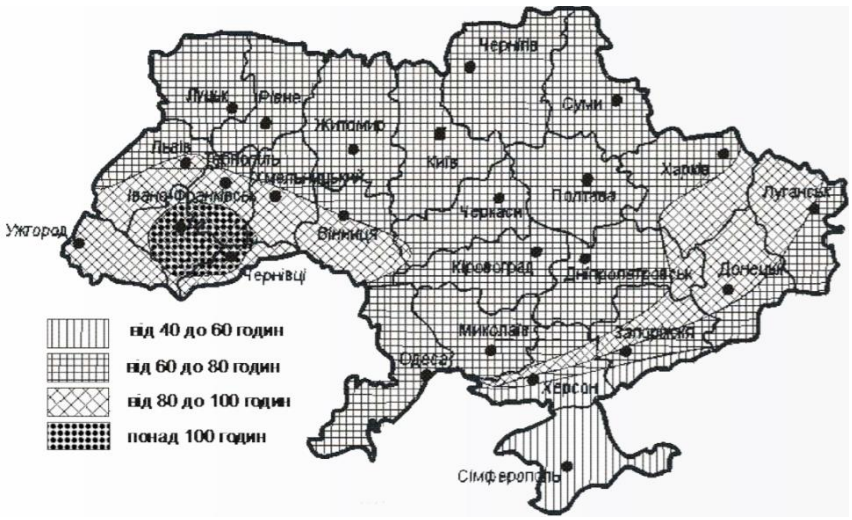


Рисунок 1 – Карта середньої тривалості гроз за рік у годинах на території України [3]

Удар блискавки у СЕС наземного типу може призвести до механічного пошкодження обладнання, пожежі та спричинити вибух, омічне нагрівання провідників, виділення небезпечних продуктів – небезпечних хімічних речовин, ураження електричним струмом людей та тварин через напругу дотику і крокову напругу, тому блискавкозахист є важливим вирішенням перелічених проблем.

Мета: дослідити роботу активного блискавкозахисту та здійснити моделювання на прикладі спроектованої СЕС. Провести вдосконалення системи блискавкозахисту. Здійснити SWOT-аналіз обраної системи блискавкозахисту.

Завдання: вивчити структуру та роботу блискавкозахисту; провести впровадження активного блискавкозахисту для наземної СЕС.

1. Структура блискавкозахисту

Система захисту від прямих ударів блискавки включає у себе:

1. Блискавкоприймач – частина конструкції блискавковідводу (зазвичай виготовлена з алюмінію, сталі та міді,), яка перехоплює блискавку і приймає прямий удар, направляючи струм блискавки до підземної частини блискавковідводу – заземлювача. Блискавкоприймачі можуть складатися з довільної комбінації таких елементів: стрижнів, натягнутих дротів (тросів), сітчастих провідників (сіток) .

2. Заземлювачі – металеві або залізобетонні конструкції будівель, споруд, зовнішніх установок, опор блискавковідводів, що стоять окремо, тощо, які перебувають у контакті з землею.

3. Струмовідвід – частина конструкції блискавковідводу яка призначена для відведення струму блискавки від блискавкоприймача до заземлювача та прокладається по прямих і вертикальних лініях, щоб шлях був найкоротшим. [3]

2. Пасивний блискавкозахист наземної СЕС

Розглянемо функціонування пасивного блискавкозахисту на прикладі СЕС запроектованої у рамках виконання бакалаврського проекту Гілевич К.М., за темою «Організація блискавкозахисту та заземлення наземної сонячної електростанції». Блискавкозахист здійснювався для наземної СЕС промислового призначення, яка розташована у Київській області. Для захисту від прямих ударів блискавки (ПУБ) було запропоновано використовувати одиничні стрижньові блискавковідводи, блискавкоприймач на гребінь компанії LEO LIGHTMAN M10/09. [4] (див рис. 2).

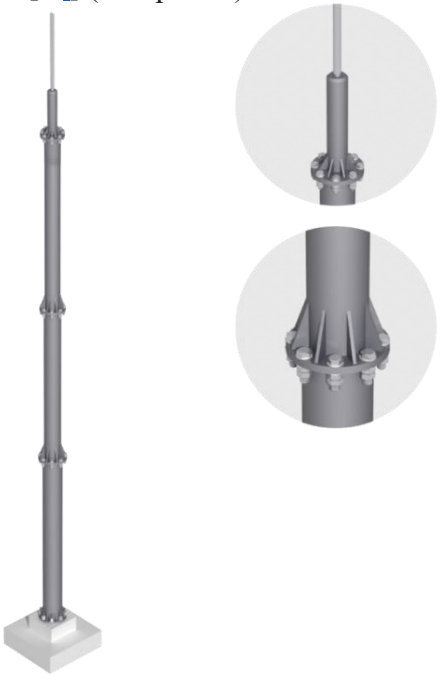


Рисунок 2 – Блискавкоприймач на гребінь компанії LEO LIGHTMAN M10/09

Модель системи стрижньового блискавкозахисту запроектованої СЕС наведено на рисунку 3:

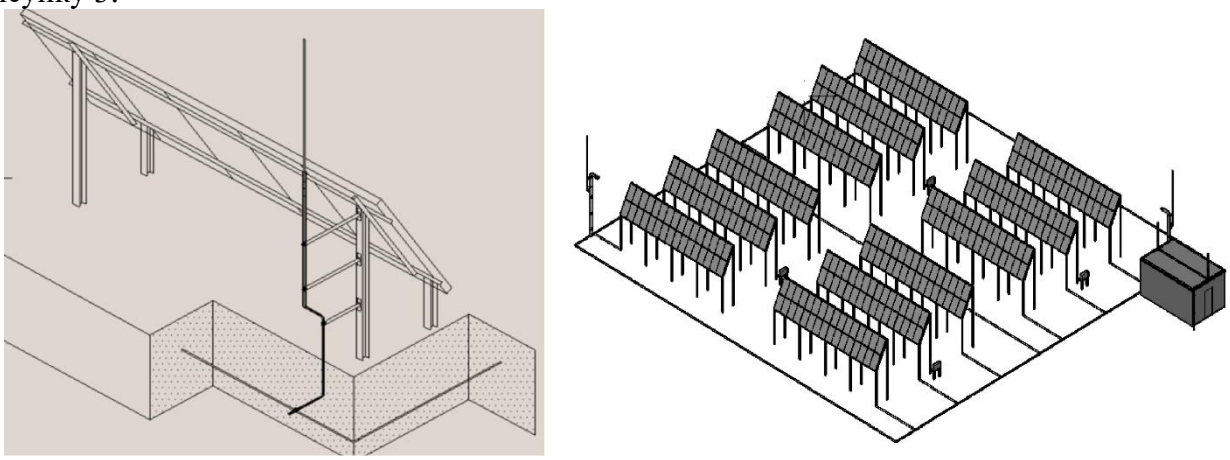


Рисунок 3 – Модель системи стрижньового блискавкозахисту наземної СЕС

Вихідні дані розрахунку блискавкозахисту спроектованої СЕС наведено у таблиці 1. Радіус захисного косинуса було визначено методом радіуса захисного конуса одиничного стрижньового блискавковідводу для зовнішніх областей захисту системи подвійного стрижньового блискавковідводу.

Таблиця 1 – Вихідні дані розрахунку блискавкозахисту спроектованої СЕС

Показники	
Рівень блискавкозахисту (РБЗ)	I
Загальна площа СЕС-1, м^2	3557
Висота стрижня блискавковідводу, м	4,4
Загальна висота конструкції, м	6,8
Всього стрижнів, шт	80
Надійність захисту від ПУБ	0,9

Радіус горизонтального перерізу захисту одиничного стрижньового блискавковідводу знаходиться за формулою:

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0},$$

де r_0 – радіусом конуса на земній поверхні;
h_0 – висотою конуса;
h_x. – висота блискавковыдводу.

Радіус захисного косинуса СЕС становить:

$$r_x = \frac{8{,}16 \cdot (5{,}78 - 2{,}4)}{5{,}78} = 4{,}76.$$

Зона захисту стрижньових блискавковідводів для наземної СЕС:

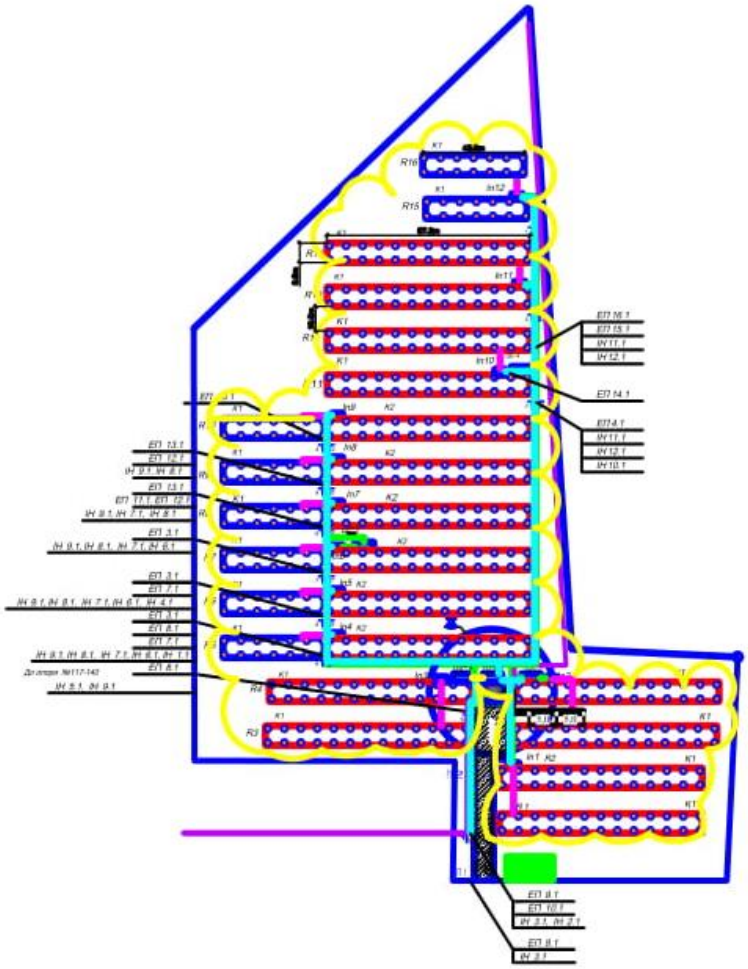


Рисунок 3 – Зона захисту стрижньових блискавковідводів для наземної СЕС

3. Сучасний активний блискавкозахист на заміну пасивному

На сьогоднішній день технології стрімко розвиваються, вдосконалюються системи захисту від перенапруги та струмів короткого замикання тощо. Але фактор впливу на обладнання, особливо СЕС, погодних умов таких, як блискавка, нікуди не зник, пасивний блискавкозахист зараз не дуже актуальний, якщо брати до уваги, що вже існує активний блискавкозахист.

Ідея активного блискавкозахисту – направити потік іонів вгору, на зустріч блискавки. Причому направити потік потрібно швидше і раніше, ніж це відбувається природним шляхом. Для цього в активну головку, в більшості випадків, встановлюється конденсатор. Цей конденсатор, а також працездатність всієї системи слід регулярно перевіряти після кожного удару блискавки, а також перед кожним грозовим сезоном, так як це вже може бути зовсім не активний блискавкоприймач.

Для впровадження активного блискавкозахисту проведемо SWOT-аналіз із вже впровадженим щоб оцінити ефективність та доцільність переходу від "класичного" до новітнього захисту від ПУБ СЕС.



Рисунок 3.1 – Активний блискавкоприймач [5]

Таблиця 3.1 – SWOT-аналіз активного блискавкозахисту СЕС

Сильні сторони	**Слабкі сторони:**
• Принцип дії: електронна система викликає іонізацію значно раніше і з більшою напруженістю • Радіус захисту одного струмовідводу до 100м • Зона захисту має вигляд капсули • Монтаж, технічне обслуговування та ремонт пропорційні кількості елементів системи • Мала трудомісткість монтажу	• Вартість оновлення старої системи блискавкозахисту • Не досконала документна база щодо проектування і експлуатації
Можливості:	**Загрози:**
• Блискавкозахист будь-якого виду об’єктів • Підтримка вітчизняного виробника • Встановлення сучасного обладнання	• Непередбачуваність блискавки • Неможливість 100% захисту

Виходячи зі SWOT-аналізу, можна зробити висновок, що впровадження системи активного блискавкозахисту СЕС є доцільним. Для захисту від ПУБ будуть використовуватися одиничні активні стрижньові блискавковідводи, блискавкоприймач на гребінь компанії GROMOSTAR 60 і GROMOSTAR 45. [6]

Данні про категорію захисту та площу СЕС наведені в таблиці 2.1. Радіус захисту одного активного струмовідводу вказані у каталозі.

Зона захисту активних стрижньових блискавковідводів для наземної СЕС показана на рисунку 3.2

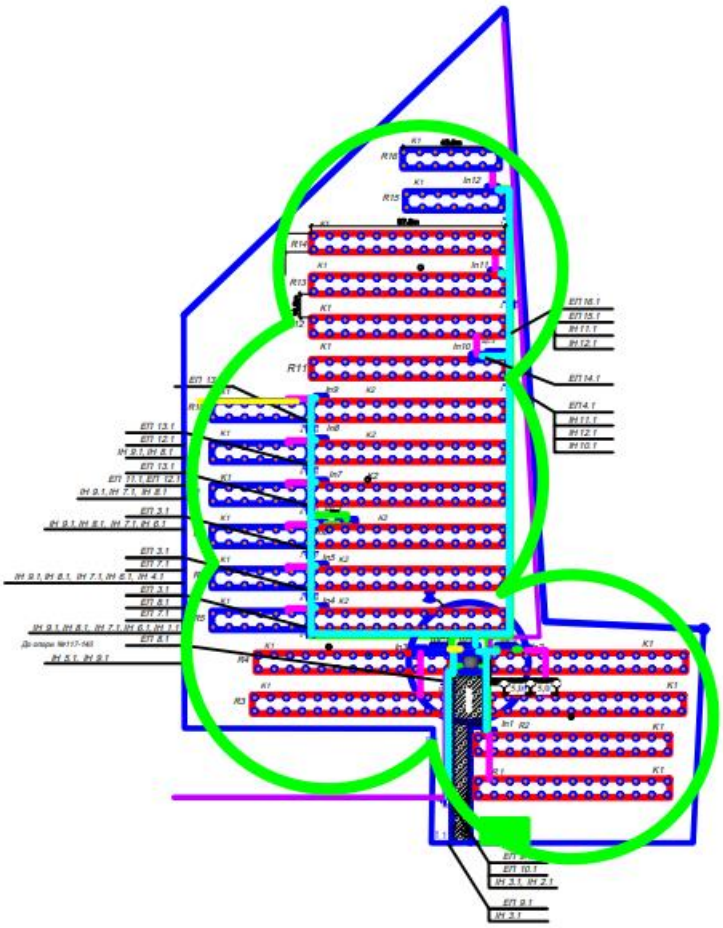


Рисунок 4 – Зона захисту активних стрижньових блискавковідводів для наземної СЕС

Висновок: Запропоновані заходи впровадження системи активного захисту від блискавки дають змогу забезпечити безперебійну роботу наземної СЕС,, уникнення скорочення терміну використання та зайвих економічних витрат на заміну зіпсованих фотомодулів, знижені витрати та трудомісткість монтажу.

Список використаних джерел

1. «Нова Енергетична стратегія України до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358.

2. Всатонвлені потужності СЕС і їх приріст в Євросоюзі й деяких країнах світу URL: https://www.solarpowereurope.org/eu-market-outlook-for-solar-power-2019-2023/

3. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (IEC 62305:2006, NEQ) Наказ від 27.06.2008 № 269 Про прийняття національного стандарту дата скасування дії 01.11.2019 URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=40238

4. Електронний каталог URL: https://www.leolightman.com/product-details/m10/

5. Активний блискавкоприймач URL: https://gromovyk.com.ua/p510530096-aktivnij-bliskavkoprijmach-gromostar.html

6. Електронний каталог URL: https://tdsb.com.ua/ru/elko-bis/gromostar/

Гнатюк І.А.
Кафедра електропостачання

РОЗРОБКА МЕТОДУ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація. *У даній роботі розглянуто метод кластеризації інформаційних сигналів на основі адаптивного коефіцієнта відхилення відносно загальної вибірки значень. Розроблено спосіб визначення чітких границь між кластерами, які складаються з середніх потужностей вейвлет-коефіцієнтів по субсмугах розкладання.*
Abstract. *In this paper, the method of clustering information signals based on the adaptive deviation coefficient relative to the total sample of values is considered. A method has been developed to determine clear boundaries between clusters, which consist of the average power of wavelet coefficients over the decomposition subbands.*
Ключові слова. *Графік електричних навантажень, вейвлет-перетворення, кластеризація.*
Keywords. *Schedule of electrical loads, wavelet transform, clustering.*

ВСТУП

В даний час вейвлет-перетворення набуло широкого застосування для аналізу нестаціонарних інформаційних сигналів. Доцільність його використання в електроенергетиці обумовлюється тим, що графіки електричних навантажень (ГЕН) носять аперіодичний і нелінійний характер. З огляду на, що вейвлет-аналіз являє собою особливий тип лінійного перетворення інформаційних сигналів і відображаються цими сигналами фізичних даних про процеси і фізичних властивості природних середовищ і об'єктів, даний метод може бути успішно використаний для математичної обробки необхідних сигналів. З його допомогою можна не тільки виявити характерні частоти сигналу, але і отримати відомості про певні локальні координатах, при яких проявляються ці частоти [1].

Мета роботи. Створити стійкий метод кластеризації вимірюваних характеристик енергосистеми, результат якого не залежав би від сезонності і форм ГЕН.

МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕНЬ

У вейвлет-спектрі, сформованому на основі вейвлет-пакетів, усереднюється потужність розрахованих вейвлет-коефіцієнтів (апроксимуючих і деталізуючих) в межах кожної субполоси розкладання (km, n (i)). Усереднені коефіцієнти ($P_{m,n}$) нормуються і, відповідно до їх місцями в загальній піраміді вейвлет-пакетів (зліва направо і зверху вниз) [2], перетворюються в вектор ознак кластеризації Y, m - крок розкладання; N - загальна кількість вейвлет-коефіцієнтів на m-му кроці розкладання; n - порядковий номер вейвлет-коефіцієнта на певному етапі розкладання; k m, n - значення вейвлет-коефіцієнта на 5-му кроці розкладання.

Спочатку визначається вид закону розподілу нормованих коефіцієнтів вектору ознак. Передбачається, що члени ряду (вектор ознак) незалежні один від одного і носять випадковий характер. Для встановлення закону розподілу розраховуються основні характеристичні параметри ряду - середнє значення (P_{ci}) і середнє відхилення (δ_{ci}). Аналіз отриманих значень показав, що закон розподілу даних вектору ознак є нормальним. Це буде враховуватися при проведенні подальших досліджень.

Часто для оцінки ступеня відхилення щодо середнього значення використовується коефіцієнт варіації, який, на відміну від середнього квадртичного або стандартного відхилення, характеризує не абсолютну, а відносну міру розкиду значень ознаки в статистичній залежності.

При цьому використання коефіцієнта варіації дозволяє: порівняти варіацію однієї і тієї ж

ознаки різних груп об'єктів; виявити ступінь відмінності одного і того ж ознаки в однієї і тієї ж групи об'єктів в різний час; зіставити варіацію різних ознак у одних і тих же груп об'єктів. Коефіцієнт варіації визначається як: (1)

$$\gamma = \frac{\delta_i}{P_{ci}} \quad (1)$$

У зв'язку з тим, що коефіцієнт варіації не в повній мірі відображає класові відмінності між ГЕН, як зазначається в [3], з використанням неможливо провести чітку кластеризацию даних. Більш ефективним показником для кластеризації даних є наступний коефіцієнт:

$$\beta = \frac{D_i}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n}}, \quad (2)$$

де Di - дисперсія, яка визначається за виразом.

$$D_i = \sum_{i,j=1}^{m,n} (P_{m,n} - P_{ci})^2. \quad (3)$$

Результати аналізу семи ГЕН представимо графічно (рис. 1).

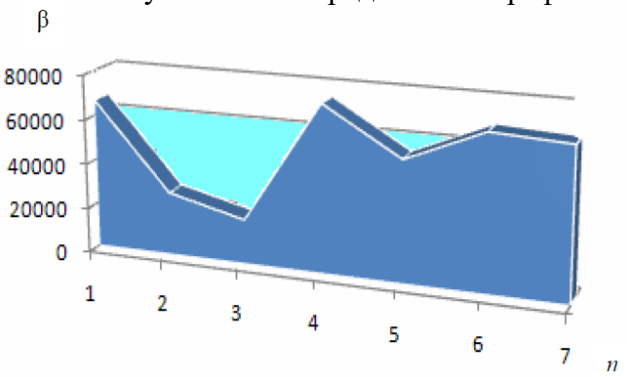


Рис. 1. Кластеризація ГЕН по адаптивному коефіцієнту ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень

Як показали результати проведення кластеризації з урахуванням адаптивного коефіцієнта ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень, формуються дві групи варіаційних рядів. Отримані групи відповідають різним видам графіків споживання, а значить, і є рішенням поставленої задачі. Віднесення до певної групи проводиться на основі наступного виразу:
β ≤ βпред и β> βпред, де βпред - граничне значення.

$$\beta_{\text{пред}} = \frac{1}{2}\left(\frac{D_{\text{вmax}}}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\text{в max}}} + \frac{D_{\text{pmin}}}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\text{pmin}}} \right), \quad (4)$$

де $D_{\text{вmax}}$ і D_{pmin} - дисперсії відповідно максимального споживання вихідного дня і мінімального споживання робочого дня; $\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\text{в } max}$ і $\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\text{р } min}$ – суми середніх значень потужності відповідно максимального споживання вихідного дня і мінімального споживання робочого дня.

Для наведеної вибірки вихідних даних характерні діапазони відмінності. Формування діапазонів вважається завершеним, якщо визначені граничні значення меж (рис. 2).

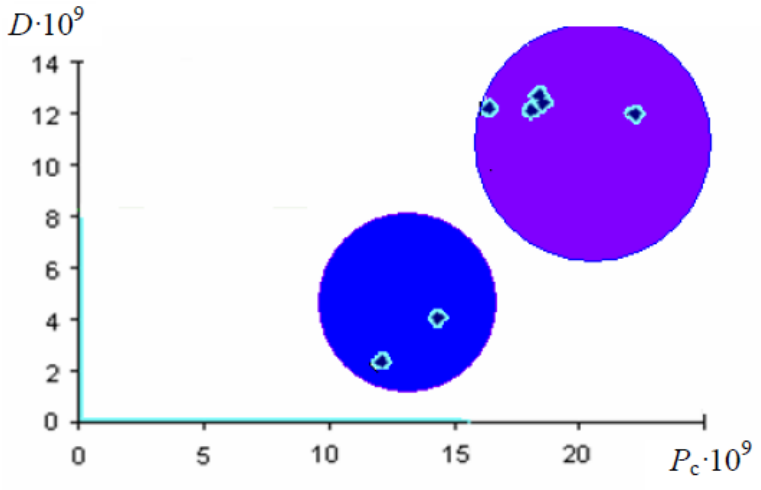


Рис. 2. Кількісне відношення між дисперсією D і сумарними значеннями ГЕН Pc

Слід зазначити, що при визначенні граничного критерію кластеризації для даного об'єкта вибірка вихідних даних повинна мати представницький характер, тобто включати в себе дані для різних періодів споживання (наприклад, зимовий і літній період). Таким чином, розрахована межа буде визначена оптимально і відповідає умовам вибору. У разі зміни обсягів споживання електроенергії отримана точність забезпечить його застосовність для подальшого використання.

Для визначення граничного значення коефіцієнта $\beta_{пред}$ обсяг вихідних даних залежить від кількісного значення величини ряду і величини відхилення щодо середнього значення. З урахуванням того, що обсяг вибірки незначний для оцінки ступеня кореляції розглянутих величин, застосовується формула (5):

$$r_{P_cD} = \frac{N\sum P_{ci}D_i - \sum P_{ci}\sum D_i}{\sqrt{N\sum P_{ci}^2 - (\sum P_{ci})^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{N\sum D_i^2 - (\sum D_i)^2}}. \qquad (5)$$

В результаті математичних дій визначається наявність зв'язку між величинами, отримане значення r_P D_c = -0,12 відповідає слабкою кореляційної зв'язку. Даний результат підтверджує необхідність застосування додаткового показника, який би відображав вплив двох розглянутих змінних. Перевіримо обґрунтованість використання адаптивного коефіцієнта ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень.

Вивчення апаратів оцінки математичної статистики і теорії класифікації показало, що за результатами кластер-аналізу об'єкти розбиваються на групи [4]. Для здійснення такого аналізу необхідно оперувати наступними математичними характеристиками:

• центром кластера z_j;
• радіусом Dj.

На першому етапі обчислюється положення центрів кластерів:

$$Z_{Dj} = \sqrt[N_{Dj}]{\prod_{i=1}^{N_{Dj}} D_i} \;\text{ і }\; Z_{Dj} = \sqrt[N_{Pj}]{\prod_{i=1}^{N_{Pj}} P_i}, \qquad (6)$$

де N_{Dj} і N_{Pj} - відповідно кількість значень дисперсій і сумарних середніх значень потужності. В результаті центр кластера становить z (z_{Pj}; z_{Dj}).

На другому етапі обчислюється радіус кластера, який відповідає допустимому розкиду значень вибірки даних щодо центру кластера таким чином, щоб виконувалася умова кластерного відповідності розглянутого ряду. У математичному вигляді радіус кластера описується виразом:

$$D_j = \sqrt{(\max(D_i - Z_{Dj}))^2 + (\max(P_{ci} - Z_{Pj}))^2}. \qquad (7)$$

Отримані розрахункові значення змінних у виразах (6) і (7) зведені в табл. 1.

Таблиця 1. Математичні характеристики кластера

	P_c	$D \cdot 10^9$	$\overline{D}_p \cdot 10^9$
z_p	1,75	8,85	6,46
$z_в$	1,53	7,02	5,17

На підставі даних наведеної вище таблиці оцінюється відповідність значень перевірочної вибірки даних встановленим класах.

Для цього керуються критерієм:

$$D_j \geq \sqrt{(D_i - Z_{Dj})^2 + (P_{ci} - Z_{Pj})^2} \qquad (8)$$

Якщо умова виконується, розглянута вибірка даних належить даному класу. В протилежному випадку перевіряється її відповідність сусіднього класу. Результати такого порівняння представлені в табл. 2. З них випливає, що до першої групи належать всі значення вибірки, крім третьої. При порівнянні дисперсій табл. 1 і 2 було встановлено класове відповідність першої та другої групи. Можна зробити висновок, що запропонована модель забезпечує виконання умов кластеризації.

Таблиця 2. Результати перевірки кластеризації

$\overline{D}_p \cdot 10^9$	$\overline{D} \cdot 10^9$	Проверка
6,5	5,1	+
	5,95	+
	8,43	-
	6,18	+
	5,76	+
	5,82	+

Здійснимо ще одну перевірку достовірності встановлених меж, як це було представлено на рис. 2. Графічно результат такої перевірки представлений на рис. 4. Певні значення β формують кластери у вигляді областей, кордони яких задаються діапазонами. При встановленні класового відповідності вибірок даних ті, які належать до однієї групи, в дійсності належать до групи ГЕН, подібних за формою.

При використанні інформативного кількості вибірок визначається частота потрапляння ГЕН в заданий діапазон. При дотриманні збереження черговості введення даних можна також встановити повторюваність характеру навантаження (рис. 4).

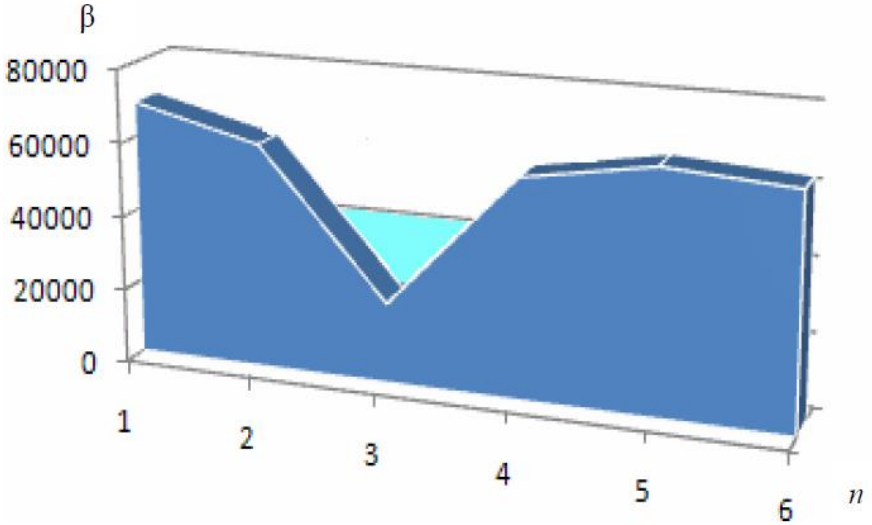


Рис. 3. Перевірка кластеризації адаптивного коефіцієнта ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень

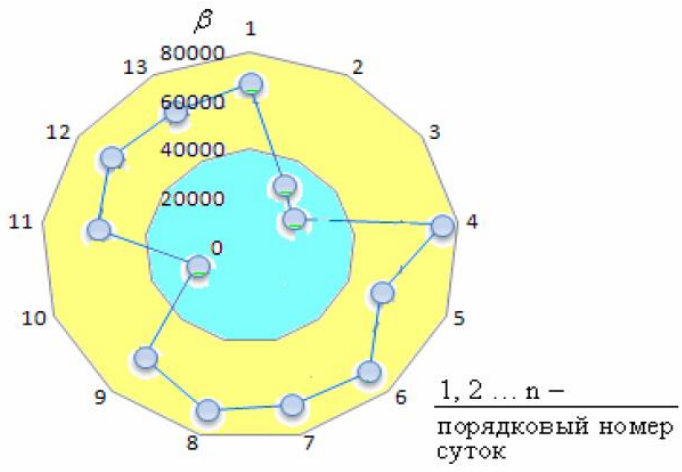


Рис. 4. Загальна відображення величин адаптованих коефіцієнтів ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень

Використовуючи реальні ГЕН для різних сезонів, можна переконатися, що запропонований метод кластеризації достовірний і застосуємо без урахування зимового і літнього періоду.

ВИСНОВКИ

Для проведення оптимального аналізу обчислених значень і визначення чітких меж між групами запропоновано адаптивний коефіцієнт ступеня відхилення щодо всієї вибірки значень замість коефіцієнта варіації.

Перевага використання розробленого методу полягає у визначенні адаптивного коефіцієнта відхилення щодо загальної вибірки значень, який забезпечив збільшення відстані між кластерами, що призвело до зниження впливу величини споживання і форми ГЕН на точність результатів кластеризації.

СПИСОК ЛІТЕРЕТУРИ

1. *Волошко А. В.* Метод формирования признаков классификации графиков электрических нагрузок на основе вейвлет-преобразования /
А. В. Волошко // Промелектро. – 2009. – № 1. – С. 39–43.
2. *Дворников С. В.* Метод распознавания на основе вейвлет-пакетов /
С. В. Дворников, А. М. Сауков // Научное приборостроение, 2004. – Т. 14. –№ 1. – С. 57–65.
3. *Козлов П. В.* Вейвлет-преобразование и анализ временных рядов /
П. В. Козлов, Б. Б. Чен. – Вестник КРСУ. – 2002. – № 2. – С. 48–56.
4. *Гнатюк В. И.* Методика оптимальным управлением энергопотребления/ В. И. Гнатюк. – Энергетика. – 2008. – № 4. – С. 128–136.

Керівник: д.т.н., професор Волошко А.В.

УДК 621.316

Добровенко Д.Ю.
Кафедра електропостачання

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА МІНІМІЗАЦІЇ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація: *В роботі розглядаються проблеми оцінювання та оптимізації втрат електричної енергії, методи обчислення та шляхи зменшення втрат електроенергії.*
Ключові слова: *втрати активної потужності, втрати електроенергії, електропостачання, методи оптимізації.*

Abstract: *This paper considers the study of methods for calculating electricity losses. Calculation methods and ways to reduce electricity losses were chosen.*
Keywords: *losses of active-power, electricity losses, power supply, methods of optimization.*

Вступ. Обсяги втрат електроенергії в електричних мережах – один з найважливіших показників економічності їх роботи, наочний індикатор стану системи обліку електроенергії, ефективності енергозбутової діяльності енергопостачальних організацій. Цей індикатор чітко свідчить про проблеми, які вимагають невідкладних рішень у розвитку, реконструкції й технічному переозброєнні електричних мереж, удосконаленні методів і засобів керування режимами, у підвищенні точності обліку електроенергії, ефективності оцінювання комерційних втрат.

На думку експертів, відносні втрати електроенергії при її передачі й розподілі в електричних мережах більшості країн можна вважати задовільними, якщо вони не перевищують 4 - 5%. Втрати електроенергії на рівні 10% можна вважати максимально припустимими з погляду фізики передачі електроенергії мережами.

Стає очевидним, що різке загострення проблеми зниження втрат електроенергії в електричних мережах вимагає активного пошуку нових шляхів її вирішення, нових підходів до вибору відповідних заходів, а головне, до організації системної роботи зі зниження втрат.

Мета та завдання дослідження. Здійснення системного підходу до питань визначення, аналізу та оптимізації втрат потужності та електричної енергії в розподільних електричних мережах.

Матеріал та результат дослідження.

Витрати на виробництво і постачання споживачам електроенергії містять у собі складову вартості електроенергії, що витрачається на її передачу електричними мережами (втрати). При встановленні тарифу на електроенергію регіональні енергетичні комісії аналізують обґрунтованість рівня втрат, що включаються в тариф. Очевидно, що в енергопостачальних організаціях існують резерви зниження втрат і включення в тариф фактичного рівня втрат не стимулювало б проведення економічно обґрунтованих заходів щодо їх зниження. У зв’язку з цим виникає задача визначення нормативних значень втрат, включення яких у тариф обґрунтовано. Наднормативні втрати повинні покриватися за рахунок прибутку енергопостачальних організацій.

У силу істотних відмінностей структури мереж і їх протяжності норматив втрат для кожної енергопостачальної організації являє собою індивідуальне значення, обумовлене схемами і режимами роботи електричних мереж і особливостями обліку надходження і відпуску електроенергії.

Фактичні (звітні) втрати ΔW_0 визначаються різницею показань лічильників надходження електроенергії в мережу і її корисного відпуску споживачам. Очевидно, що вони

містять у собі не тільки технічні втрати, але і втрати комерційного характеру, обумовлені недосконалістю способів визначення корисного відпуску електроенергії споживачам (у тому числі і її розкрадання). Для обґрунтування нормативу втрат необхідно визначити їх структуру, оцінити резерви зниження кожної складової і реальні обсяги їх можливої реалізації в плановану періоді. [1]

Фактичні втрати можуть бути розділені на чотири складові, кожна з яких має свою фізичну природу.

1. Технічні втрати електроенергії - ΔW_m, обумовлені конструктивними параметрами мережі і фізичними процесами, що відбуваються при передачі електроенергії електричними мережами і зумовлені перетворенням частини електроенергії в тепло в елементах електричних мереж. Це навантажувальні втрати і втрати холостого ходу. Технічні втрати енергії можна також оцінити з використанням електролічильників[2].

Фактичне значення технічних втрат ΔW_m може бути встановлено розрахунково на підставі відомих законів електротехніки, оскільки всі їх складові мають математичні описи та алгоритми розрахунку. Застосування відомих методів оптимізації дозволяє кількісно визначити їх економічно обґрунтований рівень і оцінити наявні резерви зниження. Економічно обґрунтовані (оптимальні) технічні втрати $\Delta W_{m.o.}$ - це різниця між фактичним значенням ΔW_m і зниженням втрат δW_o, яке може бути досягнуте за рахунок упровадження всіх заходів, витрати на які окупаються менш чим за нормативний строк окупності (наприклад, 8,3 роки, що відповідає нормативному коефіцієнтові ефективності капітальних вкладень $p_н$ = 0,12):

$$\Delta W_{m.o.} = \Delta W_m - \delta W_o \qquad (1)$$

Технічні втрати, у свою чергу, розділяють на навантажувальні втрати $\Delta W_н$, втрати холостого ходу ΔW_x і втрати на корону $\Delta W_{кор}$. Класифікують їх і по групах елементів мереж (втрати в лініях, трансформаторах, реакторах і т.інш.). Галузеві інструкції виділяють наступні складови втрат:

- навантажувальні втрати в лініях, силових трансформаторах і автотрансформаторах;
- втрати холостого ходу в трансформаторах і автотрансформаторах;
- втрати на корону в повітряних лініях;
- витрати електроенергії на власні потреби підстанцій;
- витрати електроенергії в пристроях, що компенсують — батареях статичних конденсаторів (БСК), синхронних компенсаторах (СК), генераторах, що працюють у режимі СК, статичних тиристорних компенсаторах (СТК);
- втрати в реакторах підстанцій;
- втрати у вимірювальних трансформаторах струму і напруги і їх вторинних ланцюгів, включаючи лічильники електроенергії.

2. Витрати електроенергії на власні потреби підстанцій $\Delta W_{пс}$, необхідні для забезпечення роботи технологічного устаткування підстанцій і діяльності обслуговуючого персоналу. Витрата електроенергії на власні потреби підстанцій реєструється лічильниками, встановленими на трансформаторах власних потреб. Існують і нормативні документи, доволі

старі, що встановлюють норми зазначених витрат. Різниця між цими величинами є резервом зниження цієї складової втрат.

3. Недооблік електроенергії - W_y, обумовлений значними від'ємними похибками приладів обліку у споживачів, у порівнянні з аналогічними похибками приладів, що фіксують її надходження в мережу. Похибки приладів обліку (включаючи трансформатори струму (ТС), напруги (ТН) і з'єднувальні проводи (кабелі) як складового вимірювального комплексу) у паспортних даних характеризуються двосторонніми похибками (плюс-мінус), однак у силу ряду причин, про які буде зазначено далі, виникає систематична негативна похибка системи обліку електроенергії на об'єкті, що включає сотні і тисячі вимірювальних комплексів. Ця похибка призводить до недообліку електроенергії, тому до неї застосовується термін «втрати». Слід зазначити, що в нинішніх умовах експлуатації приладів обліку, недооблік електроенергії виявляється істотним. Втрати, обумовлені похибками обліку, також можуть бути розраховані на основі даних про метрологічні характеристики й умови роботи використовуваних приладів. Розроблена методологія таких розрахунків дозволяє визначити їх економічно обґрунтований рівень і оцінити наявні резерви зниження.

4. Комерційні втрати $\Delta W_к$,обумовлені розкраданнями електроенергії, невідповідністю між показаннями лічильників і оплатою за електроенергію побутовими споживачами й іншими причинами в сфері організації контролю за споживанням енергії. При відомих технічних втратах фактичне значення комерційних втрат визначають формулою

$$\Delta W_к = \Delta W_o - W_m \qquad (2)$$

Комерційні втрати не мають самостійного математичного опису і, як наслідок, не можуть бути розраховані автономно. Їх розміри визначаються як різниця між фактичними втратами і розрахованими технологічними втратами і являють собою небаланс або комерційні втрати. Значення небалансу залежить від точності виконання аналітичних розрахунків і відповідності системи обліку потоків енергії електролічильниками в технічних умовах.

Для підтримання втрат на економічно доцільному рівні необхідно щорічно здійснювати контроль за значенням розрахункових і комерційних втрат, проводити техніко – економічний аналіз і розробляти заходи щодо їх зниження. Заходи щодо зменшення втрат повинні випливати з загальної програми керування системами забезпечення споживачів електричною енергією з урахуванням оптимальної стратегії їх розвитку.

У такій постановці задача керування рівнем втрат потужності й енергії містить у собі три основних складові:

1) комерційний облік втрат, тобто контроль звітних втрат як різниці показань електролічильників, що фіксують надходження електроенергії в мережу і її корисний відпуск;

2) розрахунки технічних втрат енергії в елементах мережі, проведені з метою аналізу і вибору шляхів їх зменшення;

3) планування втрат, тобто доведення до підприємства електричних мереж плану-завдання на підтримку раціонального рівня втрат та шляхів проведення передбачених планом організаційно - технічних заходів щодо їх мінімізації.

На практиці в умовах експлуатації, коли по розглянутих елементах електричних мереж передається електроенергія до значної кількості споживачів з різними режимами електроспоживання, у зв'язку з відсутністю достатньої інформації, можна виділити: метод поелементних розрахунків, метод характерних розрахунків, метод характерної доби, метод числа найбільших втрат.

Метод поелементних розрахунків

Навантажувальні втрати методом поелементних розрахунків визначають формулою,

$$\Delta W = 3\Delta t \sum_{i=1}^{k} R_i \cdot \sum_{j=1}^{T/\Delta t} I_{ij}^2 \qquad (3)$$

де k - число елементів мережі; T - розрахунковий період; Δt - інтервал часу між послідовними значеннями струмових навантажень; I_{ij} - типове навантаження елемента з опором R_i - у момент часу j.

Для аналізу втрат електроенергії й оцінки гарантованого ефекту від заходів щодо їх зменшення результати розрахунків втрат рекомендується представляти у вигляді інтервалу ($\Delta W_{\min} - \Delta W_{\max}$), обумовленого повнотою і точністю вихідних даних про схеми і навантаження електричних мереж і похибкою використовуваного методу розрахунку.

Для визначення границь інтервалу запропоновано наступний підхід:

$$\Delta W_{\min} = \Delta W_p \left(1 - \frac{\Delta}{50}\right) \tag{4}$$

$$\Delta W_{\max} = \Delta W_p \left(1 + \frac{\Delta}{50}\right) \tag{5}$$

де ΔW_p - розрахункове значення втрат

Δ - середньоквадратичне відхилення.

$$\Delta = \sqrt{50 / N \cdot T \cdot m} \tag{6}$$

де N - кількість вимірів навантаження (за 1 год);

T - розрахунковий період, годин;

m - число елементів [3].

Метод характерної доби

Для визначення навантажувальних втрат методом характерної доби використовується наступна залежність:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^{m} \Delta W_{ні}^{c} \cdot D_{экі} \tag{7}$$

де m - число характерних періодів роботи мережі /літній, зимовий і т.д./, розрахункові втрати за контрольну добу кожного з яких, розраховані по відомим графікам навантаження в вузлах мережі, складають $\Delta W_{ні}^{c}$,

$D_{экі}$ - еквівалентне число днів i-го характерного періоду

Зазвичай розрахунок значень $\Delta W_{ні}^{c}$ виконуємо по графікам навантаження в кожному з вузлів, скоректованих по споживанню електроенергії у вузлі за місяць.

$$D_{экі} = W_i^2 \Big/ W_{ci}^2 \cdot D_i \tag{8}$$

W_i - електроенергія, відпущена в мережу i-му періоді тривалістю D_i доби,

W_{ci} - електроенергія, відпущена в мережу за добу, розрахункові втрати за яку склали $\Delta W_{ні}^{c}$

Число еквівалентних днів

$$D_{экі} = \sum_{j=1}^{l} D_j \cdot A_j / A_1 \tag{9}$$

де l - число характерних добових графіків у i - му характерному періоді (робочий день, неробочий день і т.д.);

D_j - число діб в характерному періоді роботи мережі, на яке поширюється j -й характерний добовий графік;

A_j - сума квадратів ординат j-го характерного добового графіка сумарного навантаження мережі;

A_1 - сума квадратів ординат добового графіка сумарного навантаження мережі, що відповідає добі, за яку розраховувалися втрати.

Для методу характерної доби середньоквадратичне відхилення

$$\Delta = \frac{\sqrt{2n \cdot p^2 n_c + 1000}}{n_p n_c} \tag{10}$$

де n_p - кількість режимів, що розраховуються для добового графіка;

n_c - кількість доби, за які розраховують режими [3].

Метод характерних режимів

Навантажувальні втрати методом характерних режимів розраховують за формулою

$$\Delta W = \sum_{i=1}^{m} \Delta P_i \cdot t_i \tag{11}$$

де ΔP_i - навантажувальні втрат потужності в мережі в і -му режимі тривалістю t_i годин; m - число режимів.

Для методу характерних режимів середньоквадратичне відхилення визначається:

$$\Delta = \frac{\sqrt{4n^2 + 2000}}{n} \tag{12}$$

де n - число режимів, що розраховуються, протягом року [3].

Метод часу найбільших втрат τ

Для розрахунку використовується формула

$$\Delta W_н = \Delta P_{\max} \cdot \tau \tag{13}$$

де $\Delta P_{\max}$ - втрати потужності в режимі максимального навантаження мережі, які знаходимо за формулою:

$$\Delta P_{\max} = 2 \cdot \left(\frac{I_{mn}}{2} \right)^2 \cdot 3r_{mn} \tag{14}$$

де $I_{mn} = \frac{S_{mn}}{\sqrt{3} \cdot U_н}$ - максимальний струм в мережі

$S_{mn} = \sqrt{(P + \Delta P)^2 + (Q + \Delta Q)^2}$ - навантаження в мережі із врахуванням втрат в трансформаторах [1].

Як висновок, можна зауважити, що визначення втрат електроенергії за цим методом залежить від точності визначення τ. Похибка у розрахунках між першими двома способами незначна 1.1 - 1.6 %. Проте у порівнянні із третім способом велика 15 – 37%.

Метод середнього навантаження

Розрахунок ведеться за формулою

$$\Delta W_н = \Delta P_{ср} \cdot k_ф^2 \cdot T \quad (15)$$

$\Delta P_{ср}$ - втрати потужності в мережі при середніх навантаженнях вузлів (або в мережі в цілому) за час *T;*

$k_ф$ - коефіцієнт форми графіка потужності або струму;

$$k_ф^2 = \left(\frac{0{,}124}{k_з} + 0{,}876 \right)^2 \quad (16)$$

Цим методом ми можемо скористатися, якщо маємо добовий графік споживання електроенергії, щоб визначити коефіцієнт заповнення $k_з$, та знайти втрати потужності в мережі при середніх навантаженнях [1].

Основна мета виконання заходів щодо зниження втрат електроенергії в електричних мережах - доведення фактичного значення технічних втрат до їх оптимального для даних мереж рівня. Умовно всі заходи розділяють на дві групи: організаційні – що не потребують значних додаткових витрат і технічні - що потребують додаткових витрат праці та матеріалів. Доцільність кожного конкретного технічного заходу повинна обґрунтовуватися відповідним техніко-економічним розрахунком.

У якості основних організаційних заходів можна виділити наступні:

1. Оптимізація режимів роботи трансформаторів на двох і більше трансформаторних підстанціях.

2. Економічний розподіл потоків потужностей в мережах з використанням розмикання розподільних мереж в оптимальних точках.

3. Оптимізація рівня робочої напруги в електричних мережах. Забезпечення рівнів напруги в електричних мережах - максимально припустимого в режимі максимальних навантажень і номінального в режимі мінімальних навантажень, вибір оптимальних законів регулювання напруги на трансформаторах із ПБВ.

4. Стимулювання споживачів електроенергії до вирівнювання графіків навантаження.

5. Підвищення якості експлуатації мереж. Сюди входить підвищення надійності й економічності роботи вузлів й елементів електричної мережі; підвищення коефіцієнта готовності елементів електричної мережі; скорочення термінів і підвищення якості ремонтно-відбудовних робіт; поліпшення якості будівельно-монтажних і налагоджувальних робіт, підвищення кваліфікації й технічного забезпечення експлуатаційних, ремонтних і будівельних бригад[4].

6. Удосконалювання системи керування рівнем втрат енергії в електричних мережах. Ця група заходів включає організацію й створення інформаційно-обчислювальної системи, створення й впровадження системи визначення технічних втрат енергії, оптимізацію й удосконалення систем обліку звітних втрат енергії; впровадження системи аналізу комерційних втрат енергії, їх локалізацію, виявлення характеру й розробку заходів щодо їх зниження; створення й впровадження системи зменшення втрат енергії; оптимізацію розвитку мережі; підвищення кваліфікації персоналу служб і відділів енергопідприємств в частині керування рівнем втрат енергії[4].

7. Вирівнювання навантажень фаз в електричних мережах[3].

До основних технічних заходів можна віднести наступні:

1. Заміна проводів на перевантажених лініях. Доцільність заміни проводів перевантажених ліній повинна оцінюватися техніко-економічними розрахунками. При цьому необхідно враховувати на тільки фактичне навантаження ліній, але й передбачуване його

збільшення на найближчу перспективу.

2. Заміна перевантажених, установка і введення в експлуатацію додаткових силових трансформаторів на діючих підстанціях. Даний захід доцільний у віпадках, коли коефіцієнт завантаження трансформаторів перевищує верхню межу економічно обґрунтованого завантаження

$$k_{3l}^{в} = \sqrt{\frac{(\Delta P_{xxl+1} \cdot l - \Delta P_{xxl}) З_x \cdot T + (P_н + P_\Sigma) \cdot k}{(\Delta P_{кзl} - k_o^2 \cdot \Delta P_{l+1}) \cdot \tau \cdot З_к}} \quad (17)$$

де $З_x$, $З_к$ - питомі витрата на втрати електроенергія відповідно ХХ і КЗ;

T - час включення трансформатора;

$P_н$ - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних, вкладень;

k - вартість заміни трансформаторів

$k_o = S_{нl} / S_{нl+1}$ - відношення номінальних потужностей трансформаторів[3]

3. Заміна недовантажених силових трансформаторів. Заміна недовантаженого трансформатора трансформатором меншої потужності виконується, якщо прогнозований на 4-5 років коефіцієнт його завантаження в режимі найбільших навантажень менше нижньої межі економічно доцільних завантажень $k_{3l}^{н}$, а установка трансформатора меншої потужності не приводить до його перевантаження в нормальному й післяаварійному режимах

$$k_{3l}^{н} = \sqrt{\frac{(\Delta P_{xxl} \cdot l - \Delta P_{xxl-1}) З_x \cdot T + (P_н + P_\Sigma) \cdot k}{(k_o^2 \cdot \Delta P_{кзl-1} - \Delta P_{кзl}) \cdot \tau \cdot З_к}} \quad (18)$$

4. Підвищення номінальної напруги мережі. Сюди входить спорудження глибоких вводів високої напруги в центрах електроспоживання та перехід мережі на більш високий рівень номінальної напруги.

У процесі розвитку мережі іноді доцільно будувати мережі в габаритах більше високих щаблів напруги при тимчасовій їх експлуатації на більш низькому значенні номінальної напруги[3].

5. Оптимізація розвитку й побудови мережі. Ця група заходів включає розвиток системоутворюючої мережі по оптимальних планах; оптимізацію побудови розподільної мережі й скорочення радіуса її дії в міру зростання електроспоживання[3].

Висновки.

1. В умовах ринкових відносин (акціонування енергетики) і сформованої складної системи енергопостачання зі споживачами-перепродувачами енергії оперативний дистанційний електронний електрооблік не має альтернативи.

2. Системи електрообліку повинні вдосконалюватися для вирішення нових завдань, зокрема , для розрахунку втрат потужності й енергії в автоматичному режимі. Це дозволить забезпечувати об'єктивний розподіл плати за споживання як абонентами, так і субабонентами енергії і повинно сприяти погодженому керуванню енергоспоживанням, з огляду на такий його аспект, як диференційовані по зонах часу тарифи.

3. Активне впровадження сучасних АСКУЕ в комплексі з АСДУ підвищує інформаційну забезпеченість обліку електроенергії й дозволяє знизити інформаційну й методичну похибку розрахунку технічних втрат електроенергії за рахунок використання методів теорії оцінювання стану при розрахунку енергорозподілення, а також усунути вплив вимірів електроенергії із грубими помилками.

4. Розрахунок і нормування втрат електроенергії в електричних мережах енергосистеми на сучасному етапі повинні здійснюватися з максимальним використанням наявної в енергосистемі інформації й базуватися на детальних розрахунках технічних втрат з

поелементною розбивкою на складові. Інтегрована багаторівнева система розрахунків забезпечує доступність, прозорість і перевіряємість вихідних даних і результатів розрахунків нормативів втрат, як для підрозділів енергосистеми, так і для контролюючих органів: регіональних енергетичних комісій, територіальних управлінь Держенергонагляду, податкових інспекцій. Основним напрямком розвитку програмного забезпечення оцінювання технічних втрат електроенергії є створення на його основі автоматизованої системи розрахунку й аналізу втрат і балансів по електричних мережах, виділеним ділянкам, щаблям напруги, структурним підрозділам, окремим вузлам. Основне призначення системи - одержання достовірних значень не тільки технічних але й ефективне оцінювання комерційних втрат електроенергії.

5. Прогнозовані та реальні втрати електричної енергії мають розраховуватись за рік у цілому з розбивкою по місяцях на основі сучасних систем та методологій, з урахуванням вимог та рекомендацій галузевих нормативних документів.

6. В роботі за розглянутою методологією здійснено аналіз складових втрат електроенергії для підприємства гірничої промисловості на основі отриманих даних щомісячного споживання електричної енергії протягом одного року.

Література

1. Ю. С. Железко. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176с.

2. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. - М.: НЦ ЭНАС, 2004. - 280 с.

3. Методичні вказівки для студентів інституту енергозбереження та енергоменеджменту спеціальності 7.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання» :К. :НТУУ «КПІ», 2008 – 83 с.

4. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях. –М.: Энергоатомиздат,1981.-216. с.

Єсін Д. Г.
Кафедра електропостачання

ОСНОВНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ БАГАТОРІВНЕВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Запровадження АСКОЕ — це фундамент для трансформування існуючої нині системи електропостачання у так звану «розумну» систему електропостачання.

У розумних системах електропостачання використовується прогресивна технологія збору інформації про виробництво та споживання електричної енергії, що дозволяє автоматично підвищувати результативність, надійність та економічний ефект виробництва, сприяє стабільності у виробництві та в процесі розподілення електроенергії.

Лічильники електроенергії, що під'єднані до системи АСКОЕ, дозволяють законно економити на оплаті за електроенергію.

Метою даної статті є: побудова багаторівневої систем обліку електроенергії оператора малої системи розподілу

Для досягнення зазначеної мети дослідження вирішувались наступні завдання:

- огляд та аналіз систем контролю та обліку електроенергії

- огляд та аналіз нормативних документів щодо побудови систем комерційного обліку електроенергії та побудова структури системи моніторингу потоків електроенергії

- практична реалізація системи моніторингу та комерційного обліку електроенергії оператора малої системи розподілу

Предметом дослідження є технологія побудови багаторівневої системи моніторингу та обліку електроенергії.

Методи дослідження.

Інформаційну базу дослідження склали законодавчі та нормативно-правові акти органів державного управління у сферах енергетики – ПУЕ, Кодекс комерційного обліку, офіційні статистичні дані, а також наукові праці вітчизняних та закордонних вчених.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

Використання автоматизованих систем обліку та контролю електроенергії (АСКОЕ) дозволяє отримувати точну та достовірну вимірювальну інформацію, підвищує ефективність управління процесом виробництва, розподілу та споживання електроенергії в цілому.

Практичне значення роботи.

Побудова структури системи моніторингу потоків електроенергії

Ключові слова: моніторинг,облік, лічильник, потоки, метрологія.

Actuality of theme. ASCOE is the basis for the transition to a new level of control of electricity flows

The introduction of ASCOE is the foundation for transforming the current electricity supply system into a so-called "smart" electricity supply system.

Smart power systems use a progressive technology to gather information about electricity production and consumption, which automatically improves the efficiency, reliability and economic impact of production, contributes to stability in electricity production and distribution.

Electricity meters connected to the ASCOE system allow you to legally save on electricity bills.

The purpose of this article is: construction of multi-level electricity metering systems for small distribution system

To achieve this goal, the following tasks were solved:

- review and analysis of electricity control and accounting systems

- review and analysis of regulatory documents for the construction of commercial electricity metering systems and the structure of the electricity flow monitoring system

- practical implementation of the multi-level system of monitoring and commercial metering of electricity of the small distribution system operator

The subject of the research is the technology of construction of the multi-level system of monitoring and accounting of electricity.

Research methods The information base of the research was the legislative and regulatory acts of public authorities in the fields of energy - PUE, the Code of commercial accounting, official statistics, as well as scientific works of domestic and foreign scientists.

The scientific novelty of the obtained results is the following:

The use of automated electricity metering and control systems (ASCOE) allows to obtain accurate and reliable measurement information, increases the efficiency of managing the process of production, distribution and consumption of electricity as a whole.

The practical meaning of the work.

Construction of the structure of the system of monitoring of electricity flows

ВСТУП

З моменту появи наприкінці XIX століття першого електромеханічного лічильника електричної енергії (1889) її облік здійснювався шляхом запису показань лічильних механізмів та занесення їх у відповідний документ.

Прив’язка показань лічильників до реального часу в значній мірі залежала від годинника інспектора і часу проведення запису показань лічильника. Тимчасова похибка такого обліку знаходилась в діапазоні від кількох годин до кількох діб, іноді у кілька разів перевищуючи похибку обліку самим лічильником.

Впровадження АСКОЕ є особливо актуальним у зв’язку з поступовим залученням у структуру ОЕС України потужних поновлюваних джерел енергії, зокрема ВЕС і СЕС, які непередбачувано впливають на добовий графік навантаження. Особливі вимоги щодо встановлення вимірювального обладнання, точності вимірювання та переліку даних, які мають бути доступними. «Правила взаємовідносин між Державним підприємством «Національна енергетична компанія «Укренерго» та суб'єктами (об'єктами) електроенергетики в умовах паралельної роботи в складі Об'єднаної енергетичної системи України»;

Завдяки системі АСКОЕ можна у режимі реального часу відстежувати:

- скільки електроенергії витрачає кожен споживач електроенергії;
- чи є на лініях проблеми — аварії, перевантаження мережі, втрати, несправність приладів обліку споживачів тощо.

АСКОЕ — це основа для переходу на новий рівень контролю потоків електричної енергії

Запровадження АСКОЕ — це фундамент для трансформування існуючої нині системи електропостачання у так звану «розумну» систему електропостачання.

У розумних системах електропостачання використовується прогресивна технологія збору інформації про виробництво та споживання електричної енергії, що дозволяє автоматично підвищувати результативність, надійність та економічний ефект виробництва, сприяє стабільності у виробництві та в процесі розподілення електроенергії.

Лічильники електроенергії, що під’єднані до системи АСКОЕ, дозволяють законно економити на оплаті за електроенергію.

При розрахунках за зонним лічильником до Вашого діючого тарифу застосовуються коефіцієнти. У результаті виходить, що Ви сплачуватимете за різними тарифами. Тарифи залежать від часу доби коли Ви використовували електроенергією. Цю інформацію фіксує зонний лічильник завдяки вбудованому годиннику.

Для прикладу, подивіться у рисунку 1.1 скільки коштуватимуть 100 кВт/г електроенергії.

За основу взятий звичайний (однозонний) тариф «Для населення (у тому числі яке проживає в житлових будинках, обладнаних кухонними електроплитами)» за обсяг до 100 кВт/г.

Вид обліку	Умови	Час дії тарифу	Приклад: вартість 100 кВт•г* у різні періоди доби
1 зона	незмінний тариф протягом доби	незмінний тариф протягом доби	незмінний тариф протягом доби— 90,00 грн.
2 зони (день/ніч)	• вдень тариф буде звичайним; • за електроенергію спожиту вночі потрібно сплатити лише 50% вартості	• з 7:00 до 23:00; • з 23:00 до 7:00	• день — 90,00 грн. • ніч — 45,00 грн.
3 зони (пік/напівпік/ніч)	• пік — тариф буде вище від звичайного на 50% ; • напівпік — тариф буде звичайним; • ніч — потрібно буде сплатити лише 40% вартості	з 8:00 до 11:00; з 20:00 до 22:00 з 7:00 до 8:00; з 11:00 до 20:00; з 22:00 до 23:00 з 23:00 до 7:00	• пік — 135,00 грн. • напівпік — 90,00 грн. • ніч — 36,00 грн.

Рисунок 1.1 – Вартість 100 кВт/г електроенергії для населення

Приклад наводиться на основі тарифу «Для населення (у тому числі яке проживає в житлових будинках, обладнаних кухонними електроплитами)» за обсяг до 100 кВт/г.

На сьогоднішній день через багаторазове подорожчання енергоресурсів їх частка в собівартості продукції для багатьох промислових підприємств різко зросла і становить 20 – 30%, а для найбільш енергоємних виробництв досягає 40% і більше. Разом з подорожчанням енергоресурсів як необхідний наслідок постала економічно доцільна межа їх споживання в рамках технологій, що склалися історично для кожного окремого підприємства.

Фактор високої вартості енергоресурсів обумовив в останні роки кардинальні зміни у ставленні до організації енергообліку.

Під тиском ринку споживачі приходять до розуміння тієї простої істини, що першим кроком в економії енергоресурсів і зниженні фінансових втрат є точний облік.

Сучасна цивілізована торгівля енергоресурсами заснована на використанні автоматизованого приладового енергообліку, що зводить до мінімуму участь людини на етапі виміру, збирання і оброблення даних і забезпечує достовірний, точний, оперативний, гнучкий, адаптований до різних тарифних систем облік як з боку постачальника енергоресурсів, так і з боку споживача. З цією метою як постачальники, так і споживачі створюють на своїх об’єктах автоматизовані системи контролю і обліку енергоресурсів (АСКОЕ) (Рис. 1.2).

За наявності сучасної АСКОЕ промислове підприємство повністю контролює весь свій процес енергоспоживання і має можливість за узгодженням з постачальниками енергоресурсів гнучко переходити до різних тарифних систем, мінімізуючи витрати.

Слід зазначити, що розвиток тарифних систем, які гармонізують суперечливі інтереси постачальника і споживача енергоресурсів, відповідає світовій практиці.

Вирішення проблеми обліку електроенергії вимагає створення автоматизованих систем контролю і обліку, які в загальному випадку містять два або три рівні (Рисунок 1.3):

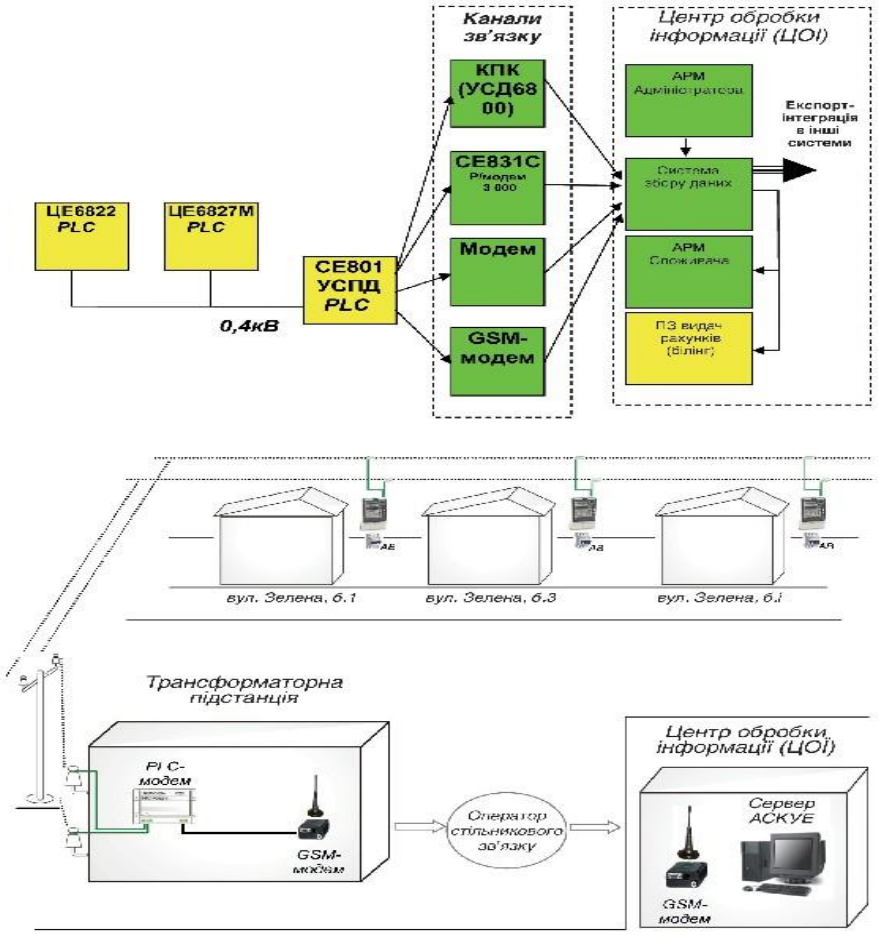


Рисунок 1.2 – Схема АСКОЕ побут на базі лічильників з передачею даних силовою мережею 0,4 кВ

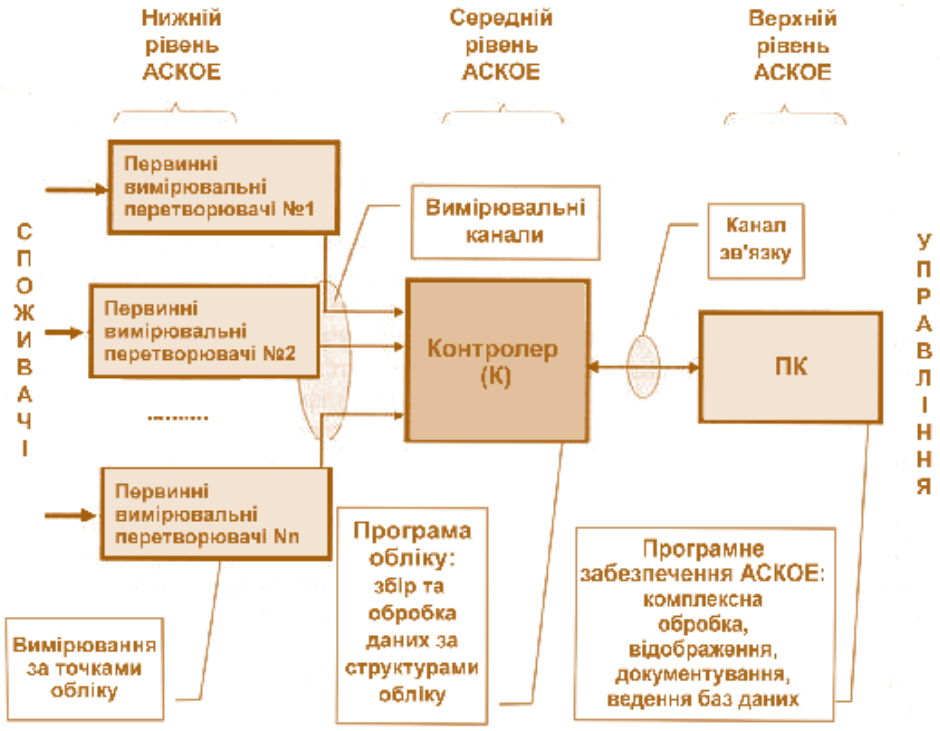


Рисунок 1.3 – Узагальнена схема трьохрівневої АСКОЕ

- нижній рівень – первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП) з телеметричними виходами, з безперервним або мінімальним інтервалом усереднювання вимірювальних параметрів електроенергії;

- середній рівень – контролери (спеціалізовані вимірювальні системи або багатофункціональні програмовані перетворювачі) з вбудованим програмним забезпеченням обліку, які здійснюють в заданому циклі інтервалу усереднювання цілодобовий збір вимірювальних даних з територіально розподілених ПВП, накопичення, оброблення і передавання цих даних на верхній рівень;

- верхній рівень – персональний комп'ютер (ПК) із спеціалізованим програмним забезпеченням АСКОЕ, що здійснює збір інформації з контролера (або групи контролерів) середнього рівня, підсумкове оброблення цієї інформації як по точках обліку, так і по їх групах (підрозділам і об'єктам підприємства), відображення і документування даних обліку у вигляді, зручному для аналізу і ухвалення рішень (керування) оперативним персоналом служби головного енергетика і керівництвом підприємства.

Нижній рівень АСКОЕ пов'язаний із середнім рівнем вимірювальними каналами, в які входять всі вимірювальні засоби і лінії зв'язку від точки обліку до контролера.

Середній рівень АСКОЕ поєднаний з верхнім рівнем каналом зв'язку, в якості якого можуть використовуватися фізичні проводові лінії зв'язку (рисунок 1.2). Схема побудови АСКУЕ регіонального ринку електроенергії наведена на рисунку 1.4.

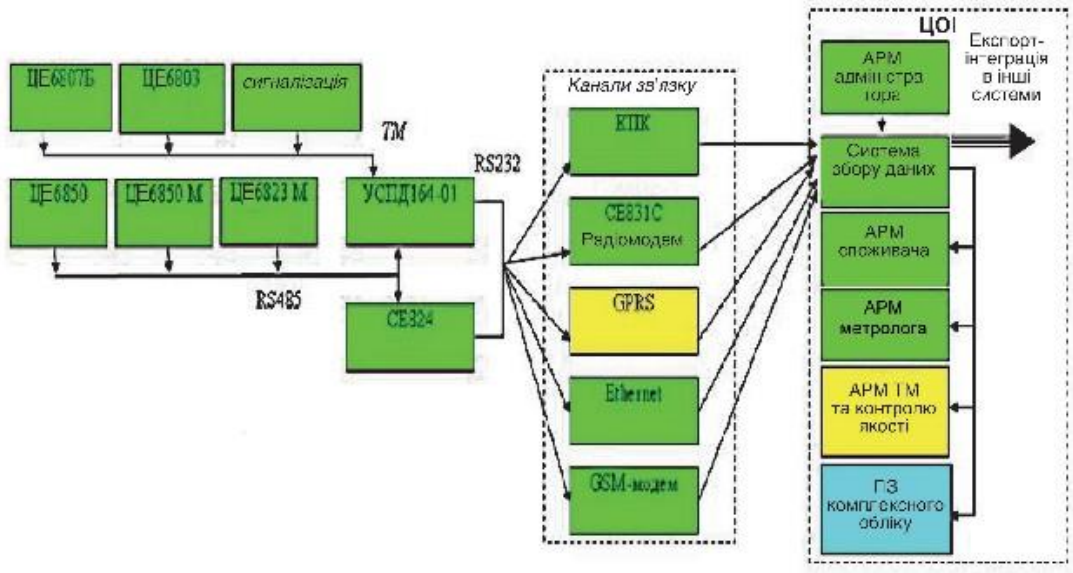


Рисунок 1.4 – Схема побудови АСКОЕ регіонального ринку електроенергії

Лічильники-датчики в системах АСКОЕ. У даний час стрімкого розвитку мікроелектроніки і зниження цін на електронні компоненти цифрові системи керування поступово витісняють своїх аналогових конкурентів. Одні з головних переваг цифрових систем керування на базі мікроконтролерів – гнучкість і багатофункціональність, які досягаються не апаратно, а програмно без додаткових матеріальних витрат, а також підвищення точності й надійності обліку. Цифровий лічильник електроенергії (рисунок 1.5) на базі простого мікроконтролера має очевидні переваги: надійність за рахунок повної відсутності елементів, що труться, компактність, можливість виготовлення корпусу з врахуванням інтер'єру сучасних житлових будинків; збільшення періоду перевірок у декілька разів; ремонтопридатність і простота в обслуговуванні та експлуатації. При невеликих додаткових апаратних і програмних витратах навіть простий цифровий лічильник може володіти рядом сервісних функцій, відсутніх у всіх механічних, наприклад можливістю реалізації багатотарифної оплати за споживану енергію, автоматизованого обліку і контролю

споживаної електроенергії.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд лічильників-датчиків, що використовуються в АСКОЕ



Рисунок 1.6 – ACE 6000 - Багатофункціональний лічильник електроенергії

ACE 6000 - Багатофункціональний лічильник електроенергії. Призначення лічильника Actaris ACE 6000:

Багатофункціональні лічильники електричної енергії нового покоління ACE 6000 являють собою повністю програмовані електронні прилади, що забезпечують, крім вимірів споживання електричної енергії та потужності, контроль і моніторинг параметрів електричної мережі. Лічильники ACE 6000 володіють розширеними функціональними можливостями, що дозволяють організовувати багатотарифний облік, автоматичне зчитування та архівацію даних

вимірів, а також комунікаційними інтерфейсами для роботи в складі автоматизованих систем комерційного обліку енергоресурсів.

Лічильник ACE6000 має широкий діапазон номінальних струмів:

- для лічильників ACE6000 прямого включення він становить від 5 до 100А, з будь-якими проміжними значеннями;
- для лічильників ACE6000 трансформаторного включення він становить від 1 до 10 А, з будь-якими проміжними значеннями.

Основні функціональні особливості лічильника ACE6000:

- багатотарифні вимірювання активної та реактивної енергії і потужності
- вимірювання струму і напруги, частоти, Cos <p та інших величин
- висока точність і стабільність вимірювань
- багатофункціональний дисплей
- дистанційне або локальне зчитування даних, два комунікаційні порти, до 4 керуючих / імпульсних вводів / висновків
- захист від несанкціонованого доступу
- комунікаційний протокол DLMS / COSEM

Міжповірочний інтервал лічильника ACE 6000 - 6 років.

Залежно від вимог сучасні цифрові лічильники повинні у будь-який момент часу оперативно передавати необхідні дані різними каналами зв’язку на диспетчерські пункти енергопостачальних підприємств для оперативного контролю і економічних розрахунків споживання електроенергії.

Не менш важливу роль грають всілякі сервісні функції, такі як дистанційний доступ до лічильника, до інформації про спожиту енергію і багато інших. Наявність цифрового дисплея, керованого мікроконтролером, дозволяє програмно встановлювати різні режими виведення інформації, наприклад виводити на дисплей інформацію про спожиту енергію за кожен місяць, за різними тарифами тощо.

Шафа зв'язку з інтерфейсом RS-485 (рисунок 1.7) , приймає і передає дані за допомогою мереж стільникового зв'язку стандарту GSM. Термінал IRZ MC55i-485GI має вбудований WatchDogTimer, що забезпечує терміналу стабільну, безперебійну роботу.



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд шафи зв’язку АСКОЕ з інтерфейсом RS-485

Основне застосування - бездротовий збір даних з датчиків, лічильників електроенергії, дистанційного спостереження, управління і телеметрії. Виконання IP65.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд шафи зв`язку АСКОЕ типу ЛВС з інтерфейсом RS-485

Шафа зв'язку з інтерфейсом RS-485, приймає і передає дані за допомогою Ethernet і оптоволоконних локальних мереж. Шафа зв'язку з інтерфейсом RS-485, приймає і передає дані за допомогою Ethernet і оптоволоконних локальних мереж. Дане рішення дозволяє організувати зв'язок між декількома майданчиками вимірювання через Інтернет і локальні мережі, незалежно від територіального розташування споживача. Рішення застосовується для систем обліку електроенергії, в області телеметрії. Виконання IP65.

Промисловістю в Україні й за кордоном випускаються для потреб АСКОЕ лічильники-датчики на мікропроцесорній основі різного типу і призначення – одноі трифазні, одноі багатотарифні, комбіновані інтелектуальні багатофункціональні. На мал. 1.5 показаний загальний вигляд лічильниківдатчиків, які використовуються в АСКОЕ.

Завдяки вживанню передових технологій проведення вимірів і використанню мікрокомп’ютерних технологій сучасні високоточні електронні лічильники призначені для проведення вимірів в широкому діапазоні та виконання тарифних функцій. Будучи комбінованими і такими, що включаються через трансформатори струму і напруги, лічильники реєструють активну і реактивну енергію в обох напрямах з класом точності 0,2 і 0,5 – при вимірі активної енергії і 1,0 – реактивної енергії. За допомогою сервісної програми, якою оснащується ПК, всі робочі параметри встановлюються індивідуально.

Впровадження автоматизованих систем контролю і обліку енергоресурсів (АСКОЕ) є стратегічним напрямом підвищення ефективності енергетичного потенціалу країни.

Принцип побудови багаторівневої автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) розглянемо на прикладі енергопостачальної компанії. Ця система створюється з метою:

- виконання вимог нормативних документів [1-3] (далі - НД);
- зниження технологічних втрат електроенергії за рахунок підвищення точності обліку електричної енергії та одержання інформації, що дозволяє локалізувати понаднормативні втрати і виконувати аналіз технологічних втрат електричної енергії у високовольтних та розподільчих мережах компанії;
- автоматизації процесу збору, передачі і обробки інформації з розрахункових та контрольних точок обліку електричної енергії на підстанціях, розподільних пунктах та інших об’єктах, розташованих по периметру компанії;

- перевірки достовірності даних обліку електроенергії шляхом виконання процедур верифікації через формування балансів електричної енергії для об’єктів обліку розташованих по периметру компанії, а також між показами основних та дублюючих лічильників електроенергії, встановлених як у розрахункових, так і в контрольних точках обліку;
- забезпечення роботи усіх елементів АСКОЕ в єдиному розрахунковому часі з збереженням встановлених правил переходу на "літній/зимовий" час;
- зниження трудомісткості та ресурсних витрат при виконанні робіт з обліку електричної енергії, включаючи збір та обробку даних, підготовку звітної інформації, зведень та аналітичних матеріалів для керівництва;
- одержання даних по обсягах перетоків активної і реактивної електроенергії та потужності компанії з суміжними ліцензіатами й балансу потужності та енергії в інтервалі, тривалість якого може змінюватися;
- забезпечення регламентованого доступу до первинних баз даних (ПБД) лічильників електроенергії та інформації що зберігається на сервері баз даних АСКОЕ компанії - зі сторони зацікавлених суб'єктів Енергоринку;
- забезпечення оперативного контролю режимів перетоків електроенергії на території здійснення ліцензійної діяльності компанії;
- забезпечення синхронності вимірювання потужності і електроенергії;
- виключення суб'єктивних факторів, пов'язаних з візуальним зчитуванням показів лічильників електроенергії та проведенням розрахунків у ручному режимі;
- автоматизації формування складових балансу потужності і електроенергії на межі з Енергоринком та суміжними ліцензіатами (прийом, видача, сальдо);
- автоматизації операцій із підготовки звітів, зведень і аналітичних матеріалів для керівництва.;
- автоматизації процесу передачі комерційної інформації Головному операторові та передачі/отримання інформації від суміжних суб'єктів;
- забезпечення можливості довгострокової погодинної передачі даних комерційного обліку до АСКОЕ Головного оператора;
- отримання інформації від незалежних постачальників і юридичних споживачів.

Принципи побудови АСКОЕ.

Програмно-технічні засоби АСКОЕ компанії утворюють два рівня, до складу яких входять:

а) нижній рівень АСКОЕ (НР), до якого відносяться:
- рівень точок обліку електроенергії (РТО)
- рівень об'єктів обліку електроенергії (РОО);

б) верхній рівень АСКОЕ (ВР) , до якого відносяться:
- рівень центрального пункту АСКОЕ (РЦП);
- рівень автоматизованих робочих місць АСКОЕ (АРМ);

Кожен із рівнів ієрархії побудовано на основі уніфікованих програмно-технічних засобів, з орієнтацією на використання сучасного мікропроцесорного обладнання та обчислювальної техніки.

Верхні рівні АСКОЕ (РЦП, АРМ) мають можливість обміну інформацією з підсистемами верхнього рівня АСКОЕ ПрАТ НЕК «Укренерго», суміжних обласних енергопостачальних компаній, інших ліцензіатів, а також із підсистемами верхнього рівня АСКОЕ, встановленими у споживачів компанії.

Нижні рівні АСКОЕ (РТО, РОО) побудовано на базі інтелектуальних електронних лічильників електроенергії, високопродуктивних комунікаційних модулів і засобів телекомунікації.

Рівні ієрархії поєднуються між собою локальними засобами передачі даних (на об’єктах обліку – між РТО та РОО), засобами телекомунікації (між НР та ВР) та локальною

комп'ютерною мережею, а також засобами телекомунікації із підсистемами ВР суб'єктів Енергоринку.

Режим роботи АСКОЕ компанії - цілодобовий, безперервний, з періодичним зовнішнім оглядом і регламентними роботами в період зупинок і ремонтів. Для випадків виникнення аварійних ситуацій, передбачена можливість ручного введення інформації. Допускаються перерви в роботі АСКОЕ і її окремих компонентів (обладнання РТО) для виконання профілактичного і технічного обслуговування, що не приводить до порушення встановлених термінів звітності щодо комерційного обліку електроенергії та інформаційної взаємодії з суміжними АСКОЕ.

АСКОЕ компанії забезпечує збирання інформації з усіх розрахункових точок обліку електроенергії, розташованих на об'єктах обліку компанії, та розрахункових точках обліку на підстанціях суміжних суб'єктів ОРЕ.

На всіх рівнях АСКОЕ компанії виявляється і фіксується:

- порушення схеми обліку;
- порушення в електроживленні технічних засобів АСКОЕ компанії;
- відсутність зв'язку з АСКОЕ суміжних ліцензіатів;
- системні помилки пристроїв обліку електроенергії;
- неприпустимий відхід часу в таймерах лічильників і пристроїв обліку;
- порушення в роботі програмно-технічних засобів АСКОЕ компанії всіх рівнів;
- несанкціоноване втручання (або спроби втручання) у роботу компонентів АСКОЕ;
- неприпустимі відхилення показань основного і дублюючого лічильників.

АСКОЕ компанії забезпечує можливість фізичного розширення на всіх рівнях, у тому числі:

- збільшення кількості електролічильників і приладів обліку;
- розширення кількості типів параметрів, які зчитуються з лічильника і обробляються в АСКОЕ компанії;
- збільшення кількості користувачів АСКОЕ компанії;
- включення в АСКОЕ компанії нових автоматизованих функцій і збільшення ступеня автоматизації діючих функцій;
- вдосконалення інтерфейсів користувачів;
- приведення програмних засобів та бази даних (БД) до вимог європейських стандартів IEC;
- заміни діючих технічних засобів на більш вдосконалені.

Типова структура програмно-технічних засобів нижнього рівня показана на рис.1.

До складу програмно-технічних засобів обліку нижнього рівня входять:

а) рівень точок обліку (трансформатори напруги, трансформатори струму, лічильники);

б) комплекс технічних засобів «Енергія WEB » (КТЗ);

в) комунікаційне обладнання;

г) кабельні лінії.

При необхідності можливе встановлення АРМ користувача на самій підстанції.

Окрім електронних, багатофункціональних лічильників, на підстанції можуть бути встановлені електронні лічильники, які мають тільки імпульсний вихід, або індукційні лічильники, заміна яких економічно недоцільна, але інформація про споживання з яких використовується при розрахунку балансів по підстанції. В такому разі, в ці лічильники вмонтовується перетворювач обертів диска лічильника в електричні імпульси (датчики) типу УП-3М.

Основним компонентом комплексу технічних засобів «Енергія WEB» є мікросервер Itek-WEB. Мікросервер Itek-WEB призначений для забезпечення зв'язку й узгодження інтерфейсів між багатофункціональними лічильниками й сервером БД, а також самостійного опитування

лічильників і зберігання результатів опитування у вбудованій енергонезалежній пам'яті.

КТЗ «Енергія WEB» комплектується також джерелом безперервного живлення Itek-UPS, яке забезпечує автономну роботу обладнання КТЗ протягом дванадцяти годин.

При використанні традиційних комутованих каналів зв`язку опитування значної кількості територіально-розгалужених лічильників займає багато часу, тому в структурі АСКОЕ компанії була передбачена схема опитування лічильників з використанням GPRS зв`язку. Схемою передбачається, що сервер БД, через комунікаційний сервер (КС), постійно утримує зв`язок з кожним об`єктом обліку, використовуючи Ethernet технології. Таким чином доступ до даних кожного окремого лічильника здійснюється практично миттєво. Окрім того, програмно-апаратні засоби, які використовуються в АСКОЕ дозволяють виконувати опитування лічильників паралельно, тобто, якщо на підстанції встановлено контролер з 8 послідовними входами типа струмова петля (CL), то опитування лічильників проводиться по всіх восьми входах одночасно. Таким чином, час зчитування інформації з всіх лічильників підстанції буде дорівнювати часу опитування лічильників одного каналу, до якого підключено найбільше лічильників. На рівні ЦП запит на опитування всіх підключених лічильників задається одночасно по всіх підстанціям включених в АСКОЕ, що дозволить вчасно формувати звіт до ПрАТ НЕК «Укренерго», а також необхідні макети всім сусіднім ліцензіатам.

Висновки

Запропонована багаторівнева автоматизована система комерційного обліку електроенергії енергопостачальної компанії, яка побудована на принципах реалізація концепції Smart Grid і призначена для достовірного визначення обсягів власного електроспоживання, а також для контролю перетоків електроенергії компанії з суміжними суб'єктами Енергоринку електроенергії. АСКОЕ складається із двох рівнів: нижнього - рівня точок і об'єктів обліку електроенергії; верхнього - рівня центрального пункту і автоматизованих робочих місць АСКОЕ.

Список використаних джерел

1. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку//Праховник А.В., Калінчик В.П., Тимошенко Ю.В. та інші. - Інформаційний бюлетень НКРЕ.- 2002. - №11.-С.230-261.
2. Кодекс систем розподілу. Постанова НКРЕ від 14.03.2018 № 310.
3. Кодекс комерційного обліку електричної енергії. Постанова НКРЕ від 14.03.2018 № 311.

УДК 621.311:621.316

UDC 628.979

Tareq Emzekah
Power Supply Department

ENERGY EFFICIENCY PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR ROAD LIGHTING DESIGNS AND LUMINAIRES IN UKRAINE

External lighting has been and remains one of the important elements of the improvement of the city. The EU road lighting standard outlines sound calculation principles for determining key energy efficiency parameters for the installation power density, installation efficacy, and annual energy consumption indicator. Their usefulness as a comparative tool for the full road design is evident; but this standard alone does not lay out clear indication of a minimum performance level to be achieved by the lighting design. Adoption of a road lighting design efficiency grading scale based on this standard from benchmarking of many application situations would be a powerful tool.

Key words: energy efficiency index, road lighting performance, street lighting, technical parameters of road lighting.

Introduction. Street Lighting (or Roadway Lighting) is one of the most common forms of exterior lighting. The general purpose and importance of street lighting is to allow drivers and pedestrians to travel safely, see hazards, recognize objects and have a sense of security, as a result of improved night time visibility. Properly designed and maintained street lighting can provide comfort and safety during nighttime conditions for both vehicle and pedestrian traffic.

Some of the major issues concerning the design and specifications for roadway lighting include the light level, colour quality, light distribution, maintenance and initial cost. In recent years, energy efficiency has also become a priority consideration – particularly in countries where electricity tariffs are high – due to the long operating hours of most outdoor lights. Increased energy efficiency in street lighting systems significantly reduces operation and maintenance costs.

In evaluating requirements for street lighting it is important to note that consideration of options for achieving energy savings must be made within the context of requirements put in place for ensuring road safety.

Purpose and objectives of the research. The aim of this study is to conduct an assessment of existing international methodologies, standards and guidelines for establishing energy efficiency requirements for streetlights, and related performance requirements for lighting installations for various classes of roads and identify options that may be suitable for application in Ukraine.

Research materials and results

1. Typical Road Lighting Design Solutions. Typical lamps and luminaires used for street lighting [1-5].

Various lighting system configurations are defined and discussed in this section.

- Continuous Freeway Lighting
- Partial Interchange Lighting
- Complete Interchange Lighting
- Underpass Lighting
- Other Streets and Highways Lighting
- Bridge Lighting

The most important element of planning bridge lighting is the street light component. You need to ensure that adequate visibility is always the top priority for the safety of drivers. This means installing high performing street lamps evenly spaced yet close enough together that their scopes don’t leave any shadowy recesses. You always want to make sure the guard rails are properly illuminated as well. For these two areas of lighting, you want high lumens in warm temperatures to balance out the factors of visibility and glare.

Spotlight from underneath: Aside from safety matters, visual appeal is the next matter of importance. With a bridge, you should spotlight from underneath to highlight the beauty of the bridge from a distance. Most bridges are built to be admired so proper lighting is essential. A good tip is to place spotlights underneath the bridge, so they highlight the overall shape of the bridge in an attractive manner.

Highlight any areas of architectural interest on the bridge: Aside from highlighting the underside of the bridge for an overall illuminance, you should also draw attention to any special architectural features. For instance, the Brooklyn Bridge without lights on the archways would be pretty drab. Make sure you properly illuminate any special features of the shape of the bridge overhead to bring it to life in a beautiful way.

Experiment with colors: Of course, another way to highlight the structural features is with colors. Many cities choose to light their bridges with colored lights for a pleasant display. Whether that means lighting it up pink for breast cancer awareness, or the colors of the city football team, there is no denying that color is a great way to add an extra element to the lighting scheme [5].

Roadways with Median Barriers Lighting: The median barrier twin mast arm lighting units have certain advantages such as providing the same number of luminaires with fewer poles, utilizing back light from luminaires, and are less likely to be knocked down.

The disadvantages of median lighting are that traffic control is required when working on median lights and the potential danger to employees working on the median lights. In high volume urban areas, it is very difficult to maintain barrier lighting and, if possible, luminaires should be placed on the outside edge of the roadway (side-mounted). Additionally, median barrier mounted lights should not be used in high volume areas without a 10-foot inside shoulder. If used, median barrier mounted luminaires typically use double 6-foot davit-type mast arms.

Intersection Lighting: Lighting at intersections is usually justified and will alert the driver to an approaching intersection. Notes regarding intersection lighting are as follows:

- Luminaires should be placed on or near prominent conflict points.
- Lighting should be provided at all signalized and flashing beacon intersections.
- A signal pole shaft extension with a luminaire mast arm should be utilized whenever possible to avoid adding more poles at the intersection.
- Street lights on traffic signal poles should be fed from the traffic signal service point.
- The level of illumination of a signalized intersection is dictated by the area classification (commercial, residential) of the roadway.
- Additional light poles may be necessary when the intersection has channelization or complex turning lanes.
- Suggested levels of illumination and average horizontal footcandles for roadway lighting.
- The level of illumination at an intersection should be 1.0 greater than that between intersections where there is continuous lighting.
- Where the level of illumination is low between intersections, such as 0.6 footcandles, the light intensity at the intersection should be doubled as a rule.

Lamps and Luminaires

A luminaire is the complete lighting unit consisting of a lamp together with the parts designed to distribute the light, to position and protect the lamp, and to connect the lamp to the power supply. Luminaire components will be discussed in the following sections and can be grouped in terms of their functions as follows:

- Optical
- Electrical
- Mechanical.

Luminaires for roadway lighting should normally be the shallow glass "cobra head" style, “vertical” head style, or “high mast” style. However, in certain circumstances "shoebox" style

luminaires are being used.Shoebox style luminaires are often appropriate for the interior lights in rest areas. Where a municipality is maintaining the lights, other decorative luminaires may be used [6].

Luminaires should only have photocells when the electrical service point (feedpoint) does not provide photoelectric control.

The fairest indicator of overall energy efficiency of a luminaire, which incorporates both the lamp technology and luminaire design, is the luminaire efficacy rating (LER) metric; which is a measure of total luminaire light output divided by the total luminaire power input.

2. Technical parameters of road lighting luminaires

Road modelling and assessment of the international luminaire and road design efficiency standards was undertaken at a cursory level for this report to get a basic impression of potential impacts of their introduction. The road category used for assessment was P4; using single-sided/staggered/opposite pole arrangements, semi-cutoff and aeroscreen type luminaires, at a typical mounting height of 7.5 metres, and road reserve width was set to 20 metres. The required average illuminance level as per AS/NZS 1158.3.1 for P4 lighting design is 0.85 lux.

3. Road Lighting Performance Requirements

The International Energy Agency, Energy Efficient End-use Equipment, Solid State Lighting Annex (IEA 4E SSL) was established in 2009 for the purpose of providing advice to its ten member countries which were seeking to implement quality assurance programs for SSL lighting.

One of the chief collaborative tasks for IEA 4E SSL has been development of performance tiers for a number of LED product categories, which includes streetlights within the scope of outdoor lighting. The tiers (Table 1, Figure 1) have been designed to provide a limited (rationalised) set of performances that could be adopted by countries for their energy efficient lighting programs, including minimum energy performance standards (MEPS), higher energy performance standards (HEPS), endorsement labels, incentive schemes, procurement schemes and the like (IEA 4E SSL (www.ssl.iea-4e.org/task-1-quality-assurance)).

Table 1. IEA 4E SSL energy efficiency performance tiers.

	Tier 1 (MEPS)	Tier 2 (HEPS)
Minimum downward luminaire efficacy (initial)	(0.0010 x ϕ) + 51	(0.0012 x ϕ) + 64

where ϕ is initial luminous flux.

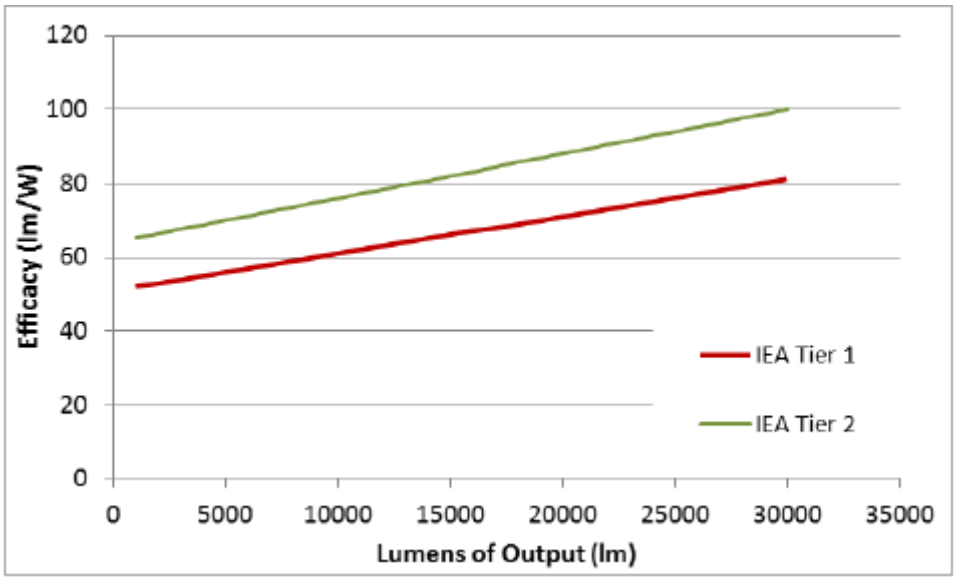


Figure 1. IEA 4E SSL energy performance tiers for LED luminaires.

4. Energy efficiency index calculations

The purpose of this standard is to define energy performance indicators for road lighting installations using a calculated power density (D), and a calculated annual energy consumption indicator (ECIy). It also contains equations for calculating the installation efficacy of road lighting schemes, to be adopted as a comparative tool. This standard does not set minimum performance levels.

Its scope is lamp technology neutral. The power density demonstrates the energy need for a road lighting design, while fulfilling relevant luminance/illuminance lighting requirements for different roadways as specified in EN 13201-2

$$D = \frac{P}{\sum_{j=1}^{n} \overline{E_j} \cdot A_j} \left(\frac{W}{lux.m^2}\right)$$

where P is the total lighting system power (W); Ej is the average illuminance of the jth section of the road (lux); Aj is area of the jth section of the road (m^2); n is the number of sections of the road to be lit.

The energy consumption indicator indicates the total electrical energy consumed by a lighting installation day and night throughout a specific year. It is noted that light sources or their control devices may consume energy during the period when lighting is not needed, therefore the parasitic power must be included in calculations applying to the relevant period.

$$ECI_y = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{m_i} P_{ik} t_{ik}}{1000 \sum_{i=1}^{n} A_i} \left(\frac{kWh}{m^2}\right)$$

$$= \text{Summation of } \left[\frac{Lighting\ System\ Power\ (in\ i^{th} section\ of\ road) \times time\ (length\ of\ k^{th}\ period)}{1000 \times Area\ (of\ i^{th} section\ of\ road)}\right]$$

where n is the number of sections of the road to be lit

Installation efficacy of a road lighting design is defined using a minimum luminous flux that would be needed to provide the minimum lighting class for the specified areas as defined in EN 13201-2.

For illuminance based design (eg. Category P in Australia), this minimum flux can be reframed in terms of required lux levels over the area which must be illuminated, such that the minimum luminous flux on the task = Average Illuminance x Area.

$$\text{Installation efficacy} = \frac{\text{Minimum luminous flux on the task area}}{\text{total power consumption of lighting installation}} \left(\frac{lm}{W}\right)$$

$$= \frac{\text{Average Illuminance} \times \text{Area}}{\text{total power consumption of lighting installation}} \left(\frac{lux.m^2}{W}\right)$$

For luminance based design (eg. Category V), the average road surface luminance in the dry condition L, a corresponding value of the average illuminance is derived by Illuminance = Luminance/Road surface luminance coefficient.

$$\text{Installation efficacy} = \frac{\text{Average Luminance of the task area} \times \text{Area}}{\text{Luminance coefficient of road surface} \times \text{Power consumption}}$$

The average luminance coefficient of the road surface is typically set to 0.07.

Based upon the calculation principles for streetlight performance and evaluation contained in the EU standard, two EU countries have additionally introduced explicit MEPS levels for luminaires and/or road lighting designs, these being Spain and the Netherlands.

5. **Energy Labelling of lighting luminaires and bulbs**

A one page road lighting energy efficiency report could be generated as part of the lighting design and one would expect it to be incorporated into commonly used road lighting design software relatively quickly once adopted. This one page report would provide all the energy efficiency information about the proposed lighting design as well as including key parameters required for assessing the overall cost benefit of the installation. This information is important in determining the preferred solution, as there are situations where the financial savings gained through energy efficiency are exceeded by the increase in capital and maintenance costs.

Key parameters to be reported should include:

- Unique site identifiers
- RLE Star Rating
- Dimave (default is 100%)
- Road lighting re-classification justifications and associated dimming schedule
- Lamp types (ILCOS code) and associated lamp efficacies (where lamps are replaceable in luminaires to retain LERs)
- Key design parameters (explicit clarification of design-assigned LLMF and corresponding lamp age).
- Lamp Lumen Maintenance Factor (LLMF)
- Life of lamp at assigned LLMF

A brief summary of the updates that would be required to the AS/NZS1158 series should these recommendations be adopted is provided here. The endeavour has been to minimise the number of changes required to the publications within the series.

Conclusion. Based on the information reviewed for this search, and the performance analyses that were conducted to compare roadway lighting systems using different light source technologies, it appears that for LED technologies in particular, efficiency and photometric performance have evolved in recent years to the point that LED roadway lighting is presently a feasible choice and can often lead to reductions in energy use of around 15% or greater, or life-cycle cost reductions in the long term, depending upon the initial cost of LED luminaires. However, specific luminaires using LED sources can have a wide range of performance, and should be judged on an individual luminaire basis.

References:

1. Promoting Energy Efficiency in the Pacific (Phase 2) - Energy Efficiency Guidelines for Street Lighting in the Pacific. Available at: http://prdrse4all.spc.int/system/files/energy_efficiency_guidelines_for_street_lighting_in_the_pacific.pdf.

2. Beccali, M., Bonomolo, M., Leccese, F., Lista, D., & Salvadori, G. (2018). On the impact of safety requirements, energy prices and investment costs in street lighting refurbishment design. Energy, 165, 739–759. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.011

3. Kulasooriyage, C. S., Namasivayam, S. S., & Udawatta, L. (2015). Analysis on energy efficiency and optimality of LED and photovoltaic based street lighting system. Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka, 48(1), 11. https://doi.org/10.4038/engineer.v48i1.6844

4. ELECTRICAL AND TRAFFIC ENGINEERING MANUAL. Electrical and ITS Engineering https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/driving-and-transportation/transportation-infrastructure/engineering-standards-and-guidelines/electrical/electric-design-manual/300/section-300-lighting-design.pdf

5. Roadway Lighting Design Manual, Mn/DOT Roadway Lighting Design Manual, May 2010

6. Portal, E., 2020. Roadway Lighting Design Manual. [online] EEP - Electrical Engineering Portal. Available at: https://electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/electrical-engineering/roadway-lighting-design.

Жилінський А. С.
Кафедра електропостачання

ВАКУУМНЕ КОМУТАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ: АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

В даній статті розглянуто аналіз вакуумного комутаційного обладанання та перспективи його розвитку. Здійснено опис технічних характеристик сучасного обладнання, проведено огляд конструкції вибраного вакуумного вимикача. Досліджено переваги та недоліки вакуумного обладнання. Окреслено перспективи (завдання) подальшого розвитку та використання в електроенергетиці.

Ключові слова: вакуумне комутаційне обладнання, вакуумний вимикач, вакуумна камера.

The analysis of vacuum switching equipment and prospects for its development are considered in this article. The description of technical characteristics of the modern equipment is carried out, the review of a design of the chosen vacuum switch is carried out. The advantages and disadvantages of vacuum equipment are investigated. Prospects (tasks) for further development and use in the power industry are outlined.

Key words: vacuum switching equipment, vacuum switch, vacuum chamber.

Постановка проблеми. Не викликає сумніву, що широкого використання в різних галузях науки та техніки нині набуло вакуумне обладнання.

Науковий етап у розвитку вакуумної техніки розпочав видатний італійський вчений Галілео Галілей, подальший розвиток застосування вакуумного обладнання досліджено в чисельних теоретичних та експериментальних роботах, серед яких слід виокремити дослідження, проведені вченими І. Ленгмюром, С. Дешманом, Н. Р. Кемпбелом, М. Кнудсеном, С. О. Векшинським. На сьогодні важко знайти таку галузь науки і техніки, де не використовуються досягнення вакуумної техніки.

В енергетиці застосування вакуумної техніки перш за все пов’язано з проблемою керованого термоядерного синтезу, бо усі теперішні проєкти таких реакторів передбачають наявність вакуумної камери. Так як вакуум є ізолятором, то його застосування широко використовується у комутаційному обладнанні в електроенергетичних мережах по всьому світу, а саме – у вимикачах. Головним елементом вимикача являється дугогасильна камера, вона призначена для гасіння електричної дуги, яка виникає в вимикачі при роз’єднанні контактів. Якщо в основі гасіння дуги використовується вакуум то такі вимикачі називаються вакуумними.

Кількість вакуумних вимикачів у нашій країні складає близько 50% від інших типів. Вакуумне комутаційне обладнання має найбільшу динаміку розвитку і є найбільш перспективним в розподільчих установках середньої номінальної напруги. Це пояснює **актуальність** обраної теми дослідження.

Метою статті є аналіз використання і перспективи розвитку сучасного вакуумного комутаційного обладнання в контексті застосування його в електроенергетиці.

Завдання, які планується розв’язати:

1) опис вакуумного комутаційного обладнання, визначення його переваг та недоліків;
2) визначення електротехнічних характеристик вакуумного комутаційного обладнання;
3) вибір вакуумного вимикача;
4) висновки по впровадженню вакуумного комутаційного обладнання, перспективи подальшого використання.

Сучасний стан електричних мереж та підстанціях в Україні вимагає заміни застарілого

морально і фізично обладнання. Технічний стан українських мереж і трансформаторних підстанцій напругою 10 кВ і нижче викликає серйозні побоювання.

Частка обладнання мереж 6-10 кВ, що вимагає ремонту і заміни, досягає 60-70 %. Світова тенденція розвитку електротехнічного устаткування така, що раніше поширені оливні і малооливні вимикачі на напругу 6-10 кВ повсюдно замінюються на вакуумні вимикачі (далі – ВВ). Ще в кінці 90-х років за даними компанії «Siemens» співвідношення між різними типами вимикачів, продаваних у світі на середню напругу, становило у відсотках: малооливні - 12, елегазові - 24, вакуумні - 64. Нині ВВ займають більше 80 % на ринку.

Тенденції розвитку високовольтних вимикачів 6-35 кВ, наведені на рис. 1.1, показують стійке зростання застосування в світі вакуумних вимикачів.

Розвиток вакуумних вимикачів пов'язаний з тим, що вакуум є ідеальним ізоляційним середовищем, так як іонізація молекул газу шляхом зіткнення з ними електронів надзвичайно мала, а значить, практично виключено лавиноподібне наростання кількості заряджених частинок через вельми низьку щільність газу. Тому електрична міцність ізоляційного міжконтактного проміжку у вакуумі значно вища, а довжина дуги значно менша, ніж в оливних, елегазових і повітряних вимикачах. Це дозволяє істотно знизити габарити дугогасильної камери вакуумного вимикача.

В Україні на даний момент простежується аналогічна тенденція. Число продаваних вакуумних вимикачів в нашій країні становить близько 50% від інших типів.

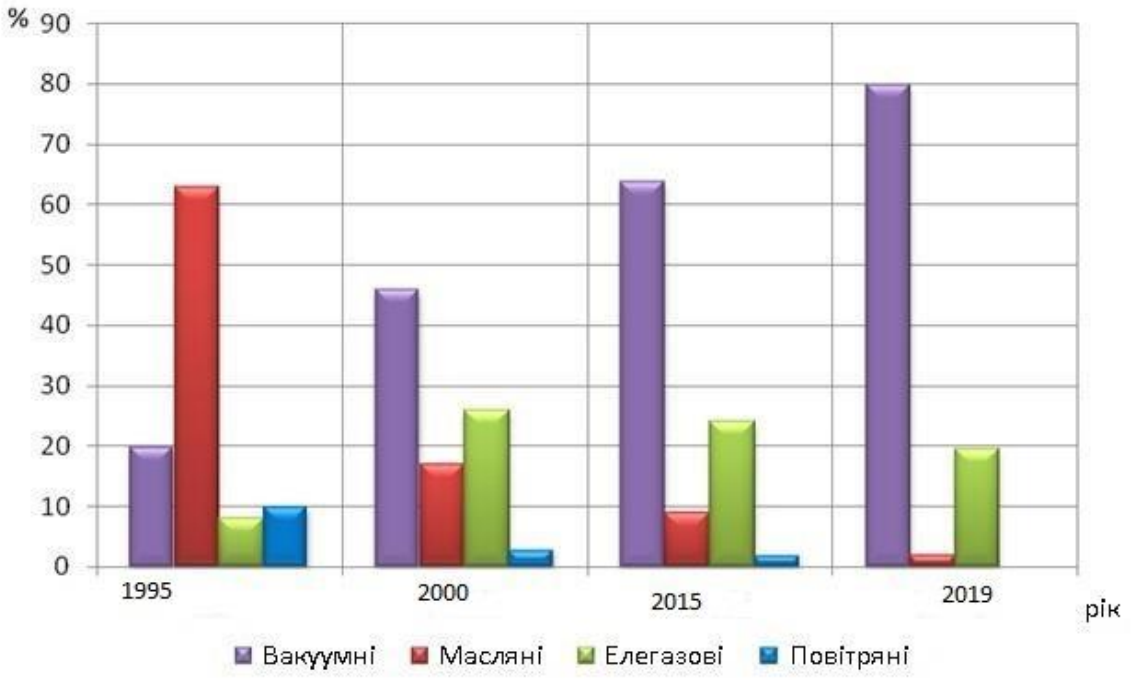


Рисунок 1.1 – Розвиток вакуумних високовольтних вимикачів 6-35 кВ

Вітчизняні заводи серійно випускають ВВ з 1981р. Розроблені ВВ на напругу 10 і 35 кВ використовуються на підстанціях розподільних мереж, а також у різних галузях промисловості:

- у металургійному виробництві, на печних трансформаторах сталеплавильних печей;
- на тягових підстанціях електрифікованих залізниць і метрополітену;
- в електрообладнанні для відкритих гірничих робіт для потужних екскаваторів,

комплектних трансформаторних підстанцій (КТП);

- в конденсаторних установках на напругу 6-10 кВ і т.д.

В якості відмітних достоїнств вакуумних вимикачів, що забезпечують їм переваги перед іншими типами вимикачів на середній клас напруг, можна відзначити наступні: висока надійність; низькі експлуатаційні витрати; високий комутаційний та механічний ресурс; безпека експлуатації та екологічність; широкий діапазон температур навколишнього середовища в якому можлива робота (від -70 до +200°С); підвищена стійкість до ударних і вібраційних навантажень; довільне робоче положення вакуумної дугогасильної камери в просторі; можливість організації високоавтоматизованого виробництва; термін служби до 25 років.

Недоліками вакуумних вимикачів є: труднощі розробки і виготовлення, пов'язані із створенням спеціальних контактних матеріалів, складністю вакуумного виробництва, схильністю матеріалів контактів до зварювання в умовах вакууму; великі капітальні вкладення, необхідні для наладки масового виробництва дугогасильних камер.

До показників надійності елементів схем електричних з'єднань відносять частоту відмов, час відновлення, частоту і тривалість капітального та поточного ремонтів.

За інших рівних умов, тобто, якщо навіть взяти до уваги, що частота відмов і час відновлення після аварії рівні для вакуумних і традиційних вимикачів, то частота і тривалість ремонту останніх, безсумнівно, вища.

Наприклад, для малооливних вимикачів ВК-10, масло необхідно замінити після 10 операцій відключення струму 20 кВ. Після виконання вимикачем 2000 циклів операцій включення і відключення, необхідно проводити технічне обслуговування приводу. Після виконання вимикачем 3000 циклів операцій включення-відключення необхідно проводити капітальний ремонт. А середній ремонт вимикача повинен проводитися не рідше одного разу на 4 роки.

Вакуумні вимикачі є практично не обслуговуваними. Огляд і періодичні перевірки ВВ рекомендується проводити один раз на 3-5 років. Під час цих перевірок необхідно провести високовольтні випробування вакуумної дугогасильні камери та ізоляції вимикача, а також перевірити перехідний опір контактів.

Низькі експлуатаційні витрати визначаються відсутністю необхідності утримання оливного і компресорного господарств, крім того вакуумна дугогасильна камери (ВДК) не вимагає поповнення дугогасильним середовища. Висока комутаційна зносостійкість дозволяє значно скоротити витрати з обслуговування ВВ, а також перерви в електропостачанні, пов'язані з виконанням регламентних робіт.

Число відключень номінальних струмів, що допускається без ревізій та ремонту ВДК, досягає 50 тисяч, а номінальних струмів відключення (струмів короткого замикання) - від 20 до 200 в залежності від типу ВДК і значення струму. Як вже було зазначено раніше, при експлуатації малооливних вимикачів необхідно проводити ревізію після 1000-2000 відключень номінального струму або 3-12 відключень номінального струму відключення.

Високий механічний ресурс ВВ обумовлений насамперед тим, що хід контактів ВДК становить від 6 до 10 мм на напруги 6-10 кВ. Для оливних і електромагнітних вимикачів на ці ж напруги хід контактів досягає 100-200 мм, а, отже, застосовується більш складна конструкція приводу, що вимагає великих витрат енергії на включення і відключення вимикача, що призводить до необхідності постійного догляду і перевірок стану деталей приводу, що також підвищує експлуатаційні витрати на утримання вимикача.

Високий комутаційний і механічний ресурс дозволяють застосовувати ВВ в схемах з частими комутаційними: для трансформаторів сталеплавильних печей; для комутацій насосів, компресорів і т.д.

Для ВВ характерні мала енергія приводу, малі динамічні навантаження і відсутність викиду газів, масла. Маса і габарити ВВ значно нижче маси і габаритів традиційних вимикачів

при однакових номінальних параметрах струму і напруги. Все це забезпечує безшумність роботи і запобігає забрудненню навколишнього середовища.

Герметичне виконання ВДК і відсутність середовища, що підтримує горіння, забезпечує високу пожежо-і вибухобезпечність і можливість роботи в агресивних середовищах.

Завдяки своїм перевагам вакуумні вимикачі все ширше застосовуються як при будівництві нових комплектних розподільних пристроїв, так і для заміни морально і фізично застарілих традиційних вимикачів при реконструкції комплектних розподільчих пристроїв, що знаходяться в експлуатації.

Якщо брати в розгляд більш високу вартість вакуумних вимикачів, то в даний час психологія замовників поступово змінюється. Багато хто починає розуміти, що нехай дороге, але якісне обладнання, врешті-решт, себе окупить.

За вартістю і надійності, зараз можна виділити три основні позиції в комутаційному обладнанні 6-10 кВ:

- дешеві і ненадійні традиційні вітчизняні вимикачі;
- дорогі і надійні вакуумні імпортні вимикачі;
- надійні вітчизняні вакуумні вимикачі, за вартістю, що перевершують традиційні, але поступаються в ціні західним зразкам.

За концепцією АТВТ «РОСЕП», інституту з проєктування мереж середньої напруги, вимикачі на 10 кіловольт повинні бути вакуумними, на 35 кіловольт припустимі і вакуумні, і елегазові, а на 110 кіловольт і вище - лише елегазові. До того ж, елегазові вимикачі за ціною в 2-3 рази перевершують вакуумні.

Вибір обладнання в цій ситуації залежить від замовника, від його вимог до надійності постачання, від його фінансових можливостей.

Конструктивне виконання сучасного вакуумного обладнання розглянемо на прикладі вакуумного вимикача VD4 концерна «ABB». Дані вимикачі VD4 (рис. 1.2.) призначені для внутрішньої установки в осередку розподільних пристроїв з повітряною ізоляцією. Вимикачі VD4 використовуються при розподілі електроенергії для захисту кабелів, повітряних ліній, трансформаторів, розподільних підстанцій, двигунів, генераторів і конденсаторних батарей. Вони володіють високою комутаційної здатністю, яка гарантує надійну роботу, як у нормальному, так і в аварійному режимі. Вакуумні вимикачі VD4 мають колонкову конструкцію. Новий VD4 - синтез нової технології виготовлення полюсів із заливкою вакуумних дугогасильних камер в полюса і сучасного конструювання і виробництва вимикачів. У вимикачах середньої напруги VD4 застосовані вакуумні камери, залиті в епоксидні полюса. Заливка камер в епоксид робить полюса дуже міцними і захищає камеру від ударів, забруднення і зволоження. Вакуумна камера містить контакти. Вимикачі поставляються у вигляді окремих апаратів для стаціонарного монтажу або змонтовані на викочування елементі.

Основними перевагами даних вакуумних комутаційних пристроїв є:

- велика довговічність;
- висока експлуатаційна надійність;
- компактна конструкція і невелика вага;
- проста методика перевірки і мінімальні вимоги до технічного обслуговування;
- велике допустиме число комутацій.



Рисунок 1.2 – Вакуумний вимикач VD4

Відключення струму у вакуумі. Вакуумному вимикачеві не потрібна дугогасильне і ізоляційне середовище, оскільки дугогасильні камери не містять іонізуючих матеріалів. Завжди при розмиканні контактів дуга горить виключно в парах матеріалу контактів, які нею розплавляються і випаровуються. Пари металу зберігаються, підтримувані тільки зовнішньою енергією, до переходу струму через природний нуль. До цього моменту зменшується інтенсивність випаровування і росте швидкість конденсації парів металу, що веде до дуже швидкого відновленню електричної міцності. Внаслідок цього, вакуумна дугогасильні камери відновлює ізоляційну здатність, здатність витримувати перехідну відновлювальну напругу і відбувається остаточне гасіння дуги. Так як електрична міцність у вакуумі може бути досягнута навіть при мінімальних відстанях між контактами, відключення ланцюга гарантується також, коли розмикання контактів відбудеться за кілька мікросекунд до переходу струму через нуль. Спеціальні матеріали і конструкція контактів добре обмежують тривалість і напругу дуги, гарантуючи мінімальний знос контактів і великий ресурс. Крім цього, вакуум перешкоджає їх окисленню і руйнуванню.

Конструкція полюсів вимикача. Полюса вимикача змонтовані на задній частині корпусу приводу, яка має форму консолі. Із застосуванням нових технологій знаходяться під напругою деталі полюсів залиті в епоксидну смолу, а у вимикачів з високими параметрами - встановлені в відлиті з епоксидної смоли корпусу. Завдяки цьому вакуумні камери захищені від ударів і інших зовнішніх впливів. При включеному вимикачеві струм йде від верхнього виведу вимикача до нерухомого контакту вакуумної дугогасильної камери, а звідти через нерухомий контакт до нижнього виводу вимикача. Відключення вимикача відбувається за допомогою ізоляційних сполучних тяг зі вставленими контактними пружинами стиснення. Розріз вакуумного вимикача типу VD4 представлений на рис. 3.3. У вакуумних камерах при розмиканні контактів виникає дуга у вакуумі, яка зберігається до переходу струму через нуль і може бути схильна до впливу магнітних полів.

Конструкція вакуумної дугогасильної камери показана на рис. 1.3.

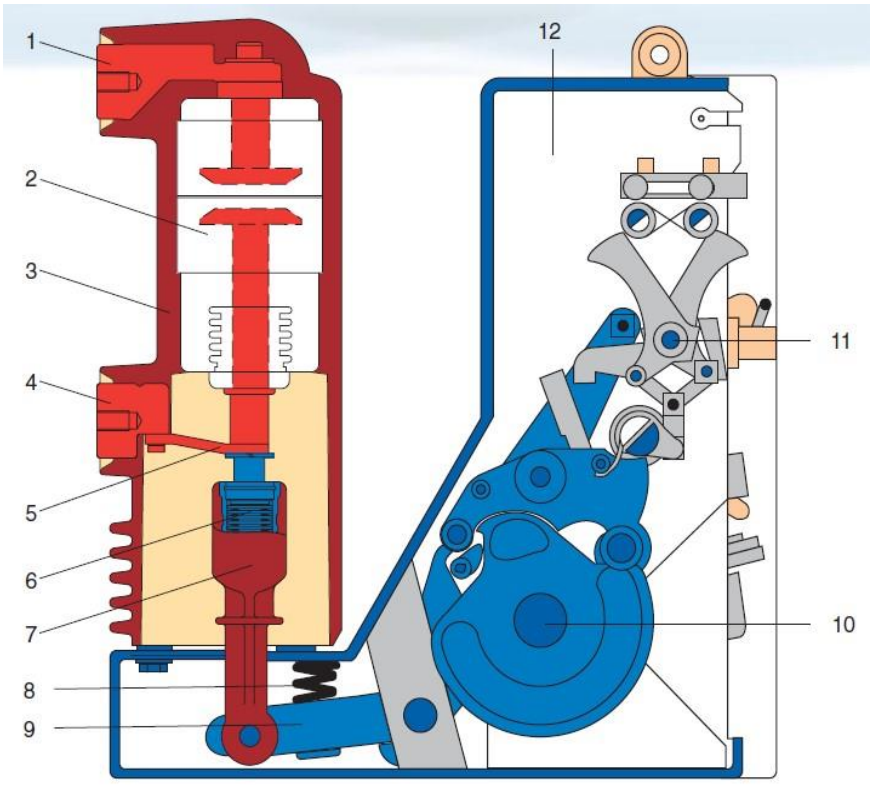


Рисунок 1.3 - Розріз вакуумного вимикача VD4 с залитими полюсами

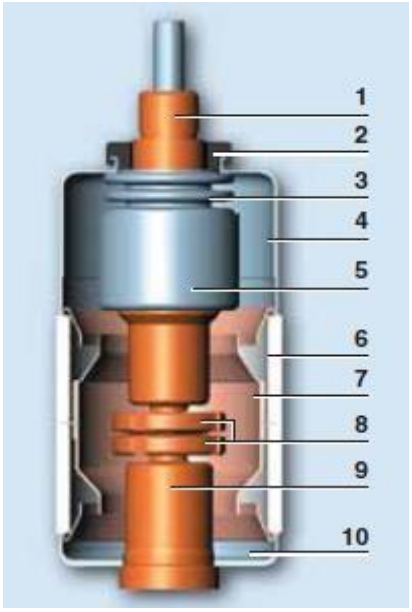
На даному рисунку позначено такі деталі ВДК:
1 – верхній вивод вимикачі;
2 – вакуумна дугогасильна камера;
3 – корпус полюса;
4 – нижній вивод вимикача;
5 – гнучкий контакт-стрічка (для 630 А);
6 – контактна пружина зжимання:
7 – ізоляційна з'єднувальна тяга;
8 – вимикаюча пружина;
9 – передаточный важіль;
10 – вал привода;
11 – механізм роз'єднання;
12 – корпус привода с пружиним накопичувальним механізмом.

Дуга у вакуумі - дифузна або стисла. Слідом за розмиканням контактів на однорідній поверхні катода, виникаючі окремі розплавлені точки виділяють розплавлений метал, який підтримує дугу. Дифузна дуга у вакуумі характеризується поширенням над контактною поверхнею і рівномірним розподілом теплового навантаження по поверхні контактів. При номінальному струмі вакуумної камери електрична дуга завжди дифузного типу. Ерозія контактів незначна і число відключень струму дуже велике. При збільшенні відключався струму електрична дуга перетворюється з дуги дифузного типу в дугу стисненого типу завдяки ефекту Холла.

Виникши на аноді, дуга стискається. Відбувається збільшення температури в результаті теплового навантаження на контакти. Дуга обертається для запобігання перегріву і ерозії контактів.

Особлива спіральна геометрія контактів вакуумних камер «ABB» (рис. 1.4) створює

радіальне магнітне поле у всій області знаходження стовбура дуги, наявного по колу контактів. Електромагнітна сила є самогенеруючою і діє тангенціально, викликаючи швидке обертання дуги навколо осі контакту.



1 – стержень/вивод;
2 – круговий захист;
3 – сильфон;
4 – кришка камери;
5 – екран;
6 – керамічний ізолятор;
7 – экран;
8 – контакти;
9 – вивод;
10 – кришка камери.

Рисунок 1.4 – Вакуумна камера

Таким чином, дуга примусово обертається і охоплює велику поверхню, у порівнянні з фіксовано стислою дугою.

Крім мінімізації термічного навантаження на контакти, все це робить їх ерозію незначною, а все разом дозволяє відключати навіть дуже великі струми КЗ. Вакуумні камери ABB відключають в нуль струму без повторних пробоїв. Швидке зменшення заряджених частинок в струмі і конденсації пари металу спільно з переходом струму через нуль дозволяють досягти максимальної електричної міцності між контактами камери протягом мікросекунд.

Конструкція приводу вимикача. Пружинний привід є загальним для всіх трьох полюсів вимикача. Взводом пружинного механізму акумулюється необхідна для комутацій енергія, і привід готовий до роботи. Пружинний привід складається з циліндричного корпусу, в який вставлена спіральна пружина накопичувального механізму, для передачі енергії на рухливі контакти вимикача. Крім того, є наступні додаткові пристрої: розмикачі, допоміжні перемикачі, а також елементи для управління та індикації, поміщені на передній стороні корпусу приводу. Привід може використовуватися для повторного включення, а враховуючи нетривалий час накопичення, для багаторазового повторного включення. У вимикача в базовому виконанні пружинний накопичувальний механізм зводиться електродвигуном, а при відсутності живлячої привід напруги може бути зведений вручну.

Розглянемо питання вибору ВВ.

Вимикач, що вибирається повинен працювати без пошкодження в найбільш важкому за умовами експлуатації режимі роботи мережі. Тому вибір вимикача, здатного безвідмовно працювати протягом всього терміну експлуатації мережі, рекомендується проводити за наступним описом:

1. Слід провести порівняння номінальних параметрів вибраного типа вимикача з параметрами електричної мережі в місці його установки: номінальна напруга вимикача повинна бути рівна або більше номінальної напруги мережі, що захищається; його номінальний тривалий струм повинен перевищувати номінальний струм електроустановки;

номінальний струм вимикання вимикача повинен бути більше максимального розрахункового струму КЗ Ік у момент контактів.

2. При визначенні струму Ік повинні розглядатися всі можливі варіанти КЗ і з них повинен бути вибраний найбільш важкий, яким звичайно є режим відключення трьох- і однофазного КЗ на землю. Розрахунок аперіодичної складової повинен проводитися з урахуванням того, що КЗ відбулося в мить, коли напруга в одній з фаз рівна нулю. Номінальний струм вмикання вимикача повинен бути не меншим, ніж протікаючий через вимикач ударний струм КЗ.

3. При виборі вимикача слід мати на увазі, що у момент розмикання контактів вимикача аперіодична складова струму КЗ не повинна перевищувати аперіодичний струм, гарантований заводом-виробником. Зазвичай цей струм виражається у відсотках номінального струму вимикання. Розрахунковий час розмикання контактів вибирається мінімально можливим.

4. Разом з номінальним струмом вимикання повинні враховуватися цикли (послідовність вмикань (В) і вимикань (О) – В), при яких вимикач працює. Номінальний струм вимикання вимикачів без АПВ гарантується при циклі О -180ВО-180-ВО.

5. Термічна стійкість перевіряється з умови протікання через вимикач струму КЗ протягом максимального часу, обумовленого спрацьовуванням захисту. Номінальний струм електродинамічної стійкості вимикача повинен перевищувати максимально можливе значення ударного струму КЗ, яке може бути в електроустановці.

Вимикачі, що випускаються промисловістю, випробовуються при типових швидкостях відновлення напруги. Тому звичайно немає необхідності проводити розрахунок швидкості відновлення напруги в проєктованих мережах і порівнювати з умовами, які мали місце при випробуваннях апарату.

Висновки. Аналіз сучасного розвитку енергетики дозволяє зробити висновок, що в даний час відбувся якісний прорив в технології високовольтного комутаційного обладнання, на заміну оливних і повітряних вимикачів прийшло обладнання з використанням як ізоляційного, так і дугогасильного середовища вакууму. Вакуумні вимикачі по даній характеристиці кращі в експлуатації за оливні та малооливні вимикачі. Саме тому відбувається заміна оливних вимикачів на вакуумні.

Останні також переважають по вагових та габаритних характеристиках. Ми вважаємо, що найефективніше проводити заміну на вакуумні вимикачі на клас напруги розподільчих мереж 6-35 кВ. Також вакуумні вимикачі є на клас напруги 110 кВ, але вони не такі ефективні в порівнянні з елегазовими по даному класу напруги.

Одна з основних подальших задач в області комутаційного обладнання – підвищення його надійності. У світі регулярно проводиться аналіз відмов апаратів. Надійність обладнання залежить як від своєчасної розробки апаратів нових поколінь, так і від своєчасної заміни застарілих апаратів в експлуатації.

Інше важливе завдання – зниження вагових і габаритних характеристик та матеріалоємності обладнання, зменшення його кількості за рахунок використання прогресивних технічних рішень. При цьому виконання цього завдання не повинно призводити до зниження надійності обладнання.

До важливих можна віднести і завдання зниження експлуатаційних витрат, створення практично не обслуговуючого протягом усього терміну служби обладнання. У світі посилюються вимоги по екологічній чистоті обладнання, і рішення, які раніше вважалися прийнятними, сьогодні піддаються перегляду. У багатьох випадках завдання забезпечення екологічної чистоти виходить на перший план.

Інтенсивне використання вакуумного обладнання обумовлено тим, що в даний час поки не знайдено способів ефективного дугогасіння, здатних конкурувати з дугогасінням у вакуумі. Рівень розвитку напівпровідникової техніки і надпровідних пристроїв нині такий, що апарати з використанням напівпровідникових приладів і надпровідності не можуть конкурувати з

традиційними апаратами на основі вакууму. Однак у світі в цих напрямах розгорнуті серйозні дослідження і можна прогнозувати, що поява альтернативного обладнання є справою недалекого майбутнього.

Таким чином, вакуумне комутаційне обладнання відіграє велику роль у електроенергетиці. На нього припадає достатній відсоток усього використовуваного комутаційного обладнання. Дуже часто при заміні старих (здебільшого оливних вимикачів) використовують вакуумні вимикачі, так як вони надійні в роботі, а надійність в електроенергетиці це життя людей. Але і сьогодні є нещасні випадки, коли люди помирали при роботі з комутаційною апаратурою. Тому подальшими дослідженнями у даній сфері є перспективи удосконалення роботи і надійності комутаційного обладнання; зниження його матеріалоємності та ціни.

Список використаних джерел

1. Лежнюк П.Д. Електричні апарати розподільчих установок. / П. Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 128 с.

2. Лежнюк П. Д. Електричні апарати. Фізичні основи електричних апаратів. / П.Д. Лежнюк, В.Ц. Зелінський. – Вінниця: ВНТУ, 2007. –184 с.

3. Лежнюк П. Д. Електрообладнання розподільних установок. Вакуумні вимикачі. / П. Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський. – Вінниця: ВНТУ, 2010. –137 с.

4. Лежнюк П. Д. Комутаційні електричні апарати. / П.Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський, Л. Н. Добровольська – М.: Луцьк: ЛНТУ, 2010. – 321 с.

5. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій. / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя – М.: Вінниця ВНТУ, 2009. – 194 с.

6. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

7. Перцев А. А. Вакуумные дугогасительные камеры. / А. А. Перцев, Л. А. Рыльская. - Рязань: Рязанский издательский дом, 2008. - 392 с.

8. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций. / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

9. Пожежна безпека об’єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2002. – [чинний від 03 грудня 2002 р.]. – К.: Держбуд України, 2003.

УДК 621.311.15

Журавльова Д.А.
кафедра електропостачання

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ФЕС НА БАЗІ АСКОЕ

Анотація. *Зважаючи на швидке зростання частки генерувальних потужностей на базі альтернативних та відновлювальних джерел енергії в умовах незадовільної якості прогнозування таких графіків та у зв'язку з покладанням у 2021 році плати за небаланси на виробників за «зеленим» тарифом актуалізуються питання щодо точності прогнозування виробітку електроенергії електричними станціями на базі ВДЕ та оперативного обміну прогнозними даними з Гарантованим покупцем. У статті описано розроблений алгоритм прогнозування виробітку електроенергії ФЕС і запропоновано функціональну модель АСКОЕ з функцією прогнозування та оперативного обміну прогнозними даними з Гарантованим покупцем, що зменшує небаланси електричної енергії, а також збільшує ефективність балансування ОЕС в умовах значної частки ВДЕ, забезпечуючи чіткий розрахунок необхідних резервів.*
Ключові слова: *фотоелектрична станція, прогнозування, виробіток, електрична енергія.*

Abstract. *Due to the rapid growth of the share of generating capacities based on alternative and renewable energy sources in the conditions of unsatisfactory quality of forecasting such schedules and in connection with imposing in 2021 the imbalance fee for producers at the "green" tariff, the questions of accurate forecasting of electricity generation on the basis of RES and operative exchange of forecast data with the Guaranteed buyer have been mainstreamed. The article describes the developed algorithm for forecasting photovoltaic power station electricity generation and proposes a functional model of ASKOE with the function of forecasting and prompt exchange of forecast data with the Guaranteed Buyer, which reduces electricity imbalances and increases the efficiency of UES balancing in a significant share of RES, providing clear calculation of necessary reserve margins.*
Key words: *Photovoltaic power station, solar power plant, solar farm, forecasting, generation, electricity.*

Вступ. В Україні відбувається стрімке зростання генерувальних потужностей на базі альтернативних та відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), найбільшу частку яких складають фотоелектричні (ФЕС) та вітрові електричні станції (ВЕС). Головними позитивними наслідками активного впровадження генерувальних потужностей на базі ВДЕ в електроенергетичному секторі України, очевидно, є зменшення потреби у використанні викопного палива під час виробництва електроенергії, що сприяє покращанню екології і в свою чергу призводить до зменшення викидів CO_2. Однак є й негативні наслідки. Це нерегульовані, різко змінні слабкопрогнозовані графіки відпуску електростанцій ВДЕ. Як наслідок – зростання потреб в балансувальних потужностях, погіршення ефективності режимів Об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України та перекладання витрат на врегулювання небалансів на споживачів. Питання точності прогнозування актуалізується і для самих виробників за «зеленим» тарифом, оскільки плату за небаланси (різницю між прогнозованим і фактичним погодинним генеруванням) з 2021 року буде покладено саме на них. У зв'язку з цим до нагальних науково-практичних задач відноситься вдосконалення існуючих та розробка нових методів та засобів для поліпшення якості прогнозування обсягів відпуску електроенергії станціями на базі ВДЕ.

Мета та завдання. Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування лібералізованого ринку електричної енергії шляхом вдосконалення методів прогнозування

виробітку електроенергії ФЕС і застосування АСКОЕ з функціями прогнозування та оперативного обміну інформацією між суб'єктами ринку. Для досягнення зазначеної мети в статті поставлено і розв'язано такі завдання:

- дослідити та вдосконалити методи прогнозування виробітку електричної енергії ФЕС;
- розробити функціональну модель АСКОЕ з функцією прогнозування виробітку електричної енергії ФЕС.

Матеріал та результати досліджень. У цілому методи прогнозування поділяються на дві категорії. Фізичні методи переводять дані про погоду (наприклад, сонячну радіацію, хмарність, швидкість та напрямок вітру з врахуванням рельєфу поверхні та перешкод) у числові дані (числові прогнози погоди) для прогнозування конкретних місцевих погодних умов, в результаті які згодом можуть бути перетворені на прогнози по виробництву енергії. Статистичні методи спираються насамперед на накопичені попередні дані виробітку ФЕС, супутникові чи погодні дані для визначення тенденцій, практично без урахування фізичних параметрів. Найкращі результати забезпечує комбіноване використання статистичних та фізичних методів прогнозування [1].

Розглянемо фізичний метод прогнозування. Вироблення енергії ФЕС суттєво залежить від погодних умов. Потужність ФЕС змінюється в часі пропорційно опроміненню їхньої робочої поверхні сонячним випромінюванням. Тому першим етапом розрахунку прогнозованої потужності ФЕС має бути визначення сумарної сонячної радіації на похилу поверхню сонячної панелі.

Годинний кут ω у довільній точці визначаємо за виразом [2,3]:

$$\omega = 15(12-\tau), \qquad (1)\ .$$

де τ – година доби.

Розраховуємо кут схилення δ, що є кутом між направленням до Сонця та екваторіальною площиною за виразом [2,3]:

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin\cdot(360 \cdot \frac{284+n}{366}) \quad , \qquad (2)\ .$$

де δ_0 – кут нахилу земної вісі у просторі відносно нормалі до площини обертання, $\delta_0 = 23{,}5^0$;

n – порядковий день року.

Значення зенітного куту Сонця визначаємо за виразом [2,3]:

$$\cos\theta_z = \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \sin\delta \ , \qquad (3)\ .$$

де φ – широта місцевості.

Масу повітря знаходимо за допомогою формули Кастена [3, 4]:

$$m = \frac{1-10^{-4}z}{\cos\theta_z + 0{,}50572\left(96{,}07995^0 - \theta_z\right)^{-1{,}6364}}, \qquad (4)\ ..$$

де z – висота розташування ФЕС відносно рівня моря.

Коефіцієнт атмосферної прозорості знаходимо за виразом [3, 4]:

$$\tau_D = 0{,}56\left(e^{-0{,}65m} + e^{-0{,}095m}\right), \qquad (5)\ ..$$

де m – маса повітря.

Кількість прямого сонячного випромінювання, яке надходить на одиницю площі горизонтальної поверхні знаходимо за виразом [3]:

$$E_{\text{пр.гор}} = e_0 \tau_D \cos\theta_z, \qquad (6)\ ..$$

де e_o – сонячна константа – інтенсивність сонячного випромінювання у вільному

просторі на відстані, дорівній середній відстані між Сонцем та Землею, $e_0 = 1360\ \frac{Вт}{м^2}$ [2];

τ_D – коефіцієнт атмосферної прозорості, в.о.

Коефіцієнт для знаходження інтенсивності прямої сонячної радіації на похилу поверхню, отримаємо за виразом [3]:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi-\beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\varphi-\beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \sin(\varphi-\beta)\sin\delta}, \quad (7)$$

де β – кут нахилу сонячних панелей.

Інтенсивність прямої сонячної радіації на похилу поверхню розраховуємо за виразом [3]

$$E_{\text{пр.пох}} = R_b E_{\text{пр.гор}}, \quad (8)$$

Для знаходження кількості дифузного сонячного випромінювання на одиницю площі горизонтальної поверхні використовуємо вираз [1, 4]:

$$E_{\text{диф.гор}} = e_0(0{,}271 - 0{,}294\tau_D)\cos\theta_z, \quad (9)$$

Для визначення кількості дифузного сонячного випромінювання на одиницю площі похилої поверхні використовуємо вираз [3, 5]:

$$E_{\text{диф.пох}} = RE_{\text{диф.гор}}, \quad (10)$$

де R – коефіцієнт, необхідний для розрахунку (перерахунку) інтенсивності дифузної радіації.

Для визначення коефіцієнту, що необхідний для розрахунку інтенсивності дифузної сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо вираз [3]:

$$R = \Delta_{\text{пр}} R_b + \Delta_{\text{диф}} \frac{1+\cos\beta}{2} + \frac{(1-\cos\beta)\ \rho}{2}, \quad (11)$$

де $\Delta_{\text{пр}}, \Delta_{\text{диф}}$ – відповідно доля прямої та дифузної сонячної радіації у сумарній радіації, для повністю ясного неба; згідно [3] приймаємо $\Delta_{\text{пр}} = 0{,}8$, $\Delta_{\text{диф}} = 0{,}2$;

ρ – значення відбиваючої здатності поверхні Землі; вважаючи, що у листопаді відсутній сніжний покрій, приймаємо ρ = 0,2 [3].

Для визначення інтенсивності сумарної сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо вираз [3]:

$$E_{\text{пох}} = E_{\text{пр.пох}} + E_{\text{диф.пох}}, \quad (12)$$

Наступним етапом розрахунку є розрахунок вихідної потужності ФЕС для умов абсолютно ясного неба:

$$P'_{\text{СЕС}} = \frac{P_{\text{м.п}} E_{\text{пох}} \eta_{\text{інв}}\ k_{\text{в}}}{1000}, \quad (13)$$

де $P_{\text{м.п}}$ – максимально допустиме погодинне значення потужності (кВт*год) ;

$\eta_{інв}$ – ККД інвертора, в.о.;

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт для врахування втрат у дротах, відбивання частки сонячного випромінювання від скла у разі забруднення скла, нагрів фотоелементів ФЕС;

1000 – інтенсивність сонячної радіації для тестових умов, Вт/м².

Розрахована вихідна потужність ФЕС відповідає умовам ясного неба, проте реальні умови відрізняються від умов ясного неба. Оскільки абсолютно ясне небо не характерне для кожної години та дня року, то необхідно врахувати вплив хмарності неба. Навіть невелика хмарність призводить до зниження потужності ФЕС до 70%, а сильна хмарність призводить до зниження потужності до 90% [3].

Враховуючи наведені міркування, а також матеріали, представлені у [3], можна ввести

коригувальний коефіцієнт α, який буде відображати ступінь зниження розрахованої на другому етапі вихідної потужності ФЕС залежно від рівня хмарності. Для ясного неба коригувальний коефіцієнт дорівнює одиниці, для абсолютно похмурого неба 0,1. Згідно [6] хмарність вимірюється у відсотках. Нульова хмарність означає, що небо безхмарне. Хмарність 100% – усе небо вкрито хмарами. Хмарність 30% означає, що 30% неба вкрито хмарами.

Хмарність визначається за допомогою різних прогнозних моделей. Наприклад ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) – це європейська безперервна модель глобального прогнозу. Вона використовує концепцію 4D, що дозволяє постійно оновлювати модель у міру появи нових супутникових або інших вхідних даних. Також існує GFS (The Global Forecast System) – це глобальна модель погоди, що оновлюється кожні шість годин американською метеорологічною службою. Ця модель складається з 4 окремих моделей, які працюють разом, щоб скласти точну картину погодних умов. Ще однією прогнозною моделлю є ICON (Global German Standard). Ця модель створена Німецькою метеорологічною службою (Deutscher Wetterdienst), ICON, як правило, вважається навіть більш точною, ніж ECMWF, завдяки кращому розширенню, хоча і лише для Європи. NEMS (meteoblue) – прогнозна модель, що була розроблена у Базельському університеті у Швейцарії, на основі моделей NOAA / NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Вона є великомасштабною моделлю (яка використовується як на глобальних, так і на локальних доменах) і значно покращує прогнозування розвитку хмарності та опадів [7].

З врахуванням коригувального коефіцієнту α розрахункова прогнозована потужність ФЕС визначається за формулою:

$$P_{\text{СЕС}} = P'_{\text{СЕС}} \cdot \alpha\,, \tag{14}$$

де α- коригувальний коефіцієнт для врахування хмарності неба.

Наведемо розрахунок прогнозу виробітку для діючої ФЕС, що знаходиться у Кіровоградській області, з максимально допустимим погодинним значенням потужності 2093 кВт для 9 годин 5 листопада 2020 року. Вихідними даними для розрахунку сумарної сонячної радіації на похилу поверхню є порядковий день року ($n = 310$), година доби (τ = 9 год), широта місцевості (φ= 48,71°), висота розміщення ФЕС над рівнем моря (z = 150 м), кут нахилу сонячних панелей (β = 30°), тип опорних конструкцій ФЕМ- наземні фіксовані.

Значення годинного кута ω розраховуємо за формулою (1):

ω = 15(12-9)=45°/ год.,

Кут схилення δ розраховуємо за формулою (2):

$$\delta = 23,5 \cdot \sin\left(360\,\frac{284+310}{366}\right) = -16,4^{\circ}$$

Значення зенітного куту Сонця визначаємо за формулою (3):

$$\cos\theta_z = \cos 48,71 \cdot \cos(-16,4) \cdot \cos 45 + \sin 48,71 \cdot \sin(-16,4) = 0,235 \;\Rightarrow\; \theta_z = 76,38^{\circ}$$

Масу повітря знаходимо за формулою (4):

$$m = \frac{1-10^{-4}\cdot 150}{0,235 + 0,50572 \cdot \left(96,07995^{\circ} - 76,38\right)^{-1,6364}} = 4,116 \text{ кг},$$

Коефіцієнт атмосферної прозорості знаходимо за формулою (5):

$$\tau_D = 0,56 \cdot \left(e^{-0,65 \cdot 4,116} + e^{-0,095 \cdot 4,116}\right) = 0,417$$

Кількість прямого сонячного випромінювання, яке надходить на одиницю площі горизонтальної поверхні знаходимо за формулою (6):

$$E_{\text{пр.гор}} = 1360 \cdot 0,417 \cdot 0,235 = 133,63 \text{ Вт / м}^2.$$

Для знаходження коефіцієнту для визначення інтенсивності прямої сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо формулу (7):

$$R_b = \frac{\cos(48,71-30)\cdot\cos(-16,4)\cdot\cos 45+\sin(48,71-30)\cdot\sin(-16,4)}{\cos 48,71\cdot\cos(-16,4)\cdot\cos 45+\sin(48,71-30)\cdot\sin(-16,4)} = 1,545.$$

Інтенсивність прямої сонячної радіації на похилу поверхню розраховуємо за формулою (8):

$$E_{\text{пр.пох}} = 1,545\cdot 133,63 = 206,657 \text{ Вт/м}^2.$$

Для визначення кількості дифузного сонячного випромінювання на одиницю площі горизонтальної поверхні використовуємо формулу (9):

$$E_{\text{диф.гор}} = 1360\cdot(0,271 - 0,294\cdot 0,417)\cdot 0,235 = 47,488 \text{ Вт/м}^2.$$

Для визначення коефіцієнту, що необхідний для розрахунку інтенсивності дифузної сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо формулу (11):

$$R = 0,8\cdot 1,545 + 0,2\cdot\frac{1+\cos 30}{2} + \frac{(1-\cos 30)\cdot 0,2}{2} = 1,437,$$

Для визначення кількості дифузного сонячного випромінювання на одиницю площі похилої поверхні використовуємо формулу (10):

$$E_{\text{диф.пох}} = 1,437\cdot 47,488 = 68,22 \text{ Вт/м}^2.$$

Для визначення інтенсивності сумарної сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо формулу (12):

$$E_{\text{пох}} = 206,657 + 68,22 = 274,87 \text{ Вт/м}^2.$$

Далі розрахуємо вихідну потужність ФЕС для умов абсолютно ясного неба за формулою (13):

$$P'_{\text{СЕС}} = \frac{2093\cdot 274,87\cdot 0,9\cdot\ 0,85}{1000} = 440,1 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Далі знайдемо коригувальний коефіцієнт для знаходження розрахункової прогнозованої потужності ФЕС з урахуванням хмарності неба. Згідно до матеріалів прогнозу [6] з використанням прогнозної моделі ECMWF для 5 листопада 9 годин хмарність становить 97%, NEMS-63%, GFS-30%, IKON-69%. За допомогою лінійної інтерполяції знаходимо значення α. За прогнозом ECMWF α=0,127, NEMS α=0,433, GFS α=0,73, IKON-0,379.

Тоді розрахункова прогнозована потужність ФЕС визначається за формулою (14):

$$P_{ECMWF} = 440,1\cdot 0,127 = 55,89 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$P_{NEMS} = 440,1\cdot 0,433 = 190,56 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$P_{GFS} = 440,1\cdot 0,73 = 321,273 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$P_{IKON} = 440,1\cdot 0,379 = 166,79 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Аналогічним чином було розраховано прогнозовану потужність ФЕС для 24 годин 14 діб листопада з 1.11.2020 по 14.11.2020. На рисунку 1 наведено графік фактичного та прогнозованого за моделями ECMWF, NEMS, GFS та IKON виробітку ФЕС за 5 листопада 2020 року. На рисунку 2 наведено графік фактичного та прогнозованого за моделями ECMWF, NEMS, GFS та IKON виробітку ФЕС за 14 діб листопада.

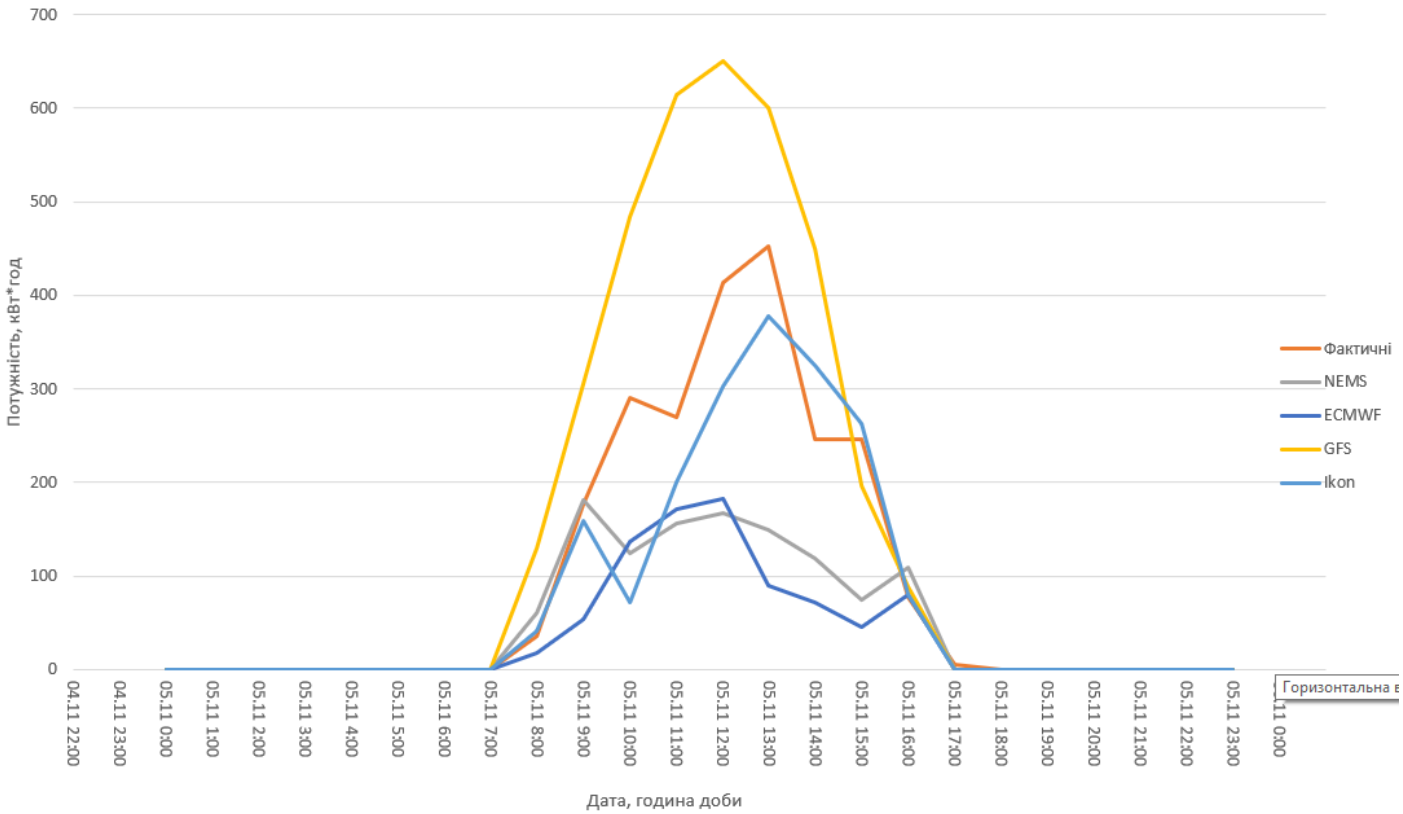


Рис 1. Графік фактичного та прогнозного за моделями ECMWF, NEMS, GFS та IKON виробітку ФЕС за 5 листопада 2020 року.

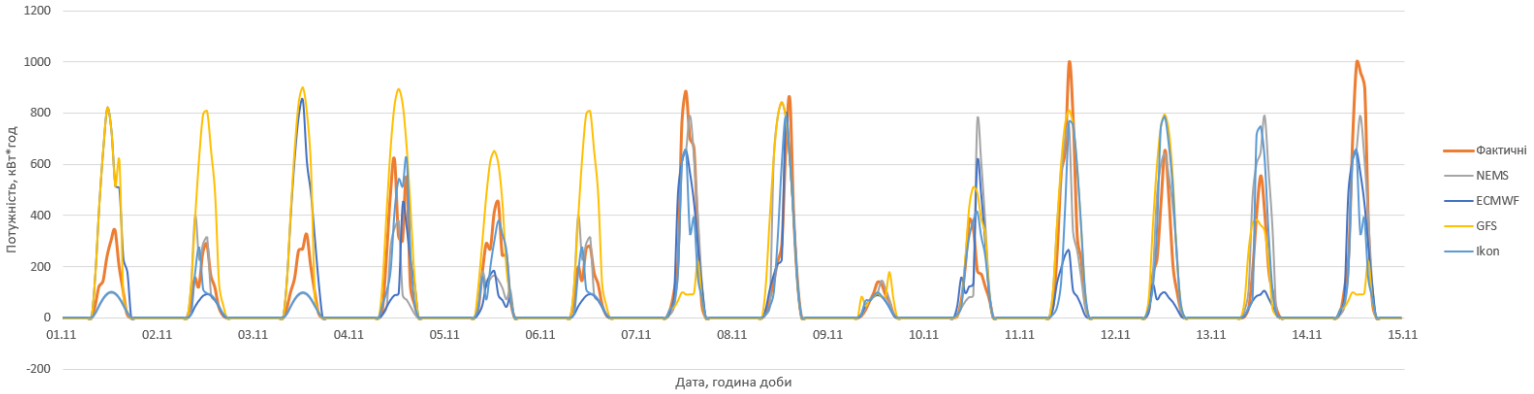


Рис 2. Графік фактичного та прогнозного за моделями ECMWF, NEMS, GFS та IKON виробітку ФЕС за 14 діб листопада 2020 року.

Також для порівняння розрахованої прогнозованої потужності ФЕС з урахуванням прогнозу хмарності розрахованого на основі прогнозних моделей ECMWF, NEMS, GFS та IKON з фактичною було обрано розрахувати середнє абсолютне відхилення MAD, так як $MAPE$ та MPE не можливо обчислити, якщо будь-яке фактичне значення за період дорівнює нулю.

Середнє абсолютне відхилення MAD (Mean absolute deviation) – це метод оцінки точності прогнозу, за яким оцінюється значення середнього абсолютного відхилення між фактичним і прогнозним значеннями.

Значення середнього абсолютного відхилення MAD розраховується за формулою:

$$MAD = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^{n} \left| P_t - \hat{P}_t \right|, \quad (15)$$

де $\hat{P}_t$ – прогнозне значення потужності ФЕС, кВт·год;

P_t – фактичне значення потужності ФЕС, кВт·год;

t – період часу;

n –загальна кількість значень даних;

Розрахуємо значення MAD прогнозу виробітку ФЕС розрахованого на основі прогнозної моделі ECMWF.

$$MAD_{IKON} = \frac{1}{336} \cdot (|0-0| + ... + |45-20| + ... + |0-0|) = 46,75 \quad \text{кВт} \cdot \text{год},$$

Так само розраховуємо значення MAD прогнозу виробітку ФЕС розрахованого на основі прогнозних моделей NEMS, GFS та IKON. Результати представлені у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення MAD для прогнозу виробітку ФЕС розрахованого на основі прогнозних моделей ECMWF, NEMS, GFS та IKON.

Прогнозна модель	Значення MAD, кВт·год
ECMWF	67,73
NEMS	51,16
GFS	89,45
IKON	46,75

Виходячи з отриманих значень MAD бачимо, що за спостережуваний період найбільш точним виявився прогноз потужності ФЕС з урахуванням прогнозу хмарності розрахованого на основі прогнозної моделі IKON, тому обираємо саме її для нашого алгоритму.

Даний алгоритм пропонується реалізувати на базі АСКОЕ ФЕС.

АСКОЕ ФЕС створена як дворівнева автоматизована система із централізованим керуванням і розподіленою функцією виміру:

Перший рівень – ЛУЗОД (устаткування зв'язку) та засоби вимірювання (трансформатори струму, трансформатори напруги, електронні лічильники електричної енергії);

Другий рівень – Сервер АСКОЕ, устаткування зв'язку.

На рисунку 3 наведено структурну схему АСКОЕ ФЕС з функцією прогнозування виробітку електроенергії.

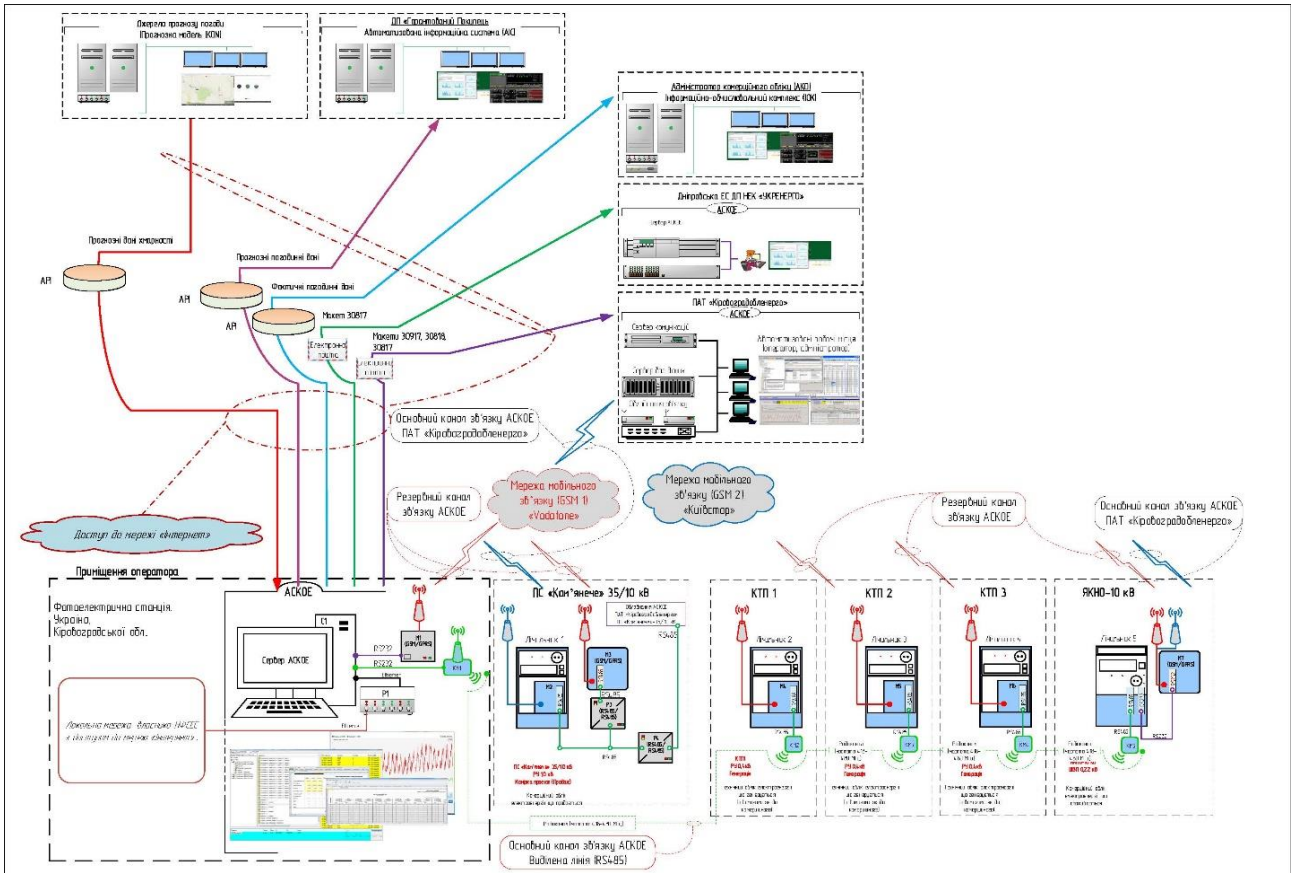


Рис 3. Структурна схема АСКОЕ ФЕС з функцією прогнозування виробітку електроенергії

Отримання прогнозних даних хмарності для заданого набору координат пропонується реалізувати з використанням Application Programming Interface (API).

Розрахунок алгоритму пропонується реалізувати на базі програмного забезпечення АСКОЕ ФЕС.

На даний момент згідно до «Інструкції з надання прогнозних даних» прогнозні дані завантажуються за допомогою XML-файлу підписаного КЕП або за допомогою Web – форми вручну до АІС ДП «Гарантований Покупець». Проте, передача даних вручну не забезпечує достатню оперативність. Тож пропонується організувати передачу даних до АІС ДП «Гарантований Покупець» за допомогою API. Автоматична передача даних забезпечить також можливість цілодобової роботи програми в автоматичному режимі, що не вимагає постійного втручання обслуговуючого персоналу, що зменшує затрати на утримання системи та забезпечує відсутність людського фактору.

Висновки. Розроблений алгоритм дозволяє підвищити точність прогнозування виробітку ФЕС, тим самим збільшує ефективність балансування ОЕС в умовах значної частки ВДЕ, забезпечуючи чіткий розрахунок необхідних резервів. Запропонована структурна модель АСКОЕ з функцією прогнозування виробітку ФЕС забезпечує автоматичну передачу даних, яка не вимагає постійного втручання операторів, що зменшує затрати на обслуговування системи та забезпечує об'єктивність даних. Також, збільшення точності прогнозування та оперативна передача даних зменшує небаланси електричної енергії, за які наразі несе відповідальність Гарантований Покупець, а в майбутньому будуть нести виробники за «зеленим тарифом». Зменшення небалансів електричної енергії в свою чергу збільшить кількість коштів отриманих від адміністратора розрахунків (НЕК «Укренерго») за електроенергію з ВДЕ, залучену для врегулювання небалансів, так як саме з них відбувається вирахування зобов'язань з врегулювання небалансів балансуючої групи виробників з ВДЕ і це

дозволить більше коштів спрямовувати на розрахунок з виробниками за «зеленим тарифом», перед якими наразі є борг.

Список літератури

1. C.Voyant, M.Muselli at al. Hybrid methodology for hourly global radiation forecasting in Mediterranean area. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1211/1211.2378.
2. Дудюк Д.Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі [Текст] : навч. Посіб. / Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, Я.М. Гнатишин. – Львів : Магнолія 2006, 2008. – 188 с.
3. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Модель визначення вихідної потужності сонячної електростанції з урахуванням метеорологічних і географічних факторів» / А.Ф. Жаркін, В.А. Попов, О.С. Ярмолюк. – № 52666 ; заявл. 21.10.2013 ; зареєстр. 19.12.2013.
4. .Nemes C. Potential solar irradiance assessment based on a digital elevation model [Текст] / C. Nemes, F. Munteanu // Advances in Electrical and Computer Engineering. – 2011. – V. 11. – № 4. – P. 89–92.
5. Солнечная энергетика: науч. пособ. Для ВУЗов / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин ; под ред. В.И. Виссарионова. – М. : Издательский дом MEI. – 2008. – 317 с.
6. Сайт прогнозу.- Режим доступу : https://www.windy.com/
7. Guide on forecast models all around the world – Режим доступу : https://windy.app/blog/what-is-a-weather-forecast-model-guide-on-forecast-models-all-around-the-world.html

Науковий керівник: канд.техн.наук, доцент О.В.Коцар

Зінченко С.С.
кафедра електропостачання

КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА НА БАЗІ АСКОЕ

У зв'язку переходом від моделі ринку «єдиного покупця» до лібералізованого ринку електричної енергії керування попитом на електричну потужність (електроенергію) дає змогу промисловим підприємствам дедалі більше заощаджувати під час закупівлі електроенергії. Адже на відміну від «пулу», де за невиконання замовлених режимів споживання електричної потужності (електроенергії) розраховуються всі суб'єкти ОРЕ, сплачуючи в результаті середньозважену ринкову ціну електроенергії, в лібералізованому ринку електричної енергії кожний споживач розраховується за порушення замовленого ним графіка навантаження самостійно, закуповуючи необхідну йому електричну потужність на БР. На промислових підприємствах з встановленою потужністю 150 кВт і більше керування попитом здійснюється на базі АСКОЕ.

Due to the transition of the Wholesale Electricity Market (WEM) of Ukraine from the market model of the "single buyer" to the market of bilateral agreements and the balancing market, it makes sense to manage electricity consumption in industrial enterprises as it saves significant funds on electricity purchase. After all, in contrast to the "pool", where for non-compliance with the ordered modes of consumption of electric power (electricity) are paid by all WEM entities, paying the weighted average market price of electricity, in bilateral agreements and the balancing market each consumer will pay for violating his ordered load schedule he needs the electric power on the BR.

Since the installed capacity of enterprises with more than 150 кW installed smart measurement system, you can predict electricity consumption at any time and manage consumption.

Вступ

З кінця 60-х років 20-го століття вчені кафедри електропостачання Київського політехнічного інституту (КПІ) досліджують проблеми управління енерговикористанням. За результатами тривалих досліджень було розроблено та реалізовано концепцію комплексного управління енерговикористанням, яка передбачає вимірювання електричної енергії та потужності, оперативне керування електроспоживанням на основі результатів короткострокового та довгострокового планування з метою виконання споживачами заданих режимів електроспоживання та ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) [1].

В Україні на основі праць вчених кафедри електропостачання КПІ розроблено та створено локальні та регіональні системи управління електроспоживанням, впроваджено автоматизовані системи обліку електроенергії (АСОЕ), зокрема, автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Запропоновано новий підхід до нормалізації електроспоживання, який відрізняється від традиційного нормування питомих витрат електричної енергії.

Поставленою задачею є розробка методології використання інформаційних даних автоматизованих систем контролю, обліку та управління режимами електроспоживання промислових підприємств у визначенні та підвищенні ефективності енерговикористання, у побудові систем контролю та планування енергоспоживання промислових підприємств. Необхідно розглянути методологію інтеграції методик та завдань систем нормування питомих витрат енергоресурсів і контролю ефективності енерговикористання з системами обліку електроенергії та управління електроспоживанням, з використанням можливостей та переваг кожної системи.

Впровадження АСКОЕ відкриває підприємству широкі можливості щодо керування

власним енерговикористанням, в т. ч. дозволяє: в реальному часі контролювати характеристики режимів електропостачання підприємства, здійснювати аналіз режимів електроспоживання з метою виявлення та наступного зменшення (усунення) втрат та непродуктивних витрат електроенергії, що призводить до зниження енергоємності продукції, а відповідно й до підвищення її конкурентоздатності, зменшити витрати підприємства на електроенергетичні ресурси без зниження рівня електроспоживання за рахунок вибору оптимальних тарифів під час розрахунків за електричну енергію, керувати режимами електроспоживання з метою оптимізації витрат на електричну енергію за рахунок використання електроенергії в години доби, яким відповідають найнижчі тарифні коефіцієнти, ще більше заощаджуючи під час оплати спожитої електроенергії.

Мета та завдання

Визначення головних пріоритетів та принципів управління попитом інструментами внутрішньодобового ринку електричної енергії (ВДР).

Матеріали та результати досліджень

Система обліку та контролю електроенергії дозволяє формувати електроенергетичні баланси підприємства. Аналіз балансу електричної енергії дозволяє визначати основні напрями економії і раціонального енерговикористання, вибирати оптимальну стратегію планування і управління електроспоживанням підприємства. Система обліку електроенергії підприємства дозволяє вирішувати внутрішньовиробничі задачі, такі, як визначення фактичного використання електроенергії, визначення небалансу та втрат електроенергії в мережах підприємства [6].

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії являє собою комплекс технічних, математичних, алгоритмічних і програмних методів і засобів, призначених для комерційного обліку електричної енергії [6].

Сучасна АСКОЕ передбачає застосування багатофункціональних електронних лічильників електроенергії. Принциповою відмінністю багатофункціональних електронних лічильників електроенергії перед індукційними та звичайними електронними лічильниками є спроможність не тільки вимірювати електричну енергію, а й обробляти вимірювальну інформацію, обчислювати параметри енерговикористання та зберігати їх в первинній базі даних (ПБД). Доступ до ПБД забезпечується через цифрові комунікаційні інтерфейси багатофункціональних електронних лічильників електроенергії за допомогою оригінальних протоколів виробників цих лічильників [4].

Багатофункціональні електронні лічильники електроенергії мають перевагу перед іншими типами лічильників в частині надання споживачу повних та достовірних даних комерційного обліку [4].

Для ефективного вирішення задач контролю та управління режимами електроспоживання підприємства та оцінки ефективності енерговикористання в структуру АСКОЕ разом з лічильниками комерційного обліку електроенергії, що забезпечують облік надходження електроенергії в мережу підприємства і відпуск електроенергії з мереж підприємства в зовнішню мережу (субабоненти, транзит), повинні також включатися лічильники технічного обліку електроенергії. Останні забезпечують вимірювання технологічних витрат електроенергії струмоприймачами підприємства. Об’єднання лічильників комерційного і технічного обліку в єдину систему дозволяє формувати поточний баланс електроспоживання підприємства, котрий є основною базою для вдосконалення

нормування енергоспоживання, оперативно виявляти і ліквідувати втрати і неефективні затрати електричної енергії всередині підприємства, визначати фактичну потужність, що використовується підприємством, в тому числі максимальну потужність в часи найбільших навантажень енергосистеми, і є невід'ємною умовою ефективного управління і оптимізації режимів електроспоживання підприємства [3].

Поєднання систем комерційного та технічного обліку дозволить скласти енергетичні баланси окремих агрегатів. Енергетичні баланси агрегатів представляють собою один з основних інструментів вирішення задач енергозбереження. Зокрема, їх створення та аналіз дозволяють:

- виявити наднормативні втрати енергії і розробити заходи для їх усунення;

- визначити направлення модернізації (заміни) морально зношеного і фізично застарілого обладнання;

- обґрунтувати об'єми та режими енергоспоживання.

Оперативне керування електричним навантаженням здійснюється для примусового відключення чи включення забезпечення підприємств споживчою потужністю і енергією. Для того щоб використовувати спеціалізовані системи в оперативному керуванні енергоспоживанням використовують такі методи: плаваючого (ковзного) вікна, миттєвої норми, ідеальної норми, ідеальної норми з прогнозом навантаження та неперервного контролю [6].

Метод управління за миттєвою нормою здійснюється за функцією різниці між навантаженням $\Delta P(t)$, усередненим за малий період часу (до 3 хвилин) $P(t)$, і постійною в часі уставкою $\Delta P_{з\ max}$. Основний недолік методу полягає в недовикористанні відведеного ліміту потужності, тобто навантаження не може бути вище заданого, в той час як середнє за 30-хвилинний інтервал навантаження , зазвичай, виявляється нижчим за завдане [3].

Метод управління по прогнозній величині електроспоживання виділяється тим, що управління на контролері здійснюється за функцією різниці між прогнозним значенням електроспоживання $W_{tпрогн}(t)$ до кінця періоду T і лімітом електроенергії $W_л$:

$$W_{прогн}(t) = W_{tпрогн}(t) - W_л \quad (1)$$

Головною метою управління є мінімізація величини $W_{tпрогн}(t)$. Враховуючи те, що на точність прогнозів впливає форма графіку навантаження, потрібно вводити довірчий інтервал для підвищення якості управління. Керування по прогнозній величині електроспоживання забезпечує найбільш повне використання ліміту електроспоживання, відведеного для підприємства на період контролю, проте, обов'язковою умовою його функціонування є складність і високі функціональні вимоги до АСКОЕ, що значно підвищує вартість системи. Крім того, в інформаційно-керуючих системах з прогнозуванням навантаження (електроспоживання) існує більший ризик перевищення ліміту потужності в порівнянні з методом керування споживачами-регуляторами за ідеальною нормою.

Реалізація методу «плаваючого» вікна відрізняється від метода управління за миттєвою нормою тим, що із заданою величиною порівнюється навантаження, усереднена не за час Δt, а за весь інтервал контролю T. Цей метод також висуває високі функціональні вимоги до АСКОЕ і лічильників електроенергії, і не завжди може бути реалізований.

Отже з опису методів можна виділити те, що максимальне використання споживачем виділеного значення електроенергії найбільшою мірою реалізується за допомогою методу управління за ідеальною нормою. Крім того, цей метод є незамінним, коли можливі часті перевищення навантаження, так як в цих умовах керуючі дії здійснюються протягом всієї лінії

скидання.

Тому дослідимо метод ідеальної норми, з можливістю його адаптації до сучасних умов ринку .

Управління за методом ідеальної норми здійснюється у функції неузгодженості між електроспоживанням споживача $W(t)$ з моменту $t = 0$ і лінійно змінюваною в часі уставкою $W_л*t/T$ (ідеальна норма), де $W_л$ – ліміт електроспоживання, виділений на час T (рис.1) .:

$$\Delta W(t) = W_л \cdot t/T - W(t) \quad (2)$$

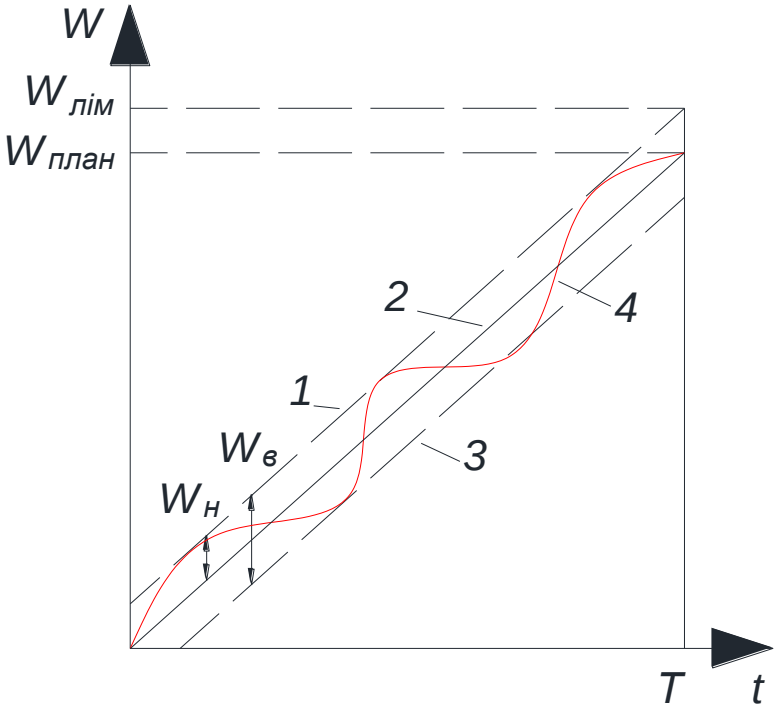


Рисунок 1. Діаграма принципу управління по ідеальній нормі: 1 - лінія скидання; 2 - ідеальна норма; 3 - лінія відновлення; 4 - фактичне навантаження.

Метою управління є утримання неузгодженості в границях $\Delta W_c \leq \Delta W(t) \leq \Delta W_в$. В основі методу лежить розбиття періоду максимуму енергосистеми на інтервали тривалістю Т. Відлік часу t всередині кожного інтервалу ведеться з того моменту, що співпадає з початком цього інтервалу. При $\Delta W(t) \leq \Delta W_н$ керуюче навантаження знижується, при $\Delta W(t) \leq \Delta W_в$ – відновлюється. Після закінчення керованого інтервалу T все відключене навантаження відновлюється.

Функціональну схему контролера, який реалізує метод керування за ідеальною нормою, наведено на рис.2 [4].

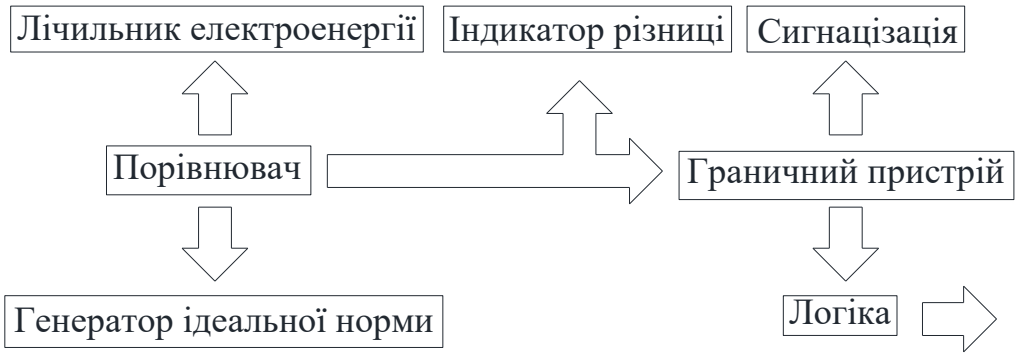


Рисунок 2 Функціональна схема контролера, що реалізує метод управління за ідеальною нормою.

Протягом інтервалу керування *T* контролер безперервно порівнює фактичне (дійсне) енергоспоживання з попередньо визначеною кількістю електроенергії для конкретного часового інтервалу (ідеальною нормою).

Метод ідеальної норми має певні недоліки: ввімкнення контролерів має бути синхронізовано з часовими інтервалами енергопостачальної організації; керування електроспоживанням ведеться без врахування закону зміни електричного навантаження, що призводить до частого необґрунтованого його відключення. Так як в кінці кожного контролюючого інтервалу *T* все відключене раніше навантаження відновлюється, то при досить великому числі споживачів, що регулюють своє електроспоживання по даному методу, на початку наступного інтервалу *T* може бути створений штучний пік навантаження. [3].

Так як на ринку електричної енергії керування споживанням є важливим, то доцільно було б впровадити даний метод на підприємствах, але з урахуванням правил лібералізованого ринку електричної енергії.

В разі запровадження даного методу на базі контролера треба розглянути два базові випадки, які можливі для електроспоживання на підприємстві.

Перший випадок наведений на рисунку 1 має місце коли планове споживання, узгоджене на РДН, є меншим за ліміт: $W_{лім} < W_{план}$. В такому випадку графік 1 описуватиме роботу контролера, що керує величиною електроспоживання в межах довірчого інтервалу, тобто намагається зберігати наростаючі значення *W* у межах ліній скидання та відновлення. Границі інтервалу вибираються для кожного підприємства індивідуально.

Другий випадок виникає тоді, коли планове споживання і ліміт співпадають по величині: $W_{лім} = W_{план}$. Графік керування попитом за таких умов наведено на рис.3 [3]. В цьому випадку межа лінії скидання не повинна в кінці періоду співпадати з граничним електроспоживанням, оскільки в разі виходу за межі ліній скидання підприємство нестиме значні грошові збитки у вигляді штрафів за перевищення ліміту потужності (споживання).

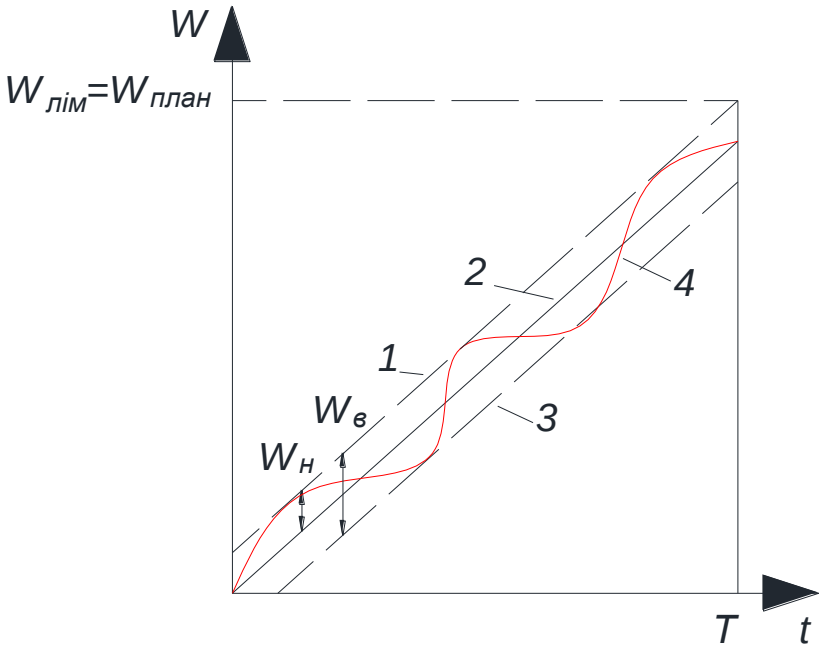


Рисунок 3. Діаграма принципу управління по ідеальній нормі: 1 - лінія скидання; 2- ідеальна норма; 3 - лінія відновлення; 4 - фактичне навантаження.

Значення скидного навантаження досить просто визначити графічним або аналітичним способом.

Графічний спосіб. Система вимірювання подає графік навантаження підприємства з кроком Δt (рис.4) [3]. В координатах *W* і *T (*рис.5*)* проводиться пряма, що відповідає лінійному

закону електроспоживання підприємством протягом заданого періоду T за умови виконання обмеження по електроспоживанню за цей період. Далі будується лінія скидання – допустимий рівень електроспоживання, перевищення якого викликає необхідність в оперативному керуванні навантаженням. Відображення електроживлення у відсотках дозволяє створити універсальний графік оперативного керування навантаженням. За 100% береться електроспоживання, задане для контролюючого інтервалу (такий графік будується завчасно, як основа для подальших розрахунків). Лінія ідеальної норми визначається як,

$$W(t) = W_{лім} \cdot t/T = P_{лім} \cdot t, \quad (3)$$

де $P_{лім}$- гранична часова потужність , t – поточний час

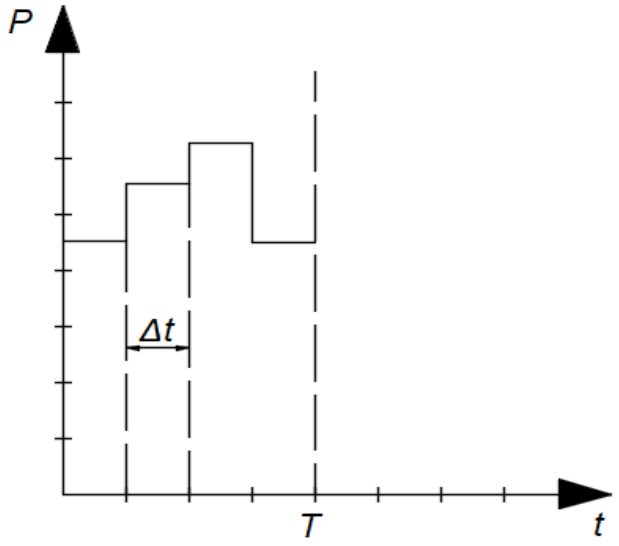


Рисунок 4. Графік навантаження підприємства з кроком Δt за період T.

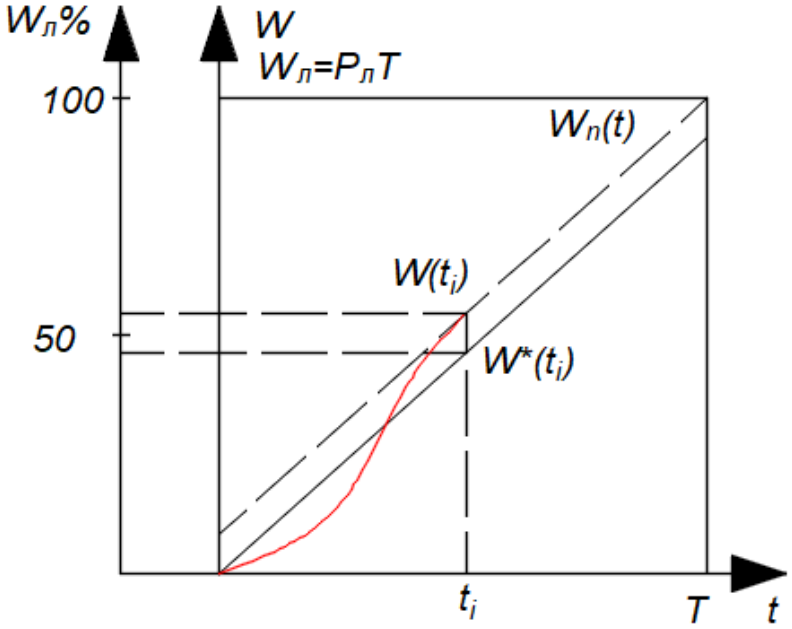


Рисунок 5. Графік визначення значень скидання навантаження.

Використовуючи дані про поточне електроспоживання і відкладаючи їх на графіку, отримуємо картину реалізації ідеальної норми електроспоживання для конкретного моменту часу. Якщо поточне значення електроспоживання $W(t_i)$, більше за допустиме на поточний момент часу $Wg(t_i)$, то необхідно знизити навантаження. Перевищення, рівне

$$\Delta W = W(t_i) - Wg(t_i) \quad (4)$$

є необхідною величиною керуючого впливу. Її можливо визначити двома способами:

визначивши на черговому кроці,

$$\Delta W = W(t_i) - W^*(t_i) \quad (5)$$

або визначивши до кінця періоду T, розподіливши ΔW між n інтервалами Δt що залишилися, тобто:

$$\Delta W = (W(t_i) - W^*(t_i))/n \quad (6)$$

Конкретний спосіб визначення обмежень потрібно обирати з урахуванням ΔW, кількості кроків що залишилися до кінця періоду контролю, а також наявних споживачів регуляторів.

Порядок роботи з графіком на рис.5 наступний [4].

1. Для поточного моменту часу t_i визначаємо значення реального електроспоживання. Ця величина може бути отримана різними шляхами:

А) за запитом до системи буде видаватися інформація про сумарне електроспоживання з початку контрольованого інтервалу T, тобто $W(t_i)$;

Б) може бути відомо значення електроспоживання за окремі Δt з початку інтервалу T, в такому разі:

$$W(t_i) = \sum_{k=1}^{i} W_i \quad (7)$$

1. Виставляємо значення реального електроспоживання у відсотках, $W(t_i)$ %. Для цього з точки $W(t_i)$ паралельно осі t проводимо лінію до перетину з віссю W %.

2. Визначаємо перевищення ідеальної норми у відсотках :

$$\Delta W\% = W(t_i)\% - W^*(t_i)\% \quad (8)$$

3. Знаходимо перевищення ідеальної норми в абсолютних одиницях:

$$\Delta W = W(t_i) - W^*(t_i) \quad (9)$$

4. Визначаємо значення скидного навантаження за (5) чи (6) [4].

Аналітичний спосіб. Маючи дані про $W(P_i)$, W_i (P_i), $W(t_i)$, і величину довірчого інтервалу d (лінію скидання навантаження) у випадку перевищення реальним електроспоживанням лінії скидання, обмеження навантаження визначаємо наступним чином:

$$\Delta P = W(t_i) - (P_л \cdot t_i - d)/\Delta t, \quad (10)$$

$$\Delta W = W(t_i) - (P_л \cdot t_i - d) \quad (11)$$

Висновок

Метод ідеальної норми було розроблено у зв'язку з обмеженою кількістю потужностей наявних в енергосистемі. Модернізований до сучасних умов ринку, метод розглядає додаткові обмеження щодо споживання електроенергії, так як вони не тільки пов'язані із споживаною потужністю але й дозволяють коригувати різні небаланси пов'язані з споживанням енергії за період T , докупляючи чи продаючи потрібну енергію на ВДР. При цьому можливі два базові випадки для графіків електроспоживання на підприємствах. Перший полягає в тому що лінія планового споживання лежить нижче від граничного споживання, таким чином виконання плану споживання вздовж прямої ідеальної норми , обмеженої довірчим інтервалом(верхня межа інтервалу не піднімається вище за граничне споживання), гарантує або виконання або пере- чи недовиконання планової величини електроспоживання, але виключає випадок перетину граничного споживання, що в іншому випадку нестиме для підприємства значні збитки. Другий випадок різниться від першого тим що лінії планового і граничного споживання співпадають ,і тому тренд нашої ідеальної норми досягає наприкінці періоду значення нижчого від планового, до того ж різниця між цими значеннями має бути не меншою від різниці лінії ідеальної норми та верхньої межі довірчого інтервалу (лінії скидання).

Список використаної літератури

1. Праховник А. В. Від управління електроспоживанням до енергетики сталого розвитку / А. В. Праховник // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2010. – Вип. 19. – С. 110-121.

2. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. Экономия топлива и электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.

3. Коцарь О. В. Применение АСКУЭ для контроля текущих параметров режимов электропотребления на промышленных предприятиях / О. В. Коцарь. // Энергетика и электрификация. – 2004. №6.-С. 24-29.

4. Праховник А. В. Концептуальні положення побудови АСКОЕ в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України / А. В. Праховник, О. В. Коцар // Енергетика та електрифікація. – 2009. - № 2. – С. 45-50.

5. Коцар О. В. Застосування АСКОЕ для контролю характеристик режимів електропостачання та керування режимами електроспоживання на підприємстві фармацевтичної галузі / О. В. Коцар, Ю. О. Кот, Ю. О. Расько, С. В. Полевик // Управління, економіка та забезпечення якості в фармації. – 2010.- С. 18-27.

6. ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення

науковий керівник Коцар О.В.

УДК 332.83

Іванченко Р.П.
Кафедра електропостачання

СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ ІСНУЮЧИХ ЖИТЛОВИХ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ

Анотація *– Концепція розумний будинок з системою автоматизації існує вже майже пів сторіччя, за такий довгий період дана система досліджувалась і набувала нових пропозицій та рішень з різних сфер людської діяльності. Проте останнім часом у зв'язку із збільшенням енергопотреби питання раціонального енерговикористання та скорочення кількості парникових викидів вивело концепцію розумного будинку та системи автоматизації на новий шлях розвитку, а саме, підвищення рівня енергоефективності, інтеграція відновлювальних джерел енергії та взаємодію системи з мешканцями в режимі реального часу. З огляду на актуальність питання в цій статті розглядаються системи та технології домашньої автоматизації для існуючих житлових багатоквартирних будинків.*

Ключові слова – енергоефективність, енергозбереження, енергоспоживання, житлова будівля, розумна будівля .

Abstract - The concept of a smart home with an automation system has existed for almost half a century, for such a long period this system has been studied and acquired new proposals and solutions in various fields of human activity. However, recently, due to increasing energy demand, the issue of rational energy use and reduction of greenhouse gas emissions has brought the concept of a smart home and automation system to a new path of development, namely, energy efficiency, integration of renewable energy sources and real-time interaction with residents. Given the urgency of the issue, this article discusses home automation systems and technologies for existing residential apartment buildings

Key words - energy efficiency, energy saving, energy consumption, residential building, smart building.

Вступ

З огляду на стрімке зростання споживання електроенергії в житлових багатоквартирних будівлях та збільшення кількості екологічних та нормативних обмежень, необхідність підвищення загального рівня енергоефективності ніколи не були такими великими. Тому енергоефективність є однією з центральних проблем, яку частково вирішує "розумний будинок" (Smart Home). Розумні технології моніторингу використання енергії, де користувачі можуть контролювати споживання електроенергії в будинку за допомогою прямого і двобічного зв'язку з системою. Яка має можливість збирати, обробляти, та надавати результати моніторингу за всією будівлею в режимі реального часу для підвищення рівня енергоефективності, умов проживання чи безпеки.

Мета та завдання

Мета та завдання цієї роботи було проаналізувати та визначити сучасні системи автоматизації для концепції розумного будинку та обрати найбільш актуальні для застосування і сучасного впровадження з урахуванням шляхів розвитку та існуючих актуальних проблем концепції та можливості використання за для збільшення енергозбереження при цьому не порушуючи сприятливих умов проживання для мешканців.

Сучасний стан та напрямок розвитку систем автоматизації

В даний час, для задоволення зростаючого попиту на електроенергію існує тенденція до застосування датчиків, систем та активних засобів автоматизації з двобічним зв'язком [1]. Цей останній аспект є найбільш актуальною особливістю що сприяє появі «розумних будинків» та розумних мереж. Традиційне бачення виробництва і споживання енергії змінюється, тому що користувачі починають виробляти і використовувати свою власну енергію локально, навіть якщо вони не завжди єдині або кінцеві споживачі виробленої ними енергії. Надлишки експортуються в мережу, що означає, що передача електроенергії повинна бути двобічної, тобто енергія повинна протікати в обох напрямках. У цьому сенсі розумна мережа відрізняється від традиційної електромережі своєю здатністю до прогнозування, контролювати і управляти двонаправленими потоками енергії. Вона збирає інформацію про поведінку користувачів і дії різних пов'язаних між собою елементів з метою забезпечення попиту і пропозиції на енергію, збалансоване а також ефективне використання енергії. Розумні будинки, таким чином, являють собою головний елемент інтелектуальної мережі, в якій моніторинг енергії і даних про навколишнє середовище в режимі реального часу дозволяє контролювати енергоспоживання.

Останнім часом споживачі стали більш свідомо ставитися до споживання енергії в будівлях і все більше і більше зацікавлені в пристроях і інструментах моніторингу та управління енергією в режимі реального часу [2]. Крім того, ринок управління енергією в житлових будинках може різко зрости у зв'язку зі зростанням вимог до споживачів і нових урядових і галузевих ініціатив [3]. Були запропоновані різні енергоефективні протоколи маршрутизації і системи енергоменеджменту [4] для надання інформації про схеми використання енергії. Вони пропонують користувачам інформацію і функції управління, які можуть бути реалізовані, при цьому забезпечуючи простоту використання, доступність, безпеку і конфіденційність [4].

Критерії класифікації

Існуючі мережі зв'язку прагнуть до розширення обміну інформацією між комунальними службами, побутовим обладнанням та користувачами. Різноманітна спрямованість і складність існуючих пристроїв зв'язку являють собою складну задачу. Зростаюча тенденція полягає в розвитку двобічного зв'язку з використанням мережі домашньої автоматизації для моніторингу та управління побутовими приладами; де-факто реалізація системи "попит-відповідь" (ПВ). Згідно з, опублікованою Американською радою з енергоефективної економіки [5], деякі з систем з числа нових ініціатив зворотного зв'язку, які роблять енергоресурси видимими для житлових користувачів, досягають максимуму економії, пов'язана зі зворотним зв'язком. Для того, щоб всі системи використовували цю здатність, для них буде потрібне поєднання корисної технології з добре продуманим програмним забезпеченням, які успішно інформують, втягують і мотивують користувачів за допомогою наступних визначальних чинників :

— збір даних: технологія дозволяє збирати всі необхідні дані і забезпечує доступ до них;

— обробка даних: технологія дозволяє обробляти і аналізувати відповідні дані і може об'єднувати їх;

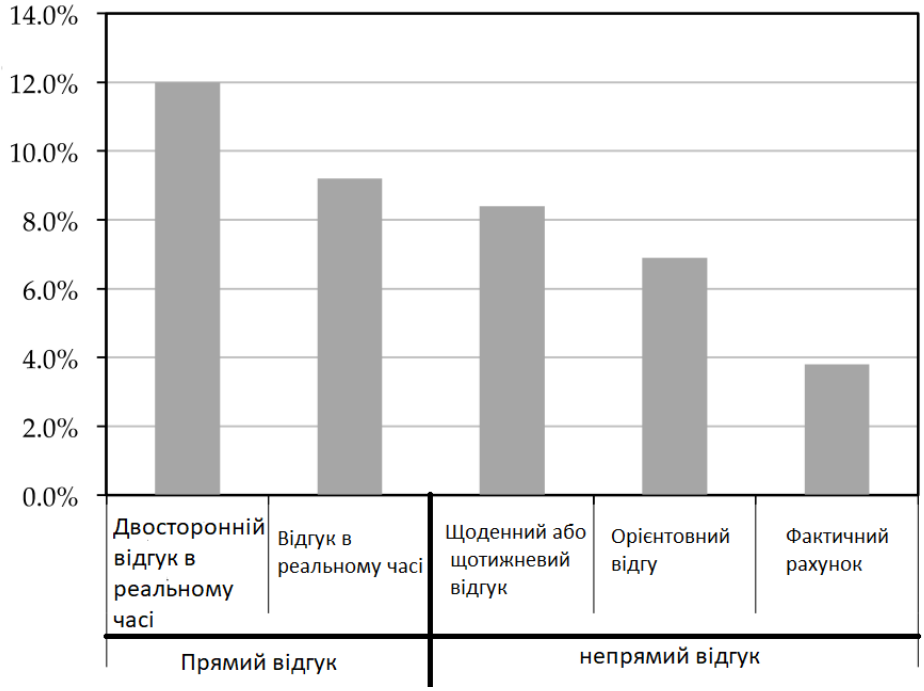
— візуалізація даних: технологія дозволяє зробити відповідні данні доступними для користувачів;

— можливості управління і взаємодії: технологія дозволяє користувачам отримувати доступ до стану і контролювати функції відповідних технологій (двонаправлений зв'язок і взаємодія).

Ці фактори необхідно враховувати при адаптації даних, які повинні надаватися кінцевим користувачам . Зібрані дані можуть бути показані користувачам як:

— прямі зворотні зв'язки, які представляють собою візуалізацію зібраних даних, що зазвичай надаються в режимі реального часу;

— непрямі зворотні зв'язки, які випливають із завдання постобробки і надаються після того, як мало місце використання енергії.



Рисинок 1. - Рівень енергозбереження у відсотках в залежності від способу отримання данних за споживання.

Дані можуть бути представлені різними способами, наприклад, дані про електроенергію, пікової потужності, вартості, екологічний слід та інші, і їх можна порівняти з контрольними показниками і історичними тенденціями, але для того, щоб ці данні були ефективними, зворотній зв'язок з кінцевими користувачами повинна бути:

— Прямим: чим безопосередкованіший зворотній зв'язок, тим вони ефективніші, але вимагає певної міри знання і практичних навичок від користувачів;

— Персоналізований: спосіб представлення даних налаштовується відповідно до потреб кінцевих користувачів;

— Порівняльним: кінцеві користувачі можуть порівнювати фактичне споживання електроенергії з контрольними показниками, а також з історичними даними;

— Гнучкі: технологія зворотного зв'язку повинна постійно вдосконалюватися у відповідь на пропозиції та запити користувачів.

Далі представлені, зіставлені і описані найбільш актуальні технологічні пристрої та інтегроване програмне забезпечення або програми, доступні сьогодні на ринку для автоматизації та поліпшення взаємодії між користувачами, побутовими приладами та будинком.

Найбільш актуальні технології автоматизації , що представлені у цій статті, були згруповані за такими ознаками до наступних чотирьох категорій:

1. Інтегрована бездротова технологія (IWT);
2. Система управління домашньої енергією (HEMS);
3. Розумні домашні мікрокомп'ютери (SHMC);
4. Домашня автоматизація (SHS / HA).

У таблиці 1 зібрані і організовані всі аналізовані технології, системи і продукти.

Система та технологія	Компанія	Країна	Автоматизація				Візуалізація			Бездротовий протокол								Комерційна доступність		Модель доступності джерела	
			Ув.			Вимк.															
			ПДК	РЛ	Д		ПВ	ПК	Пр	ZB	ZW	BT	RFID	GSM	IN	Wi-Fi	Інші	Веб	Вироб.	Відкр.	Закр.
IWT	6LoWPAN	Міжнародна	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	√	–	√		√
	Bluetooth	Швеція	–	–	–	√	–	–	–	–	–	√	–	–	–	–	–	√	√	√	
	DASH7	Європа	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	√	–	√	–	√
	EnOcean Technology	Міжнародна	√	√	√	–	–	√	√	√	–	–	–	–	–	–	–	√	√	√	–
	GSM	Міжнародна	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	–	√	–	–	–	–	√	–	√
	MyriaNed	Нідерланди	–	–	√	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	√	–	√	–	√
	NeuRFon™ Netform	Міжнародна	–	–	√	√	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	√	–	√	–	√
	RFID	Міжнародна	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	√	–	–	–	–	–	√	–	√
	UWB	Міжнародна	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	√	–	√		√
	Wifi	США	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	–	–	–	√	–	√	√	√	
	Z-wave	Міжнародна	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	√	√		√
	ZigBee	США	–	–	–	√	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	–	√	√	√	
HEMS	CISCO	США	–	√	√	√	–	–	√	–	–	–	–	–	–	√	–	√	√		√
	DigitalSTROM	Німеччина	√	√	√	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	√	–	√	√		√
	Dreamwatts	Міжнародна	–	√	√	–	√	–	√	√	–	–	–	–	–	√	–	√	√	–	√
	e-GOTHAM	Європа	–	√	√	–	–	–		√	–	√	–	–	–	√	–	√	√	√	–
	EmonCMS	Міжнародна	–	√	–	√	–	–	√	–	–	–	–	–	–	√	–	√	√	√	–
	Energy Team	Італія	–	√	√		√	–	√	–	–	–	–	√	–	√	–	–	√		√
	Google PowerMeter	США	–	√	–	√	–	–	√	–	–	–	–	–	–	√	–	√	–	√	–
	Savant	США	√	√	√	√	√	√	√	–	–	–	–	–	–		–	√	√		√
	SMARTHEMS™	Японія	√	√	√	√	–	√	–	–	–	–	–	–	–	√	–	√	√	–	√
	The Energy Navigator	Німеччина	√	√	√	–	–	√	–	–	–	–	–	–	–	–	√	–	√	–	√
SHMC	Arduino	Італія	–	–	–	√	–	√	–	√	–	–	–	–	–	√	–	–	√	√	–
	Banana Pi	Велика Британія	–	–	–	√	–	√	–	√	–	–	–	–	–	√	–	–	√	√	–
	BeagleBone	США	–	–	–	√	–	√	–	√	–	–	–	–	–	√	–	–	√	√	–
	Raspberry Pi	Велика Британія	–	–	–	√	–	√	–	√	–	–	–	–	–	√	–	–	√	√	–
	Libelium Waspmote	Іспанія	–	–	–	√	–	√	–	√	–	–	–	–	–	√	√	–	√	√	–
SHS/HA	British Gas	Велика Британія	–	√	–	–	–	√	√	–	–	–	–	–	√	–	–	–	√	√	–
	Control4	США	√	–	√	–	√	√	√	√	–	√	–	–	–	√	–	√	√	–	√
	Creston	США	√	√	√	–	√	√	√	–	–	–	–	–	–	√	–	√	√	–	√
	GE Brillion Technology	США	√	–	–	–	–	–	√	–	–	–	–	–	–	√	–	–	√	√	–
	HomeSeer HS3	–	–	–	–	–	√	√	√	–	–	–	–	–	–	–	–	√	–	–	√

Опис до скорочень в таблиці наступних пунктів: «Автоматизація» - його можна вимкнути (Вимк) або увімкнути (Ув) в останньому випадку також повідомляється, якщо автоматизацію активують пульт дистанційного керування (ПДК), розумний лічильник (РЛ) або датчик (Д); «Візуалізація» відгуків користувачів: інформаційна панель або пристрій відображення (ПВ), фізичний компонент (ПК), програма (Пр); Прийнятий бездротовий протокол: «ZigBee» (ZB), «Bluetooth» (BT), «Z-Wave» (ZW), ідентифікація радіочастот (RFID), «Global System Mobile» (GSM / GPRS), «Insteon» (IN), «Wi-Fi» та інші; Комерційна доступність товару: на веб-сайті (Веб) або від виробника (Вироб.), модель доступності джерела: це відкрите (Відкр.) або закрите (Закр.) джерело. Символ (✔) означає, що присутня в системі або технології, тоді як (-) означає, що не присутній.

Інтегровані бездротові технології як невід'ємна складова систем автоматизації

Декілька досліджень, присвячених інформаційно-комунікаційним технологіям для інтелектуальних мереж та "розумних будинків" можна знайти в літературі [6]. Де представлено кілька варіантів бездротового зв'язку. У них обговорюються основні проблеми кожної безпровідної технології. Інтегровані бездротові технології представляють собою засіб зв'язку, який зазвичай використовується в офісному будівництві, приватному будинку або будь-якому іншому житловому приміщенні для забезпечення внутрішніх та зовнішніх ближніх зв'язків у рамках технологій "розумного будинку". Часто не інтегрованим бездротовим технологіям віддають перевагу, а провідним технологіям. Використання дротових рішень, було б економічно та / або фізично не можливе для багатьох додатків «розумних мереж» та «розумних будинків».

Замість цього бездротові технології дають такі переваги, як більш низька вартість обладнання та встановлення, швидке розгортання, широкий доступ і велика гнучкість [7]. Крім того, системи Інтегрованих бездротових технологій можуть бути реалізовані за допомогою графічного інтерфейсу користувача для віддаленого моніторингу та управління побутовими приладами та обладнанням. Це дозволяє здійснювати інтеграцію і зв'язок всередині домашніх систем управління енергією, в той час інтегровані бездротові технології також мають деякі недоліки при інтеграції в "розумну" мережу. В даний час вони

не включають в себе місцеві системи виробництва відновлюваної енергії, такі як фотоелектричні панелі.

Домашня система управління енергією (HEMS) Home Energy Management Systems

Розробка домашньої системи управління енергією (HEMS) почалася в зв'язку з нестачею енергії та наслідками глобального потепління. З моменту її першого застосування в 1976 р вона стала однією з найбільш популярних тем для досліджень. Система HEMS дозволяє автоматично управляти і контролювати енергоспоживання будівлі і допомагає знизити піковий попит на електроенергію і рахунки користувачів за енергоспоживання. [8].

В "розумних" мережах використання систем управління енергією стало пріоритетом при розподілі електроенергії на місцях енергії, що виробляється споживачами відповідно до цін на енергію, які регулюються добовими тарифами. Майбутня тенденція може полягати у використанні специфічних погодинних тарифів, тобто ціни в реальному часі, часу використання, похилі квартальні тарифи, критичні пікові ціни та інші.

Якщо використовувати цей метод, Домашня система управління енергією збільшить кількість можливостей, які могли б мешканці використовувати для виконання щоденних завдань, таких як перегляд даних про споживання енергії, управління термостатами та індивідуальною побутовою технікою, розглядати поради щодо економії енергії, керувати профілем для участі у програмах реагування на попит, а також переглядати власні рахунку та платіжну інформацію. Відповідно до LaMarche та співавтори [9] та Green Tech Media [10], усі типи систем, доступні для житлових будинків на ринку можна розділити за трьома категоріями (пристрої управління, графічні інтерфейси користувача та за активацією технології).

Переваги систем HEMS:

— збільшення економії як для користувачів, так і для постачальників комунальних послуг;

— зменшене співвідношення пікових і середніх величин навантаження;

— вони можуть включати місцеве виробництво енергії з відновлюваних джерел;

— вони дозволяють включити домашнє господарство в системний контекст в якості окремої місцевої мережі і дозволяють можливість підключення до зовнішнього світу, тобто створити розумну мережу;

— вони дозволяють проводити історичні порівняння домашнього енергоспоживання.

Використання централізованої функції управління для інтерфейсу користувача, що включає в себе управління для використання пристроїв, рекомендується, і було б корисно навчити кінцевих користувачів, як використовувати інтегровані автоматизовані системи управління, щоб уникнути автоматизації, про яку кінцеві користувачі не знають - для правильної роботи. Проте, необхідно буде розробити індивідуальний користувацький інтерфейс для HEMS для роботи в "розумних будинках", система HEMS дозволить використовувати енергію, що виробляється на місці, інтеграцію зберігання енергії і ефективне підключення до "розумної" мережі.

Smart Home Micro-Computers – як можлива складова систем автоматизації

Мікрокомп'ютери «Розумний будинок» (SHMC) Smart Home Micro-Computers - це невеликі комп'ютери, які підключаються до інших пристроїв для автоматизації та управління всією системою "розумного будинку". Вони складаються з мікроконтролера з додатковими компонентами, які полегшують програмування і інтеграцію в інші схеми. Важливим аспектом є їх стандартні роз'єми, що дозволяє підключати користувачів до плати

центрального процесора (CPU) та до різних взаємозамінних додаткових модулів. Вони дозволяють користувачам створювати інтерактивні проекти та програми з середовищем, за допомогою роз'ємів які є досить універсальні та використовувати входи від багатьох датчиків і впливати на їх функціонування, керуючи освітленням або іншими виконавчими механізмами.

Системи домашньої автоматизації HAS (Home Automation Systems)

Домашня автоматизація (HA) Home Automation забезпечує інтелектуальний інтерфейс, який контролює та вивчає звички користувачів і може передбачити та оптимізувати їх дії. Система домашньої автоматизації може зробити життя простішим та комфортнішим або забезпечити певну економію за рахунок енергоефективності шляхом віддаленої взаємодії з користувачами [9].

Система домашньої автоматизації забезпечує частину системи управління розумним будинком. Однак така система може бути поєднана з неавтоматизованими пристроями для взаємодії з користувачем. Наприклад, використовуючи лише НА системи не нададуть користувачам можливості регулювати споживання енергії. Але за умови, що зворотній зв'язок надається кінцевим споживачам на основі контрольної діяльності, що виконується в рамках системи автоматизації розумним будинком . Така технологія цілком може бути включена в інтелектуальну систему, яка заощаджує енергію та покращує тепловий та загальний комфорт у домі завдяки впровадженню як короткострокових, так і довгострокових показників теплового та зорового норм контролю.

Висновки

Проблема енергоефективності жилих будинків - одне з найголовніших питань на сьогоднішній день як для українців, так і для людей у всьому світі загалом. Шалений ріст цін на комунальні послуги значно спустошує сімейний бюджет та водночас наголошує на важливості енергозбереження. Також не слід забувати про поширення кліматичних змін у всьому світі. Тому актуальними є методи збільшення енергоефективності будинків, за рахунок впровадження систем автоматизації.

У цій статті були розглянуті наявні на ринку сучасні системи автоматизації для житлових багатоквартирних будинків, "розумні" технології і продукти, що дозволяють розумно керувати енергоспоживанням в будинках. Були оцінені технології, узагальнені в Таблиці 1, які включають в себе як оптимізаційні, так і комунікаційні технології. Також обговорювалася загальна архітектура системи і бар'єри, проблеми, переваги та майбутні тенденції, з якими зіткнуться майбутні "розумні будинки" та мережі. Ефективне використання електроенергії призводить до зниження пікового навантаження, зниження рахунків за електроенергію та мінімізації викидів парникових газів. Для майбутньої ефективної інтеграції "розумних будинків" в "розумну" мережу необхідно стимулювати перехід до двонаправленого мережевого зв'язку, а також розробити добре налагоджену систему автоматизації будинку з можливістю прогнозування. Також слід зазначити що системи автоматизації мають перспективний напрямок в використанні прогнозування для оптимальної комбінації використання енергії з відновлювальних джерел місцевого виробництва та з мережі, подальші дослідження в цьому напрямку досить перспективні та мають великий потенціал до енергозбереження не тільки в житлових багатоквартирних будинках але і в будівлях загалом.

Список використаної літератури

1. Javaid, N.; Khan, I.; Ullah, M.N.; Mahmood, A.; Farooq, M.U. A survey of home energy management systems in future smart grid communications. In Proceedings of the IEEE 8th International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications,

Compiegne, France, 28–30 October 2013.

2. Fitzgerald, M. Finding and Fixing a Homes Power Hogs. 2008. Available online: http://www.nytimes.com/ 2008/07/27/technology/27proto.html (accessed on 16 November 2015)

3. Gellings, C.W. The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2009.

4. Khan, M.Y.; Javaid, N.; Khan, M.A.; Javaid, A.; Khan, Z.A.; Qasim, U. Hybrid DEEC: Towards efficient energy utilization in wireless sensor networks. World Appl. Sci. J. 2013, 22, 126–132.

5. Ehrhardt-Martinez, K.; Donnelly, K.A.; Laitne, J. Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities; American Council for an Energy-Efficient Economy: Washington, DC, USA, 2010

6. Güngör, V.C.; Sahin, D.; Kocak, T.; Ergüt, S.; Buccella, C.; Cecati, C. Smart grid technologies: Communication technologies and standards. IEEE Trans. Ind. Inform. 2011

7. Lee, J.; Su, Y.; Shen, C. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. In Proceedings of the 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Taipei, Taiwan, 5–8 November 2007

8. Aman, S.; Simmhan, Y.; Prasanna, V.K. Energy management systems: State of the art and emerging trends. IEEE Commun. Mag. 2013, 51, 114–119.

9. LaMarche, J.; Cheney, K.; Roth, K.; Sachs, O.; Pritoni, M. Home Energy Management: Products & Trends. In Proceedings of 17th Biennial ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA, USA, 12–17 August 2012.

10. GreenTech Media. Smart Grid HAN Strategy Report 2011: Technologies, Market Forecast, and Leading Players. GreenTech Media, 2011. Available online: http://www.greentechmedia.com/research/report/ smart-grid-han-strategy-2011. (accessed on 7 October 2014)

Науковий керівник: к.т.н., доц. Чернявський А.В.

УДК 621.311.1

Іващенко Т.С.
кафедра електропостачання

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ МІСЦЬ ПРИЄДНАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Анотація. *Розглянуто особливості приєднання джерел розосередженої генерації. Вивчення технічних та економічних аспектів при проєктуванні таких джерел. Дослідження впливу характеристик споживачів на ефективність впровадження джерел розосередженої генерації.*

Ключові слова. *Розосереджена генерація, відновлювана енергетика, розподільна мережа, втрати активної та реактивної потужності, математична модель, оптимізація.*

Abstract. *Peculiarities of connection of distribution generation sources are considered. Study of technical and economic aspects in the design of such sources. Research of influence of consumers' characteristics on efficiency of introduction of distribution generation sources.*

Keywords. *Distribution generation, renewable energy, distribution network, losses, mathematical model, optimization.*

Вступ. На сьогоднішній день у всьому світі відбувається постійний ріст попиту на електричну енергію. Вирішення цієї проблеми відбувається завдяки підключення до розподільних електричних мереж (ЕМ) нових джерел розосередженої генерації (РГ) – джерела електричної енергії, які з'єднано безпосередньо з електричною мережею або підключено до неї з боку споживачів [1]. Використання такої моделі генерації обумовлено значними економічними, технічними, а найголовніше, екологічними перевагами таких установок над традиційною енергетикою.

По-перше, це значне зниження початкових витрат на будівництво потужних електростанцій. По-друге, зменшення вартості електроенергії, за рахунок зниження втрат при передачі та використанні електричних мереж. По-третє, підвищення якості електроенергії в кінцевого споживача та більш надійне постачання [2]. По-четверте, врахування потреб споживачів та екологічно чисте виробництво (оскільки більша частина РГ – це установки, які виробляють електроенергію на основі джерел відновлюваної енергії (ВЕ), таких як: сонячні та вітрові станції, гідроелектростанції, біомаси тощо).

Але незважаючи на всі переваги, які було наведено вище, при експлуатації в ЕМ таких станцій, з'являється і ряд проблем [3], вирішення яких можна досягти завдяки правильному вибору місця підключення джерела РГ до ЕМ. На даний час в Україні спостерігається стрімке старіння електричних мереж, що потребує подальшого розвитку та модернізації. Тому, якщо місце підключення або потужність джерела вибрано неправильно, то режимні параметри електричної мережі можуть значно погіршуватися. З першого погляду здається, що місце підключення джерел ВЕ зумовлено наперед, бо вони повністю залежать від таких ресурсів як сонце, вітер або вода. Але при дослідженні їх впливу виявляється, що це не так. Бувають такі ситуації, коли при проєктуванні не було враховано локальні особливості мережі та в майбутньому це призвело до зростання втрат енергії або заважало надійному експлуатуванню ЕМ. Останнє приводить до значних капіталовкладень на покращення стану ЕМ, а це в свою чергу впливає на економічну складову та на час окупності такого проєкту. І найчастіше, поряд можна знайти іншу ділянку, яка буде більш оптимальною й ефективною для розміщення джерела РГ.

Не зважаючи на велику кількість практичного досліду і наукових публікацій щодо оптимізації роботи ЕМ з джерелами РГ, розробки математичних моделей функціонування РГ, проблема ефективного розміщення є не до кінця вирішеною. І тому, на даний досить актуальною проблемою є розробка нових математичних моделей для розв'язання задачі

оптимального місця встановлення та майбутньої потужності РГ.

Тому **метою цієї роботи** є розробка математичної моделі, яка дасть змогу більш ефективно визначати місце раціонального приєднання джерел РГ в залежності від економічних і технічних характеристик споживача.

Причини підвищеного інтересу до джерел РГ. По-перше, це значна перевага таких установок над об'єктами традиційної енергетики, як в технічній, так і в економічній складових.

У першу чергу найбільше позитивних сторін є з точки зору споживача:

- великий вибір технологій з різними технічними й економічними варіантами;
- можливість враховувати власні потреби в електропостачанні;
- підвищення якості та надійності постачання;
- зменшення вартості, завдяки зменшенню втрат при передачі;
- можливість накопичення енергії.

Наступним, хто має дивіденди від впровадження таких технологій, є постачальник:

- в умовах нового ринку електроенергії, зменшення фінансових ризиків при плануванні постачання;
- зменшення інвестицій у першочергову модернізацію електросистеми;
- зниження витрат від недовідпуску електроенергії;
- збільшення кількості резервних джерел енергії.

І в кінцевому результаті також наявний позитив для держави:

- наявність постійної конкуренції на ринку електроенергії;
- покращення екологічного стану та зменшення використання викопних джерел енергії.

Не дивлячись на всі вище наведені переваги, впровадження джерел РГ має негативний вплив на роботу системи передачі електроенергії. При використанні станцій на основі ВЕ відбувається «маскування» зростаючого навантаження у споживача, що в свою чергу, суттєво впливає на дотримання балансу в системі між генеруванням і споживанням. Для зменшення кількості таких ситуацій необхідно створювати системи автоматичного керування, які зможуть у реальному часі згладжувати раптові небаланси.

Задача оптимізації місця приєднання джерел РГ є найголовнішою під час проєктування та має бути ретельно розглянутою. Раціонально вибране місце підключення та потужність станції дає можливість покращити роботу загальної мережі, а для споживача зменшити витрати на проєктування та збільшити ефективність паралельної роботи з мережею. Дана задача має багато спільного з класичним завданням при виборі місця та потужності традиційних електростанцій. Але і поряд з цим наявні кількісті й якісні розбіжності [4].

Найкращим варіантом для завдання розміщення джерел РГ є багатокритеріальність. Визначимо ряд критеріїв для оптимізаційної задачі.

Технічна складова. До цієї складової можна віднести критерії, які найчастіше мають проблеми в загальній електричній мережі: падіння напруги в кінцевого споживача, а також втрати активної й реактивної потужностей.

Падіння напруги. Підключення до мережі джерела РГ має прямий вплив на коливання напруги. Цей критерій необхідно формувати з точки зору максимального відхилення напруги від номінального значення [5]. Даний показник буде використаний при постановці багатокритеріальної задачі визначення оптимального розміщення станції:

$$K_{\delta U} = 1 - \frac{\left|U_{\text{н}} - U_{\text{факт}}\right|}{U_{\text{н}}}, \quad K_U \in [0; 1],$$

де $U_{\text{н}}$ – номінальне значення напруги в мережі, що розглядається, кВ;

$U_{\text{факт}}$ – фактичне значення напруги в мережі, після підключення джерела РГ, кВ.

Втрати активної потужності. Оскільки, при підключенні РГ відбувається

зменшення навантаження на лінії електропередачі, то і відбувається зниження втрат активної потужності. Але слід не забувати, що в певних ситуаціях може з'являтися реверсивний потік по лініях електропередачі, а тому і зростати втрати активної потужності [6]. Цей коефіцієнт можна представити так:

$$K_{\Delta P} = 1 - \frac{\Delta P_{\text{факт}}}{\Delta P_{\text{безРГ}}}, \quad K_{\Delta P} \in [0; 1],$$

де $\Delta P_{\text{безРГ}}$ – втрати активної потужності у мережі в нормальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{\text{факт}}$ – фактичні втрати у мережі, після підключення джерела РГ в певній точці, кВт.

Даний коефіцієнт відображає ефективність встановлення РГ з точки зору оператора розподільних мереж. Чим ближче він наближається до одиниці, тим краще було вибрано станцію відносно даного критерію.

Втрати реактивної потужності. Аналогічно джерела РГ впливають на зниження втрат реактивної потужності в загальній електричній мережі. Але, аналогічно до минулого підпункту, можливий реверсивний потік приведе до збільшення цих втрат [6].

$$K_{\Delta Q} = 1 - \frac{\Delta Q_{\text{факт}}}{\Delta Q_{\text{безРГ}}}, \quad K_{\Delta Q} \in [0; 1],$$

де $\Delta Q_{\text{безРГ}}$ – втрати реактивної потужності у мережі в нормальному режимі роботи, кВт;

$\Delta Q_{\text{факт}}$ – фактичні втрати у мережі, після підключення джерела РГ в певній точці, кВт.

Чим ближче коефіцієнт наближається до одиниці, тим краще було вибрано станцію відносно даного критерію.

Економічна складова. У реаліях сучасного світу, де важливу роль відіграє фінансова складова проекту. Обмеженість коштів, відсутність інвестицій приводить до того, шо потрібно робити вибір між ціною й якістю. Тому, можна зробити висновок, що даний критерій є одним з найважливішим при розробці та впровадженні технічних проєктів. Економічний критерій характеризує вартість розробки, власне станції та її підключення до мережі. Коефіцієнт, що наведено нижче враховує цю особливість:

$$K_{\text{інв}} = 1 - \frac{Ц_{\text{РГ}}}{Ц_{\max}}, \quad K_{\text{інв}} \in [0; 1],$$

де $Ц_{\text{РГ}}$ – вартість електростанції з підключенням її до мережі (установка), грн;

$Ц_{\max}$ – максимально можливі інвестиційні потоки, які залучено для реалізації проєкту, грн.

Чим ближче даний коефіцієнт наближається до 1, тим менша вартість встановленої електростанції і більш економічно привабливим є проект.

Багатокритеріальний показник. Для подальшого відслідковування й оцінки роботи мережі після впровадження джерела РГ вводимо багатокритеріальний показник. Він включає в себе всі вищенаведені критерії і є величиною безрозмірною [8]:

$$F(x) = \lambda_1 f_1(x) + \lambda_2 f_2(x) + \lambda_3 f_3(x) + \lambda_4 f_4(x) =$$
$$= \lambda_1 K_{\text{інв}} + \lambda_2 K_{\Delta P} + \lambda_3 K_{\Delta Q} + \lambda_4 K_{\delta U}, \quad F(x) \in [0; 1],$$

де λ_i – вагові коефіцієнти, щоб задати відповідну значимість кожному критерію, в.о.,

$$\sum_{i=1}^{4} \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \in [0; 1].$$

Багатокритеріальний показник математично показує, який вплив має підключене у певній точці джерело на технічні та експлуатаційні параметри мережі, а також інвестиційну привабливість даного проєкту. Чим ближче до одиниці значення цього показника, тим краще

з точки зору ефективності було вибрано джерело РГ.

Зміна потужності впливає на кількість можливих розв'язань задачі. Використовуючи досить малий крок (до 1 кВт) не є ефективним, адже з'являється велика кількість схожих варіантів розв'язку.

Приклад. Для більш конкретного розуміння такої математичної моделі використаємо просту радіальну систему з чотирма вузлами (рис. 1).

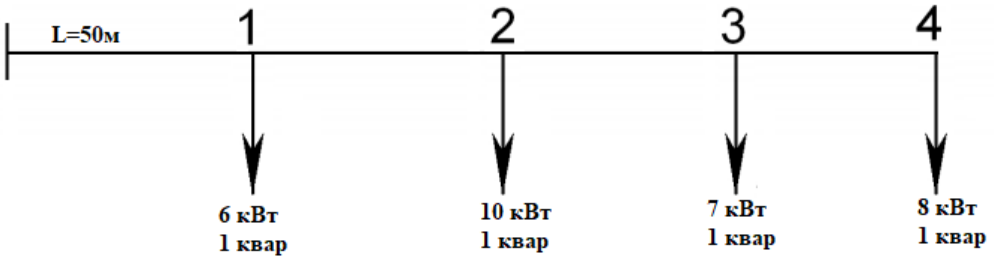


Рис.1 – Схема мережі

Довжина лінії, номера вузлів та їх навантаження зображено на рис. 1. Напруга мережі $U_{н} = 0.38$ кВ. Значення активного та реактивного опорів: $r_0 = 0,3$ Ом/км, $x_0 = 0,08$ Ом/км. Потужність підключеного джерела РГ складає 5 кВт, ціна – $Ц_{РГ} = 110208$ грн.

Розрахунок проводиться завдяки перебору можливих варіантів підключення джерела до вузла в системі. Всі математичні підрахунки (втрат активної та реактивної потужностей, падіння напруги, коефіцієнта інвестицій) відбуваються в програмі *Microsoft Excel* і зведено в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків

	Вузол			
	4	**3**	**2**	**1**
$K_{інв}$=	0,789	0,789	0,789	0,789
$K_{\Delta P}$=	0,362	0,333	0,268	0,150
$K_{\Delta Q}$=	0,362	0,333	0,268	0,150
$K_{\delta U}$=	0,992	0,993	0,993	0,994
$F(x)$=	0,680	0,670	0,647	0,606

З таблиці видно, що найбільше значення багатокритеріального показника отримуємо при приєднані джерела РГ у вузол 4. Це досягається завдяки тому, що найвагоміше значення має показник втрат активної реактивної потужностей, адже саме в цьому місці і підключається станція. Але не потрібно забувати, що можна змінювати як значення потужності генерації, так і вагу кожного критерію окремо, і все це в сумі може привести до нових варіантів розв'язку.

Висновки.

1. Потреба у врахуванні економічних і технічних параметрів мережі та споживачів показує, що задача оптимізації вибору місця і потужності є досить актуальною на даний момент.
2. Хоча і постановка цієї задачі має подібність з її класичною постановкою у відношенні до «традиційних» станцій, але все ж таки має свої особливості, які пов'язано зі специфікою цієї галузі та безліччю можливих варіантів вибору станцій РГ.
3. Складна структура загальної розподільної мережі приводить до збільшення розмірності багатокритеріальної функції, що в свою чергу ускладнює розрахунки. Тому, на даний момент потрібно вдосконалювати старі та створювати нові математичні моделі розрахунку на основі програмного забезпечення.

4. Запропоновано багатокритеріальний показник, який враховує технічні й економічні аспекти приєднання джерел РГ; дає змогу вводити вагові коефіцієнти важливості кожного компоненту показника.

Список літератури

1. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах. *Технічна електродинаміка*. 2011. № 1. С. 46–53.

2. Dolezal J., Sautarius P., Tlusty J. The effect of dispersed generation on power quality in distribution system. Quality and Security of Electric Power Delivery Systems. CIGRE/IEEE PES International Symposium. 2003. P. 204–207.

3. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф.І., Ялова, О.М. Пархоменко Р.О. Відновлювальні джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізорудних підприємств (Аналіз, перспективи, проекти). Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017.152 с.

4. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем – М.: Высшая школа, 1987. – 272 с.

5. Blazewicz S., Walker S., Little A. Reliability and distributed generation. Power Value. 2000.

6. Frase P., Morita S. Distributed generation in liberalised electricity markets. Paris: International Energy Agency, 2002. 127 p.

7. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Москва: Международный совет по стандартизазии, метрологии и сертификации, 1999. 32 с.

8. Barker P., de Mello R.W. Determining the impact of distributed generation on power systems. Proc. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Vol. 3. 2000. Pp. 1645–1656.

9. Гончаренко І.С. Визначення оптимальних варіантів приєднання відновлюваних джерел енергії до електричних мереж: дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Інститут електродинаміки НАН України. Київ. 2017. 145 с

10. Федоров В.К., Леонов Е.Н., Федеров Д.В. Влияние распределенной генерации на потери и качество электрической энергии. Омский научный вестник. №6 (150). 2016. С. 72.

11. Tanuj Deora; Smart electric power alliance; Lisa Frantzis, advanced energy economy; and jamie mandel // Rocky Mountain Institute.

УДК 621.311.003.13

Карнажук Т.Р.
Кафедра електропостачання

МОНІТОРИНГ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В СИСТЕМІ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ

Анотація: В статті розглянуті існуючі методи моніторингу ефективності впровадження енергозбезігаючих заходів на прикладі системи стисненого повітря. Було побудовано рівняння багатофакторної регресії, проведено оцінку адекватності отриманої залежності за допомогою F-критерія Фішера та визначено довірчий інтервал за критерієм Стьюдента. Ефективність впровадження заходів з енергоефективності було досліджено на основі графіка CUSUM із застосуванням V-маски.

Ключові слова: *енергозбереження, енергоефективність, потенціал енергозбереження, моніторинг, енергозберігаючий захід.*

Abstract: The article considers the existing methods of monitoring the effectiveness of energy saving measures on the example of a compressed air system. The multifactor regression equation was constructed, the adequacy of the obtained dependence was evaluated using Fisher's F-test and the Student's confidence interval was determined. The effectiveness of the implementation of energy efficiency measures was investigated on the basis of the CUSUM schedule using a V-mask.

Keywords: *energy saving, energy efficiency, energy saving potential, monitoring, energy saving measure.*

Вступ. Обмежені джерела енергії та проблеми перетворення енергії в циклах вимагають постійних зусиль, щоб використовувати енергію якомога ефективніше, наскільки це можливо технологічно. Промисловість є одним з найбільших споживачів енергії, на яке припадає більше третини споживання первинної енергії у всьому світі, і тому це стратегічна зацікавлена сторона в енергетичному секторі, яка може структурно впливати на виробництво та розподіл енергії. Потенціал економії енергії у виробництві полягає в постійному підвищенні енергоефективності виробничих процесів, логістики, а також у аналізі підходів до моніторингу та управління енергією [1].

Під основними показниками енергоефективності, як правило, розуміють, або характеристики питомого споживання енергії для виробництва одиниці продукції, або безрозмірні одиниці типу коефіцієнта корисної дії, що у відносному вираженні описують ефективність використання енергії в будь-якому агрегаті. Додаткові показники енергоефективності використовуються для розкриття головних причин нераціонального використання енергії та, таким чином, допомагають в кожному конкретному випадку визначити заходи щодо підвищення рівня енергоефективності, а потім і саму ефективність від впровадження заходів.

Енергоефективність слід розуміти як характеристику ефективності використання енергії в технологічних процесах, яка визначається шляхом порівняння значень спеціальних показників енергоефективності для цих процесів з однойменними показниками, обраними в якості еталону. Часто також вдаються до порівняння значень однойменних показників енергоефективності, взятих з практики різних підприємств. При цьому виноситься результат про те, який із процесів є більш ефективним з енергетичної точки.

Мета та завдання. Метою даної статті є визначення ефективності впровадження енергозберігаючих заходів ґрунтуючись на основних методах моніторингу енергоефективності на прикладі системи стисненого повітря. Відповідно до поставленої мети

головними завданнями було проаналізувати існуючі методи оперативного контролю енерговикористання та моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження, провести побудову багатофакторної математичної моделі, необхідної для встановлення базової лінії енергоспоживання в системі стисненого повітря та провести моніторинг ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря.

Матеріал і результати досліджень. Однією з важливих функцій управління енергозбереженням, яка полягає в постійному моніторингу та аналізі даних з метою відстеження динаміки змін та вдосконалення процесу прийняття рішень, є контроль ефективності використання енергетичних ресурсів. Моніторинг ефективності використання енергетичних ресурсів в першу чергу повинен базуватися на застосуванні сучасних методів оперативного контролю, які проводяться для визначення відхилень отриманих результатів від запланованих.

Для моніторингу ефективності впровадження заходів з енергозбереження необхідно збирати та аналізувати дані про споживання основних енергетичних ресурсів, таких як електроенергія, тепло, газ тощо. Необхідно також збирати дані про використання енергоресурсів основними споживачами енергії (котли, печі, парогенератори, сушарки).

Існує кілька методів аналізу даних споживання енергетичних ресурсів, деякі з них описані нижче. Аналіз проводився на основі технологічних даних (витрати, температури, тиску, обсягу споживання) в системі стисненого повітря.

Побудова рівнянь регресії для споживачів енергії (окремого агрегату, технологічного процесу тощо) - один з можливих методів енергетичного аналізу. Він має низку безсумнівних переваг в порівнянні з застосуванням більш звичних питомих показників. Питомий показник зручний для характеристики досягнутого рівня енергетичної ефективності та дає можливість проводити порівняння з іншими підприємствами, що випускають ту саму продукцію, проте він не враховує ролі багатьох чинників, що впливають на організацію роботи [2]. А тому не завжди дозволяє робити висновки про успіхи самої компанії, ускладнюючи порівняння в звітному і базовому періодах.

Стандарт *ISO* 50004 [3] взагалі не рекомендує використовувати питомі показники, а нова версія стандарту *ISO* 50001: 2018 [4] містить вимогу про їх нормалізацію, приведення в порівнянність. Це може робитися, наприклад, з використанням коефіцієнтів. Однак регресійний метод є більш точним. Він дозволяє математично описати процеси, що фізично відбуваються в установках, які споживають енергію - знайти рівняння $y(x)$ або $y(x_1, x_2, \dots x_n)$, де y - споживання енергії, а $x_1, x_2, \dots x_n$ - незалежні змінні, фактори, що впливають на споживання енергії даною групою обладнання. Саме тому доцільно формувати групи основних споживачів енергії за ознакою технологічної єдності і спільності цих факторів для отримання відповідних регресійних рівнянь.

Для знаходження коефіцієнтів регресійних рівнянь, що описують залежність між витратою повітря та споживанням електроенергії, скористаємося методом найменших квадратів, а для проведення кореляційного аналізу - індексом кореляції r. Отримані результати представлені у табл. 1 та графічно на рис. 1.

Проаналізувавши результати, обираємо кубічну регресію, оскільки при даній характеристиці маємо найменшу середню похибку апроксимації A_L= 10,94% та найбільший індекс кореляції r_L=0,821.

Таблиця 1 – Проведення кореляційного аналізу отриманих регресійних рівнянь

	Лінійна регресія	Квадратична регресія	Кубічна регресія	Степенева регресія	Показникова регресія	Логарифмічна регресія	Гіперболічна регресія	Експотенціальна регресія
Дисперсія, D_L	8706,5	7139,0	7106,4	8388,6	10254,6	7665,7	7420,4	10253,4
Сер. похибка апроксимації, A_L %	12,10	11,08	10,94	11,63	12,42	11,52	11,51	12,42
Індекс кореляції, r_L	0,775	0,820	0,821	0,785	0,728	0,806	0,813	0,728
Індекс детермінації, R^2	0,601	0,673	0,675	0,616	0,531	0,649	0,660	0,531

Аналогічно отримано залежності споживання електричної енергії від тиску та температури повітря, що мають наступний вигляд: $P(p)=5{,}38\cdot p^3-112{,}4\cdot p^2+723{,}3\cdot p-707{,}1$ та $P(t)=-0{,}21\cdot t^3+13{,}32\cdot t^2-267{,}71\cdot t+2344{,}2$. При цьому похибка апроксимації в першому випадку становить $A_p= 12{,}68\%$, а індекс кореляції $r_p =0{,}72$. Для параметру t ці значення дорівнюють $A_t= 20{,}9\%$ та $r_t =0{,}23$ відповідно.

Після проведення кореляційного аналізу бачимо, що залежність між температурою повітря та споживанням електричної енергії низька (r ≤0,7), тому в подальшій роботі цей параметр не враховується. Оскільки метою є побудова багатофакторної моделі, то вводимо розраховані залежності електричної потужності від інших розглянутих вище факторів до багатофакторної моделі $P(L,p)=a_0+b_1\cdot L+ b_2\cdot p$. За методом найменших квадратів отримаємо багатофакторне рівняння вигляду $P(L,p)=239{,}48+0{,}0585\cdot L-6{,}69\cdot p$, при цьому індекс багатофакторної кореляції складає $r_{p,L}=0{,}776$.

Наступним етапом є проведення оцінки адекватності отриманої залежності за допомогою F-критерія Фішера. Для цього висуваємо гіпотезу H_0 про неадекватність моделі та порівнюємо значення F_{tabl} (критичне значення при обраному рівні значимості отримуємо за допомогою таблиць розподілу і дорівнює $F_{tabl}(1;28;0{,}05)=4{,}2$) та F_{fact}, що обчислюється за формулою:

$$F_{fact}=\frac{R^2}{1-R^2}\cdot\frac{n-m-1}{m}=\frac{0{,}603}{1-0{,}603}\cdot\frac{31-2-1}{2}=21{,}22.$$

$F_{tabl} < F_{fact}$, тому гіпотеза H_0 відхиляється і визнається статистична значимість та надійність досліджуваної залежності. Тому отримане рівняння можна використовувати як базову лінію енергоспоживання.

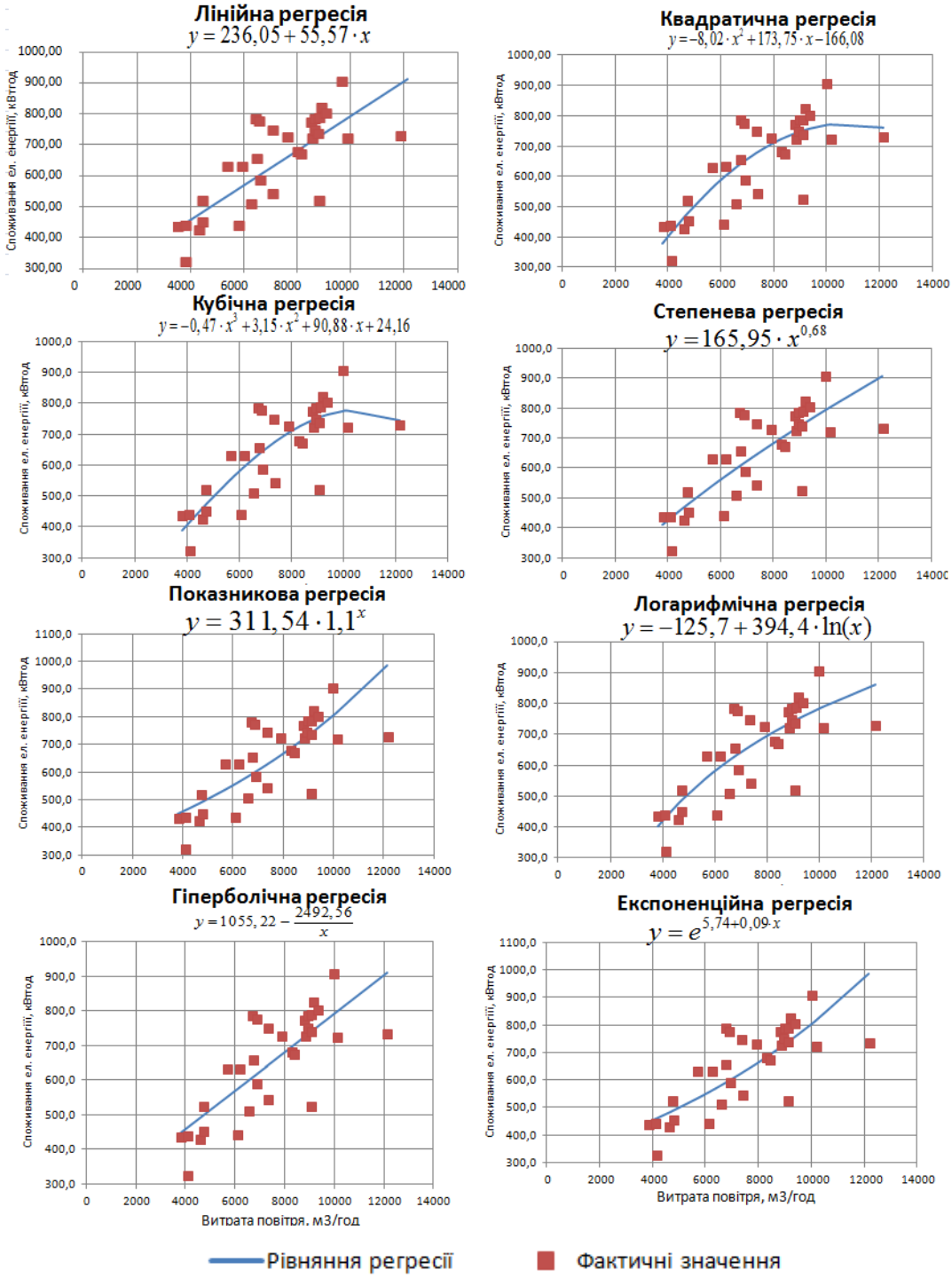


Рисунок 1 – Графічний вигляд регресійних рівнянь

Для оцінювання можливості впровадження енергозберігаючих заходів потрібно переконатися, що процес стабільний. Для цього побудуємо контрольну карту Шухарта (рис. 2), оскільки вона дає можливість візуально визначити момент зміни процесу, створює основу для його поліпшення, виявляє відмінності між випадковими і системними порушеннями в процесі [5].

Контрольна карта відображає одиничний випадок виходу показника за контрольні межі, а середні значення відхилень коливаються відносно цільової лінії тому процес є стабільним, а базова лінія - надійною.

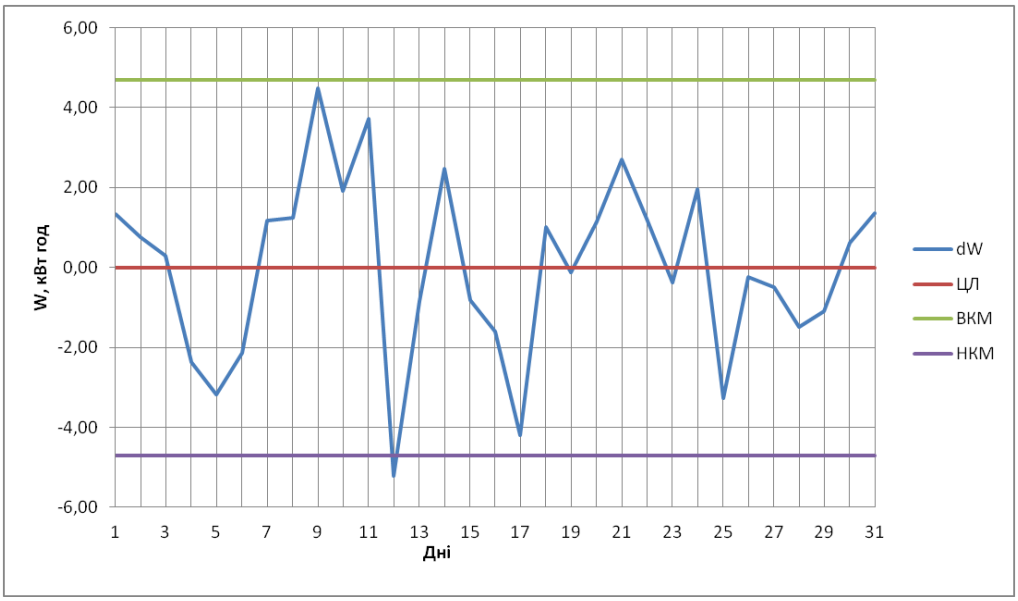


Рисунок 2 – Контрольна карта середніх значень відхилень фактичного обсягу використання електроенергії відносно базової лінії

Маючи параметри технологічного процесу за наступний звітній період після проведення енергозберігаючих заходів, було отримано розрахункові значення, використовуючи багатофакторну регресію.

Для аналізу отриманих даних визначимо довірчий інтервал за допомогою критерія Стьюдента при ймовірності p=0,95 (рис. 3).

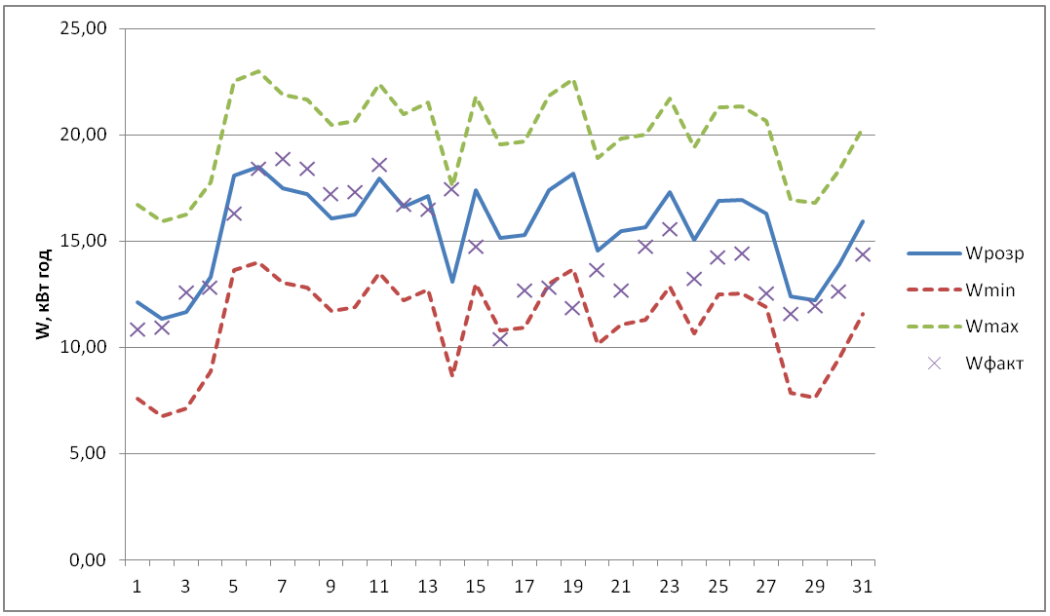


Рисунок 3 – Границі довірчого інтервалу для базового споживання та фактичне споживання електроенергії після впровадження заходів

Проаналізувавши графік, бачимо, що фактичні дані протягом першої половини місяця майже не відрізняються від базового споживання, потім спостерігається зниження цього параметру. Проте лише 2 точки опустилися нижче довірчого інтервалу, тому подальшого аналізу скористаємося графіком *CUSUM* (рис. 4) . Він показує суму відхилень даних від встановленого опорного значення.

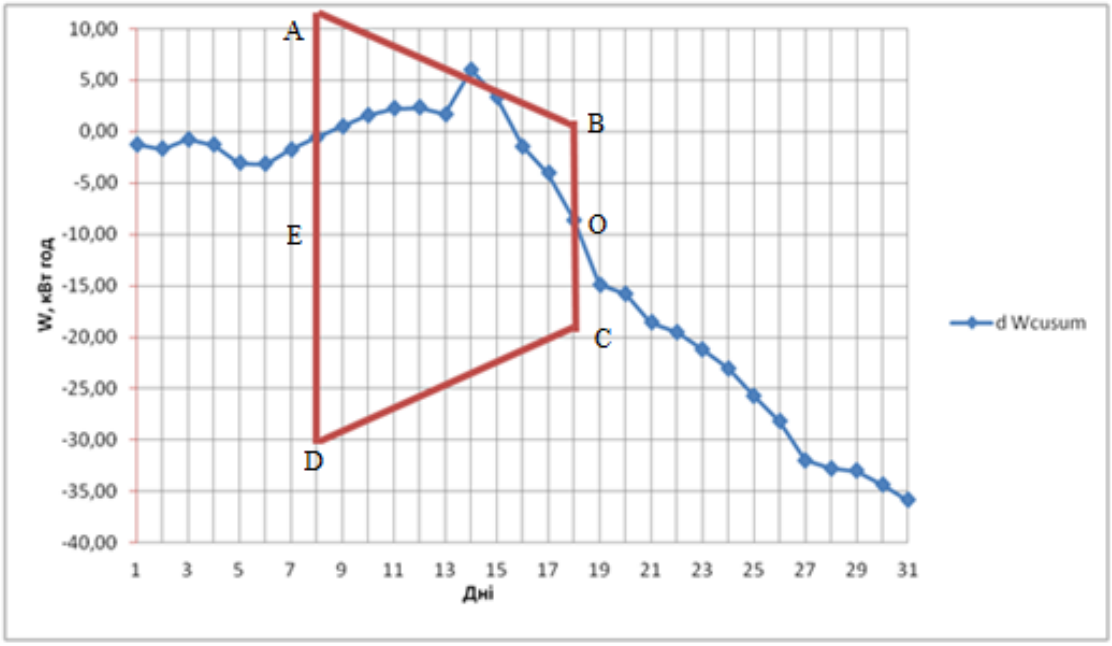


Рисунок 4 – Контрольна карта *CUSUM* із застосуванням *V*-маски

Будь-які зміни середнього відхилення і ступінь цих змін представлені візуально за допомогою кута нахилу графіка даних. Горизонтальний графік (1-13 дні) вказує на відповідність середнього процесу опорного значенням. 14 день характеризувався налагоджувальними роботами по впровадженню енергозберігаючих заходів, тому спостерігається підвищення графіку. Нахил графіка вниз (15-31 дні) вказує на те, що відбувалося зниження енергоспоживання. Чим більше кут нахилу, тим істотніше розбіжність.

Також на рис. 4 показана усічена *V*-маска в реальному масштабі для контрольованої характеристики процесу. Тут використано стандартне відхилення, а не стандартна похибка, оскільки дана маска розроблена для контролю окремих спостережень, а не середнього значення. Вона містить точку початку відліку, позначену *O*, два вертикальні відрізки *OB* і *OC* довжиною 5σ (вони називаються інтервалами рішень) та два похилих відрізка *BA* і *CD* (лінії дозволу), що охоплюють графік. Розмір відрізка *EO* дорівнює десяти інтервалах спостережень, а вертикальні відрізки *EA* і *ED* рівні 10σ. Вихід фактичного споживання за межі *V*-маски вказує на те, що у процесі роботи системи стисненого повітря відбулися зміни, що були спричинені енергозберігаючими заходами.

Висновки. Промисловість більше, ніж будь-який інший сектор, зацікавлена у зменшенні споживання енергії, оскільки високі енергетичні витрати стали ключовим економічним фактором. Енергоефективність представляє для неї величезні можливості, такі як зменшення витрат, стимулювання економічного зростання, підвищення продуктивності праці та значне зменшення впливу на навколишнє середовище.

Найбільш доцільно для побудови базової лінії енергоспоживання в системах контролю використовувати багатофакторний регресійний аналіз, при цьому обов'язково досліджувати характер і вигляд залежності змінних від споживання енергії. При побудові контрольних границь з'являється можливість визначення невипадковості виконання цільових змін, а за допомогою *CUSUM*-карт можна визначити значення постійних зрушень технологічних процесів підприємства.

Список використаних джерел.

1. Находов, В. Ф., Бориченко О. В., Д. О. Іванько. "Контроль ефективності енерговикористання в системі енергетичного менеджменту." Вісник Київського національного університету технологій та дизайну (2013).

2. Находов, В. Ф., Бориченко, О. В., Іванько, Д. О., Єгорова, І. О. (2014). Комплексний підхід до визначення складу чинників, що впливають на величину енергоспоживання при впровадженні систем оперативного контролю енергоефективності. Енергетика, (2), 68-78.

3. ДСТУ ISO 50004:2016 Системи енергетичного менеджменту. Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту (ISO 50004:2014, IDT)

4. ISO 50001:2018 Energy management systems [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.iso.org/ru/iso-50001-energy-management.html.

5. ДСТУ ISO 8258-2001. Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/ISO_8258-2001.

науковий керівник: к.т.н., доц. Бориченко О.В.

УДК 621.311

Ковалішин А.Р.
Кафедра електропостачання

КОРОТКОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Анотація: *Для підвищення точності прогнозування існуючими методами графіки електричних навантажень попередньо групуються в залежності від значень режимного параметра - коефіцієнта форми графіка. Згідно запропонованого способу проаналізовані дані піддаються вейвлет-перетворенню для використання особливостей взаємопов'язаності вейвлет- коефіцієнтів.*

Ключові слова*. Навантаження, графіки навантаження, режими електропостачання, інформаційна модель.*

Abstract: *To improve the prediction accuracy of existing methods, electrical loads graphs are pre-grouped depending on the values of the mode parameter - the shape factor of the graph. According to the proposed method, the analyzed data are subjected to a UV transform to use the peculiarities of interconnectedness of the UV coefficients.*

Keywords: *Loads, load graphs, power supply modes, information model.*

Постановка проблеми

Під час планування режимів електроспоживання одним із важливих інструментів при прийнятті зважених управлінських рішень являється короткострокове прогнозування електричного навантаження.

Вступ

У загальному випадку, спостереження проводяться через однакові короткі проміжки часу (день, година і так далі), проте існують і більш тривалі інтервали (наприклад, місяць, квартал, рік). Прогнози режимів роботи споживачів використовуються для оцінювання графіка навантаження при оптимізації та оперативному керуванні електроспоживанням, заявленого максимуму та витрат електроенергії при формуванні заявок і договорів з енергопостачальною організацією на постачання електроенергії, планування необхідної кількості електроенергії для випуску продукції [1].

У задачах короткострокового прогнозування об’єктами прогнозу традиційно виступають годинні та півгодинні графіки електричних навантажень (ГЕН) [2]. Завищення прогнозу зазначених величин призводить до появи техніко-економічних витрат, які обумовлені дефіцитом генеруючих потужностей. Таким чином, розробка нових та вдосконалення існуючих методів прогнозування електроспоживання та їх практична реалізація залишаються актуальними задачами, розв’язання яких сприятиме зниженню витрат для споживачів за рахунок ефективного планування режиму роботи [3, 4].

Для досягнення вказаної мети, як правило, здійснюють статистичний аналіз ретроспективних даних графіків електричних навантажень, що описує перебіг процесу зі статистичними факторами при відсутності можливості детермінованого опису.

Мета роботи. Створити новий більш точний підхід до прогнозування ГЕН, напрямлений на підвищення ефективності планування режиму роботи споживачів.

Основний матеріал досліджень

В якості об’єкта досліджень вибрані спостереження, що змінюються в часі - часові ряди $P(t),\ t \in [1; N]$, де N - загальний об’єм досліджуваної вибірки.

Задача прогнозування полягає в тому, щоб за наявними значеннями спостережень ГЕН,

визначити значення у наступні моменти часу. Часто при вирішенні практичних задач послідовність *P(i)* представляється у вигляді суми двох компонент, які прогнозуються з різною степеню точності.

Враховуючи дані компоненти, ряд *P(i)* розкладається:

$$P(t) = S(t) + P_1(t),$$

де £ *(i)* - тренд ряду; р (і) - ряд, який приймається для подальшого прогнозування.

За умов періодичності складової £ *(i)* спостерігаються сезонна декомпозиція початкового ряду *P(i)*. Варто враховувати, що точність декомпозиції сигналу впливає на якість прогнозування.

До спеціальних перетворень часового ряду, які дозволяють зменшити дисперсію (варіацію) значень, відносять логарифмічне приведення [5]: прогнозується не саме значення ряду, а його приріст. Для цього визначають різниці першого порядку:

$$\Delta P(t) = P(t) - P(t-1), \ t = 2,3...N$$

Замість ряду *P(i)* досліджується ряд перших різниць *AP(i)*. Повторне застосування цієї процедури до ряду *AP(i)* приводить до появи різниць другого порядку і так далі.

Можливий варіант узагальнювання сезонних різниць заміною одиничного зсуву величиною тривалості сезону :

$$\Delta_s P(t) = P(t) - P(t-s), \ t = s+1, s+2...$$

Побудова прогнозів ГЕН здійснювалось програмним комплексом STATISTIKA, а саме 'її модулем Time Series Analysis / Forecasting - Аналіз часових рядів і прогнозування.

Об'єктивний прогноз статистичними методами полягає у вирахуванні верхніх і нижніх границь довірчих інтервалів. Згідно діючих вимог до якості прогнозування рівнів електроспоживання границі довірчих інтервалів приймаються рівними 0,9. Значення границь дозволяють спланувати стратегію планування та управління рівнями електроспоживання.

Після визначення параметрів проводиться оцінювання ряду. Для раціонального прогнозування необхідно коректно вибрати критерій ідентифікації моделі. В якості прикладу прогнозування розглянемо добові ГЕН зимового та весняного періодів, що складається з нижченаведених етапів.

1. Для підвищення точності прогнозування ГЕН споживачів слід враховувати форми графіків. У даному випадку ГЕН відповідає рис. 1, згідно якого проявляється тенденція поділу наведених графіків на групи: з двома піками (робочі дні), зі зниженим (субота) та рівномірний (неділя) споживанням.

Споживач вибраний на підставі різноплановості форм ГЕН: рівномірності, наявності піків та провалів. Характер розподілу графіків на вказані групи зберігається протягом року.

У подальшому принцип прогнозування представлений на ГЕН для робочих днів зимового місяця (лютого), який представлений на (рис. 2).

Прогноз здійснюється для всіх груп окремо так, як існуючі методи прогнозування не здатні одночасно враховувати подвійну циклічність: загальну - повторюваність тижневої форми графіка, часткову внутрішню - форм графіків робочих днів.

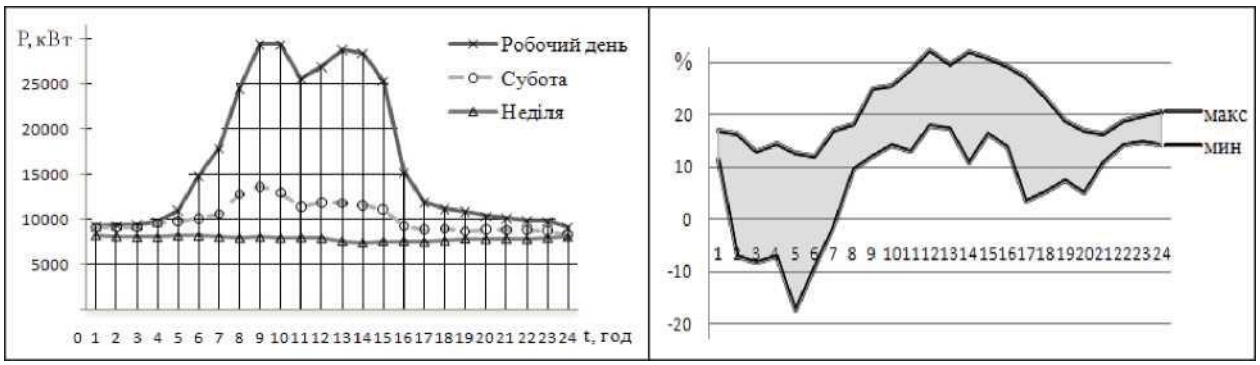


Рис.1. Типові форми ГЕН

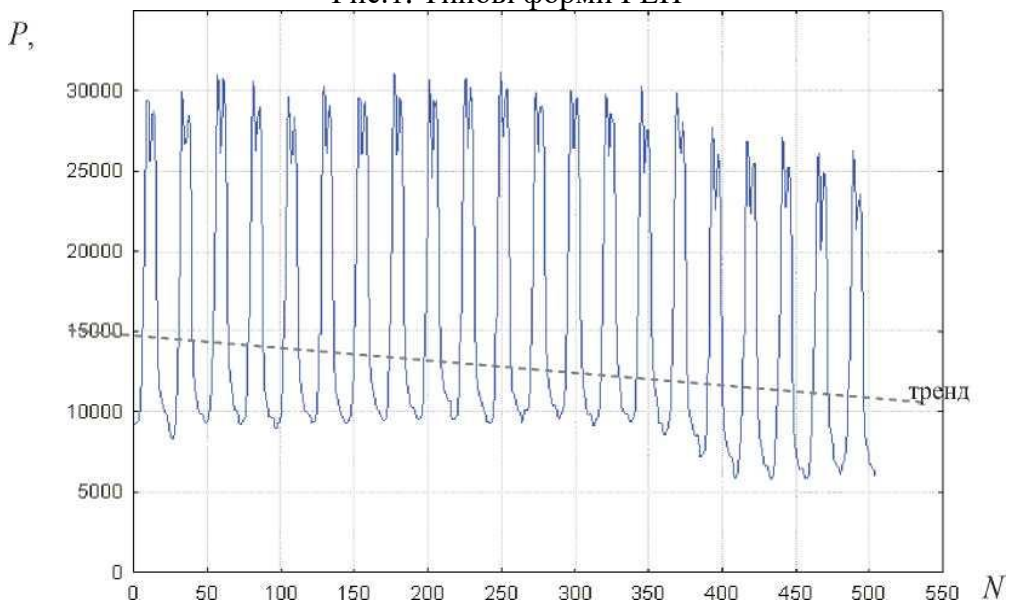


Рис.2. Значення добових рівнів електроспоживання з місяць та тренд

2. Видалимо тренд (довготривалу тенденцію зміни досліджуваного ряду) з початкового графік навантаження (рис. 2). Тренди описуються різними видами рівнянь - лінійними, логарифмічними, степеневими і так далі. Фактичний тип тренду встановлюють на основі підбору його функціональної моделі статичними методами згладжуванням вихідного часового ряду.

Рівняння лінійного тренду для досліджуваного ряду представлено рівнянням:

$$P(i) = -17800 + 7{,}539t.$$

3. Оцінимо кореляцію отриманого ряду (рис. 2) і представимо числові значення автокореляційної функції на графіку розподілу функції (рис. 3).

Аналіз взаємозв'язку між вибірками ґрунтується на виявленню сили зв'язку значень, яка вимірюється коефіцієнтом кореляції Corr є [- 1; 1] (рис. 3а).

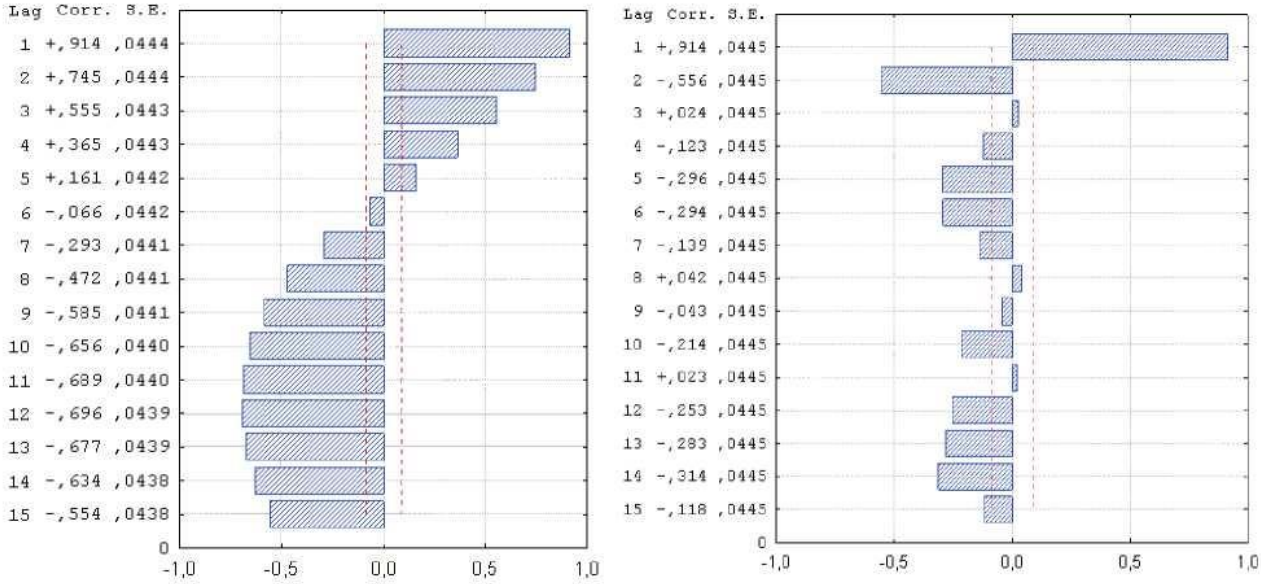
4. Визначається часткова автокореляція часового ряду (рис. 36) для усунення впливу інших змінних.

5. Прологарифмуємо функцію для визначення значень різниці лагів (рис. 4).

6. Для визначення параметрів p і q стаціонарного ряду розглядаються вибіркові і часткові автокореляційні функції ряду. Якщо p і д не рівні нулю - змішана модель, представлена у вигляді суми експонент і затухаючих синусоїд. Наявні практичні критерії визначення груп моделей за допомогою повних і часткових автокореляційних функцій [6] і [7], згідно яких вибирався критерій ідентифікації моделі.

7. Додатково можна оцінити значення нижньої та верхньої меж довірчого інтервалу та його ширину, а також стандартну похибку, як один із показників якості оцінки. При чому, чим вужчий довірчий інтервал, тим більш сприятлива ситуація для прийняття

рішення.



а) б)

Рис. 3. Повна та часткова автокореляційні функції ряду

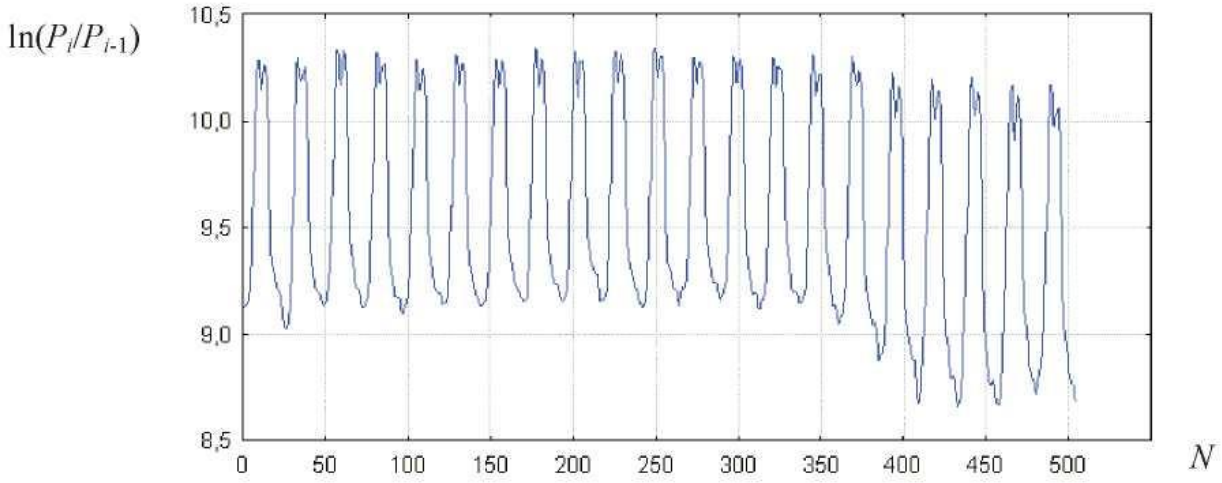


Рис. 4. ГЕН після логарифмування

Оцінка шуканого парметру буде вважатись достовірною лише при невеликій похибці розрахунків повної і часткової автокореляції. Порівняємо спрогнозовані та реальні дані шляхом знаходження граничних значень абсолютної похибки (рис. 5).

Додатково для підтвердження достовірності моделі було проведено прогнозування ГЕН весняного періоду, результати яких також знаходяться у межах ± 20 %.

В пікових зонах ГЕН спрогнозована верхня границя прогнозу не повинна бути меншою, ніж реальне значення. В іншому випадку при перевищенні заявлених рівнів електроспоживання до споживача електроенергії застосовуються штрафні санкції.

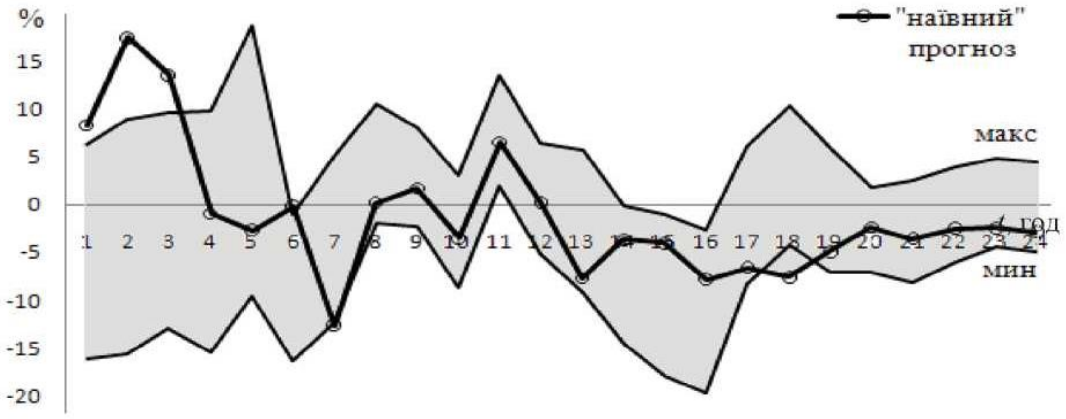


Рис. 5. Граничні значення абсолютних похибок та «наївного» прогнозу електроспоживання на наступний тиждень за зимовий період

Висновки

У результаті проведених досліджень показана необхідність попереднього групування даних для споживачів з відмінними коефіцієнтами форм графіків електричних навантажень, при чому межі абсолютної похибки прогнозування змінилися від ± 30 % до ± 20 %. Аналізуючи загальноприйнятий спосіб покривання можливих розбіжностей встановленням меж довірчих інтервалів, виявлено завищення границь при рості чисельності спрогнозованих значень. Для усунення неточностей запропоновано попередньо вейвлет-перетворювати початкові дані та використовувати їх властивості, самим діапазон абсолютних відхилень від реальних значень зменшився до ± 10 %.

Список літератури

1. Седов А. В. Системи контроля, распознавания и прогнозирования лектропотребления: модели, методи, алгоритми и средства / А. В. Седов, И. И. Надтока // Ростов н/Д: Изд-во Рост. Ун-та. - 2002. - 320 с.

2. Черненко П. О., Мартинюк О. В, Заславський А. І. Моделювання і прогнозування електроспоживання та екстремальних значень електричного навантаження енергооб'єднання. - Енергетика та електрифікація. - 2009. - №11. - С. 24-34.

3. Черненко П. А., Кузнецов Г. Г. Определение информативности и краткосрочное прогнозированиепериодическинестационарныхслучайныхпроцессоввэлектроэнергетических системах. - Киев,1977. - 38 с.

4. Бэнн Д. В., Фармер Е. Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки.- М.: Энергоатомиздат, 1987. - 197 с.

5. Терехов С. А. Вейвлеты и нейронные сети / Терехов С. А. - Режим доступу до статті: http:// alife.narod.ru/ lectures/ wavelet2001.

6. Pankratz A. Forecasting with univariate Box-Jenkins models: Concepts and cases 1 / A. Pankratz. - New York: Wiley, 1983.

7. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, А. Пирсол. - М.: Мир, 1974 - Вып. 1, 2.

8. Волошко А. В. К вопросу применения кратномасштабного анализа для сжатия и восстановления графика электрической нагрузки [Текст] / А. В. Волошко, Д. О. Иванько, К. Ю. Гура [и др.] // Электроника и связь. - 2010. - № 4. - С. 59-64.

9. Волошко А. В. Локальне відновлення закодованої інформації / А. В. Волошко, Т. Н. Лутчин. Праці Інституту електродинаміки НАН України : в зб. наук. пр., 2010. С. 93-96.

Науковий керівник: **Волошко А.В.** д.т.н., професор

Колопенко В.М.
кафедра електропостачання

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті представлені методологічні основи управління режимами електроспоживання об'єктів цивільного призначення. Показано, що основними факторами, які впливають на управління електроспоживанням є тарифи на електричну енергію, режими роботи електроприймачів, якість електричної енергії. Показано, що ефективними методами управління електроспоживанням є використання споживачів-регуляторів електричної енергії, методів нормування витрат електричної енергії , а також оптимізації режимів систем електроспоживання. Для ефективного управління електроспоживанням доцільно застосовувати інтелектуальні методи короткострокового прогнозування режимів електроспоживання, а оперативне управління електроспоживанням і режимами електричних мереж об'єктів цивільного призначення може бути виконано в режимі реального часу. В статті представлені основні положення побудови автоматизованих систем управління використанням електричної енергії і комплексів технічних засобів контролю енергоспоживання.

Ключові слова: електроспоживання, управління, споживачі-регулятори, оптимізація, облік, контроль

The article presents the methodological framework for the management of the power consumption of industrial enterprises. It is shown that the main factors that affect the management of energy consumption tariffs for electric energy, modes of operation elektroprenos, the quality of electrical energy. It is shown that effective management of energy consumption is the use of consumers-regulators of electrical energy, methods of rationing expenditure of electrical energy production, as well as optimization of energy supply systems. It is shown that for effective management of electrophoregram it is advisable to apply intelligent methods of short-term forecasting of energy consumption and operational management of power consumption and electric networks of industrial enterprises can be performed in real-time. The article presents the main provisions of the building automated control systems utilization of electrical energy and technical devices power consumption.

Keywords: consumption, management, consumers, regulators, optimization, accounting, control.

Підвищення ефективності систем енергопостачання (СЕП) - одне з пріоритетних завдань в енергетиці. Увага до цієї теми викликано необхідністю заощадження електроенергії, зменшення її втрат, зниження аварійних ситуацій . Всі ці проблеми є при-чиною вкрай важливими в сучасних умов розвитку енергетики. Від правильності і оперативності їх вирішення багато в чому залежить надіцнсть електропостачання об'єктів цивільного призначення.

В даний час існує цілий ряд методів підвищення ефективності електропостачання об'єктів цивільного призначення. В даній статті розглядаються найбільш актуальні та перспективні з них.

Мета та задача дослідження .Головною метою є комплексний аналіз техніко-економічних показників і доступних методів підвищення енергопостачання об'єктів цивільного призначення , проведення енергоаудиту існуючиз мереж для заощадження електроенергії.

Матеріали досліджень

Ефективне управління використанням електричної енергії обумовлюється

комплексним вирішенням принципових питань: розробки і впровадження дієвої нормативно-правової бази управління використанням електричної енергії; розробки та запровадження прогресивної системи тарифів на електричну енергію, яка стимулювала б створення і використання у споживачів маневрового електричного навантаження (споживачів-регуляторів електричної енергії); створення моделей, методів та програмного забезпечення для управління режимами електричних мереж , електричним навантаженням споживачів та їх електроспоживанням; створення та забезпечення постачальників і споживачів електроенергії сучасними автоматизованими системами і технічними засобами обліку та управління електроспоживанням; [I].

Енергетична ефективність - це сукупність характеристик, які відображають ставлення корисного ефекту від використання енергетичних ресурсів до витрат енергетичних ресурсів, виробленим з метою отримання такого ефекту. Основним критерієм оцінки ефективності функціонування і розвитку СЕП об'єктів цивільного призначення, в тому числі заходів щодо зниження втрат електричної енергії (ЕЕ), є надійне і економічне забезпечення споживачів ЕЕ необхідної якості [1].

Клас енергетичної ефективності - характеристика продукції, яка відображає її енергетичну ефективність [2, 7].

Вкладення інвестицій безпосередньо в енергоефективність об'єктів цивільного призначення дійсно є економічно вигідним заходом.

Як відомо, період окупності капітавкладень в енергоефективність коливається в залежності від типу проекту, проте в цілому складає від 0,5 до 6 років, що є хорошим показником в порівнянні з традиційними інвестиціями. І це не дивно, так як при зростанні цін на енергоносії і відповідно зростання заощаджень на цьому, завдяки здійснюваним інвестиціям, період фінансової віддачі скорочується. Як правило, внутрішня норма прибутку на інвестиції в проекти по енергоефективності вище, ніж процентна ставка по кредитах. Це означає, що будь-який додатковий кредит, який компанія бере, має забезпесчити певний вплив на фінансові показники компанії, а кінцевий фінансовий ефект від інвестицій є позитивним [3].

Для того щоб усунути втрати ЕЕ, потрібно зробити пошук джерел і причин їх виникнення. Висока частка втрат в СЕП об'єктів цивільного призначення виникає в основному через експлуатацію застарілого і зношеного обладнання, стан якого вимагає термінового ремонту, а також через відсутність впровадження контрольних автоматизованих систем стеження і регулювання витрат електроспоживання і невідповідності сучасним вимогам стандартів обліку.

Істотні технологічні втрати ЕЕ в СЕП, як правило, викликані наступними причинами:

- незадовільним станом діючих електричних мереж через зниження обсягів капітальних ремонтів, реконструкції та заміни технічно застарілого і зношеного обладнання;
- вимушеною роботою елементів СЕП в неоптимальних режимах при підвищеному електроспоживанні в години максимальних навантажень;
- експлуатацією трансформаторів з низьким коефіцієнтом завантаження;
- наявністю значних перетоків реактивної потужності в електричних мережах, які можуть призвести не тільки до збільшення втрат електроенергії, а й до зниження їх пропускної здатності, збільшення втрат напруги;
- наявністю на об'єктах цивільного призначення навантажень, які викликають несинусоїдальність і несиметрію фаз при відсутності заходів по їх усуненню. Перекіс фаз викликає несиметрію струмів, які, в свою чергу, викликають несиметрію напруг і робить негативний вплив на роботу всіх електроприймачів. Негативні наслідки: пошкодження, відмови, збільшення зносу, зменшення періоду експлуатації, прискорене старіння ізоляції електрообладнання, збільшення енергоспоживання [1];
- нераціональними режимами роботи основного електрообладнання;

- застарілими схемами живильних і разподільчих мереж;
- стабільної нерівномірності добових графіків навантажень;
- істотними відхиленнями показників якості електроенергії ПКЕЕ від нормованих;
- зростанням числа нелінійних і різкозмінних електроприймачів [5].

Розглянемо методи, які найбільш практичні і економічно раціональні для підвищення ефективності СЕП об'єктів цивільного призначення.

1. Модернізація і реконструкція діючих СЕП об'єктів цивільного призначення , розподільчих схем живлення трансформаторних підстанцій (ТП) і електроустановок.

Це здійснюється шляхом заміни застарілого електрообладнання на нове з вищим ККД і ступенем надійності, впровадження енергозберігаючих технологій. Такий метод є найпоширенішим [6].

2. Вирівнювання нерівномірних добових графіків електричних навантажень.

Цей метод дозволяє істотно зменшити піковий максимум навантаження, що призводить до зниження втрат і економії електричної енергії в мережі. Для забезпечення стабільної роботи об'єктів цивільного призначення необхідно проектувати графіки обмеження споживання потужності електроенергії при перервах електроспоживання на підставі даних про питомі ущерби, комплексних схем технологічного процесу і системи електропостачання [5].

3. Енергоефективна експлуатація трансформаторів підстанцій.

Втрати в трансформаторах бувають двох типів - втрати в обмотках і втрати в осерді. Втрати в обмотках безпосередньо мають зв'язок з опором мідних обмоток і виділенням тепла, величина цих втрат пропорційна квадрату струму і складає 1 - 3% номінальної потужності при 100% завантаження трансформатора.

На трансформаторних підстанціях є надлишок встановлених потужностей, внаслідок чого середнє значення завантаження відносно низьке. Цей надлишок потужностей необхідний для забезпечення надійної та безперебійної роботи трансформаторів в аварійній ситуації, при виході з ладу одного з них. Методи оптимізації пишуться для всіх ТП, згідно з оцінками оптимізація завантаження можлива в 25% випадків.

В реальних умовах середнє значення коефіцієнта завантаження завжди менше 100%, а максимальний ККД трансформатора, незалежно від потужності, досягається при його завантаженні в середньому на рівні 45 - 75% від номінальної завантаження. Такий метод дозволяє визначити оптимальні варіанти підвищення ефективності для трансформаторної підстанції:

- якщо загальне навантаження нижче 40 - 50% номінальної потужності ТП, то в якості запобіжного енергозбереження логічно підвищити енергоеф-ність підстанції за рахунок відключення одного або декількох трансформаторів, довівши значення коефіцієнта завантаження до оптимальної величини;
- якщо загальне навантаження перевищує 75% номінальної потужності ТП, то для досягнення максимального ККД трансформаторів необхідно встановити додаткові потужності;
- якщо трансформатори вичерпали свій ресурс в ході експлуатації і необхідна модернізація застарілих ТП, доцільно їх замінити на трансформатори зі зниженим рівнем втрат, що дозволяє знизити втрати на 20 - 60% [3].

4. Встановлення компенсуючих пристроїв.

Навантаження на об'єктах цивільного призначення зазвичай буває активним, ємнісним і індуктивним в залежності від типу електрообладнання. Реактивна енергія негативно впливає на внутрішні електромережі, створюючи електромагнітні поля в електроустановках. Реактивний струм призводить до зниження якості електроенергії. Компенсуючі пристрої призначені для компенсації ємнісної або індуктивної складової змінного струму. Використовуються для компенсації реактивної потужності в вузлах електроенергетичної системи та компенсації реактивних параметрів ліній. Установка компенсації реактивної

потужності (УКРМ) забезпечує збільшення і підтримання на нормативному рівні величини коефіцієнта потужності трифазної розподільчої мережі. Основним завданням УКРМ є акумуляція в конднсаторі реактивної потужності.

У пристрої УКРМ застосовуються конденсатори, що забезпечують надійність і довговічність. Наявність в конденсаторної установки УКРМ спеціалізованих тиристорних швидкодіючих пускачів, які працюють з випередженням за часом для комутації фазових конденсаторів, що спрацьовують при зміні cosφ, продовжує час їх безвідмовної роботи.

Існуючий метод розрахунку компенсуючого пристрою за формулою (1) з урахуванням несинусоїдальності дозволяє визначити компенсуючу ємність С за величиною потужності реактивних складових гармонік струмів навантаження і середньозважених напруг:

$$C = \frac{\sum_{\nu=1}^{\infty} \nu \times U_\nu \times I_\nu \times \sin\phi_\nu}{\omega \sum_{U=1}^{\infty} \nu^2 U_\nu^2} = \frac{Q_{P.T.}}{\omega \times U_{CB}^2}, \quad (1)$$

-де Q,U – потужність реактивних складових вищих гармонік струмів навантаження і середня напруга.

Використання тиристорного регулювання компенсуючих пристроїв (КУ) виробляє плавне і безперервне регулювання ємності компенсуючого пристрою по заданому закону регулювання [1].

5. Усунення перекосу фазних напруг.

Зазвичай при несиметрії напруг в трифазної мережі з'являється додаткова, пульсуюча з подвійною частотою потужність. Наявність такої потужності веде до непродуктивного завантаження мереж і приладів, в результаті чого знижується ефективність їх використання.

Всі способи по симетруванні направлені на компенсацію пульсуючої потужності, щоб зменшити симетричні складові нульової і зворотної послідовностей. Існує внутрішнє і зовнішнє симетрування. При внутрішньому симетруванні несиметричне (однофазна) навантаження природно розподіляється між фазами по можливості рівномірно таким чином, щоб найбільшою мірою знизити несиметрію. Досягти повної симетрії методом внутрішнього симетрування вдається надзвичайно рідко, оскільки сумарне навантаження в загальному випадку все ж залишається несиметричною і безперервно протягом доби змінюється навантаження в кожній з фаз [7].

Під зовнішнім розуміють штучне симетрування з застосуванням різних пристроїв, підключених до трифазної мережі так, щоб сумарні струми в трифазному джерелі і мережі створювали систему прямої послідовно-вательності.

Несиметрія напруги призводить до нагріву трансформаторів і, отже, скороченню терміну його служби. Наприклад, при номінальному навантаженні трансформатора і K2U = 10% термін служби ізоляції трансформатора скорочується на 16%. Струми, обумовлені напругою нульової послідовності U0, створюють в сталі трансформаторів струм нульової послідовності I0, який не виконує ніякої корисної роботи, але забезпечує додатковий нагрів стали. Це також знижує здатність навантаження трансформаторів [2].

6. Облік показників якості електроенергії (ПЯЕ) при аналізі режимів СЕП.

До електромереж загального призначення відносяться мережі змінного трифазного і однофазного струму частотою 50 Гц, енергосистем і електростанцій.

Норми якості електроенергії є рівнями електромагнітної сумісності (ЕМС) для кондуктивних електромагнітних завад в СЕП загального призначення. При дотриманні зазначених норм забезпечується ЕМС електромереж СЕП загального призначення і електромереж споживачів.

Нормативний стандарт не встановлює вимоги до якості електроенергії в електричних мережах спеціального призначення (наприклад, контактних тягових мережах, мережах

зв'язку), в автономних системах електропостачання (бурової установки, поїздів). Він також не встановлює норми ПЯЕ для режимів, викликаних непередбаченими обставинами (погодними умовами, стихійними лихами і т.п.), а також на час ліквідації наслідків непередбачених обставин.

Норми ПЯЕ підлягають включенню до технічної умови на приєднання споживачів і в договори енергопостачання між організацією, що здійснює енергопостачання, і споживачем.

З метою забезпечення норм стандарту в точках загального приєднання споживачам, винним в погіршенні якості електроенергії, допускається встановлювати в технічних умовах на приєднання і в договорах на енерго-постачання більш жорсткі норми (з меншим діапазоном допустимих значень ПКЕ), ніж встановлені в стандарті.

Норми ПЯЕ в електричних мережах, знаходяться у власності споживачів електричної енергії, які регламентуються стандартами та іншими нормативними документами, не повинні бути нижче норм, установлених в ГОСТ 13109-97 в точках загального приєднання. Норми стандарту застосовують під час проектування і експлуатації електричних мереж, а також при встановленні рівнів ЕМС між електричними мережами та приймачами електричної енергії. Встановлено два види норм ПЯЕ: нормально допустимі значення (НДЗ) і гранично допустимі значення (ГДЗ).

Імовірність неприпустимих відхилень напруги для реалізації U (t) може бути визначена за формулою

$$P_{НД} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{npi}}{T}, \quad (2)$$

Якість електроенергії - одне з ключових понять в електропостачанні. Зниження показників якості електроенергії негативно впливає на електрообладнання:

- збільшуються втрати енергії в мережах;
- збільшується споживання ЕЕ і необхідної потужності обладнання;
- відбуваються збої і помилкові спрацьовування автоматичних пристроїв релейного захисту;
- нестабільність роботи електроніки і обчислювальної техніки;
- некоректна робота електролічильників. ЯЕ характеризується показниками різного типу. Одна частина ПЯЕ характеризує перешкоди, пов'язані з особливостями технології генерації, передачі, розподілу та споживання енергії. До таких ПЯЕ відносять відхилення напруги і частоти, несиметрію та коливання напруги, відхилення від синусоїдальної форми кривої напруги.

Система обліку ЯЕ забезпечує вимір нормованих ПЯЕ, обробляє результати вимірів, накопичує і систематизує данні. Також здійснюються контроль за формуванням звітів і надання аналитичної інформації, на основі яких розробляються заходи щодо підвищення ЯЕ [4].

7. Усунення вищих гармонік СЕП і використання відповідних фільтрів.

Вплив ВГ напруги.

Наявність вищих гармонік в СЕП обумовлює наступні небажані прояви:

- утруднення компенсації реактивної потужності за допомогою конденсаторних батарей;
- поява додаткових втрат в електричних машинах, трансформаторах і мережах;
- скорочення терміну служби ізоляції електричних машин і апаратів;
- погіршення роботи пристроїв автоматики, релейного захисту, телемеханіки і зв'язку;
- поява значної додаткової похибки лічильників електроенергії та інших вимірювальних приладів.

Основними формами впливу ВГ на СЕП є:

- збільшення струмів і напруг гармонік внаслідок паралельного і послідовного резонансів;
- зниження процесів генерації, передачі і використання електроенергії;
- старіння ізоляції електрообладнання та скорочення внаслідок цього терміну його служби;

Наявність в мережах конденсаторів, використовуючих для компенсації реактивної потужності, може призвести до місцевих резонансів, які, в свою чергу, можуть викликати надмірне збільшення струму в конденсаторах і вихід їх з ладу.

Слід зазначити, що і при відсутності резонанса наявність вищих гармонік в кривій напруги призводить до зростання втрат в конденсаторах з наступних причин.

Ємнісний опір конденсатора x для n-й ВГ

$$x_{(n)} = \frac{1}{n\omega C} = \frac{1}{n} x_{(1)}, \tag{3}$$

Втрати в конденсаторі при відсутності ВГ наближено рівні

$$\Delta P = I_{ном}^2 r = \left[\frac{U_{ном}}{x_{(1)}}\right]^2 r, \tag{4}$$

Збільшення втрат електроенергії на нагрів конденсаторів при наявності ВГ по відношенню до номінального режиму без них

$$\Delta P = \frac{\Delta P - \Delta P_{НС}}{\Delta P} = \sum_{n=2}^{N} n \left[\frac{U_{(n)}}{U_{ном}}\right]^2. \tag{5}$$

Основним способом зниження вищих гармонік напруги і струму в СЕП є використання потужних силових фільтрів. Фільтри можуть бути типу режекторних, налаштоаних на одну частоту (при резонансних явищах в СЕП, коли амплітуда однієї з гармонік різко перевищує амплітуду інших ВГ) або представляють собою смугові фільтри низьких частот (ФНЧ).

8. Використання силових кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену.

Кабельні лінії мають чимало переваг в порівнянні з повітряними лінія-ми (ВЛ). Це менші габарити, безпечніше і надійніше. Кабелі з просоченою паперовою ізоляцією часто пошкоджуються, застаріли і прийшли в непридатність. Таку проблему могло вирішити суттєва зміна устрою кабелю, тим самим прийшовши до виготовлення кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену. Кабелі з СПЕ ізоляцією виключають багато недоліків, харак-терними для кабелів з паперовою ізоляцією, особливо їх застосування вирішує багато проблем щодо надійності електропостачання.

Підприємства, які виготовляють кабелі СПЕ, використовують технології зшивання або вулканізації безпосередньо в середовищі нейтрального газу під високим тиском і температурою. Такий метод вулканізації забезпечує рівномірне зшивання по всій товщині ізоляції і відсутність повітряних включень. Поперечні зв'язки, які утворюються в про-процесі зшивання між молекулами поліетилену, в основному і визначають характеристики нового матеріалу. Кабелі СПЕ мають високі механічні, діелектричні властивості і більший температурний робочий діапазон на відміну від інших кабельних ізоляційних матеріалів.

9. Впровадження активно-адаптивних і нейронних мереж з метою управління постачанням електроенергії.

Управління споживанням електроенергії (УСЕ) включає в себе такі заходи:

- планувати оптимальне споживання електроенергії;
- планувати і проводити оперативний ремонт силових установок;

- змінювати режими навантаження;
- мати повний контроль над втратами електроенергії
- компенсувати реактивну потужність.

Класичні мережі Smart Grid в електроенергетиці володіють наступними характеристиками:

- здатність керувати роботою споживачів;
- самостійне відновлення після збоїв;
- захищеність від фізичного і кібернетичного зовнішнього втручання;
- забезпечення електропостачання необхідної якості;
- синхронна робота генеруючих джерел і центрів зберігання електроенергії;
- здатність істотно підвищувати ефективність роботи енергосистеми в цілому.

Концепція Smart Grid передбачає поєднання релейного захисту з інформаційно-вимірювальними функціями. Мікропроцесорні пристрої релейного захисту вимірюють струми і напругу в векторній формі, накопичують дані про спрацьовування і аварійні режими в спеціальних блоках пам'яті. Таким чином, релейний захист перетворюється в подібний центр обробки інформації, елемент системи діагностики і моніторингу електробладнання.

Висновки

1. Представлення основні заходи необхідні у напрямку управління енерговикористанням, що дозво лять підвищити ефективність використання електричної енергії.
2. Для ефективного управління використанням електричної енергії необхідно запровадження прогресивної системи тарифів на електричну енергію, впровадження дієвої нормативно-правової бази управління використанням електричної енергії, створення моделей, методів, програмного та інформа-ційного забезпечення управління електричним навантаженням споживачів, їх електроспоживанням та режимами систем електропостачання з метою їх оптимізації; розробка автоматизованої системи управління електроспоживанням та оптимізації режимів систем електропостачання об’єктів цивільного призначення і створення сучасних технічних засобів обліку та управління електроспоживанням.

Список використаних джерел

1. Праховник А.В. Методы и средства управления электропотреблением / А.В. Праховник - Брошю ра общ-ва «Знание» УССР, - К. - 1981, - 25 с.
2. Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением/ А.В. Праховник– Вища школа, Киев,-1986,- 76 с.
3. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприя-тий/ Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. - М., - Недра, - 1985, - 232 с.
4. Черемісін М.М. Автоматизація обліку та управління електроспоживання/ М.М. Черемісін – Хар-ків. – Факт – 2005. - 320 с
5. Резчиков А.Ф. Управление эеектропотреблением промышленных предприятий./ А.Ф. Резчиков, В.А. Иващенко – Саратов : Издательский Центр «Наука», 2008. 183 с.
6. Бененсон Е.И. Теплофикационные паровые турбины/ Е.И.Бененсон, Л.С. Иоффе - М. : Энергоатомиздат, 1986. - 272 с.
7. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях/ Г.Е. Поспелов, Н.М. Сыч - М. : Энергоиздат, 1981. - 216 с.
8. Иващенко В.А. Автоматизированное управление электропотреблением промышленных пред-приятий: концепція и основне задачи/ В.А. Иващенко, А.Ф. Резчиков // Мехатроника, автоматизація, управление. - 2006. №3. С. 52-56

УДК 621.311

Кононенко Л.О.,
кафедра електропостачання

АНАЛІЗ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛІБЕРАЛІЗОВАНОГО РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Лібералізація ринку електричної енергії вимагає вдосконалення методів управління попитом в реальному часі. В статті виконано аналіз методів управління попитом на електричну енергію, досліджено сучасний стан і перспективи впровадження в Україні програм управління попитом з боку споживачів. Зроблено висновок про те, що впровадження програм управління попитом підвищить ефективність використання електричної енергії та сприятиме найбільш повній узгодженості попиту та пропозицій в лібералізованому ринку електричної енергії України.

Ключові слова: управління попитом на електричну енергію, *demand side management (DSM),* управління електроспоживанням, електропостачання.

Liberalization of the Electricity Market requires the improvement of real-time demand management methods. The article analyzes the methods of managing the demand for electricity, examines the current state and prospects for the implementation of consumer demand management programs in Ukraine. It is concluded that the implementation of demand management programs will increase the efficiency of electricity use and promote the fullest harmonization of supply and demand in the liberalized Electricity Market of Ukraine.

Ключові слова: *demand side management (DSM), power consumption management , power supply.*

Вступ. Однією з найбільш чутливих проблем електроенергетичної галузі України завжди була і є суттєва нерівномірність попиту споживачів на електричну потужність, що у поєднанні з дефіцитом маневрених генеруючих потужностей в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України спричиняє значний негативний вплив на надійність та економічність її функціонування, а отже, і на вартість електроенергії.

Створення в ОЕС України додаткових маневрених генеруючих потужностей вимагає значних фінансових та матеріальних витрат, а також тривалого часу. З іншого боку, ефективним є залучення до розв'язання зазначеної проблеми споживачів електроенергії, зокрема, стимулюючи їх до управління власним попитом на електричну потужність. Можна стверджувати, що такий шлях на сьогоднішній день слід вважати найменш витратним, найбільш швидким і реальним для української електроенергетики.

Залежно від коливань попиту на енергію змінюються щогодинні ціни її продажу. Лише цілеспрямоване регулювання графіків попиту споживачів на електричну потужність, яке відбуватиметься у довготривалій перспективі, може стати одним з реальних засобів поступового скорочення витрат на виробництво, передачу та розподіл електроенергії, а отже і зменшення цін на неї.

Основним ринковим "інструментом" впливу енергетичної галузі будь-якої держави на попит споживачів на електроенергію є тарифи, які мають бути дієвим засобом управління електроспоживанням. Однак нещодавно в Україні було припинено дію диференційованих за зонами доби тарифів на електричну енергію для юридичних осіб. Тому існує потреба в запровадженні існуючих в світовій практиці ринкових методів управління попитом на електричну потужність, зокрема, шляхом створення нових, ефективних "інструментів" залучення споживачів до участі у розв'язанні задач регулювання графіків електричного навантаження як ОЕС в цілому, так і окремих суб'єктів РЕЕ (електричних станцій, операторів

системи передачі та системи розподілу електроенергії) [1].

Метою роботи є дослідження методів управління попитом, що може бути застосовано для підвищення ефективності енерговикористання, та аналіз їхніх переваг для подальшої можливості впровадження в умовах лібералізації ринку електричної енергії України.

Дослідження програм управління попитом. Управління попитом (DSM) —це один з найбільш дешевих методів оптимізації роботи та підвищення енергоефективності системи. DSM дає змогу контролювати споживачів в контексті ефективного управління системою [2].

Головне завдання управління попитом – цілеспрямований та планомірний вплив енергокомпанії на обсяги, структуру і режими енергоспоживання в обслуговуваному регіоні. Підвищення ефективності використання енергії споживачами і розвиток генеруючих (мережевих) потужностей компанії розглядаються, як взаємодоповнюючі аспекти енергозабезпечення. Зекономлена енергія виступає в якості ресурсу, що заміщує вироблення (передачу) потрібної кількості енергії. В результаті активного формування попиту на енергію і потужність енергокомпанія отримує можливість забезпечити додаткові енергетичні потреби свого регіону з мінімальними витратами [2].

В умовах лібералізації ринку електричної енергії України доцільним є застосування програм DSM, що передбачатимуть розв’язання задач загального зниження рівня споживання. Загальна структура DSM України має охоплювати два класи підзавдань: методи енергоефективності (energy efficiency) та управління попитом (demand response (DR) або load management (LM) (рис. 1) [3].

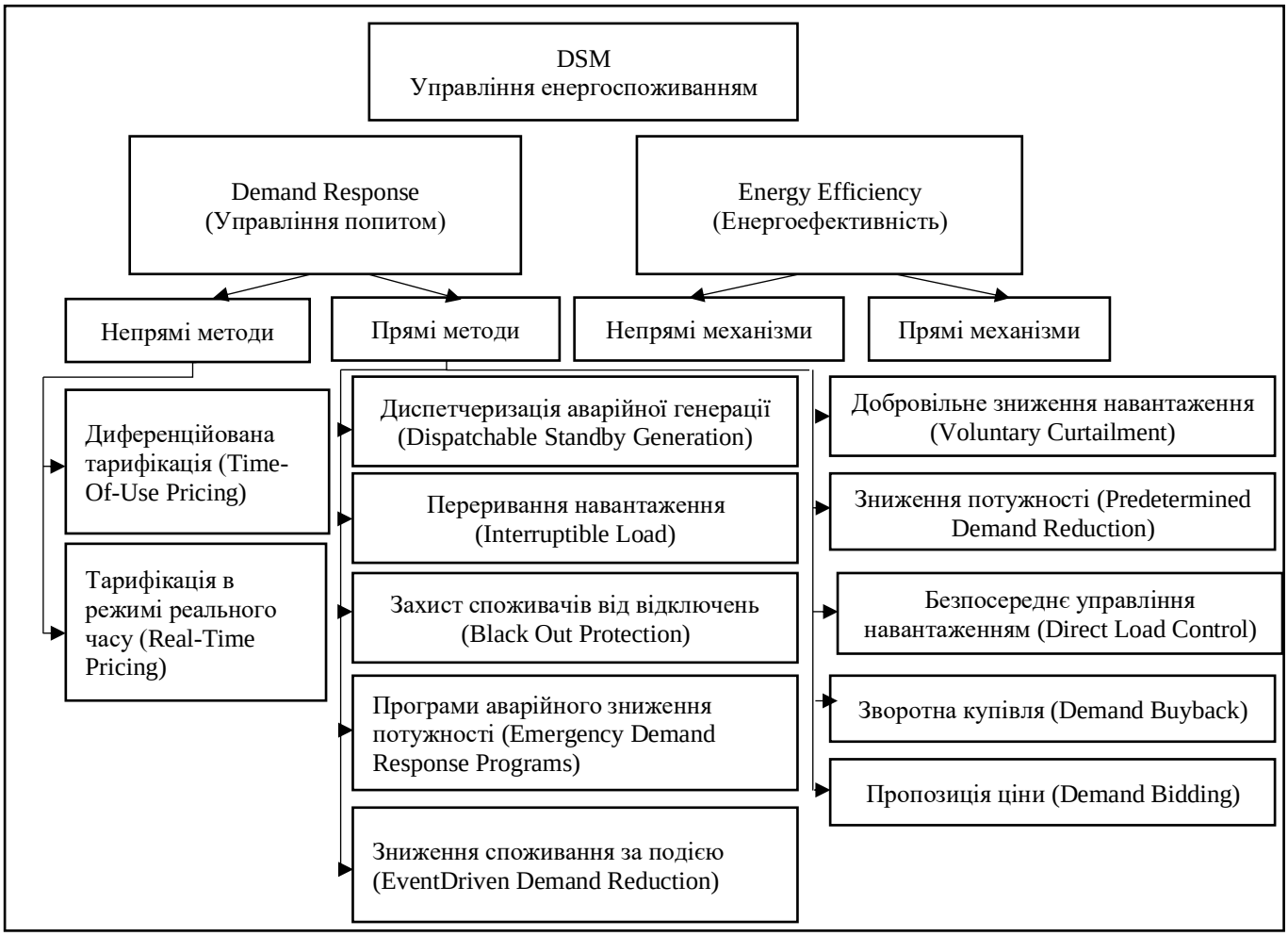


Рис. 1.Методи управління попитом на ринку електроенергії

Особливо доцільним є застосування досвіду ефективно працюючих європейських

конкурентних ринків, де активно опрацьовуються та впроваджуються системи «управління попитом» DR – добровільне зниження споживачем рівня електроспоживання у відповідь на зміну ціни, що впливає на зниження потреби в додаткових регулювальних потужностях і сприяє зниженню інвестиційних витрат.

Управління попитом передбачає можливість зниження рівня електроспоживання кінцевими споживачами за появи відповідних економічних сигналів ринку електроенергії, коли споживачі добровільно змінюють графік електроспоживання за визначеним тарифом на ринку «на добу наперед» без додаткових вказівок від системного оператора, з отриманням відповідної винагороди за здійснення такого зниження рівня споживання. Це дозволяє не лише зменшити витрати споживачів на електроенергію, але й сприяє її здешевленню на оптовому ринку, підвищенню рівня надійності енергосистеми, зниженню потреби в додаткових генерувальних потужностях і, відповідно, скороченню обсягу інвестування на їх введення, що особливо важливо в умовах необхідності тотальної реконструкції існуючого обладнання. [4].

Інтеграція системи DR являтиме собою комплекс заходів, орієнтованих на коригування характеру електроспоживання кінцевими споживачами у відповідь на зміну вартості електроенергії протягом певного відрізку часу, або завдяки заохочувальних виплат, розроблених спеціально для спонукання до зниження споживання під час піків навантаження або в разі виникнення загрози функціонування енергосистеми.

В свою чергу, управління попитом охоплює два класи задач. До першого класу входять програми, що застосовують принцип ціноутворення для впливу на криву споживання (непрямі методи), в другий клас входять програми, засновані на добровільній участі споживачів в контурі управління (прямі методи управління).

Програми управління, що застосовують принцип ціноутворення – це різні модифікації динамічних тарифів (dynamic pricing), під час яких споживачам пропонуються роздрібні ціни за спожиту енергію, що варіюються в залежності від періоду використання і відображають той факт, що вартість електроенергії і ціни її оптових закупівель різні в часі. До динамічних тарифів відносять диференційовану тарифікацію по часу використання, пікову і тарифікацію реального часу.

До групи програм добровільної участі входять наступні:

• Добровільне зниження навантаження (voluntary curtailment). Програми для клієнтів, які добровільно згодні скоротити своє споживання, або знизити потужність.

• Зниження потужності (predetermined demand reduction). Добровільні програми фінансового стимулювання, коли споживачам пропонується скоротити попит заздалегідь в періоди пікового попиту.

• Безпосереднє управління навантаженням (direct load control) – програма заходів, що дозволяють переривати навантаження споживачів на короткі проміжки часу в момент проходження піків енергосистеми за допомогою прямого впливу оператора системи. Це може здійснюватися шляхом непосереднього переривання енергопостачання окремих пристроїв або обладнання, споживчих приміщень. Цей вид контролю придатний, як правило, для побутових споживачів в системах обігріву/ кондиціонування.

• Зворотна купівля (demand buyback) – надає можливість споживачам відмовлятися від споживання електроенергії в обмін на повернення грошей за заздалегідь визначеною ціною. Споживач має можливість вибору часу і ступеня участі у відповідь на запит енергокомпанії.

• Пропозиція ціни (demand bidding) –дозволяє споживачам брати участь в торгівлі електроенергією, яку вони можуть не використовувати, пропонуючи ціну за можливість зміни свого графіка споживання.

• Диспетчеризація аварійної генерації (dispatchable standby generation) – дає можливість диспетчеризації користувальницьких резервних генераторів, підтримуючи їх в

синхронній роботі з електророзподільної мережею за допомогою спостереження і керування оператором системи.

• Переривання навантаження (interruptible load) – програма, що дозволяє відповідно до контрактних угод перервати навантаження споживачів в періоди сезонного піку споживання шляхом безпосереднього управління або на вимогу оператора системи. Цей вид контролю, як правило, застосуємо до комерційних і промислових споживачів і дозволяє відключати або зрушувати споживання на кілька годин.

• Захист споживачів від відключень (black out protection) – програма зниження навантаження, яка звільняє замовників від ротації відключень в обмін на часткове сік-рощення навантаження всьому ланцюгу протягом всіх періодів відключень.

• Програми аварійного зниження потужності (emergency demand response programs) – задіюються в моменти зниження оперативних резервів енергосистеми до рівня, при якому зниження навантаження споживачів необхідно для підтримки короткострокової надійності системи.

• Зниження споживання за подією (eventdriven demand reduction) – заходи зі скорочення попиту потужності в пікові періоди навантаження або зміщення її у позапіковий період [3].

Програми DSM можуть бути представлено не лише алгоритмами дій нормативно-правового характеру при регулюванні поведінки навантаження, але й механізмами прямого доступу до керування навантаженнями на рівні технологічних процесів [3]. Це визначає необхідність точного регулювання енергопроцесу мережі, беручи до уваги вимоги до якості електроенергії, надійності, а також стабільності електропостачання.

Програми DSM мають наступні функціональні можливості:

1. Побудова навантаження. Це програми для керування сезонним збільшенням споживання енергії. В їх основу покладено введення інтелектуальних систем та процесів, більш ефективного обладнання і сучасних джерел енергії для досягнення більшого рівня енергетичної ефективності.

2. Гнучке моделювання. Це набір дій і повноцінного планування між генеруючими компаніями і споживачами з врахуванням потреб в даний момент часу. Це партнерство з метою створення моделі обмеження потужності та об’ємів енергоспоживання, що індивідуальний споживач може використовувати в певний час, через установку пристроїв обмеження навантаження.

3. Стратегії енергозбереження. Це програми для сезонного зниження споживання енергії, головним чином, за рахунок ефективного споживання енергії та зменшення втрат.

4. Заповнення провалів. Це програми, які заохочують позапікове споживання. Вони спрямовані на збільшення власного споживання в зонах загального спаду споживання енергосистеми. Стимулювання споживачів зазвичай здійснюється значно нижчими тарифами.

5. Перенесення навантаження. Це програми переміщення навантаження з періоду найбільшого споживання в період низького споживання, не змінюючи загальне споживання. Це також можливо з включенням розосередженої генерації (РГ).

6. Зменшення пікового навантаження. Ці програми спрямовані на вирівнювання графіку споживання, шляхом безпосереднього контролю навантаження, відключення обладнання споживачів або введення РГ.

На даний момент в Україні відсутні ефективні програми з управління попитом на електричну енергію. В сучасних умовах конкуренції на лібералізованих ринках електроенергії розвинутих країн світу, в тому числі і України, споживач отримує право вільного вибору постачальника електроенергії, що сприяє посиленню конкуренції за надання кращих послуг та активізації впровадження інноваційних технологій.

З міжнародного досвіду в електроенергетичних системах серед програм управління попитом найбільш інноваційним підходом на сьогоднішній день вважається DR, що

найчастіше застосовується для тимчасового зниження обсягів електроспоживання, при чому середня тривалість заходів складає 1–4 год та є відповіддю на цінові сигнали ринку електричної енергії чи оператора електричної мережі. Досягнутий ефект від застосування вимірюється в кВт спожитої потужності (також відноситься до зменшення пікового споживання кВт*год) та зменшенні витрат [6, 7].

Серед переваг управління попитом можна зазначити здатність знижувати ціну на електроенергію на оптовому ринку , що, в свою чергу, призводить до зниження цін на роздрібному ринку. Окрім того, зазначена програма отримала широке визнання як засіб забезпечення надійності енергопостачання, інтеграції відновлюваних джерел енергії, збільшення конкуренції на ринку електричної енергії і розширення можливостей споживачів [8].

Щоб розв'язати проблему розгортання повномасштабного та ефективного використання економічних механізмів управління попитом вкрай потрібно інтегрувати систему з моніторингу, прогнозування, планування та управління використанням електроенергії як на регіональному, так і на національному рівні. Така система має бути створена з використанням новітніх технологій «інтелектуальних електромереж» та «інтелектуального обліку» в рамках відповідної національної технологічної платформи.

В протилежність до DR, програми, пов'язані з energy efficiency, спрямовані на включають зменшення загального рівня енергоспоживання шляхом впровадження заходів з підвищення енергоефективності та енергозбереження. Ефект від застосування вимірюється в кВт·год (також застосовується для оцінки зменшення пікового споживання в кВт) [9].

Аналіз існуючого стану впровадження методів управління попитом в Україні.

Серед усіх можливих методів керування попитом на сьогодні єдиним діючим в Україні є переривання навантаження (interruptible load), що дозволяє відповідно до умов договору зменшувати навантаження споживачів шляхом безпосереднього управління або на вимогу диспетчера енергосистеми у разі перевищення дозволеної потужності.

В перспективі найбільш доцільним є метод аварійного зниження потужності (emergency demand response programs), який може бути застосований в Україні у разі впровадження двосторонньої комунікації постачальника або ОСР зі споживачем на базі АСКОЕ.

Впровадження АСКОЕ з функцією двосторонньої комунікації також уможливіть зниження споживання за подією (eventdriven demand reduction), що здатне скорочувати попит в пікові періоди навантаження або зсувати його у позапікові періоди.

Особливу увагу варто звернути на метод зворотної купівлі (demand buyback), застосування якого наразі неможливе через те, що в Україні не функціонує ринок допоміжних послуг. Втім, в перспективі може бути застосований після додаткового вирішення питання з готовністю повертання грошей споживачу та впровадження відповідних ринкових відносин.

Оцінювання переваг за умови впровадження DSM в умовах лібералізації ринку електроенергії України.

За результатами впровадження програм DSM вигоду отримають не лише домогосподарства, підприємства та комунальні структури, але й суспільство загалом. За сферою застосування програми DSM можна поділити на регіональні програми, локальні програми, програми для промислового району та одиничні програми які можуть впроваджуватись безпосередньо на підприємствах в рамках існуючих систем енергетичного менеджменту та планування енергоспоживання.

В таблиці нижче приведені головні очікувані результати запровадження програм DSM для різних сфер, а саме: економічний ефект від впровадження, стимулювання ринкових перетворень та зростання конкурентоспроможності учасників програм, підвищення енергобезпеки, зменшення негативного випливу діяльності енергетичних систем та комплексів на навколишнє середовище [10].

Таблиця 1. Очікувані результати ефективного впровадження програм DSM

Сфера дії /рівень дії	Економічний ефект	Ринкові перетворення	Матеріальний ефект	Екологічні переваги	Енергобезпека
Регіональний	Стимулювання економічного розвитку регіону	Стимулювання ринкових перетворень	Створення робочих місць	Скорочення викидів, що призведе до вирішення національних та міжнародних екологічних проблем	Підсилення національної безпеки шляхом ослаблення залежності від зовнішніх джерел енергії
Локальний	Стимулювання економічного розвитку на районному рівні	Збільшення конкурентоспроможності місцевих підприємств	Зниження потреб в будівництві нових великих об'єктів	Зниження забруднення повітря на районному рівні	Підвищення якості та надійності електрозабезпечення
Промисловий район	Стимулювання економічного розвитку на місцевому рівні	Збільшення конкурентоспроможності місцевих підприємств	Підвищення привабливості РГ та НВДЕ	Підвищення комфорту на місцевому рівні	Зростання кількості джерел РГ та ВДЕ
Підприємство/об'єднання	Зменшення рахунків за спожиту електроенергію	Зменшення рахунків за спожиту електроенергію	Стимулювання управління режимами роботи	Створення сприятливих умов праці	Зниження ризиків пов'язаних з аварійним відключення м
Технологія/ дільниця	Скорочення витрат на технічне обслуговування	Скорочення витрат на технічне обслуговування	Скорочення витрат на заміну устаткування	Нормалізація мікроклімату	Загальне зменшення витрат

Слід зазначити, що при впровадженні механізмів DSM необхідним є проведення оцінювання ефективності керування попитом, яке зазвичай виконується за такими показниками як: коефіцієнт заповнення графіка навантаження та сумарна вартість спожитої електричної енергії .

DSM має ґрунтуватись на інтегральному підході до їхньої реалізації та охоплювати організаційно-технічні заходи для розв'язання поставлених завдань [11–13]. При регулюванні вкрай важливо враховувати чотири фактори базової моделі енергоменеджменту, що дозволяє включити велику кількість відновлювальних джерел енергії в локальні системи та керовані навантаження (табл. 2) [9, 11-14].

Таблиця 2. Фактори впливу енергетичного менеджменту

№ з/п	Фактор	Особливості моделі енергетичного менеджменту
1	Пропозиція	Традиційні види генерації та відновлювальні джерела енергії
2	Попит	Домогосподарства, підприємства та офіси, та заряд- ні станції для електромобілів, зростання кількості яких очікується в найближчому майбутньому
3	Зберігання	Для зменшення відхилень від прогнозованого рівня попиту на електроенергію та отримання електроенергії від об'єктів акумулювання електро- та теплової енергії
4	Контроль	Функції оптимізації шляхом координації трьох факторів через підвищення надійності мережі, якості генерації, керування попитом і надійності постачання

З метою забезпечення можливості застосування інструментарію DSM має бути створено відповідну цифрову інфраструктуру. Драйвером і прискорювачем розвитку такої інфраструктури може бути держава, що має зробити наступні кроки в цьому напрямку:

1. Стимулювання масового впровадження цифрових технологій у енергетиці (діджиталізації). Інтенсивний обмін оцифрованими даними щодо стану енергетичних ринків, ціни на електроенергію, технічних параметрів мережі є важливою передумовою для поширення DSM-проектів, зокрема у сферах керування попитом та накопичення.

2. Стимулювання Smart Grid проектів. Smart Grid – група технологій, що розкривають значні можливості для впровадження DSM. Упровадження розумних мереж дозволить на порядки збільшити використання DSM в Україні.

3. Розробка технічних стандартів та інтерфейсів. Участь проектів із використанням DSM в енергетичних ринках вимагає розробки різного роду технічних стандартів, інтерфейсів та протоколів, що дозволятимуть різним учасникам різних сегментів ринку проводити між собою транзакції.

Стимулювання підвищення технологічного рівня розвитку ринку зазвичай здійснюється державою і повинно відбуватися синхронно з відповідними змінами у законодавчому та регуляторному полях.

Висновки:

1. Впровадження досліджених в науковій статті програм управління попитом дозволить вирішити задачі загального зниження рівня споживання, що, в свою чергу, дозволить не лише зменшити витрати споживачів на електроенергію, але й сприятиме її здешевленню на оптовому ринку, підвищенню рівня надійності енергосистеми, зниженню потреби в додаткових генерувальних потужностях і, відповідно, скороченню обсягу інвестування на їх введення, що особливо важливо в умовах необхідності тотальної реконструкції існуючого обладнання

2. Використання визначених шляхів та їх застосування в Україні надаватимуть можливість прискорити упорядкування в галузі енергетики, створюючи сприятливі умови та більш ефективну роботу споживачів. Однак, для успішного впровадження програм з управління попитом на електроенергію вкрай важливим є впровадження економічних стимулів, що будуть здатні зацікавити споживачів, а також застосування методологічних, технічних та нормативно-правових аспектів, які надаватимуть можливість брати участь в регулюванні та утворюватимуть засади і правила функціонування.

Список використаних джерел:

1. Адресное управление режимами потребления электроэнергии [Електронний ресурс]. – URL: http://reform.energy/analitics/adresnoe-upravlenie-rezhimami-potrebleniya-ee-pozvolit-sozdat-stimuly-k-aktivnomu-sotrudnichestvu-subektov-rynka-i-potrebiteley-v-oes-ukrainy-nauchnoe-mnenie-13812

2. Palensky, P. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads [Text] / P. Palensky, D. Dietrich // IEEE Transactions on Industrial Informatics. — 2011. — Vol. 7, № 3. — P. 381–388. doi:10.1109/ tii.2011.2158841

3. Паниковская Т. Ю. Возможности снижения платежей потребителей в условиях оптового рынка электроэнергии/ Т.Ю. Паниковская// Промышленная энергетика. - 2011.- № 11. - С. 10–13.\\

4. Лір В. Економічні механізми управління попитом на ринку електроенергії / В. Лір// Економіст. – 2015. - №2. –С. 9 – 13

5. Жуйков, В. Я. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами [Текст] / В. Я. Жуйков, С. П. Денисюк. — К.: ТЕКСТ, 2010. — 264 с.

6. Konstantelos I. Giannelos S.Strbac G., Strategic Valuation of Smart Grid Technology Options in Distribution Networks. IEEE Transactions on Power Systems 32 (2), 2017

7. Денисюк С.П. Дослідження програм з керування попиту на електроенергію та аналіз ефективності їх використання [Текст] / С.П. Денисюк, В.П. Опришко // Technology Audit & Production Reserves. – 2016. – Том 3 (29) – С. 69 – 73. – ISSN 2226-3780

8. Explicit Demand Response in Europe - Mapping the Market 2017. Smart Energy Demand Coalition(SEDC) (6 April 2017)

9. Attia HA. Mathematical formulation of the demand side management (DSM) problem and its optimal solution. In: 14th int middle east power syst conf; 2010. p. 953–959.

10. Денисюк С.П., Опришко В.П. Мехатронні системи. Енергоефективність та Ресурсозбереження [Текст] / С.П. Денисюк, В.П. Опришко // Mechatronic Systems. Energy Efficiency & Resource Saving. – 2018. – С. 21 – 22. – ISSN 2617-9105

11. Rahman, S. An efficient load model for analyzing demand side management impacts [Text] / S. Rahman, Rinaldy // IEEE Transactions on Power Systems. — 1993. — Vol. 8, № 3.P. 1219–1226. doi:10.1109/59.260874

12. Yang, H. System dynamics model for demand side management [Text] / H. Yang,Y. Zhang, X. Tong // 2006 3rd International Conference on Electrical and Electronics Engineering.— Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2006. —P. 1–4. doi:10.1109/iceee.2006.251854

13. Gabaldon, A. Assessment and simulation of demand-side management potential in urban power distribution networks [Electronic resource] / A. Gabaldon, A. Molina, C. Roldan,

14. De Ridder, F. Four potential business cases for demand side integration [Text] / F. De Ridder, M. Hommelberg, E. Peeters //2009 6th International Conference on the European Energy Market.— Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2009. — P. 1–6. doi:10.1109/eem.2009.5207197

науковий керівник: канд.техн.наук, доцент О.В.Коцар

Копчиков О.М, Фроленков К.Д.
Кафедра електропостачання

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ФОРМУВАННІ СМАРТ СИСТЕМИ

Анотація: *У статті розглянуті основні поняття інтелектуалізації мережі, та проведено аналіз звітів міжнародних та українських комісій щодо систем Smart Grid, проаналізовані можливі ризики впровадження, було наголошено на необхідності використання методів оцінки ефективності впровадження даних систем.*
Ключові слова: *інтелектуалізація, електричні мережі, Smart Grid, інформатизація, ризики, кібербезпека електричних мереж.*

Abstract: *The article considers the basic concepts of network intellectualization, analyzes the reports of international and Ukrainian commissions about the Smart Grid system, analyzes possible implementation risks, prepares for the need to use methods to assess the effectiveness of data system implementation.*
Key words: *intellectualization, electric networks, Smart Grid, informatization, risks, cybersecurity of electric networks.*

Вступ

Сучасні умови існування енергетики вимагають задоволення попиту шляхом підвищення рівня автоматизації процесів, зокрема управління передачею та розподілом електричної енергії.

Впровадження систем інтелектуальної мережі створює можливість для двонаправленої взаємодії між постачальниками та споживачами електроенергії, для забезпечення мінімізації ризиків пов'язаних з похибками при прогнозуванні та формуванні заявок на купівлю електричної енергії в ринку. Інтелектуальна мережа також використовує значні обсяги даних, частково завдяки використанню розумних лічильників, для підвищення рівня оцінки попиту споживачів на електроенергію.

Враховуючи можливості інтелектуалізації, необхідно також врахувати і ризики, наприклад кіберзагроза чи невиправдане використання коштів, що можуть значно впливати на розвиток смарт систем.

Мета та завдання

Аналіз сучасних концепцій щодо побудови Smart Grid систем та ризиків їх реалізації.

Розглянути поняття "інтелектуалізації мережі", зробити стислий огляд смарт систем, проаналізувати звіти міжнародних та українських комісій з питань смарт систем, розглянути основні ризики впровадження цих систем та зробити висновки доцільності розвитку даних систем.

Матеріал і результати досліджень

1. Аналіз понятійного апарату дослідження

Інтелектуалізація енергетичної системи є процесом модернізації існуючих мереж. Основна мета інтелектуалізації - створити систему, яка буде максимально відповідати основним критерієм інтелектуальної системи, а саме, в системі повинно бути здійснено три функції – подання та оброблення знань, міркування (логічного виведення) та спілкування (мовою, близькою до людської) [1].

Також можна розглянути термін "інновації", що є одним із основних рушійних інструментів інтелектуалізації. Інновації - новостворені (застосовані) і (або) вдосконалені

конкурентоздатні технології, продукція або послуги, а також організаційно-технічні рішення виробничого, адміністративного, комерційного або іншого характеру, що істотно поліпшують структуру та якість виробництва і (або) соціальної сфери [2].

Ще один інструментом є інформатизація. Інформатизація – це перспективний і найменш витратний шлях удосконалення системи керування електроенергетичним виробництвом, який у порівнянні з іншими шляхами не потребує значних інвестицій, але дає змогу досить швидко та якісно вплинути на ефективність і надійність реалізації технологічних процесів.

Етапом завершення інтелектуалізації будемо вважати Smart Grid мережу, як загальноприйняту концепцію розвитку мереж в світі.

2. Концепція Smart Grid

Розглянемо різні підходи і бачення інтелектуальних мереж на прикладі впровадження Smart Grid систем.

Підходи Європейської комісії

Європейська комісія визначає такі основні рівні інтелектуалізації розподілу електричних мереж [3]:

Розумна розподільна мережа, в яку входить більш автоматизовані розподільні мережі з можливостями самовідновлення та мережі низької напруги, що повністю під наглядом та контролюються, повна підтримка інформаційних систем. Для реалізації кроку розроблено проєкти: моніторинг і контроль мереж низької напруги; автоматизація і контроль мереж середньої напруги; методи та системна підтримка.

Розумна інтеграція, а саме відновлюваних джерел енергії, електричного транспорту, акумулювання та зберігання електричної енергії. Для реалізації кроку так само розроблено проєкти: інтеграція оператора системи розподілу малих розподілених енергетичних ресурсів; системна інтеграція середніх розподілених енергетичних ресурсів; інтеграція сховищ електричної енергії в систему; розвиток інфраструктури для електричного транспорту.

Розумне управління енергією (ефективність) полягає в розумному (ефективному) використанні енергії та її продажу. Проєкти для реалізації: модернізація інфраструктури вимірювань; впровадження ефективної обробки даних, що надходять.

Розумні клієнти, тобто активна участь та обізнаність клієнтів (покупців) ринку електричної енергії. Проєкти для реалізації: швидке реагування на попит; інтеграція системи “Розумний будинок”

Підходи UNECE

Якщо проаналізувати огляд Європейської економічної комісії ООН (UNECE), то основними направленнями реалізації Smart Grid є [4]:

1. Моніторинг та контроль (датчики та інше обладнання).

До моніторингу повинні входити: Наглядовий контроль та отримання даних, система моніторингу різних областей, широкий спектр адаптивного захисту, управління та автоматизація і широкомасштабна ситуативна обізнаність.

2. Інтеграція комунікаційних та інформаційних технологій.

Для ефективного збору даних мережі необхідно забезпечити: Обладнання для зв'язку, маршрутизатори, реле, комутатори шлюзу, комп'ютері (сервери), впровадження програмного забезпечення для планування ресурсів підприємства, інформаційна система клієнтів.

3. Інтеграція відновлювальних джерел, розподільної та традиційної генерації.

Обладнання для об'ємного енергоспоживання та підтримки мережі, для зв'язку та управління, генерації та забезпечення технології зберігання. Системи та програмне забезпечення які застосовуються: система управління енергією, система управління розподілом, система наглядового контролю та збору даних, геоінформаційна система.

Підходи України

Якщо ми розглянемо звіт оцінки стану реалізації інтелектуальних мереж Укренерго за 2018 рік, то ми бачимо такі ключові напрямки [5]:

1. розвиток систем розподіленої генерації та доступ усіх видів генерації і споживачів на ринок електроенергії і до послуг електромережевої інфраструктури;
2. активізація споживачів електроенергії за рахунок їхнього оснащення «інтелектуальними» системами обліку з можливістю управління попитом;
3. оптимізація виробництва і споживання електроенергії за рахунок регулювання навантаження з максимальним урахуванням вимог споживачів, а також підвищення пропускної здатності ліній електропередавання;
4. максимальна самодіагностика, попередження системних збоїв, розвиток технологій самовідновлення схем електропостачання;
5. використання оптимальних інструментів і технологій експлуатації та обслуговування активів;
6. підвищення рівня моніторингу стану електромережі та її елементів з урахуванням зниження впливу на навколишнє середовище, з обробленням інформації в режимі реального часу.

Економічна складової інтелектуалізації

«Інтелектуальна» або активно-адаптивна мережа являє собою сукупність підключених до генерувальних джерел розподільчих електромереж і споживачів електроенергії, електромереж високої та надвисокої напруги і систем керування, що включають [5]:

- лінії електропередавання, оснащені за необхідності установками для зміни поздовжніх і поперечних реактивних опорів, а також автоматизованими системами контролю їхнього технічного стану;
- обладнання електромагнітного перетворення електроенергії з широкими можливостями регулювання параметрів, а також засоби акумулювання енергії;
- комутаційні апарати з високою вимикальною здатністю і великим комутаційним ресурсом;
- виконавчі механізми, що дозволяють у реальному часі впливати на активні елементи електромережі, змінюючи її параметри;
- необхідна кількість датчиків положень і поточних режимних параметрів для забезпечення оцінки стану електромережі в усіх режимах роботи енергосистеми, з високою швидкістю знімання показань у цифровому вигляді;
- сучасні пристрої захисту та протиаварійної автоматики;
- інформаційно-технологічні системи і системи керування, у тому числі програмне забезпечення та технічні засоби адаптивного керування з можливістю впливу в реальному часі на активні елементи електромережі та електроустановки споживачів;
- системи координації управління режимами енергосистеми з об'єктами малої та розподіленої генерації із відповідними центрами управління при виникненні небалансів, включаючи аварійні ситуації;
- реформування ринків електроенергії з включенням у їхню діяльність кінцевого споживача. Відкритий доступ на ринки електроенергії «активного» споживача і розподіленої генерації з метою підвищення результативності та ефективності роздрібного сегменту.

Згідно дослідження Європейської комісії [6] маємо такий розрахунок вартості впровадження Smart Grid за двома сценаріями, зображений на рисунках 1 та 2.

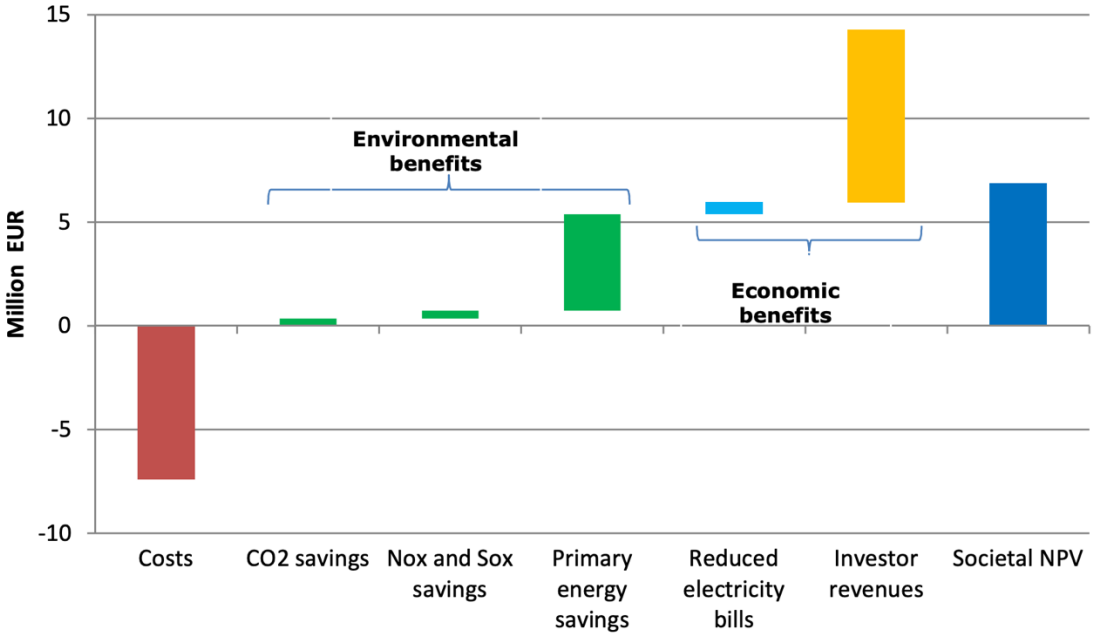


Рисунок 1 - Аналіз витрат за першим сценарієм

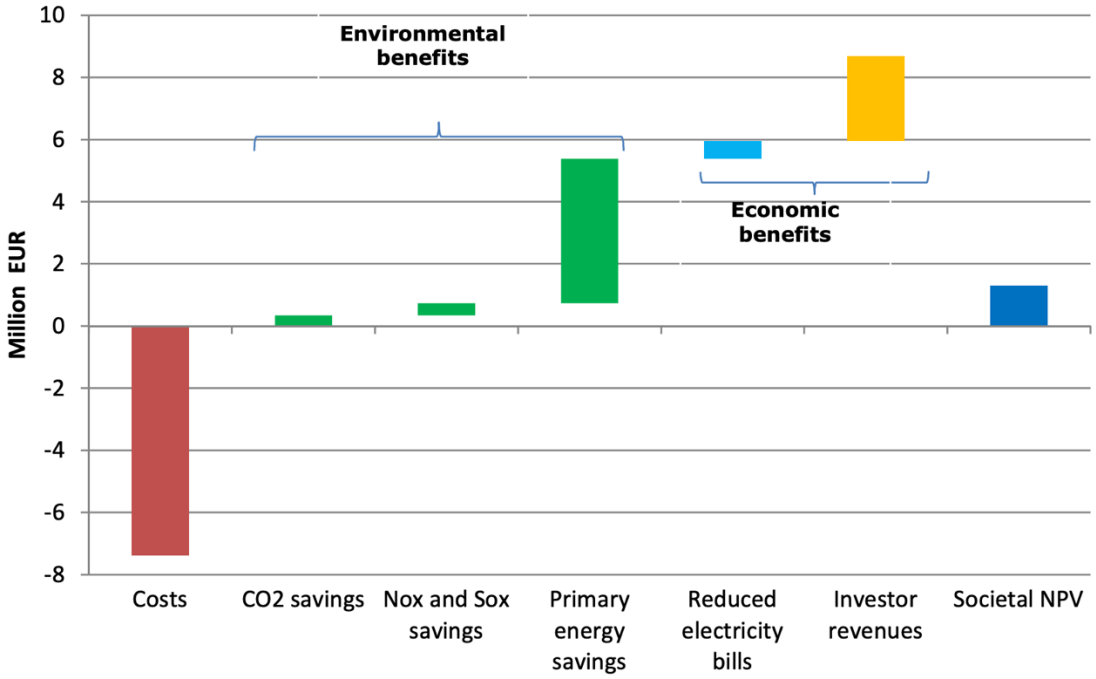


Рисунок 2 - Аналіз витрат за другим сценарієм

3. Аналіз ризиків інтелектуальних електричних мереж. Питання кібербезпеки

Ризик – характеристика явища, події або процесу, існуючих або вірогідних з оцінкою ймовірності їх настання та масштабу загрози, шкідливих наслідків.

Розглянемо ризики, що складають загрозу ступеню наслідків значного та вище значного рівня:

- пов’язані з балансовою належністю;
- збільшення імпортної залежності постачання вугілля та газу на виробництво електричної енергії;
- пов’язані з ринком електричної енергії;
- пов’язані з операційною безпекою (Ризик несвоєчасного впровадження маневрових та регулюючих потужностей, Ризик зволікання проведення конкурсів на створення резервів

потужності, тощо);

- пов’язані з якістю та рівнем технічного обслуговування електричних мереж
- пов’язані з питаннями кібербезпеки та захисту критичної інфраструктури у сфері електроенергетики.

В контексті інтелектуальних електричних мереж, розглянемо питання кібербезпеки більше детально. Основними ризиками якої є:

- Ризик порушення конфіденційності даних
- Ризик порушення цілісності інформації
- Ризик зволікання з прийняттям законодавчих та нормативно-правових актів щодо визначення об’єктів критичної інфраструктури та організації їх захисту.

Щороку злочинні кібергрупи розробляють та проводять масштабні атаки на підприємства державного значення у всьому світі. Кібергрупи постійно збільшуються та об’єднуються між собою.

Для аналізу цих загроз необхідно використовувати спеціальні методи оцінки.

Висновки

Зважаючи на значну кількість ризиків, їх ймовірність та наслідки забезпечення безпеки постачання не може бути визнано достатньою для забезпечення надійного функціонування економіки та населення.

Питання інтелектуалізації електричних мереж передбачають вирішення комплексу питань пов’язаних з технологічними питаннями функціонування систем передачі та розподілу, формування ринку електричної енергії, а також забезпечення належного рівня захисту інформаційних потоків в інтелектуальних мережах.

Результатом аналізу сучасних концепцій щодо побудови Smart Grid систем та ризиків їх реалізації є спорідненість тенденцій формування таких систем в різних країнах, виявлення та мінімізація ризиків. Водночас, принциповою відмінністю є питання етапності реалізації та створення необхідного інвестиційного клімату для впровадження проєктів.

Список використаних джерел / References

1. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.

2. Про інноваційну діяльність : Закон України від 05.12.2012 р. № 40-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2002. – № 36. – Ст. 266.

3. Smart Electricity Grids. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://setis.ec.europa.eu/system/files/Technology_Information_Sheet_Smart_Grids.pdf

4. Electricity system development: A focus on Smart Grids. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/eneff/eneff_h.news/Smart.Grids.Overview.pdf

5. Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/3.-Smart-Grid.pdf

6. Cost-benefit analysis of Smart Grid projects: Isernia. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC111852/kj1a29222enn.pdf

Красномовець Вікторія
Кафедра електропостачання

ОБЛІК НЕВИЗНАЧЕНСТІ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОМУ ПОРІВНЯННІ ВАРІАНТІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ

Вступ

Однією з особливостей сучасних систем електроенергетики є багаторазова трансформація електричної енергії в процесі її передачі та розподілу. Тому сумарна встановлена потужність трансформаторів в кілька разів перевершує встановлену потужність електростанцій. Звідси – постійна увага дослідників до питань раціонального конструювання трансформаторів і вибору їх оптимальної потужності при проектуванні, а також в умовах експлуатації, в тому числі, в системах електропостачання промислових підприємств, міст і сільського господарства.

Завдання вибору оптимальної номінальної потужності розподільних трансформаторів є одним з принципових питань, що вирішуються при проектуванні систем електропостачання. Обґрунтоване рішення даної задачі в значній мірі визначає економічну ефективність всього проекту електропостачання.

На практиці вибір параметрів, перш за все, номінальної потужності силових трансформаторів в системах електропостачання виконують за розрахунковою потужністю та рекомендованими коефіцієнтами завантаження в нормальному та післяаварійному режимах у більшості випадків без врахування змін сезонного навантаження, а також таких економічних показників як вартість трансформаторів і річних втрат електричної енергії, витрат на експлуатацію трансформаторів, ціни електроенергії та режиму її споживання. Проте такий чисто технічний підхід не може бути виправданим. У сучасних умовах функціонування енергетики всі прийняті під час проектування рішення повинні відповідати умові економічної доцільності.

Тому розроблення методики вибору оптимальної потужності трансформаторів на підставі економічних показників з врахуванням технічних обмежень є сьогодні актуальною задачею. При цьому критерієм для економічного обґрунтування оптимальної потужності трансформаторів може служити мінімум дисконтованих витрат, які враховують як капітальні вкладення на спорудження підстанцій, так і витрати на їх експлуатацію.

При цьому необхідно зазначити, що вибір номінальної потужності, а відповідно, і кількості трансформаторів, які використовуються для електропостачання певного складу споживачів є комплексним завданням. З одного боку, кількість трансформаторів в кожної ТП, їх завантаження в нормальному режимі визначають надійність електропостачання широкого кола споживачів і економічність (з точки зору мінімізації втрат електричної енергії) роботи самих трансформаторів. З іншого боку це завдання не можна розглядати і вирішувати у відриві від проектування розподільних мереж та перш за все мереж низької напруги.

Сьогодні в технічній літературі відсутній єдиний підхід до вирішення завдання вибору оптимальних параметрів трансформаторів. Значною мірою це пов'язано з тим, що оптимальне рішення значною мірою буде залежати від прийнятого критерію ефективності – мінімуму активних втрат потужності, електроенергії або економічних показників (дисконтовані витрати, вартість розподілу електроенергії та інше). Крім цього необхідно також враховувати на яку інформаційну базу спирається той чи інший автор при розробці відповідного методу вирішення даного завдання.

Мета і завдання досліджень

Метою дослідження є розробка методики та практичних рекомендацій техніко-економічного порівнянні варіантів побудови систем електропостачання з урахуванням

фактору невизначеності інформації, що є притаманним задачам проектування та довгострокового планування.

Завдання дослідження:

- Провести аналіз існуючих методів розрахунку оптимальної потужності трансформаторів, визначити їх недоліки та шляхи удосконалення.
- Розробити алгоритм при виборі параметрів системи електропостачання міста при інтервальному завданні певних економічних та технічних характеристик проекту.

Матеріал досліджень

1.1 Техніко-економічне обґрунтування номінальної потужності розподільних трансформаторів

На стадії проектування практично будь-яких складних об'єктів завжди має місце фактор невизначеності - неповноти знань як про сам об'єкт проектування, так і щодо умов його функціонування в майбутньому. Для них неможливо заздалегідь в повному обсязі однозначно визначити всі їх технологічні, економічні та інші показники у вигляді детермінованих величин. Виходячи з досвіду проектувальників, аналізу результатів реалізації подібних проектів, тенденцій розвитку економіки в цілому і певною її галузі є можливість тільки орієнтовно оцінити передбачувані значення параметрів, які, наприклад, необхідні для техніко-економічної оцінки проектів.

Разом з тим при проектуванні електроенергетичних об'єктів, зокрема систем електропостачання, багато технічних рішень відповідно до чинних нормативних документів приймаються на основі техніко-економічного порівняння ряду альтернативних варіантів.

Однією з особливостей функціонування сучасної електроенергетики є необхідність багаторазової трансформації електричної енергії в процесі її передачі і розподілу. Тому в електроенергетичних системах сумарна встановлена потужність трансформаторів в кілька разів перевищує встановлену потужність генеруючого обладнання та, відповідно, величину навантаження. Звідси - постійна увага проектувальників і інженерно-технічного персоналу енергокомпаній до питань вибору оптимальної потужності трансформаторів, при проектуванні, а також в умовах експлуатації енергетичних систем.

Є велика бібліографія, присвячена питанню обґрунтування номінальної потужності трансформаторів, зокрема [1, 2, 3, 4, 5, 6], де при його вирішенні орієнтувалися на різні критерії, що природно приводило до формування кардинально різних рекомендацій.

Аналіз перерахованих вище та ряд інших публікацій дозволяє зробити ряд висновків. По-перше, прийняте рішення в значній мірі буде залежати від використовуваного критерію ефективності - мінімуму втрат активної потужності і електроенергії або економічних показників (дисконтовані витрати, вартість розподілу електроенергії і т. п.).

По-друге, в наведених роботах, хоча і робилася спроба врахувати інфляційні процеси (наприклад, [7]) все ж не бралися до уваги такі важливі фактори як постійне збільшення тарифів на електроенергію і витрат на обслуговування трансформаторів, термін служби проекту (тобто термін експлуатації трансформатора зі зменшеними втратами), зміна навантажень споживачів, ставок податків, реальної норми дисконту і ін.

По-третє, необхідно враховувати, що в даний час істотно змінилася економічна ситуація, в умовах якої здійснюється проектування і експлуатація систем електропостачання. За останні роки ціна на електричну енергію зросли значно більше, ніж вартість основного електротехнічного обладнання. Певною мірою це відноситься і до витрат на їх обслуговування. Це ускладнює використання рекомендацій, отриманих за результатами досліджень попередніх років.

І нарешті, необхідно також враховувати на яку інформаційну базу ми можемо спиратися при виборі відповідного математичного апарату для вирішення даного завдання.

Тому традиційний підхід, коли з декількох варіантів побудови СЕС на підставі

порівняння детермінованих значень наведених або дисконтованих витрат вибирається оптимальний не є достатньо обґрунтованим, тому що при цьому не передбачається облік зміни перерахованих вище факторів протягом терміну експлуатації трансформаторів і реальні можливості їх оцінки.

Крім цього, з огляду на, що вартість спорудження і експлуатаційного обслуговування електричної мережі залежить від площі зони в якій розташовані споживачі, які отримують по ній електричну енергію, величини їх навантаження, то для економічної оцінки варіантів електропостачання в якості цільової функції було б доцільно використовувати безрозмірну величину рівну відношенню сумарних дисконтованих витрат до вартості переданої (або спожитої) електроенергії за весь розрахунковий період експлуатації проектованої системи електропостачання. Такий підхід дає можливість порівнювати варіанти організації електропостачання при їх подібних, але все ж кілька різних розмірах і параметрах.

Якщо прийняти, що розподільні трансформатори і низьковольтна мережа споруджуються за один рік, то сумарні витрати (K_{mp} + K_c) можна виділити в окреме доданок. З метою врахування різночасності інших складових витрат здійснюємо їх приведення до базисного року. При цьому цільова функція з урахуванням наведених вище міркувань може бути представлена наступним чином

$$Z = \frac{\left(K_{mp} + K_c\right) + \sum_{t=1}^{T} \frac{z_c \cdot \left(1+k_c\right)^{t-1} + \Delta A \cdot \left(1+k_\Delta\right)^{t-1} \cdot C_\Delta \cdot \left(1+k_e\right)^{t-1}}{\left(1+k_d\right)^{t-1}}}{\sum_{t=1}^{T} \frac{A \cdot \left(1+k_A\right)^{t-1} \cdot C_e \cdot \left(1+k_e\right)^{t-1}}{\left(1+k_d\right)^{t-1}}} \qquad (1.1)$$

де K_{mp}, K_c, - сумарні одноразові витрати відповідно на розподільні трансформатори і спорудження низьковольтної мережі; z_c - вихідні витрати на обслуговування трансформаторів і мережі; ΔA - втрати електричної енергії в трансформаторах і низьковольтних мережах; С - вартість електроенергії в початковому році; А - сумарна електроенергія передана споживачам в вихідному році; c_Δ - вартість втрат електричної енергії, яка, наприклад, може бути визначена відповідно до рекомендацій, κ_c, κ_Δ, κ_c, κ_A, κ_e - коефіцієнти, що відображають відповідно зміна витрат на обслуговування трансформаторів і низьковольтної мережі, величини втрат електричної енергії в елементах системи, відпуску електроенергії в систему, вартості електричної енергії, а k_d - коефіцієнт дисконтування.

Тут важливо відзначити, що зазначені вище коефіцієнти, що враховують можливу зміну технічних і економічних показників що характеризують умови експлуатації проектованої системи електропостачання в майбутньому, не можуть бути визначені однозначно і, відповідно, принципово не можуть бути задані детермінованими величинами.

Таким чином, можна зробити висновок, що частина входять в структуру цільової функції параметрів носять невизначений (нечіткий) характер. При цьому проблема невизначеності інформації стає ще більш очевидною, якщо мова йде про попередні етапах проектування (коли ще невідомі конкретні постачальники обладнання та виконавці робіт), а характер зміни ряду параметрів потрібно прогнозувати на досить тривалу перспективу. Тому до проведення спеціальних досліджень допустимо прийняти, що, зокрема, всі коефіцієнти в (1.1) будуть визначатися експертним шляхом і задаватися у вигляді інтервалу їх можливих значень $\left[\underline{k};\overline{k}\right]$, а їх зміна в часі буде підкорятися показовому закону $\left(1+\left[\underline{k};\overline{k}\right]\right)^{t-1}$. В першу чергу це стосується параметрів відображають характер зміни щорічних витрат на обслуговування елементів системи, обсягу відпуску в мережу електричної енергії (або її споживання), вартості електроенергії, а також коефіцієнта дисконтування.

Зокрема, аналіз даних [8] показує, що за останній час зміна середньозваженої річної вартості електроенергії на оптовому енергоринку України становило від 5% до 25%. Досить

велика різниця також спостерігається в тарифах на послуги з розподілу електричної енергії [9].

У більшій чи меншій мірі фактор невизначеності пов'язаний і з чисельної характеристикою інших параметрів, що входять до складу (1.1). Так, в ринкових умовах важко однозначно визначити і капітальні витрати на спорудження ТП і прокладку кабельних ліній. Більш того іноді навіть складно вказати чи буде певний параметр (наприклад, відпуск електроенергії в мережу) в перспективі зростатиме або знижуватися.

Таким чином, цільова функція (1.1) містить три групи складових: капітальні вкладення - $K_{тр}$ і K_c; експлуатаційні витрати - z_c; витрати, пов'язані з відшкодуванням втрат електроенергії. Розглянемо можливість їх визначення в контексті завдання обґрунтування оптимальної номінальної потужності трансформаторів і кількості ТП при організації електропостачання групи споживачів комунально-побутового характеру.

Капітальні витрати повинні враховувати витрати на обладнання (власне трансформатори, комутаційне обладнання, будови, засоби захисту, автоматики, обліку, кабелі, електротехнічну арматуру) і на будівельно-монтажні роботи.

В принципі ці компоненти витрат ($K_{тр}$ і $K_c = \kappa_{0кл} \times \mathrm{L}_{кл}$),, а також експлуатаційні витрати (z_c) допустимо оцінити на підставі рекомендацій [10], де відповідні показники (укрупнені вартості ТП - $K_{тр}$ і одного кілометра кабельних ліній - $\kappa_{0кл}$) задані детермінованими величинами. Одночасно можна врахувати, що експлуатаційні витрати для ліній пов'язані, перш за все, з аварійним обслуговуванням їх пошкоджених ділянок. Імовірність ушкодження КЛ набагато менше ймовірності пошкодження ПЛ, що, в принципі, дозволяє даний вид витрат при визначенні оптимальних параметрів трансформаторів не враховувати.

Витрати, пов'язані з відшкодуванням втрат електроенергії ΔA, зумовлені втратами активної потужності, які нехтуючи реактивним навантаженням і використовуючи метод числа годин найбільших втрат можна оцінити таким чином:

- в лініях низької напруги, що живлять зосереджене навантаження P_{max}

$$\Delta A = \frac{P_{\max}^2}{U_н^2} \times R_л \times \left(0{,}124 + \frac{A}{P_{\max}} \times 10^{-4} \right) \times 8760$$

- в розподільних трансформаторах

$$\Delta A = \Delta P_{xx} \times T_{вкл} + \Delta P_{кз} \times \left(\frac{P_{тр}}{S_{нтр}} \right)^2 \left(0{,}124 + \frac{A}{P_{\max}} \times 10^{-4} \right) \times 8760$$

Подальший аналіз варіантів побудови систем електропостачання з використанням трансформаторів різної номінальної потужності, по суті, зводиться до порівняння отриманих інтервальних оцінок відносних значень дисконтованих витрат.

Концептуальна складність даного завдання, як і більшості інших завдань, пов'язаних з урахуванням невизначеності вихідної інформації, полягає у відсутності єдиного загальноприйнятого підходу до їх вирішення.

На перший погляд, найбільш природним виглядає безпосередній розрахунок дисконтованих витрат з використанням математичного апарату інтервального аналізу [11].

В цьому випадку принциповим моментом є вибір процедури порівняння між собою отриманих інтервальних відносних значень дисконтованих витрат. Якщо інтервальні оцінки не перетинаються, то рішення на користь тієї чи іншої альтернативи буде очевидним. Основна складність полягає в порівнянні пересічних інтервалів (рис. 1.1). У технічній літературі можна знайти безліч різних підходів до реалізації зазначеного завдання [11, 12, 13].

У цьому плані одним з найбільш універсальних є алгоритм запропонований в роботі [15], який не тільки дозволяє у всіх ситуаціях здійснити порівняння інтервалів, але паралельно визначає і ймовірність виконання цієї умови (Р), тобто по суті ступінь довіри до отриманого результату. Нижче наведені формули для розрахунку показника Р при різному взаємному

розташуванні інтервальних оцінок (Рис. 1.1).

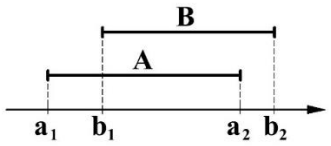


Рисунок 1.1 Порівняння інтервальних оцінок

Дані обчислення виконуються у відповідності з наступними правилами:

1. Якщо $b_1 \geq a_1 \wedge b_2 \leq a_2$, то $P(B\rangle A)=\frac{b_1-a_1}{a_2-a_1}+\frac{1}{2}\frac{a_2-a_1}{b_2-b_1}$, $P(A=B)=\frac{b_2-b_1}{a_2-a_1}$;

2. Якщо $a_1 \geq b_1 \wedge a_2 \leq b_2$, то $P(B\rangle A)=\frac{b_2-a_2}{b_2-b_1}+\frac{1}{2}\frac{a_2-a_1}{b_2-b_1}$, $P(A=B)=\frac{a_2-a_1}{b_2-b_1}$;

3. Якщо $b_1 \geq a_1 \wedge b_2 \geq a_2 \wedge b_1 \leq a_2$, то $P(B\rangle A)=1-\frac{1}{2}\frac{(a_2-b_1)^2}{(a_2-a_1)(b_2-b_1)}$ $P(A=B)=\frac{(a_2-b_1)^2}{(a_2-a_1)(b_2-b_1)}$;

4.Якщо $a_1 \geq b_1 \wedge a_2 \geq b_2 \wedge a_1 \leq b_2$, то $P(B\rangle A)=1-\frac{1}{2}\frac{(b_2-a_1)^2}{(a_2-a_1)(b_2-b_1)}$ $P(A=B)=\frac{(b_2-a_1)^2}{(a_2-a_1)(b_2-b_1)}$. (1.2)

1.2 Особливості техніко-економічно аналізу проектів електропостачання в сучасних умовах

В роботі була обґрунтована необхідність врахування об'єктивно існуючої невизначеності інформації в процесі вибору рішень, пов'язаних з розвитком систем електропостачання, зокрема, при визначенні оптимальної номінальної потужності розподільних трансформаторів. Одночасно було показано, що в цьому випадку при поданні ряду прогнозних техніко-економічних характеристик у вигляді інтервалу їх можливих значень з метою врахування невизначеності даної інформації, подальше застосування математичного апарату інтервального аналізу для порівняння альтернативних варіантів на основі показника відносних дисконтованих витрат не дозволяє прийняти переконливе рішення щодо оптимальної потужності трансформаторів. При цьому слід зазначити, що при постановці даного завдання була врахована невизначеність тільки ряду економічних чинників. Насправді ж в сучасних умовах розвитку енергетики, з урахуванням ринкової економіки розглянута постановка задачі видається дещо спрощеною. По-перше, не зовсім переконливим є завдання вартісних показників енергетичного обладнання, трансформаторів ТП, а також КЛ детермінованими значеннями на основі нормативних документів, зокрема, відповідно до рекомендацій [10]. У зв'язку з цим при реалізації практичних розрахунків дані показники було б більш переконливим також задавати інтервальними величинами, на основі аналізу наявних комерційних пропозицій, наприклад, з огляду на дані [18, 19], що ще більше ускладнить застосування розглянутих вище методів для реалізації техніко-економічних розрахунків.

Однак, головна складність у постановці і вирішенні зазначеного завдання полягає в наступному. В даний час при вирішенні проектних завдань, зокрема, в сфері електропостачання було б бажано відобразити фактор невизначеності в плані обліку можливих сценаріїв розвитку електроенергетики в цілому. Перш за все, це стосується таких факторів як стрімке поширення розподіленої генерації в різних її формах, перш за все, за рахунок широкого повсюдного впровадження поновлюваних джерел енергії, в тому числі і спільно із засобами її акумулювання і активне розширення використання електромобілів, що може привести до масштабного включення зарядних станцій до складу навантажень як громадських, так і житлових будівель. Поява в проектованих системах електропостачання протягом розрахункового періоду зазначених джерел та / або споживачів енергії може вплинути на вибір оптимальної потужності розподільних трансформаторів.

Якщо невизначеність вартісних характеристик обладнання можна за аналогією з економічними показниками врахувати шляхом їх завдання інтервальними величинами, то облік вплив розподіленої генерації і електрозаправних станцій можна реалізувати шляхом

зміни ряду показників режиму електроспоживання, пов'язаних з появою даних факторів на певному етапі експлуатації системи електропостачання. Відповідно до цього цільова функція, представлена дисконтованими витратами [10], в припущенні появи на τ - му році експлуатації системи електропостачання в її структурі генеруючих джерел або нових споживачів енергії, може бути задана в такий спосіб

$$
\begin{aligned}
Z = {} & \frac{\left[\underline{K}_{mn\Sigma};\overline{K}_{mn\Sigma}\right]+K_{кл\Sigma}}{\sum_{t=1}^{\tau}\frac{A_1\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}+\frac{\left[\underline{K}_{mn\Sigma};\overline{K}_{mn\Sigma}\right]+K_{кл\Sigma}}{\sum_{t=\tau+1}^{T}\frac{A_2\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}+\\
& +\frac{\sum_{t=1}^{\tau}\frac{z_c\times\left(1+k_c\right)^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}{\sum_{t=1}^{\tau}\frac{A_1\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}+\frac{\sum_{t=\tau+1}^{T}\frac{z_c\times\left(1+k_c\right)^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}{\sum_{t=\tau+1}^{T}\frac{A_2\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}+\\
& +\frac{\sum_{t=1}^{\tau}\frac{n_{mp}\times\Delta P_{xx}\times 8760\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}{\sum_{t=1}^{\tau}\frac{A_1\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}+\frac{\sum_{t=\tau+1}^{T}\frac{n_{mp}\times\Delta P_{xx}\times 8760\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}{\sum_{t=\tau+1}^{T}\frac{A_2\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}+\\
& +\frac{\sum_{t=1}^{\tau}\frac{n_{mp}\times\Delta P_{кз}\times\left\{\frac{P_{mp\max 1}\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}}{S_{нтр}}\right\}^2\times\left\{0{,}124+\frac{T_{\max 1}}{10^4}\right\}^2\times 8760\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}{\sum_{t=1}^{\tau}\frac{A_1\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}+\\
& +\frac{\sum_{t=\tau+1}^{T}\frac{n_{mp}\times\Delta P_{кз}\times\left\{\frac{P_{mp\max 2}\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}}{S_{нтр}}\right\}^2\times\left\{0{,}124+\frac{T_{\max 2}}{10^4}\right\}^2\times 8760\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}{\sum_{t=\tau+1}^{T}\frac{A_2\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}+\\
& +\frac{\sum_{t=1}^{\tau}\frac{n_{л}\times\left\{\frac{P_{л\max 1}\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}}{U_н}\right\}^2\times R_л\times 10^{-3}\times\left\{0{,}124+\frac{T_{\max 1}}{10^4}\right\}\times 8760\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}{\sum_{t=1}^{\tau}\frac{A_1\times\left[1+\left(\underline{k}_s,\overline{k}_s\right)\right]^{t-1}\times C_e\times\left[1+\left(\underline{k}_e,\overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d,\overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}}+
\end{aligned}
$$

$$\frac{n_л \times \left\{ \frac{P_{л\max 2} \times \left[1+\left(\underline{k}_s, \overline{k}_s\right)\right]^{t-1}}{U_н} \right\}^2 \times R_л \times 10^{-3} \times \left\{0{,}124 + \frac{T_{\max 2}}{10^4}\right\} \times 8760 \times C_e \times \left[1+\left(\underline{k}_e, \overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\sum_{t=1}^{\tau} \left[1+\left(\underline{k}_d, \overline{k}_d\right)\right]^{t-1}} + \frac{}{\sum_{t=1}^{\tau} \frac{A_2 \times \left[1+\left(\underline{k}_s, \overline{k}_s\right)\right]^{t-1} \times C_e \times \left[1+\left(\underline{k}_e, \overline{k}_e\right)\right]^{t-1}}{\left[1+\left(\underline{k}_d, \overline{k}_d\right)\right]^{t-1}}} \quad (1.4)$$

де $\left(\underline{k}_s, \overline{k}_s\right)$, $\left(\underline{k}_e, \overline{k}_e\right)$, $\left(\underline{k}_d, \overline{k}_d\right)$- інтервальні оцінки динаміки зміни відповідно максимальної величини електричних навантажень, вартості електроенергії та коефіцієнта дисконтування; $\left[\underline{K}_{mn\Sigma}; \overline{K}_{mn\Sigma}\right]$ - інтервальна оцінка орієнтовною сумарної вартості електротехнічного обладнання і будівельної частини ТП.

Очевидно, що в даному випадку безпосередньо виконання розрахунків відповідно до (1.4) на основі правил інтервального математики, посилаючись на результати досліджень представлені в [10], не дозволить отримати переконливу відповідь при техніко-економічному порівнянні конкуруючих варіантів побудови систем електропостачання. Дана обставина вимагає застосування альтернативних методів прийняття рішень.

Найбільш поширеним і застосовуваним на практиці підходом до прийняття рішень в умовах невизначеності є використання теорії ігор. Ефективність даного математичного апарату полягає в тому, що він дозволяє встановити принципи розумності, на підставі яких здійснюється вибір рішень [20, 21, 22].

Початковим кроком реалізації ігрового підходу до вибору оптимального рішення є формування, так званої, платіжної матриці. Припустимо, ми маємо m (i = 1, ..., m) можливих альтернативних рішень (стратегій), а природа може перебувати в одному з n (j = 1, ..., n) станів. В цьому випадку елементи платіжної матриці еij відображають виграш гравця (особи, що приймає рішення) в разі вибору їм i - ой стратегії (рішення) при j - му стані природи (наборі вихідних даних).

Однак тут необхідно врахувати, що в розглянутій задачі ряд зовнішніх факторів, що визначають стан природи, не є детермінованими, а невизначеними і задаються у вигляді інтервалів їх можливих значень.

Загальною властивістю недетермінірованних завдань, коли ряд параметрів задається у вигляді інтервалу їх можливих значень, є необхідність варіювання окремими величинами цих невизначених вихідних даних. При цьому слід враховувати, що зіставлятися між собою можуть тільки ті варіанти вирішення, які оцінюються при одному і тому ж поєднанні даних [22].

Таким чином, порівняльний аналіз варіантів організації електропостачання при використанні розподільних трансформаторів різної номінальної потужності пов'язаний з вибором представницького безлічі комбінацій вихідних даних. З огляду на, що багато хто з враховуються при вирішенні даної проблеми факторів представлені інтервальними величинами, дана процедура, по суті, зводиться до дискретизації задачі. При цьому від того наскільки вдало вибрані комбінації вихідних даних залежить повнота і достовірність подальшого аналізу. Тут необхідно, щоб відібрані представницькі точки хі деякого безперервного безлічі $[\underline{x}, \overline{x}]$ були рівномірно (в певному сенсі) розподілені в межах даної області.

В роботі [23] було показано, що при можливості реалізації відносно невеликого числа розрахунків, найбільш повний і рівномірний аналіз всієї багатовимірної області допустимих значень параметрів досягається при використанні, так званих, ЛПτ послідовностей. В цьому випадку для дискретизації задачі служать числа, що належать ЛПτ послідовності, які обчислюються на основі запропонованого в [24] спеціального алгоритму, який дозволяє

отримати точки *Qi*, з координатами *qij*, *i = 1, ..., I, j = 1, ..., J*, що утворюють рівномірно розподілені послідовності в одиничному n-вимірному кубі K^n. При цьому координати шуканих точок обчислюються на підставі наступного виразу

$$q_{ij} = \sum 2^{-k+1} \left\{ \frac{1}{2} \sum \left[2\langle i 2^{-\ell} \rangle \right] \left[2\left(r_j^{(\ell)} 2^{k-1-\ell} \right) \right] \right\}, \quad (1.5)$$

де *i* - номер точки, $[a]$ - означає цілу частину числа *a*, $\langle a \rangle$ - є дробову частину числа *a*, значення $r_j^{(\ell)}$ - визначаються за спеціальними таблицями [24].

В цьому випадку при заповненні платіжної матриці (виконанні розрахунків відповідно до (1.1) дискретизованої значення відповідних параметрів (*kij*) будуть визначатися в такий спосіб

$$k_{ij} = \underline{k}_j + q_{ij}\left(\bar{k}_j - \underline{k}_j\right), \; i = 1, \ldots, 6, \quad j = 1, \ldots, 10.$$

Основний метод, що дозволяє вибрати оптимальну альтернативу на основі аналізу платіжної матриці полягає в завданні деякої гіпотези, про поведінку середовища, що дозволяє надати кожній альтернативі певну оцінну (цільову) функцію, що дає інструмент для їх порівняння. При цьому будь-яка платіжна матриця $\|e_{ij}\|$ в кінцевому підсумку зводиться до одного стовпцю. Таким чином, кожному варіанту (альтернативі) приписується деякий результат e_{ij}, що характеризує, в цілому, все наслідки цього рішення. Ряд критеріїв служить для порівняння альтернатив і вибору найкращої з них, серед яких найбільш використовуваними на практиці є такі [25].

Критерій Вальда заснований на гіпотезі згідно з якою при виборі рішення треба розраховувати на найбільш несприятливий з усіх можливих варіантів. Відповідно до даного критерію оцінкою кожної альтернативи є величина $E_i = \max\limits_j e_{ij}$ (за умови, що e_{ij} характеризує витрати на реалізацію проекту). Оптимальною в цьому випадку вважається альтернатива, для якої виконується умова

$$E_{Vi}^* = \min_i \max_j e_{ij}. \quad (1.6)$$

Згідно максимина критерієм оптимальної вважається альтернатива з найбільшим показником ефективності, тобто для якої в даному випадку виконується умова

$$E_{Mi}^* = \min_i \min_j e_{ij}. \quad (1.7)$$

Оптимальною відповідно до критерію Лапласа вважається та альтернатива *i*, яка максимізує оціночну функцію, в разі, коли вона характеризує корисність рішення або мінімізує функцію, яка відображатиме, наприклад, як в нашому випадку, витрати

$$E_{Li}^* = \min_i E_{Li}, \text{ де } E_{Li} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} e_{ij}.$$

Критерій Севіджа заснований на перетворенні вихідної платіжної матриці в матрицю ризиків. Ризик для обраної альтернативи *i* при стані *j* середовища визначається величиною $r_{ij} = e_{ij} - \min\limits_i e_{ij}$ (за умови, e_{ij} що характеризує витрати на реалізацію рішення). Оптимальною в цьому випадку вважається альтернатива мінімізує максимальний ризик. Іншими словами, вибір з матриці ризиків здійснюється на основі мінімаксного критерію

$$E_{Si}^* = \min_i \max_j r_{ij}$$

Прагнення отримати критерії, які б краще пристосовувалися до реальної ситуації, в порівнянні з розглянутими вище, привело до побудови так званих складових оціночних характеристик [26] критерії Гурвіца, Ходжа-Лемана, Гермейера, L (ММ) критерій і ряд інших.

У загальному випадку оптимальні рішення, отримані на підставі зазначених критеріїв, можуть не збігатися, тому що всі ці критерії спираються на різні гіпотези щодо поведінки середовища. Вводячи ту чи іншу гіпотезу, ми тим самим як би знімаємо невизначеність, проте необхідно розуміти, що будь-яка гіпотеза є лише припущенням, а не конкретним знанням.

Висновки

Перш за все, необхідно відзначити, що облік динаміки зміни ряду техніко-економічних показників, зокрема таких як рівень споживання електроенергії та її вартість, впливають на прийняття рішення при розгляді завдання обґрунтування оптимальної потужності розподільних трансформаторів на основі порівняння дисконтованих витрат. Крім цього облік невизначеності, шляхом їх завдання у вигляді інтервалу можливих значень, також впливає на прийняття рішення.

Крім цього, врахування можливих стратегій розвитку систем електропостачання як за рахунок появи в їх структурі різноманітних засобів розподіленої генерації, так і додаткового навантаження у вигляді станцій заправки електромобілів вносить певну корективу в вибір оптимальної потужності трансформаторів.

Таким чином, запропонований в статті метод, що дозволяє врахувати як динаміку зміни ряду техніко-економічних характеристик проектів протягом розрахункового періоду, так і невизначеність, пов'язану з прогнозуванням даних характеристик, може служити ефективним інструментом, що дозволяє проектувальникам проаналізувати і обґрунтувати найбільш економічні варіанти організації електропостачання різних за складом, структурою, і характером розміщення груп споживачів.

Список використаної літератури

1. РУКОВОДСТВО ПО НАГРУЗКЕ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ, МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ, ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91), «Украинский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт трансформаторостроения», 2002, 76 с.

2. Копылов И.П. Электрические машины: учебник для вузов, М.: Энергоатомиздат, 1986 – 360 стр.

3. Ю.В. Владимиров, Р.А. Вдовин Выбор номинальной мощности трансформаторов с учетом минимизации потерь, Світлотехніка та електроенергетика, 2009, N 1, стр. 13-16

4. Фурсанов М.И., Радкевич В.Н. Об оптимальных режимах работы силовых трансформаторов, Энергетика, Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, 2008, N 2, с. 32-39

5. Рахманов К.Р. Об оптимальной загрузке силовых трансформаторов, Энергетика, Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, 1990, N 1, с. 44 – 48

6. Гонтарь А.А. О критериях оптимизации работы силового трансформатора Энергетика, Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, 2006, N 5, с. 34-37

7. Афанасьев А.П., Гринкруг М.С., Ткачева Ю.И. Определение местоположения трансформаторных подстанций в сети электроснабжения низкого напряжения с помощью кумулятивной матрицы геодезических дистанций, Russian Internet Journal of Electrical Engineering, 2014, Vol. 1, no. 2, pp. 17-20.

8. www.nrc.gov.ua/index.php?id=37192

9. www.nrc.gov.ua/index.php?id=37481

10. СОУ-Н МЕВ 45.2-37471933-44:2011 Укрупнені показники вартості будівництва підстанцій напругою від 6 кВ до 150 кВ та ліній електропередавання напругою від 0,38 кВ до 150 кВ. Норми (зі змінами), Відокремлений підрозділ «Науково-технічний центр електроенергетики» Державного підприємства «Національна енергетична компанія Укренерго», Київ, 2018 р.

11. Ramon E. Moore; Interval Analysis; Prentice Hall; 1966, 159 pp.

12. H. Ishibuchi, H. Tanaka, Multiobjective programming in optimization of the interval objective function, Eur. J. Oper. Res. V. 48 Issue 2, 1990, p. 219–225.

13. Sengupta A, Pal T, K. (2009) Fuzzy preference ordering of interval numbers in decision problems. Springer, Berlin, 238 p.
14. B. Q. Hu and S. Wang. A novel approach in uncertain programming part i: New arithmetic and order relation for interval numbers. Journal of Industrial and Management Optimization, 2(4):351–371, 2006
15. Sevastianov P, Róg P and Karczewski K A Probabilistic approach to fuzzy and crisp interval ordering task, Task Quarterly, V. 7, No. 1, 2003, 147-156
16. dtec-kem.com.ua/ckeditor_assets/dd-ee/2016/OOE_E Dohovir Fiz.osoba.pdf]
17. https://vse.energy/news/pec-news/electro/915-ee-price-2019-i-vi
18. https://prom.ua/p5737141-transformatory-silovye-maslyannye.html
19. https://prom.ua/p685461842-paneli-raspredelitelnyh-schitov.html
20. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1988, 206 с.
21. Льюис Р.Д., Райфа Х. Игры и решения. – М.: Изд. Иностр. Лит., 1961. – 642 с
22. Гермейер Ю. Б. Игры с непротивоположными интересами. – М.: Наука, 1976. – 328с.
23. Соболь И. М., Статников И. Р. ЛП-поиск в задачах оптимального конструирования. – В кн.: Проблемы случайного поиска. Рига: Зинатне, 1972, № 1, с. 117-135.
24. Соболь И. М., Левитан Ю.Л. Получение точек, равномерно расположенных в многомерном кубе. – М.:, 1976. – 37 с. (Препринт/Институт прикладной математики АН СССР, № 40)
25. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1988, 206 с.
26. Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании, экономике. М.: Мир, 1964, 837с
27. https://prom.ua/p5737141-transformatory-silovye-maslyannye.html
28. https://prom.ua/p685461842-paneli-raspredelitelnyh-schitov.html
29. Павлов В.Б., Новський В.О., Попов В.А., Палачов С.О. Особливості застосування зарядних станцій електромобілів у міських електричних мережах, Технічна Електродинаміка, 2018, № 6, с. 78-80.

УДК 621.311

Lavrynovych Pavlo
Department of Electrical Supply

INVESTMENT ECONOMIC CALCULATION (NPV) – LARGE SOLAR POWER PLANT (UKRAINIAN MARKET)

Анотація. *У статті розглянуто питання продажу електроенергії промисловими станціями за "зеленим" тарифом а також поточний стан регулювання ринку електроенергії України. Описано сучасну ситуацію на ринку енергетики України та основні закони регулювання ринку. Проаналізовано виклики встановлення сонячної станції на наземній території, вплив цих аспектів на вартість станції та оцінено ефективність інвестиційного проекту. Визначено значення прибутковості та окупності сонячної електростанції використавши функції NPV та IRR.*

Ключові слова: *промислова станція, "зелений" тариф, енергетичний сектор, відновлювані джерела енергії, регулювання ринку, прибутковості, окупності.*

Abstract. *The article considered the issue of industrial stations electricity selling at a "green" tariff, and also the current situation with the regulation of the electricity market in Ukraine. The current situation on the energy market of the country and the main laws of market regulation are described. Installation problems of a solar station on the ground, the impact of these aspects on the cost of the station and the assessment of investment efficiency are analyzed. The profitability and payback of a solar power plant were determined using the NPV and IRR functions.*

Keywords: *industrial station, "green" tariff, energy sector, renewable energy sources, market regulation, profitability, payback.*

Introduction. Nowadays photovoltaic power plants are the most popular commercial energy source in our country. According to the reports of the National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities, solar power plants (SPP) take first place (approximately 65%) relative to power. Such great development of PVPS in Ukraine are caused by such factors as accessibility of equipment, favorable economic component (price of the selling) and relatively high level of solar radiation on Ukrainian territory. Economic aspect is the most important today. Most investors focus their attention on the profitability of SPP [1].

Therefore, this project will view 1 MW SPP, which is considered the most significant on the industrial stations market for the sale of electricity at a "green" tariff.

To understand better the economic component of the project, the current stage of development of electricity market regulation in Ukraine will be considered, as well as the internal rate of return (IRR) and net present value (NPV).

Exposition of the main subject of research.

Basic description of current Ukrainian situation (“green tariff”, regulation of the energy market)

The electricity market is regulated by two main Laws of Ukraine on this issue, namely: “On the Electricity Market” and “On Alternative Energy Sources”, as well as some amendments to them.

The Law on Alternative Energy Sources was passed in 2003, but Ukraine began active development in the field of green energy only in 2015 after some amendments to the law. Specifically, after the establishment of “green” tariffs for electricity generated by installations that operate at the expense of solar energy and/or wind energy. “Green” tariffs apply to both private households and industrial installations. The determined tariffs were very high in compare with similar tariffs in other European countries. Therefore, due to the too rapid development of unpredictable renewable energy

sources in 2019, much lower “green” tariff rates have already been set for industrial plants:

Table 1. – “Green” tariff rates for industrial SPP [2].

	Roof SPP	Ground SPP
From 31.12.2019	0,164 euros per kWh	0,15 euros per kWh
From 01.01.2020 to 31.12.2020	0,123 euros per kWh	0,113 euros per kWh
From 01.01.2021 to 31.12.2021	0,118 euros per kWh	0,109 euros per kWh
From 01.01.2022 to 31.12.2022	0,115 euros per kWh	0,105 euros per kWh
From 01.01.2023 to 31.12.2024	0,110 euros per kWh	0,101 euros per kWh
From 01.01.2025 to 31.12.2029	0,107 euros per kWh	0,097 euros per kWh

Currently, a system of "green" auctions has been launched and is functioning in Ukraine. Their main task is to replace "green" tariffs and ensure competitive pricing for new alternative energy projects. According to the adjustments adopted in April 2019, photovoltaic stations with an installed capacity of more than 1 MW and wind stations - more than 5 MW, will be required to win the auction for the allocation of state support quotas. The Cabinet of Ministers will determine the total annual volume of these quotas (installed capacity of the power plant) [3].

Basic description NPV, IRR

The most important criteria for project performance are: payback period, profit margin, net present value, internal rate of return. Only the project whose indicators turned out to be the most attractive receives funding. How to evaluate the effectiveness of the investment project? The most important indicators of such analysis are the values of NPV and IRR. NPV is the balance of all operating and investment cash flows that considers costs. A project is considered effective if it not only covers internal costs but also generates income that is not lower than the discount rate. The following formula is used to calculate the net present value:

$$NPV = \sum_{i=0}^{n} \frac{NCF_i}{(1+k)^i}$$

where: *NCFi* - net cash flow at the appropriate time; *n* is the number of years; *k* - the discount rate, the most important element of the formula. Any error in calculating NPV may reduce the effectiveness of investments.

In addition, the definition of NPV is very important because it allows you to consider the entire life cycle of the project and determine its profitability.

IRR - is the amount of the discount rate at which the net present value is zero. Specifies the maximum possible annual income used in the calculation to maximize the attractiveness of the project. A project is effective when the return on capital expected by the investor is less than the IRR. To determine the IRR, you can use the formula NPV, equating it to zero:

$$0 = \sum_{i=0}^{n} \frac{NCF_i}{(1+IRR)^i}$$

The solution we can deduct from the equation depends on the change in NCFi. However, changes in value throughout the project period of the money do not need to be considered [4].

Purpose and task. To analyze the challenges of installing a solar station on the ground structure, the impact of these aspects on the cost of the station and evaluate the effectiveness of the

investment project. Determine the value of profitability and payback of a solar power plant using NPV and IRR functions.

Material and research results.

Input data (Production, price of equipment and electricity, technical explanation of SPP)

The calculation of a solar power plant can be divided into several main stages.

1) Select a technology of PV modules.

Before starting to complete the photovoltaic (PV) system, it is necessary to choose the category of panels. Currently, there are two main categories of solar panel production on the market: monocrystalline solar panels (mono) and polycrystalline solar panels (poly).

To make solar cells for modules, silicon is formed into bars and cut into waffles. Photomodules of mono technology have better efficiency and more complex manufacturing technology. The name "mono" means that the silicon used consists of one component. Electrons that generate the flow of electricity have more room to move. As a result, "monocrystal" panels are more efficient than their polycrystalline counterparts.

According to this information, I choose "monocrystal" JA SOLAR panels with multilayer PERC cells and a semi-cell configuration of the modules.

Combined with multi-busbar PERC cells, the module's half-cell configuration offers the benefits of higher power output, better temperature-dependent characteristics, reduced shading effect on energy quality and quantity, lower heating risk, and increased load resistance.

So, the selected module is JA Solar 340W 5BB Half-Cell Module, JAM60S10 320-340/MR series [annex A].

2) How many PV modules needed for 1 MW?

The most important thing in calculating the number of modules is the required SPP power. Manufacturers of inverters report that for efficient operation of the station, it can be overloaded by 20-30%, so for SPP with a capacity of 1 MW, I will choose the number of panels to provide power, for example, overloaded by 20%.

In my case the required SPP power P_r = 1MW. According to this information I can find a solution by dividing required SPP power into power of one PV module P_m = 340W:

$$N = \frac{P_r}{p_m} = \frac{1000000 + 200000}{340} = 3529,4\text{pcs.}$$

For correct operation of the station it is necessary to distribute the modules correctly. Each selected inverter has a certain number of MPPTs that need to be loaded evenly [annex B]. The selected inverter Huawei SUN2000-50KTL-M0, 50 kW has 6 MPPT each with two parallel strings. Therefore I will adjust the received quantity of modules to quantity of 3540 pieces.

It`s mean:

$$P_r = 3540 \cdot 340 = 1,2036\text{MW.}$$

The next step is to choose optimum installation angle of PV module in my latitude.

For calculate the distances between rows of modules we need to find optimal angle of inclination for PV modules.

By geographical location (in my case, the Kyiv city, orientation to the south), the angle of inclination of the sun in azimuth relative to the earth in summer is 63 degrees and in winter 16 degrees.

So, for optimal operation of the station it is necessary to choose the average value of this angle:

$$A = \frac{63+16}{2} = 39,5^{\circ}.$$

3) Find distances between rows of modules/avoid shadow.

In my case, I will use a table construction with two rows of modules, 118 modules for each row. There are a total of 15 such constructions (*C*).
Because of grass and snow, minimum modules height above the earth is 0.5m.

Length for two modules is (based on passport data of modules): *L* = 1689 + 1689= 3378mm.

Row heights: *H* = construction height *(h)* +sin (panel angle) * panel length (*L*).

Width of the row: *W* = cos (panel angle) * panel length (*L*) = 2627mm.

Calculation results are shown on figure 1.
Considering the winter angle of the sun (16°), determining the length of the shadow, and hence the projection on the ground, we can conclude that the distance between the rows (*D*) is 7418mm.

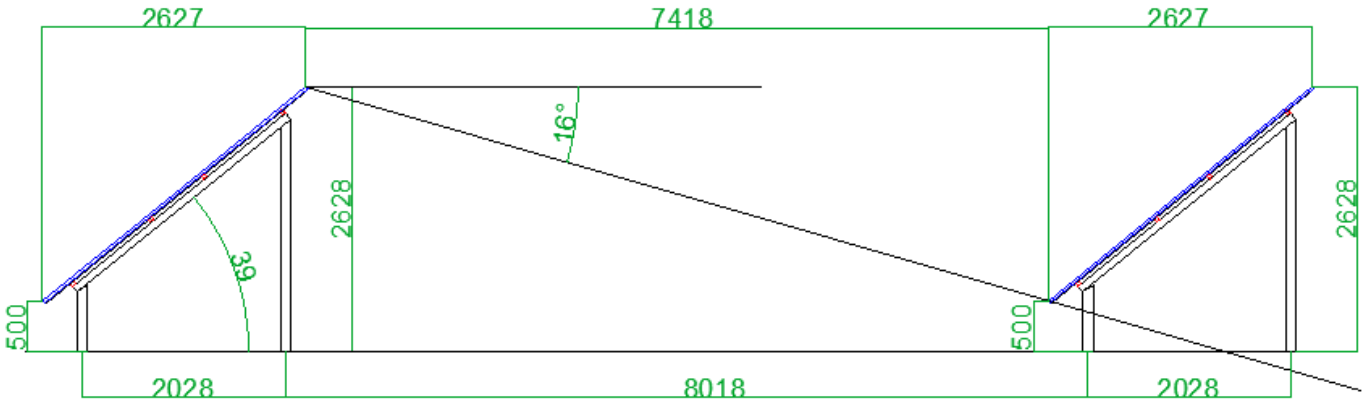


Figure 1. – Optimal distances between rows of modules.

4) Calculate area needed for 1 MW plant.

Length (*b*):

$$b = 118 \cdot 0,996 + 119 \cdot 0,024 = 120,39\text{m}.$$

According to the width (*a*) and length (*b*) we can calculate total area (A_t).
Total area equal: *a*b*

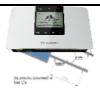
$$A_t = a \cdot b = 138,3 \cdot 120,39 = 16,650\text{m}^2 = 1,665\text{ha}.$$

According to the width of row (*W*), numbers of rows (*C*) and the sum distance between the rows (*D*) we can calculate *a*:

$$a = W \cdot 15 + D \cdot 14 = 2,627 \cdot 15 + 7,418 * 14 = 138,3\text{m}.$$

For this station, the prices of design and estimate and commissioning works for the construction of SPP with 1 MW capacity are taken according to the website of the company dealing with solar power plants in Ukraine [5] and shown in Table 2:

Table 2. – The prices of design and estimate and commissioning works.

№	Name			Units	Price $ **	Solar power plant 1MW (PV 1,204 MW) Productivity per year: 1239 MWh	
		Equipment	Producer			Quantity	The total cost, $
1		PV module JA Solar JAM60S10-340W MBB, Mono (PERC) Halfcell,	China	pcs.	143,00	3540	506 220,00
2		Invertor Huawei SUN2000-50KTL-M0, 50кВт	China	pcs.	4 999,00	20	99 980,00
3		Fastening	Ukraine	pcs.	45,00	3540	159 300,00
4		PV connectors LAPP EPIC SOLAR MC4***	Germany	2 pcs.	3,20	200	640,00
5		PV cabel IBC SOLAR FlexiSun 6мм² black/red***	Germany	m.	1,50	2000	3 000,00
6		Deffenders of AC і DC:	Germany	pack	340,00	20	6 800,00
						All, $ **	775 940,00

Services

№		Labor	Performer		Price, $ **	Quantity	The total cost, $
8		Engineering, installation, commissioning	,,,	service	2 240,00	20	44 800,00
9		Mounting kit: Corrugation for laying underground, UV-resistant corrugation, 5 m AC cable for inverter connection, insulating materials	,,,	pack	100,00	20	2 000,00
10		Transport costs, delivery of equipment	,,,	service	In fact	1	In fact
11		Technical documentation: preparation of a project for a solar power plant, a package of documents for concluding a contract for a green tariff	,,,	service	For free	1	For free
						Total price $ **:	822 740,00
						Cost per 1 kW of installed power, $	685,62

5) Production calculations.

For more accurate and reliable calculations, data on electricity production were taken from a special medium called HelioScope [6]. This program allows you to assess the current performance of SPP and even make a forecast for years to come.

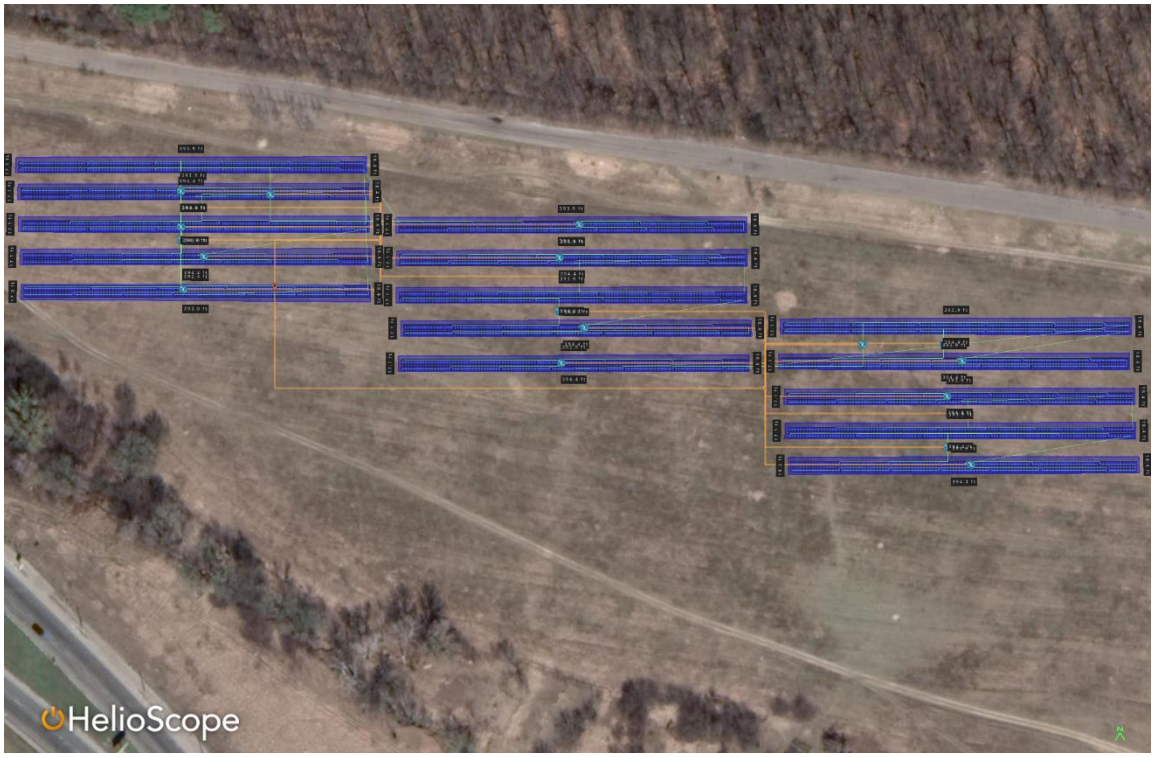


Figure 1. – Location of modules according to HelioScope.

Table 3 describes the operation of the 1 MW station in the period from the beginning of its construction to 10 years of operation (2018 - 2028) This time range is taken to show the change in the tariff (decreased by 25% in 2020) and the impact of this change on the profitability of the station. Also, based on the efficiency of photomodules, it is necessary to take into account the criterion of their aging (degradation), which for photomodules JA Solar JAM60S10, according to the technical characteristics is approximately 0.8% per year. The performance of the station with considering the degradation is also shown in Table 3.

Table 3. – The operation of the 1 MW SPP.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Month	2018	Production 2019(kWh)	Production 2020(kWh)	Production 2021(kWh)	Production 2022(kWh)	Production 2023(kWh)	Production 2024(kWh)	Production 2025(kWh)	Production 2026(kWh)	Production 2027(kWh)	Production 2028(kWh)
January		33057,0	33065,8	33091,3	33065,8	33062,9	33062,3	33063,6	33067,8	33065,2	33060,7
February		50039,6	50045,6	50093,2	50048,1	50042,3	50043,0	50046,3	50051,3	50044,8	50038,8
March		100916,6	100939,8	101005,5	100939,4	100936,1	100925,0	100934,9	100938,2	100932,8	100902,2
April		135480,3	135494,9	135584,3	135501,5	135491,9	135492,3	135492,8	135486,7	135490,8	135473,6
May		175450,1	175462,0	175587,9	175468,5	175458,5	175455,5	175468,0	175485,4	175457,4	175452,0
June		171628,5	171653,7	171746,3	171648,5	171631,2	171637,4	171652,2	171644,9	171639,7	171636,2
July		173477,5	173494,3	173595,2	173486,5	173484,1	173481,0	173488,2	173493,1	173491,1	173471,1
August		158480,0	158496,6	158606,9	158499,7	158490,4	158482,5	158496,3	158508,7	158488,5	158479,3
September		112030,1	112045,1	112127,0	112054,0	112037,4	112049,1	112051,0	112040,5	112051,3	112044,2
October		73568,2	73580,9	73630,2	73585,7	73575,3	73578,8	73581,2	73583,8	73582,3	73575,7
November		33190,6	33194,9	33223,4	33197,5	33192,3	33193,6	33194,6	33195,2	33196,4	33194,0
December		21228,4	21229,6	21252,8	21230,9	21228,6	21225,4	21230,1	21227,8	21226,7	21224,4
∑, Year		1238546,9	1238703,2	1239544,0	1238726,1	1238631,0	1238625,9	1238699,2	1238723,4	1238667,0	1238552,2
Degradation%	0,00	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,2	8
With degradation		1228638,52	1218883,95	1209794,944	1199086,865	1189085,76	1179171,857	1169332,04	1159445,1	1149482,976	1139468,02

Calculation (NPV, IRR)

To determine the profitability and payback of a solar power plant, we use the NPV and IRR functions.

The main components of these calculations are the number of periods (in my case n = 10 years), annual energy production, the cost of energy produced at the green rate (according to Chapter 2), capital (CAPEX) and operating (OPEX) expenses for construction and maintenance of the station.

The annual energy production (P) is determined according to the calculations of the HelioScope application.

CAPEX is defined in accordance with Chapter 4 and divided into two types, CAPEX of the first big contribution to construction and equipment - $C_{ex1} = \$822740$ (total price from Table 2), and overhaul costs every 5 years $C_{ex2} = \$20000$ (the cost of replacing or repairing decommissioned equipment and constructions, approximate prices according to Table 2). OPEX - $O_{ex} = \$2800$ is the average value on the Ukrainian market to pay workers for the maintenance of the station twice a month.

All calculation in this Chapter will be shown an example of first year electricity production. Rest of calculations shown in Table 4.

First of all we need to summarize costs (C) for each year.

$$C_1 = (-C_{ex1}) + (-O_{ex}) = 0 + (-2800) = \$(-2800)$$

For other years (C) can include both of the additions or other capital expense.

Second important value is cash flow (Cf) that can be calculated by the formula:

$$Cf_1 = P \cdot t_{0.17} + C_1 = 1228638,5 \cdot 0,17 + (-2800) = \$206068,5$$

where $t_{0.17}$ – "green tariff" according to Chapter 2. In the same Chapter also described "green tariff" for the rest years. The tariff is converted into dollars.

To find revenue (R), we need to sum the cash flow from the current year with all previous:

$$R_1 = Cf_1 + Cf_0 = 206068,5 + (-822740) = \$-616671,5$$

Table 4

∑, Year		1238546,9	1238703,2	1239544,0	1238726,1	1238631,0	1238625,9	1238699,2	1238723,4	1238667,0	1238552,2
Degradation%	0,00	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,00
With degradation		1228638,5	1218883,9	1209794,9	1199086,9	1189085,8	1179171,9	1169332,0	1159445,1	1149483,0	1139468,0
Costs	-822 740,00	-2 800,00	-2 800,00	-2 800,00	-2 800,00	-22 800,00	-2 800,00	-2 800,00	-2 800,00	-2 800,00	-22 800,00
Cash flow	-822740,0	206068,5	152607,7	151448,9	150083,6	128808,4	147544,4	146289,8	145029,3	143759,1	122482,2
Revenue($)	-822740,0	-616671,5	-464063,7	-312614,9	-162531,3	-33722,9	113821,5	260111,4	405140,6	548899,7	671381,9
Tariff($/kWh)	0	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
CAPEX	822 740,00					20000,0					20000
OPEX		2800,0	2800,0	2800,0	2800,0	2800,0	2800,0	2800,0	2800,0	2800,0	2800,0

. – The calculations results of cash flow and revenue for each year.

The next step of the calculation is determining of IRR and NPV.

To calculate IRR I used Excel, namely IRR function which includes cash flow of all SPP work period and in my case, it is equal 13,57%.

For net present value calculation, we can use two ways in Excel. First one is kind of manual calculation which include Discount factor (Df), Discount cash flow (DCf) and summation of all cash flows (Cf).

All calculation in this Chapter will be shown an example of first year electricity production. Rest of calculations shown in Table 5.

To Discount factor calculate by the formula:

$$Df_1 = \frac{1}{(1+Dr)^{per1}} = \frac{1}{(1+4\%)^1} = 96\%$$

where *Dr* = discount rate which equal 4%, *per* – period of calculation.

Discount cash flow (*DCf*) can be calculated:

$$DCf_1 = Cf1 \cdot Df1 = 206068,5 \cdot 96\% = 198142,84$$

To calculate NPV we should use NPV value from previous year and discount cash flow from current year. NPV_0 equal discount cash flow [7]:

$$NPV_1 = NPV_0 + DCf_1 = -822740 + 198142,84 = -\$624597,16$$

To calculate NPV by Excel in another way we need to use NPV function which include Cash flow and Discount rate from current period and all periods before without Cash flow from zero period plus Discount Cash flow from zero period. To calculate it for last period we need to use all periods without Cash flow from zero period plus Discount Cash flow from zero period.

All calculations of this part of project are shown in Table 5.

Table 5. – Calculation of IRR and NPV.

Discount rate	4%	IRR(%)	Discount factor	Discount CF	NPV($)
Period	Cash flow($)				
0	-$822 740,0	13,57%	100%	-822 740,00	-$822 740,00
1	$206 068,5		96%	198 142,84	-$624 597,16
2	$152 607,7		92%	141 094,40	-$483 502,76
3	$151 448,9		89%	134 637,48	-$348 865,28
4	$150 083,6		85%	128 292,07	-$220 573,21
5	$128 808,4		82%	105 871,14	-$114 702,07
6	$147 544,4		79%	116 606,49	$1 904,42
7	$146 289,8		76%	111 168,25	$113 072,67
8	$145 029,3		73%	105 971,45	$219 044,13
9	$143 759,1		70%	101 003,22	$320 047,35
10	$122 482,2		68%	82 744,57	$402 791,92

Based on previous calculations, the NPV can be plotted (Figure 3).

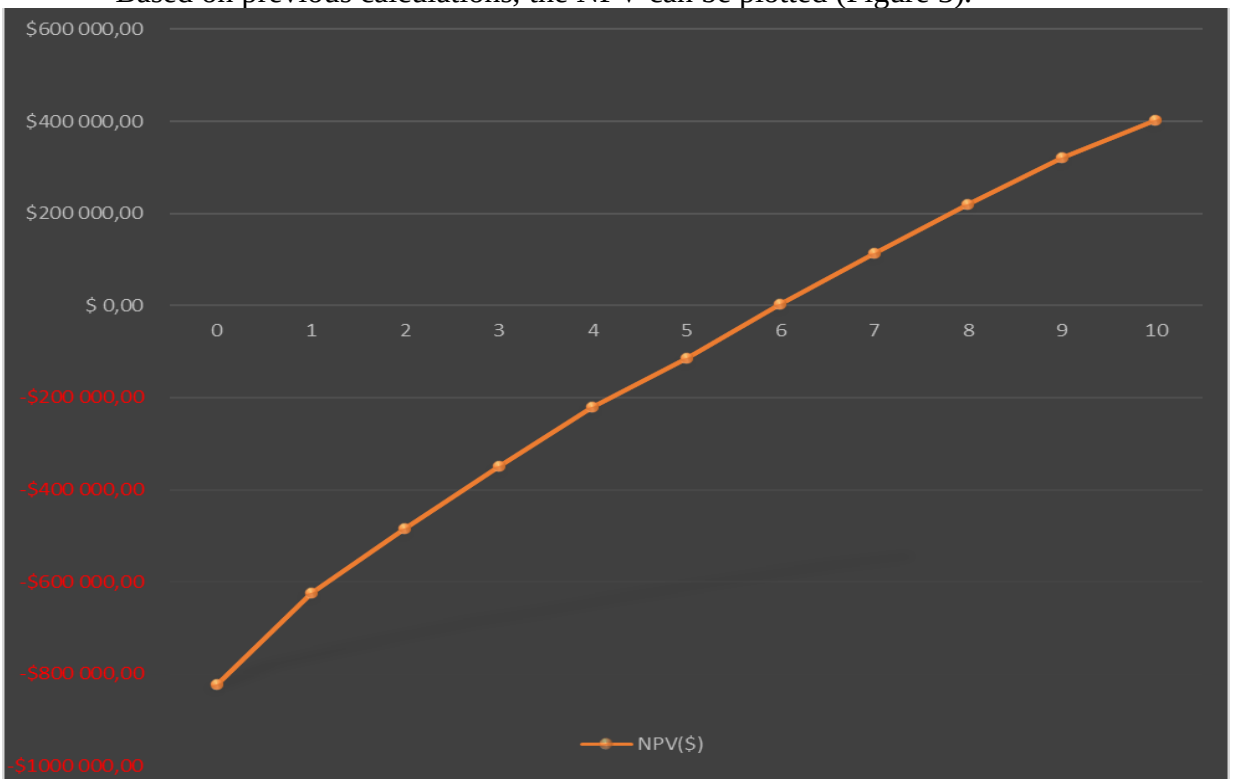


Figure 3. – Dependence of NPV on time.

Conclusions. The analysis of such a station was carried out in connection with the rapid development of RES in Ukraine. The main stimulus for investment in the SPP was "green tariffs" and regulation of the energy market in Ukraine general.

Based on technical calculations in this project, I can draw conclusions that with an increase in the total capacity of photomodules and an inverter load of 120%, the annual amount of energy produced can be significantly improved. Also, to improve the performance of the station, it is important to find the optimal angle of inclination of structures with panels and the distance between them to prevent shading. At the same time, the work of the station during the period of operation is influenced by the factor of degradation of the modules.

According to economic calculations, I determined that after ten years of operation of the station, I received a positive value of NPV, which amounted to approximately 403 thousand dollars. After six years, the station paid off, the NPV was zero.

Based on IRR calculations, we can conclude that the profitability of the station is 13.57%. That makes the station attractive to investors.

So, this study may be useful for the further development of solar energy in Ukraine.

References:

1. Investments in alternative energy: an estimate of the payback of a solar power plant of 1 MW. *GETMARKET*. URL: https://getmarket.com.ua/ua/news/investiciyi-v-al-ternativnu-energetiku-ocinka-okupnosti-sonyachnoyi-elektrostanciyi-v-1-mvt

2. Registration of a green tariff for an industrial solar power plant for legal entities. *ECOTECH-SUN*. URL: https://ecotech-sun.com.ua/p594041814-oformlennya-zelenogo-tarifu.html

3. Review of electricity legislation: what awaits the 2020 market? Greencubator. URL: https://greencubator.info/energy-law-2020/

4. Internal rate of return of the project. Net present value of NPV and internal rate of return IRR in MS EXCEL. COM-ROSELTORG. URL: https://com-roseltorg.ru/uk/uslugi-bankov/vnutrennyaya-norma-pribyli-proekta-chistaya-privedennaya-stoimost-npv-chps-i/

5. Solar panels, modules. *UTEM SOLAR*. URL: https://utem.org.ua/cats/solnechnye_batarei

6. HelioScope. Advanced Solar Design Software. URL: https://www.helioscope.com/

7. Excel NPV function and example how to calculate IRR. *ExcelTABLE*. URL: https://exceltable.com/funkcii-excel/funkciya-vsd-i-irr

Derevianko Denys,
Li Chanchun
Department of Electrical Supply

Simulation of HVDC Transmission System Based on MATLAB

Abstract: *HVDC Light is a new technology of DC transmission, in which VSC (Voltage Source Converter） acted as the core. Control system adopts the PWM (Pulse Width Debugging) technique to reach the high controllable DC transmission. Firstly, the basic structure and fundamental principle of the HVDC Light system were introduced briefly. Then, a simulation model for the typical three-level HVDC Light power transmission system was built on MATLAB. The simulation results were analyzed at last. The simulation results show that the HVDC Light system has good stabilization accuracy and response speed. This study provides a theoretical basis for further research on the physical model of the HVDC Light system.*

Keywords: *HVDC light, voltage source converter, PWM, MATLAB simulation*

1. Introduction（Вступ）

HVDC Light is a new type of power transmission technology developed by ABB in the last century. Using voltage source converter equipment, using IGBT and other turn-off devices on the hardware, using PWM technology for control, no commutation voltage is required, and power can be supplied to passive or active networks. The converters of traditional DC transmission technology use semi-controlled thyristor devices, which have many shortcomings and can only work in active networks [1]. Therefore, there is an urgent need to adopt more flexible, economical and environmentally friendly power transmission methods.

When the light-duty DC transmission system is operating normally, the VSC can independently control the active and reactive power, and can even adjust the power factor to 1. This special function makes the system more rapid and flexible. In traditional HVDC, the control quantity is only the trigger angle, and the power cannot be controlled independently. VSC does not need to provide reactive power on the AC side, and can also dynamically compensate the reactive power of the AC bus, which improves the power angle and voltage stability of the system. When the flow is reversed, the direction of the DC current is reversed, but the polarity remains unchanged, which is the opposite of the traditional HVDC transmission system [2]. This feature makes the control of power flow and parallel multi-terminal DC systems easier, eliminating the disadvantages of complicated power flow control and low reliability when traditional multi-terminal HVDC systems are connected in parallel.

The application of light-duty DC transmission technology does not need to consider the short-circuit capacity of the connection system, and has almost no impact on the AC system. This facilitates the interconnection of non-synchronous power grids and promotes the formation of large-scale unified power grids. The light direct current transmission system can realize the completely independent two-way control of active and reactive power, which is of great significance under the power market conditions. If the HVDC Light system is widely used, different electricity prices can be achieved between different grids.

At present, Asia’s first light HVDC demonstration project—Shanghai Nanhui Wind Farm Light HVDC Transmission Project has been successfully put into operation. This is my country’s first world-class light HVDC transmission line with a transmission capacity of 20MW and a voltage level of 30kV is the largest technology demonstration project of the State Grid Corporation of China[3]

The chapter introduces the basic structure and principle of light direct current transmission, uses MATLAB software to establish a two-phase three-level HVDC Light system simulation model, and details the control system

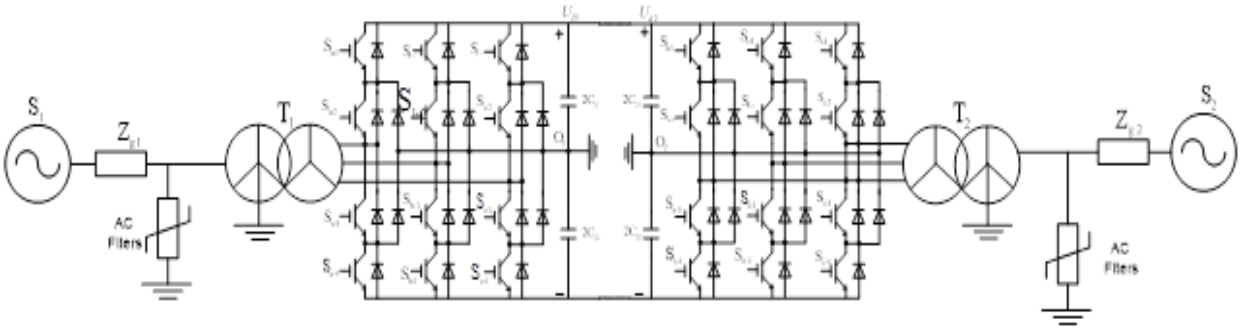


Fig.1 Structure diagram of tri-level HVDC Light system

The chapter introduces the basic structure and principle of light direct current transmission, uses MATLAB software to establish a two-phase three-level HVDC Light system simulation model, and analyzes the control system in detail, and finally performs simulation and waveform analysis on this model system to verify The correctness of the model.

2. Basic structure and principle of HVDC Light system

The schematic diagram of the HVDC Light system structure using three-level VSC is shown in Figure 1. As can be seen from the figure, the main components of the system are: three-level voltage source converter, converter transformer, DC transmission line and AC filter. The structure of the VSC in the figure is composed of multiple series and parallel fully controlled devices IGBTs and anti-parallel freewheeling diodes.

The article mainly studies the three-level HVDC Light system. Both the sending end and the receiving end of the converter station use the same structure of VSC, and each bridge arm is composed of IGBTs. For the IGBT in the figure, it is a component, which means that there are multiple IGBT components. It is composed of series and parallel, which can obtain auxiliary control power for gate drive from the voltage between the two ends of the IGBT. The DC capacitor provides voltage for the inverter side, stabilizes the polarity of the DC voltage, and suppresses the generation of harmonics [4-5].

In the HVDC Light system, an insulating shield of three-core twisted wires is used, which is compressed. The DC voltage reaches 150kV and the current is lower than 1200A. Both the DC line and the DC capacitor use low inductance, which reduces the overvoltage in the system. The converter transformer is the link between the converter station equipment and the AC system, and it also has the function of isolating harmonic currents [6-7]. The AC filter is used to filter out the higher harmonics generated by the inverter.

3. Simulation model of HVDC Light system

3.1 Overall system modeling analysis

Based on the basic principles and structure of the light DC transmission system analyzed above, a three-level control two-end power HVDC Light system simulation model is established in MATLAB. As shown in Figure 2, the system is divided into the following parts: Two-end converter station , Measuring part, coordinate transformation part, outer loop controller, inner loop controller, PWM signal generator. The structure on both sides of the entire converter station is basically the same, including three-phase AC voltage source, three-phase RLC load, inverter, shunt capacitor, etc. The main parameters are: three-phase line voltage 35kV AC, AC side inductance L=33.36 mH, resistance R=0.1Ω, DC line equivalent impedance R=0.015Ω/km, L=0.792mH/km, C=14.4 *n*F/km, the DC line length is 10km, and the DC side capacitance value is 4700F.

The coordinate transformation part in the model is analyzed as follows. Clark transformation is used in the module establishment process. The so-called Clark is to transform the three-phase abc static coordinate to the two-axis stator coordinate system αβ up[8]. The built module is shown in Figure 3. The formula is:

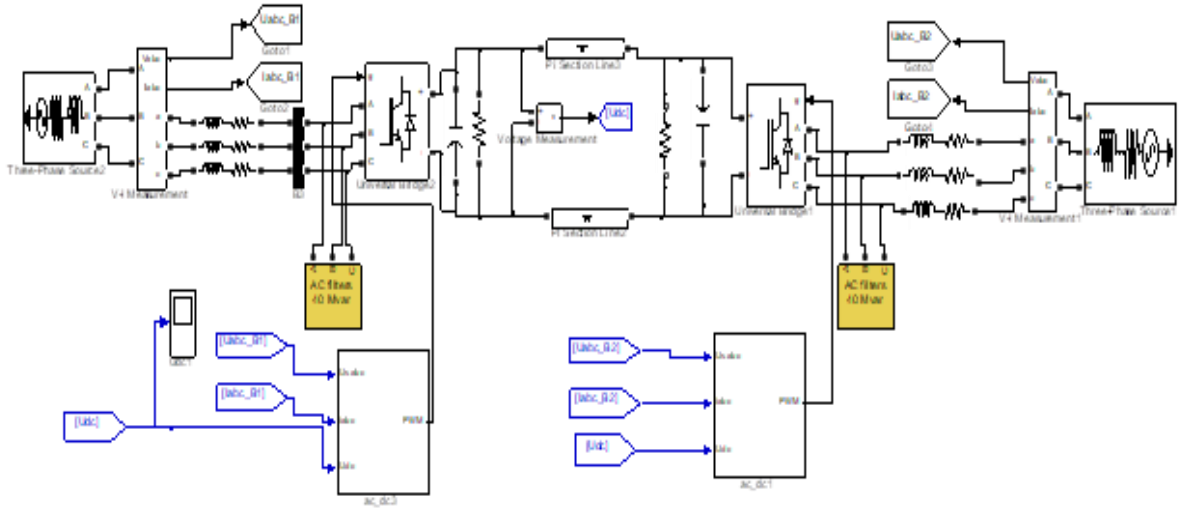


Fig.2 Simulation model of HVDC Light system

$$\begin{pmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{pmatrix} = \frac{2}{3}\begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{pmatrix} \quad (1)$$

The two-phase rotation transformation is to transform the coordinate to the dq axis coordinate. The formula used is:

$$\begin{pmatrix} u_d \\ u_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ -\sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}\begin{pmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{pmatrix} \quad (2)$$

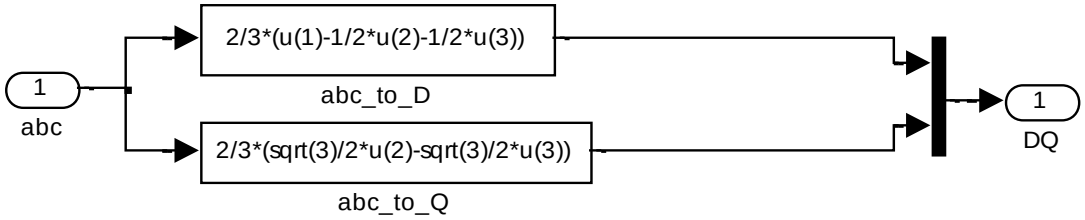


Fig.3 Module chart of Clark transformation

3.2 Modeling analysis of inner and outer loop current controller（Матеріал і результати досліджень）

Taking the outer loop control on the rectifier side as an example, the outer loop controller has two main functions: First, the deviation of the command value of the DC voltage and the DC voltage is sent to the PI controller to obtain the reference value of the active current I_{qref} and the value of the reactive current I_{dref}. The reference quantity is directly set as 0 here. Finally, the two current reference quantities are set as the input quantities of the current inner loop. Second, convert the grid voltage and current to the dq axis coordinates as the input of the current inner loop.

First obtain the dq axis current and voltage equation:

$$\begin{cases} L\frac{di_d}{dt} = -Ri_d + \omega Li_q + u_{\mathrm{sd}} - u_{\mathrm{cd}} \\ L\frac{di_q}{dt} = -Ri_q - \omega Li_d + u_{\mathrm{sq}} - u_{\mathrm{cq}} \end{cases} \quad (3)$$

In the formula, $u_{\mathrm{sd}}$and$u_{\mathrm{sq}}$are grid voltage d, q-axis component, $u_{\mathrm{cd}}$and$u_{\mathrm{cq}}$are converter AC side voltage fundamental wave d, q-axis component, i_d and i_q are grid current d, q-axis component, R and L are three-phase Load impedance and reactance.

Equation (3) shows that the d and q axis currents are not only affected by the control variables u_d and u_q, but also by the current cross-coupling phases ωLi_q and $\omega Li_d$and the grid voltage u_{sd} and

u_{sq}. In order to eliminate the current coupling between the d and q axes and the grid voltage disturbance, equation (3) is changed to equation (4), where v^*_d and v^*_q are voltage components with first-order differential relations with i_d, i_q, respectively. By introducing it to achieve decoupling of nonlinear equations, the decoupling term can be achieved by the proportional integral link shown in the formula to compensate for the voltage drop [9]. At the same time, the dynamic performance of the system can be improved by introducing feedforward compensation.

$$\begin{cases} u_{cd} = u_{sd} - v^*_d + \omega L i_q \\ u_{cq} = u_{sq} - v^*_q - \omega L i_q \end{cases} \quad (4)$$

In formula

$$\begin{cases} v^*_d = L\dfrac{di_d}{dt} + Ri_d \\ v^*_q = L\dfrac{di_q}{dt} + Ri_q \end{cases}$$

$$\begin{cases} v^*_d = K_{p1}(i_{dref} - i_d) + K_{i1}\int(i_{dref} - i_d)dt \\ v^*_q = K_{p2}(i_{qref} - i_q) + K_{i2}\int(i_{qref} - i_q)dt \end{cases}$$

Based on the above analysis, the MATLAB simulation models of the outer loop and inner loop current controllers are established respectively, as shown in Figures 4 and 5. The voltage component v^*_d, v^*_q obtained by the current inner loop is rotated and transformed to the αβ axis, and then sent to the SVPWM modulator to obtain the PWM signal, and finally sent to the three-phase voltage source converter.

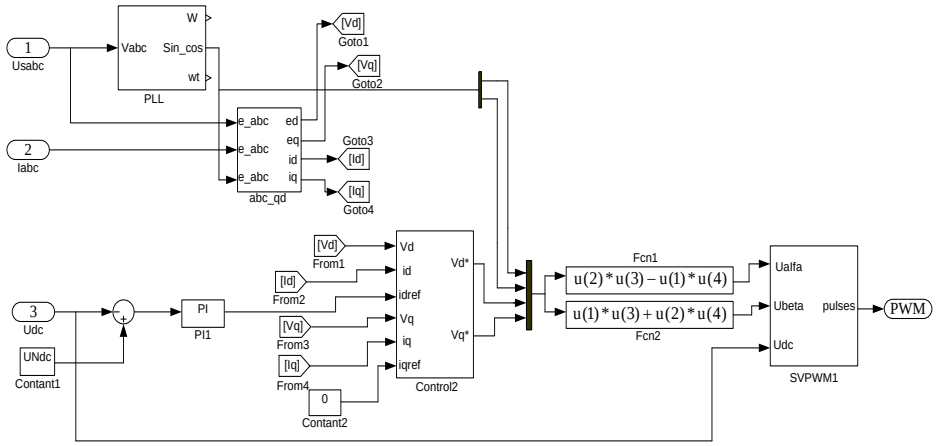


Fig.4 Outer-loop current controller of HVDC Light system

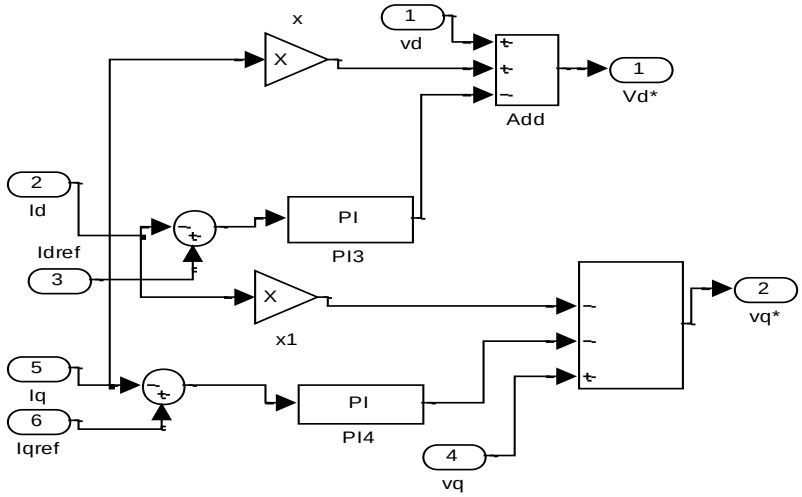


Fig.5 Inner-loop current controller of HVDC Light system

4. Simulation results and analysis of HVDC Light system

Simulate the HVDC Light system model established above, and observe the output waveform

in the measurement module. The voltage and current waveforms of phase A on the AC side are shown in Figure 6 below. It can be found that the voltage waveform is good, but the current waveform has harmonics, so it is necessary to improve the filter device in the model. The DC voltage waveform is shown in Figure 7 below. It can be seen from the waveform that after a period of time, the response of the DC voltage waveform is stable at about 55kV, which is consistent with the theoretical analysis and also verifies the correctness of the model.

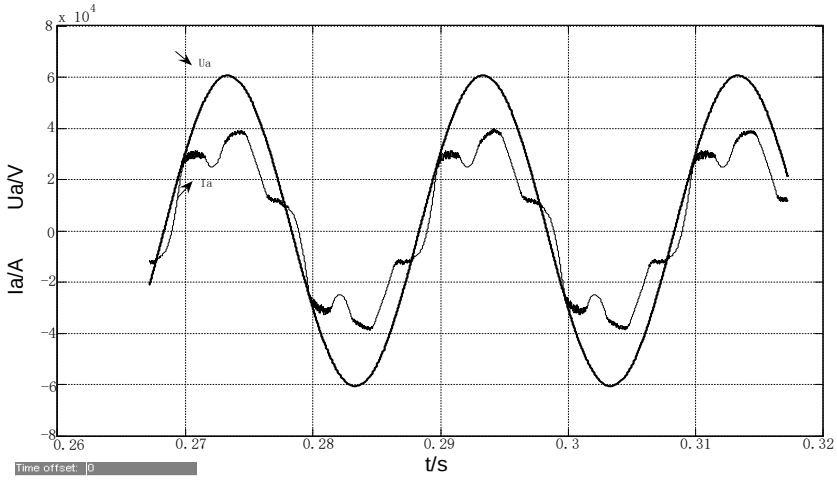


Fig. 6 Voltage and current waveform of phase A

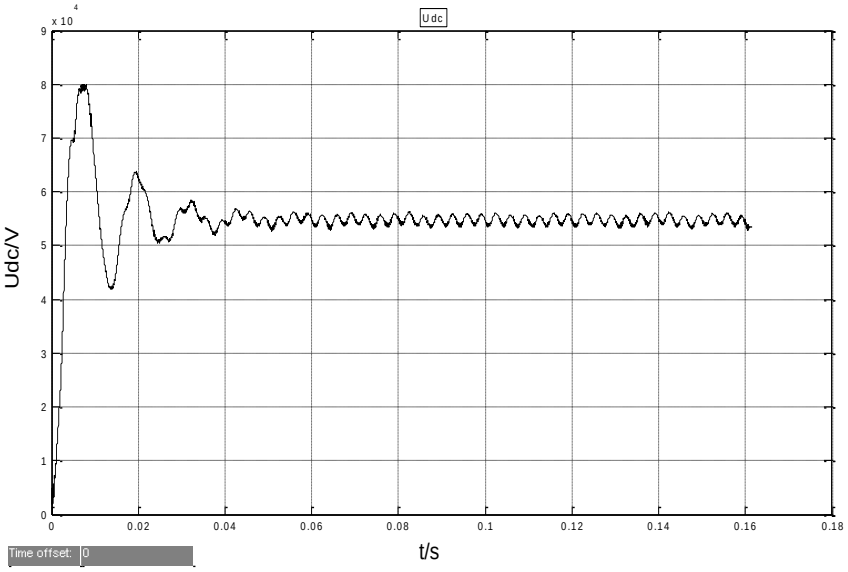


Fig.7 Output waveform of DC voltage

Grid current d, q axis components i_d, i_q waveforms are shown in Figure 8 below. It can be seen from the waveform that i_q follows the given value i_{qref}, its response is zero, and i_d fluctuates around a stable value.

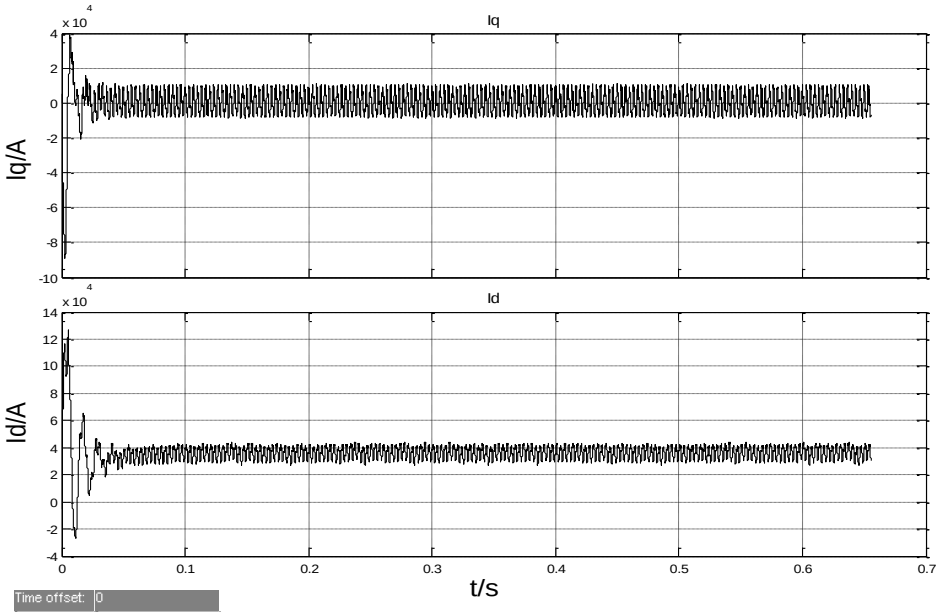


Fig.8 Waveform of d, q axis component currenti_d, i_q in power system

The system active power and reactive power waveforms are shown in Figure 9 below. It can be found that the basic reactive power response is quickly zero, which ensures the power factor of the entire system, and the active power remains in a basically stable state after a period of time. Slight fluctuations.

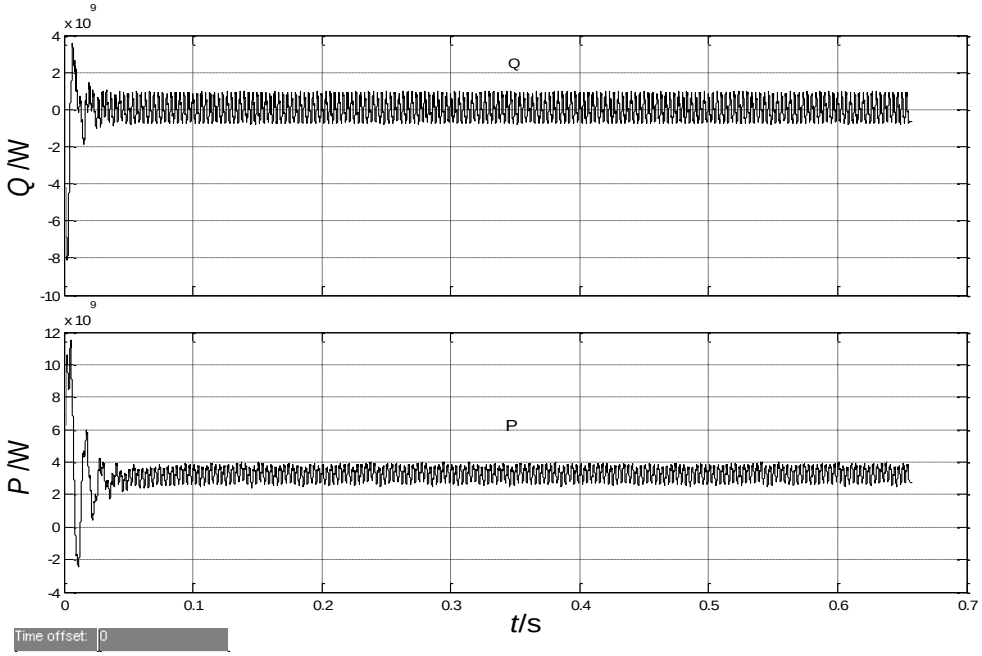


Fig.9 Waveform figure of active power and reactive power in system

From the above waveforms, it can be seen that the system model established in the article also has shortcomings. The three-phase current waveform on the AC side has a large harmonic distortion rate. The parameter setting of the filter should be improved; the waveforms of the DC voltage, active power and reactive power are parallel. It is not very smooth and has certain fluctuations, and the PI regulator parameters need to be improved.

5. Conclusion（Висновки）

Light-duty DC transmission technology is the development direction of future power transmission technology. It has more advantages than traditional DC transmission technology. It can

quickly and more flexibly control active and reactive power, and also improves the voltage stability of the system [10]. The article describes the basic principles of the light DC transmission system. On this basis, the MATLAB steady-state simulation model of the three-level HVDC Light system is established. The current double closed loop of DQ coordinates is used to control the AC voltage of the HVDC Light system. A detailed analysis was carried out, and finally the output results were summarized and analyzed to verify the feasibility of the system.

The simulation results of the article show that the HVDC Light system with DQ coordinate current double closed-loop control has stable current waveform, stable DC voltage waveform and faster response speed. The whole system has good stability accuracy and response speed. At the same time, this direct current control strategy can well realize the decoupling control of active power and reactive power. The correctness and rationality of the simulation model and control system of the HVDC Light system established in the article are verified. It has laid a theoretical foundation for further research on the light-duty direct current transmission system in the future.

The control strategies of light-duty HVDC systems are based on steady-state models, and the control strategies of dynamic models can be further studied. The light-duty DC transmission technology is more suitable for the development of multi-terminal DC transmission, and indepth research can be conducted in this area in the future.

References

[1] Liu Hongtao. Study of control and protection strategies for VSC based HVDC system[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.
[2] Ren Yongpeng. Study of control strategy for the HVDC-VSC Transmission system based on three-level VSC[D]. Nanning: Guangxi University, 2005.
[3] Tan Yuru. Research on main circuit topology and modulation of HVDC-Light [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.
[4] Chang Dongxu. HVDC light control technology and its realization[D]. Hubei: Huazhong University of Science, 2006.
[5] Li Jinfeng. Control strategy for VSC-HVD and design of control system software[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2005.
[6] Song Hongjin. The research on control strategy for VSC-HVDC[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2008.
[7] Liubo, Dingming, Wu Hongbin. MATLAB simulation of HVDC light system[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2005, 8(6): 624-627.
[8] Yang Xiu, Guo Chenji, Jin Honghe. Review of VSC-HVDC transmission systems[J]. East China Electric Power, 2009, 37(4): 606-610.
[9] Liu Hongtao, Xuzheng. Study on control strategy of three-level VSC-HVDC system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2003, 18(3): 102-106, 58.
[10] Wu Junhong, Ai Qian. Simulation study of three-level convertors for harmonic suppression in HVDC systems[J]. East China Electric Power, 2009, 37(3): 399-402.

Лисий В.В.
Кафедра електропостачання

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА АСИМЕТРІЇ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ТА МЕТОДИ ЇЇ УСУНЕННЯ

Метою статті було відобразити мій план по здійсненню та написанню магістерської дисертації, а також показати результати дослідження за даною темою.

В ході виконання статті були розглянуто особливості аналізу гармонік та визначено один зі способів усунення асиметрії напруги в електричній мережі.

Ключові слова: *асиметрія, вищі гармоніки, інтергармоніки, субгармоніки, парні гармоніки, втрати електроенергії, якість електроенергії, енергоефективність, спектральна щільність, несинусоїдальність напруги*

The purpose of the article was to reflect my plan for the implementation and writing of a master's thesis, as well as to show the results of research on this topic.

In the course of the article the peculiarities of harmonic analysis were considered and one of the ways to eliminate voltage asymmetry in the electric network was determined.

Вступ

Метою наукової роботи є дослідження сучасних методів оцінки та усунення асиметрії напруги та гармонічних спотворень в електричній мережі, аналіз їх ефективності, переваг та недоліків.

У даній роботі розглянута проблема електромагнітної сумісності складовою якої є несинусоїдальні режими, що обумовлюють наявність в кривих струмів та напруг складових вищих гармонік, субгармонік та інтергармонік.

Тому є необхідність розглянути способи мінімізації гармонічних спотворень, оглядаючись на те що при зниженні рівнів вищих гармонік як правило вирішується питання компенсації реактивної потужності.

Актуальність теми

Актуальність роботи полягає в необхідності розглянути маловивчену частину питання якості напруги та електромагнітної сумісності й дати математичний опис для аналізу гармонічних складових напруги у змішаному спектрі.

Аналіз отриманих рішень дозволить кількісно оцінити рівні вищих гармонік як показників якості напруги.

Наслідки асиметрії

Симетрія трифазної системи означає, що напруга і струм в трьох фазових проводах рівні один одному з періодом 120 °.

Асиметрія виникає, якщо порушене одне з цих умов або обидві умови одночасно. У більшості випадків асиметрію викликають навантаження.

У мережах високої і середньої напруги використовуються, як правило, трифазні і симетричні навантаження, хоча і в них можуть бути присутніми великі одно- або двофазні навантаження (наприклад, індукційні печі з частотою мережі живлення, печі опору і т. П.).

До низьковольтної мережі часто підключають однофазні електричні навантаження (наприклад, персональні комп'ютери, побутову радіоелектроніку, освітлювальні прилади і т.п.). і відповідні контури струмів навантаження повинні максимально рівномірно розподілятися за трьома фазовим проводам в рамках електричної розводки. Залежно від врівноваження однофазних навантажень мережа працює в більшій чи меншій мірі симетрично.

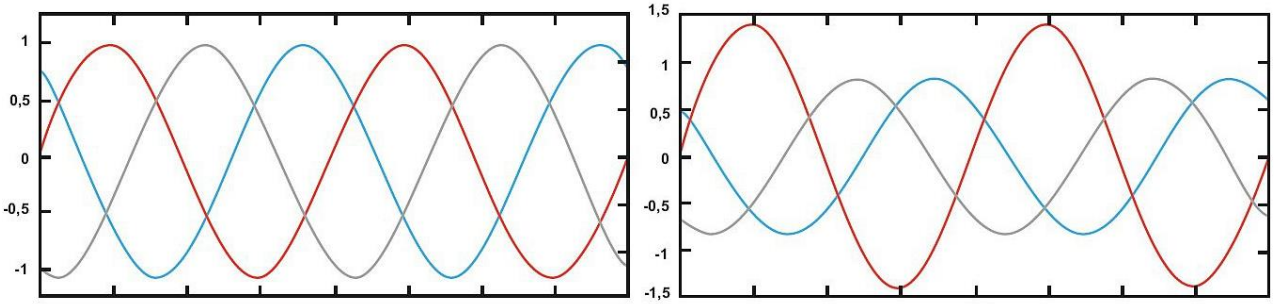


Рисунок 1 – Симетрія та асиметрія

Наслідки асиметрії в мережі:

Підвищена струмовий навантаження і втрати в мережі.

– При рівній потужності споживачів фазові струми можуть досягати 2 або 3-кратного значення, а втрати зростати від 2 до 6 разів. Кабелі та трансформатори при цьому можна навантажувати тільки на половину або на третину номінальної потужності.

– Підвищені втрати і змінні обертаючі моменти в електрообладнанні.

– Оскільки створюване системою зворотній послідовності фаз поле обертається в напрямку, протилежному до напрямку обертання ковзного контакту, і індукує в ньому струми, виникає додаткове термічне навантаження.

– Випрямлячі струму і інвертори реагують на асиметрію напруги живлення виробленням нехарактеристичних вищих гармонік.

– У трифазних системах з підключенням по типу "зірка" струм протікає через нейтраль.

Джерела спотворення синусоїдальної напруги можуть бути згруповані по основним типам:

1. Силове електронне обладнання: частотні приводи змінного струму, приводи постійного струму, джерела безперебійного живлення, випрямлячі, конвертори, тиристорні системи, діодні мости, плавильні печі високої частоти.

2. Зварювальні апарати, системи управління струмами накладеної частоти, дугові сталеплавильні печі які генерують широкий і безперервний спектр гармонік.

3. Трансформатори з нелінійними характеристиками.

4. Статичні перетворювачі частоти, циклоконвертори.

5. Двигуни, генератори, і т.д., двигуни можуть генерувати
гармоніки через наявність зазору між статором і ротором.

6. Побутова техніка: комп'ютери, телевізори, СВЧ-печі.

7. Освітлювальні установки.

Зниження несинусоїдальності напруги забезпечується або раціональними побудовами схем електричної мережі підприємств, при якій коефіцієнт перекручування кривої напруги буде в допустимих межах, або застосуванням спеціальних схем нелінійних навантажень, а також коригувальних пристроїв.

Особливості аналізу інтергармонік

Інтергармоніки являють собою синусоїдальні процеси зміни за часом миттєвих значень и напруги, частота яких відрізняється від частоти 50 Гц у меншу або більшу сторони. У проектуванні використовуються періодичні графіки u(t), по яких розрахунок будь-яких гармонік виконується шляхом розкладання в ряд Фур'є за час тривалості циклів. У діючих електричних мережах такої ясності немає, оскільки стандарт передбачає визначення тільки вищих гармонік різними вимірюваними вікнами у широкому діапазоні їх ширини: від 0,08 до 0,5 с. показано, що такий підхід не забезпечує достовірності оцінок ЕМС за вищими гармоніками.

Для наочності розглянемо суму:

$$u(t) = u_f(t) + u_v(t) = sin\omega_1 t + \alpha sin\omega_v t$$

перша (корисна) складова якої має частоту f1 = 50 Гц і одиночну амплітуду, а друга є завадою – інтергармонікою з частотою ν і амплітудою α < 1. Якщо частота завади є раціональним числом, то процес (1) буде періодичним, тривалість циклу Tμ якого залежить від співвідношення частот f1 і ν. При ірраціональній частоті процес буде неперіодичним. Слід зазначити, що мале змінення частоти інтергармоніки може приводити до значного змінення тривалості циклу. Наприклад, при ν = 4 Гц цикл Tμ = 0,5 с, а при близькій частоті √16,1 = 4,012 Гц він є нескінченним.

Ідеалізоване гармонічне коливання з частотою λ << 50 Гц приблизно описується виразом, до якого входить не тільки несуча частота 50 Гц, але і дві інтергармоніки. Тривалість циклу залежить від співвідношення частот 50 Гц і λ: наприклад, при λ = 25 Гц маємо Tμ = 0,04 с, а при 27 Гц – 1 с. При великих частотах (практично λ > 6 Гц) у циклі 20 мс з'являються інші гармоніки, які модулюються частотою λ, тому фактичний спектр гармонік значно збільшується.

У діючих електричних мережах процес u(t) є випадковим, для якого поняття «гармоніка» не має смислу. Він описується спектральною щільністю, яка має великий максимум на частоті 50 Гц і може мати максимуми на інших частотах. Оскільки показники несинусоїдальності нормуються окремо від складової 50 Гц, з процесу u(t) доводиться виділяти несинусоїдальну складову uν(t) шляхом пропускання u(t) через вузькосмуговий фільтр з частотою настройки 50 Гц, або поциклічним виділенням синусоїди 50 Гц на інтервалах 0,02 с.

Використання силових резонансних фільтрів

Використання силових резонансних фільтрів є досить розповсюдженим способом мінімізації вищих гармонік. Незважаючи на те що вони мають ряд недоліків, таких як значна встановлена потужність і необхідність використання декількох фільтрів що налаштовуються на різні гармоніки для досягнення припустимого рівня несинусоїдальності. Окрім того, амплітудно частотні характеристики вхідного опору мережі живлення впливають на якість фільтрації за домомогою силових резонансних фільтрів. По-третє, при складному характері амплітудного спектра струмів і напруг застосування резонансних силових резонансних фільтрів може виявитись неефективним, особливо у випадку наявності гармонічних складових порядку, нижчого, ніж той, на який налаштований фільтр. Таким, чином, для мінімізації гармонічних спотворень необхідно підійти до вибору силових резонансних фільтрів з огляну на особливості їх застосування. При цьому можна розглянути застосування демпфувальних фільтрів що дозволяють розширити смугу пропускання а також складних фільтрів.

Традиційні резонансні ФКП фільтри першого порядку з послідовно включеними ємністю та індуктивністю мають обмежене застосування при мінімізації інтергармонік, що пов'язане з тим що резонансні ФКП є вузькосмуговими, тому може знадобитись установка декількох фільтрів, налаштованих на різні частоти.



Рис. 2 – Схема резонансного фільтра

Фільтри характеризуються такою величиною, як добротність, що визначає компенсаційну здатність фільтра. Добротність контуру резонансного фільтра q визначається рівностями:

$$q = \frac{v_p X_L}{R} = \frac{R}{v_p X_C}$$

де v_p– частота настроювання фільтра; X_L і X_C - опори реактора й конденсатора фільтра; R - сумарний активний опір кола фільтра.

Для випадку «густого» спектра ІГ доцільне застосування демпфувальних фільтрів. Демпфувальний фільтр складається з конденсатора й реактора, паралельно якому підключено активний опір.

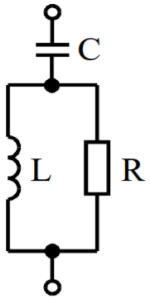


Рис. 3 – Схема демпфувального фільтра

Добротність демпфувального фільтра визначається добротністю паралельного ланцюга RL на частоті настроювання фільтра:

$$q = \frac{R}{v_p X_L}$$

При необхідності мінімізації декількох гармонічних складових доцільно використовувати дворезонансні фільтри, які складаються із двох конденсаторів і двох реакторів, включених паралельно.

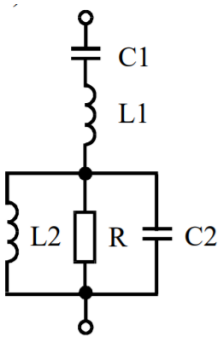


Рис. 4 – Схема дворезонансного фільтра

Дворезонансний фільтр має послідовні резонанси на двох частотах, на яких він ефективно усуває відповідні гармонічні струми. Крім того, фільтр утворює паралельне резонансне коло, налаштоване на бажану частоту між двома іншими. Добротність дворезонансних фільтрів визначається як добротність паралельних X_{L2} та R елементів при середній частоті v_{cp}.

$$q = \frac{R}{v_{cp} X_{L2}}$$

Якщо є потреба в мінімізації ІГ з відносними частотами, які менші частоти основної гармоніки, представляється доцільним використовувати складні фільтри. На рис. 4 наведена схема одного з таких фільтрів – фільтра С-типу.

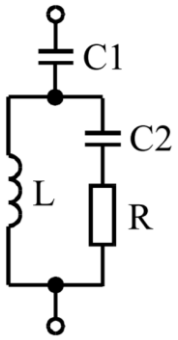


Рис. 5 – Схема фільтра С-типу

Фільтр має дві резонансні частоти, одна з яких відповідає послідовному резонансу, інша – паралельному. Параметри фільтра повинні бути обрані таким чином, щоб послідовний резонанс мав місце на частоті гармоніки, що підлягає компенсації (або близької до неї); паралельний резонанс – на частоті основної гармоніки. Фільтр Стипу є варіацією демпфувального фільтру, і його добротність визначається виразом:

$$q = \frac{R}{v_p X_L}.$$

Мінімізація гармонійних спотворень та результати встановлення фільтрів

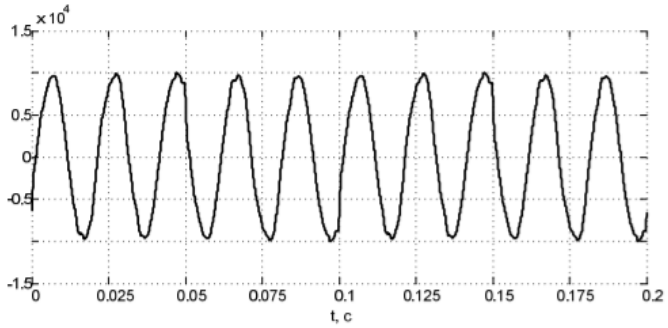


Рис. 6. Осцилограма напруги до встановлення фільтра

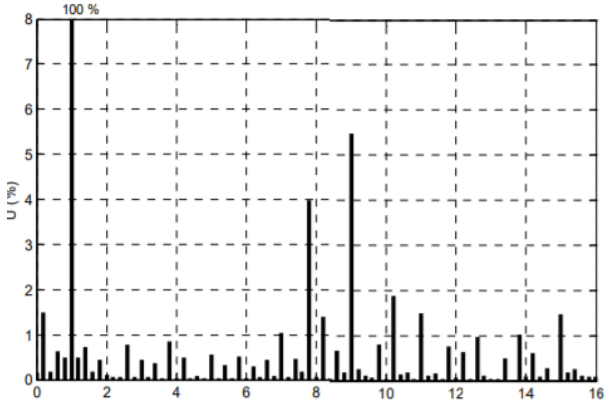


Рис. 7. Амплітудний спектр напруги до встановлення фільтра

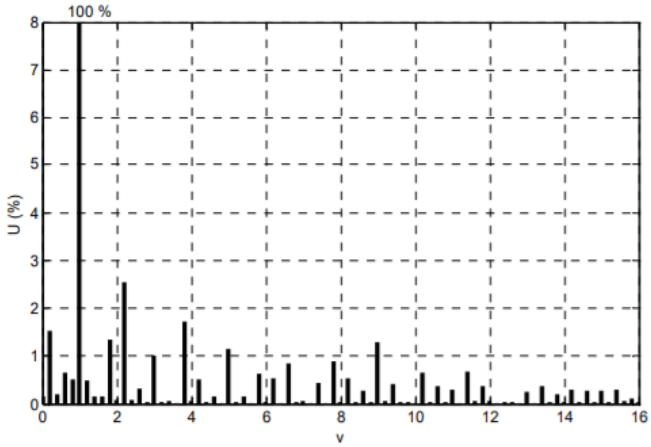


Рис. 8. Амплітудний спектр напруги після встановлення демпфувального фільтра

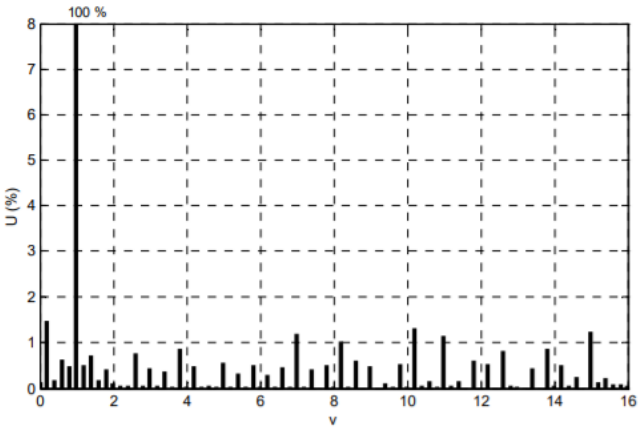


Рис. 9. Амплітудний спектр напруги після встановлення дворезонансного фільтра

При мінімізації дискретного гармонічного спектра можна зробити такі зауваження:

– чим більше необхідна частота налаштування резонансного фільтра, тим менше його встановлена потужність (при однаковій компенсувальній здатності), що пояснюється видом частотних характеристик модулів опорів фільтрів у різних зонах установки;

– при наявності в гармонійному спектрі досить близько розташованих гармонійних складових, що вносять найбільші спотворення в криві напруг, перевагу варто віддавати встановленню дворезонансних фільтрів, тому що в цьому випадку потрібна найменша встановлена потужність фільтрів.

Висновки

Складовою частиною проблеми електромагнітної сумісності є несинусоїдні режими. Вони обумовлюють наявність у кривих струмів і напруг різних гармонічних складових – вищих гармонік, субгармонік і інтергармонік. При наявності в електричній мережі джерел ІГ виникає питання зниження їх рівнів, поряд зі зниженням рівнів ВГ. Вплив ІГ на роботу споживачів електроенергії аналогічний впливу ВГ. Тому й підхід до мінімізації ІГ представляється таким же, як і до мінімізації ВГ.

Також, що стосується гармонік - можна сказати, слід більш детально вивчати джерела їх виникнення, для зменшення їх впливу на електричну мережу, а у тих випадках, де гармоніки стають шкідливими, треба намагатися перш за все уникнути їх посилення, створюючи для них резонанс, щоб зміни опорів установки були достатні для усунення тих чи інших гармонік.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю. Л. Саєнко, Т. К. Бараненко, Є. В. Бараненко. "Зниження рівнів гармонічних спотворень в електричних мережах з джерелами інтергармонік" Электрификация транспорта, no. 3, 2012, pp. 78-83.
2. Сыченко В. Г., Зубенко В. А. Оценка эффективности функционирования сглаживающих фильтров тяговых подстанций постоянного тока // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2008. №25.
3. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий [Текст] / И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 375 с
4. Оценка эффективности функционирования сглаживающих фильтров тяговых подстанций постоянного тока
5. Орлов А.И. Статистические методы и анализ данных// Социология. – 1991.- № 2. - С. 28 – 49.
6. Дж. Вэн Райзин. Классификация и кластер. Перевод с английского П.П.Кольцова под редакцией Ю.И.Журавлева// Издательство. – М.:Мир, 1980. – 389 с.
7. Zhezhelenko, I. V. Centralized compensation of high harmonics in electrical networks [Текст] / I. V. Zhezhelenko, Y. L. Sayenko // Proc. 5th International Conference Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU’99). – Cracow (Poland), 1999. – P. 335-340.

Лунін М.М.
Кафедра електропостачання

МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ ГЕНЕРАЦІЄЮ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В статті показано сучасний стан електроенергетичної галузі України: особливості покриття попиту споживачів на електричну потужність в ОЕС України, негативний вплив некерованого використання СЕС на режими роботи енергоблоків ТЕС. Запропоновано можливе часткове вирішення даної проблеми, а саме механізм адресного управління сонячною генерацією. Здійснено попередню оцінку зниження витрат ТЕС в результаті управління робочою потужністю станцій. Наслідком такого зниження являється розподіл заощаджених коштів учасникам механізму згідно їхньої участі в проекті.

Ключові слова: електроенергетика, споживачі, потужність, сонячна електростанція, енергоблок, механізм управління, контрольоване використання СЕС, оцінка зниження витрат, учасники проекту регульована потужність.

The article shows the current state of the power industry of Ukraine: features of covering consumer demand for electricity in the UES of Ukraine, the negative impact of uncontrolled use of SES on the modes of operation of TPP units. A possible partial solution to this problem is proposed, namely the mechanism of targeted control of solar generation. A preliminary assessment of the reduction of TPP costs as a result of station capacity management has been made.The consequence of such a reduction is the distribution of savings to the participants of the mechanism according to their participation in the project.

Keywords: electricity, consumers, capacity, solar power plant, power unit, control mechanism, controlled use of SES, cost reduction assessment, project participants adjustable capacity.

Відомо, що енергетична галузь України має низку проблем, наявність яких негативно позначається на її функціонуванні зараз і може суттєво ускладнити подальший розвиток вітчизняної енергетики. Перш за все мова йде про такі проблеми української електроенергетики як дуже великий відсоток фізично зношених генеруючих потужностей в енергосистемі, несприятлива структура цих потужностей, нерівномірне електричне навантаження енергосистеми, недостатня пропускна здатність електричних мереж тощо[1]. З цієї точки зору важливою та актуальною є тенденція стрімкого розвитку в Україні відновлюваної енергетики, і в першу чергу, створення та використання численних сонячних електростанцій (СЕС). Однак певну стурбованість викликає та обставина, що в Україні широким загалом (крім досить вузького кола фахівців енергетичної галузі) створення і використання об'єктів відновлюваної енергетики сприймається як процес, абсолютно відокремлений від функціонування і подальшого розвитку існуючої електроенергетичної системи в цілому.[2] Тим часом, як відомо, застосування сучасних відновлюваних джерел, зокрема сонячних електростанцій, є економічно доцільним лише у разі їх приєднання до мереж ОЕС і продажу генерованої ними електричної енергії за «зеленим тарифом». А отже відновлювана енергетика, зокрема сонячна генерація, неминуче впливає і буде впливати надалі на режими роботи об'єднаної енергетичної системи.

Враховуючи ці особливості, можна стверджувати, що безконтрольне (некероване) використання сонячних електростанцій поступово все більш загострюватиме одну з найбільших відчутних проблем об'єднаної енергетичної системи – нерівномірність добових графіків навантаження традиційної генерації, зокрема теплових електростанцій (ТЕС), що у поєднанні з дефіцитом маневрених генеруючих потужностей в енергосистемі неминуче призведе до зниження надійності та економічності її функціонування. [2]

Є очевидним, що збільшення нерівномірності електричного навантаження енергоблоків ТЕС неминуче пов'язане з появою значних додаткових витрат на виробництво електроенергії, що негативно позначиться на економічності функціонування об’єднаної енергетичної системи в цілому, та стане ще однією вагомою причиною підвищення оптових цін та роздрібних тарифів на електричну енергію.

Зараз загальна встановлена потужність об’єктів сонячної енергетики в Україні уже є досить значною, та стрімко зростає. Роботами в області питання неконтрольованої генерації СЕС та вирівнюванню графіків навантаження, зокрема, присвячена така праця: «Сценарний аналіз можливих результатів безконтрольного розвитку сонячної енергетики в Україні».

Отже, метою цієї публікації є розроблення методичних основ створення механізму адресного управління генерацією сонячних електростанцій, завданням якого є стимулювання подальшого розвитку та успішного інтегрування до ОЕС об’єктів сонячної енергетики без використання «зеленого тарифу».

Попит споживачів на електричну потужність в об’єднаній енергетичній системі України має нерівномірний характер, що, з рештою, є характерним для будь-якої країни світу. Найбільш сильний негативний вплив на функціонування енергетичної системи здійснює добова нерівномірність графіків її навантаження.

Необхідність покриття нерівномірного навантаження неминуче пов’язана зі зниженням надійності та економічності функціонування енергосистеми, основною причиною чого є те, що в ОЕС України існує значний дефіцит маневрених генеруючих потужностей, тобто енергоблоків, які здатні швидко виходити на робочий режим з гарячого або з холодного резерву, а також у широкому діапазоні змінювати величину своєї електричної потужності. Тому, в якості маневрених енергоблоків часто мусять використовуватись блоки, ТЕС ГК які для цього конструктивно не призначені (на час нічного провалу навантаження енергосистеми в основному виводяться в холодний резерв (зупиняються) теплові енергоблоки потужністю 150 та 200 МВт, а також корпуси блоків 300 МВт. Тобто, можна прийняти, що середня потужність енергоблоків ТЕС, які використовуються для регулювання потужності, що генерується в енергосистемі, складає 200 МВт). Це збільшує витрати на їх експлуатацію, та знижує надійність та коефіцієнт використання встановленої потужності. [3]

Бажане зниження додаткових витрат ТЕС, пов’язане з нерегульованим використанням СЕС, підвищення надійності й економічності функціонування енергосистеми, забезпечення потрібної якості електроенергії у значній мірі можуть бути досягнуті шляхом ефективного та цілеспрямованого управління генерацією електроенергії сонячними електростанціями чи, інакше кажучи, шляхом управління робочою потужністю СЕС в енергосистемі. Для здійснення такого управління може бути організовано окремий, спеціальний проект (далі Проект), який має економічно стимулювати власників СЕС до відповідного регулювання робочої потужності цих електростанцій)

В якості «інструменту» для залучення власників СЕС до Проекту з регулювання генерації електроенергії сонячними електростанціями пропонується встановлення та використання при розрахунках між відповідними продавцями та покупцями електроенергії плати за так званий профіль електричної потужності, тобто за певну, заздалегідь визначену конфігурацію добових графіків робочої потужності СЕС[4].

Принципова особливість використання запропонованої плати полягає в тому, що вона буде здійснюватися покупцями електроенергії (відповідними сегментами оптового ринку електроенергії) її продавцям (власникам СЕС) в залежності від форми добових графіків генерації СЕС. При цьому ця плата буде надаватись цілеспрямовано, адресно, тобто, тільки тим сонячним електростанціям, на яких буде здійснюватись управління їх робочою потужністю.

Встановлення такої плати покладе початок формуванню ринку послуг, на якому власники СЕС будуть цілеспрямовано надавати відповідним операторам системи розподілу, а

тим самим, і ОЕС України послуги у вирішенні задачі покращення режимів роботи традиційної генерації в енергетичній системі та підвищення надійності і економічності її функціонування.

Дана послуга полягає у тому, що окремі власники СЕС беруть на себе зобов'язання сформувати й у подальшому підтримувати певну, заздалегідь погоджену конфігурацію добових графіків генерації та відпуску електроенергії в ОЕС зі своїх станцій.

Очевидним є, що створення та застосування такого механізму управління сприятиме контрольованому подальшому розвитку відновлюваної генерації, зокрема, сонячної енергетики, а також успішному її інтегруванню в ОЕС України.

Однією з головних переваг запропонованого механізму адресного управління генерацією СЕС є те, що він може бути використаний без значних змін діючого порядку функціонування ринку електричної енергії, тобто без зміни (чи з незначними змінами) діючих документів у даній сфері. А це, у свою чергу, дає можливість зменшити кількість потрібних погоджень і максимально скоротити час, необхідний для апробації та впровадження такого механізму.

До участі у Проекті подальшого контрольованого виробництва електроенергії СЕС з використанням запропонованого механізму адресного управління сонячної генерації можуть бути залучені всі бажаючі власники СЕС будь якої встановленої потужності, незалежно від форми власності чи відомчої приналежності.

В процесі функціонування механізму адресного управління робочою потужністю СЕС для кожного власника, який бажає прийняти участь в Проекті, має бути запропоновано певний набір («меню») добових графіків (профілів) електричної потужності його електростанції, бажаних для об'єднаної енергосистеми України.

Власники вибирають певний графік, погоджують його і у подальшому забезпечують підтримання цього графіка; визначається розмір економії додаткових витрат ТЕС, яка виникає у зв'язку зі зменшенням встановленої потужності нерегульованих СЕС (частина цієї потужності стає регульованою); визначається вплив кожної СЕС, яка приймає участь у Проекті, на зменшення нерівномірності графіка навантаження ТЕС; пропорційно цьому впливу економія додаткових витрат ТЕС розподіляється між СЕС, що приймають участь у Проекті.

В разі реалізації сценарію зростання встановленої потужності СЕС до 8000 МВт баланс між генеруванням електричної потужності в енергосистемі і попитом на неї споживачів тільки частково може бути забезпечено за рахунок маневрених можливостей ТЕС ГК. Частину надлишку потужності, що генеруватиметься сонячними електростанціями, у цьому випадку доведеться компенсувати шляхом повторного зупинення у денні години частини теплових енергоблоків загальною потужністю близько 600 МВТ, які було «піднято» на початку доби, що відповідає 3 енергоблокам з середньою встановленою потужністю 200 МВт. Очевидним є, що для нормального проходження вечірнього максимуму навантаження енергосистеми ці ж 3 енергоблоки ТЕС ГК мають бути знову виведені на робочий режим. Додаткове регулювання робочої потужності енергоблоків ТЕС у разі реалізації сценарію збільшення встановленої потужності СЕС наведено в таблиці 1.

Згідно розрахунків загальні додаткові витрати ТЕС ГК, пов'язані з погіршенням режимів їх роботи в наслідок появи в енергосистемі надлишку нерегульованої електричної потужності, що генеруватиметься сонячними електростанціями, у випадку реалізації сценарію неконтрольованого зростання їх встановленої потужності, становитимуть 5,72 млрд. грн./рік [5]. Проект дозволить знизити ці витрати шляхом контрольованого використання СЕС. Таким чином, заощаджені кошти можуть бути розділені між всіма СЕС, які є учасниками Проекту, згідно впливу кожної з них на зменшення нерівномірності добових графіків навантаження ТЕС.

Таблиця 1 – Додаткове регулювання робочої потужності енергоблоків ТЕС у разі реалізації сценарію збільшення встановленої потужності СЕС до 8000 МВт.

Година доби	Надлишок (-) /дефіцит(+) генерації, МВт	Необхідна робоча потужність ТЕС, МВт	Маневрена здатність ТЕС, МВт	Спосіб та глибина (МВт) регулювання робочої потужності ТЕС		
				Маневрена здатність	Зупинка енергоблоків	Пуск енергоблоків
5	489,534	4401,466	733,65	-489,534	0	0
6	875,38	3526,086	660,2199	-660,2199	-215,1601	0
7	685,065	2841,021	528,9129	-528,9129	-156,1521	0
8	-1,039	2842,06	426,15315	1,039	0	0
9	596,266	2245,794	426,309	-426,309	-169,957	0
10	104,335	2141,459	336,8691	-104,335	0	0
11	353,335	1788,124	321,21885	-321,21885	-32,11615	0
12	-3	1791,124	268,2186	3	0	0
13	-353,335	2144,459	268,6686	268,6686	0	84,6664
14	-530,335	2674,794	321,66885	321,66885	0	208,66615
15	-822,266	3497,06	401,2191	401,2191	0	421,0469
16	-829,961	4327,021	524,559	524,559	0	305,402
17	-798,065	5125,086	649,05315	649,05315	0	149,011185
18	-903,38	6028,466	768,7629	768,7629	0	134,6171
19	-449,534	6478	904,2699	449,534	0	0

Висновки.

1. Некероване використання СЕС та все більш зростаюча встановлена потужність таких електростанцій ще більше загострила одну з найбільших відчутних проблем об’єднаної енергетичної системи України – нерівномірність добових графіків навантаження традиційної генерації, зокрема теплових електростанцій (ТЕС), що призведе до зниження надійності та економічності функціонування енергосистеми в цілому.

2. Необхідність компенсування надлишку нерегульованої електричної потужності, що генеруватиметься сонячними електростанціями, шляхом суттєвої зміни у денний період режимів роботи ТЕС ГК викликає появу значних додаткових витрат на виробництво електричної енергії тепловими енергоблоками, що стане ще однією вагомою причиною для подальшого підвищення оптових цін та роздрібних тарифів на електроенергію.

3. Запропонований механізм дозволяє імплементувати в ОЕС України об`єкти сонячної енергетики без використання «зеленого» тарифу. Це, в перспективі, дозволить покращити режими роботи ТЕС ГК, заощадити кошти, та направити їх, як плату за послуги власникам СЕС, замість «зеленого тарифу». В подальшій перспективі, при збільшенні встановленої потужності СЕС, та збільшенні учасників даного проекту, проблема некерованих сонячних потужностей не буде так гостро відчуватись, а навіть навпаки – можливе заміщення блоків ТЕС сонячними потужностями. Це відповідає європейським та світовим трендам з декарбонізації енергетики та підвищує надійність ОЕС України в цілому.

Список використаної літератури.

1. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей / ДП «НЕК Укренерго». 2019.

2. Праховник А. В. Проблеми методи та засоби управління використанням електричної енергії / А. В. Праховник, В. Ф. Находов. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –1997. – №1. – С. 41–48.

3. Находов В.Ф. Управління режимами споживання та ефективністю використання електричної енергії в енергетичних системах: дис. … докт. техн. наук: 05.14.01 / Київ, 2018. 375 с.

4. Праховник А.В. Маневрене електричне навантаження споживачів як засіб «компенсації» зростання нерегульованих генеруючих потужностей атомних енергоблоків / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, А.І. Замулко. // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро: інформ. зб. –2006. –№2.

5. Сценарний аналіз можливих результатів безконтрольного розвитку сонячної енергетики в україні [Електронний ресурс] // VI Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS’19». – 2019. – Режим доступу до ресурсу: http://pems.kpi.ua/proc/article/view/172989/172774.

УДК 621.311

Людмирська В.В.
Кафедра електропостачання

ОЦІНКА ІННОВАЦІЙНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ «FORECAST AS A SERVICE» З ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ

Анотація: *Метою статті є оцінка інноваційного рішення для стартап проекту «Forecast as a service» з розробки компанією-електропостачальником програмного забезпечення для прогнозування попиту на електричну енергію, що дозволить визначати конкурентно-привабливу ціну на електричну енергію для кінцевих споживачів завдяки підвищенню точності прогнозу. За результатами аналізу сил Портера визначена стратегічна позиція компанії-електропостачальника у лібералізованому середовищі ринку електричної енергії України. Надано оцінку обсягу інвестицій, необхідних для інноваційного рішення по створенню програмного забезпечення для стартап проекту та обґрунтовано доцільність проекту. На підставі PEST-аналізу виявлені та оцінені потенційно-можливі політичні, економічні, соціальні та технологічні фактори впливу зовнішнього макросередовища та ринкових тенденцій на впровадження компанією стартап проекту.*

Ключові слова: *електропостачальник, прогнозування попиту на електричну енергію, інноваційне рішення, стартап проект «Forecast as a service», аналіз сил Портера, PEST-аналіз.*

Abstract *The aim of the article is to evaluate an innovative solution for the startup project "Forecast as a service" to develop software for forecasting electricity demand by the electricity supplier that will determine a competitive and attractive electricity price for end users by improving the forecast accuracy. According to the results of Porter's forces analysis, the strategic position of the electricity supplier in the liberalized environment of the electricity market of Ukraine was determined. An estimate of the amount of investment required for an innovative solution to develop software for startup project is provided and the feasibility of the project is confirmed. Based on the PEST-analysis, the potential political, economic, social and technological factors of impacts of the external macro-environment and market trends on the company's implementation of the startup project were identified and assessed.*

Key words: *electricity supplier, forecasting electricity demand, innovative solution, startup project «Forecast as a service», Porter's forces analysis, PEST-analysis.*

Вступ

За останні роки відбувається реформування та лібералізація українського ринку електричної енергії, що супроводжується прийняттям низки стратегічних, законодавчих та нормативно-правових актів і стратегічних документів відповідно до міжнародних зобов'язань країни, встановлених підписанням Договору про заснування Енергетичного співтовариства та Угоди про асоціацію [1-2]. До найбільш важливих з них слід віднести Закон України «Про ринок електричної енергії», що набув чинності у червні 2017 [3] та Енергетичну стратегію України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність", яка була ухвалена в серпні 2017 року [4].

Метою лібералізації ринку електричної енергії України є створення більш конкурентного середовища. Докладний аналіз структурних перетворень ринку електричної енергії України при впровадженні нової моделі – конкуренції на оптовому ринку електричної енергії, було розглянуто у [5]. Впровадження нової моделі відбувалося в декілька етапів: на першому етапі, який тривав з 1 січня 2019 року до кінця червня 2019 году, було здійснено відокремлення мережевих та постачальних функцій господарської діяльності операторів системи розподілу (ОСР) та створення великої кількості компаній- електропостачальників.

Впровадження другого етапу розпочалося з 1 липня 2019 року, на цьому етапі була розпочата робота ринку на добу наперед, внутрішньодобового ринку, ринку двосторонніх договорів, балансуючого ринку, а також ринку допоміжних послуг.

В умовах нової моделі ринку головною конкурентною перевагою компанії-електропостачальника є вміння сформувати найнижчу ціну для кінцевого споживача. Тому з появою даних ринків, електропостачальники отримали можливість самостійно обирати торгівельний майданчик для закупівлі електричної енергії. Найнижчі ціни характерні для ринку двосторонніх договорів, а також ринку на добу наперед. Якщо постачальнику потрібно купувати додаткові обсяги електроенергії, або продавати надлишки, то це можливо на балансуючому ринку. Втім за закупок додаткових обсягів ціна на цьому ринку зазвичай найвища, а для продажу надлишок – найнижча. Тому одним з найважливіших факторів у зменшенні цін електропостачальника для кінцевих споживачів є точність прогнозування попиту на електричну енергію.

Мета та завдання

Метою роботи є оцінка інноваційного рішення для стартап проекту «Forecast as a service» з розробки компанією-електропостачальником програмного забезпечення для прогнозування попиту на електричну енергію, що дозволить визначати конкурентно-привабливу ціну на електричну енергію для кінцевих споживачів завдяки підвищенню точності прогнозу.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання.

1. Провести аналіз позиції компанії-електропостачальника у лібералізованому середовищі ринку електричної енергії України за допомогою п’яти конкурентних сил Портера.
2. Оцінити інвестицій у інноваційне рішення по створенню програмного забезпечення для стартап проекту «Forecast As A Service».
3. Провести PEST-аналіз для визначення стану зовнішнього макросередовища при впровадження та оцінки ринкових тенденцій стосовно впровадження стартап-проекту «Forecast As A Service».

Матеріали і результати дослідження.

Аналіз позиції компанії-електропостачальника у лібералізованому середовищі ринку електричної енергії України. В умовах сучасного конкурентного середовища на ринку електричної енергії відбувається боротьба між компаніми-електропостачальниками за частку ринку. Одним із шляхів підвищення конкурентоспроможності компанії-електропостачальника може бути впровадження програмного забезпечення з прогнозування попиту для кінцевих споживачів. Завдяки такому підходу компанія зменшує власні витрати на купівлю-продаж електричної енергії, що у свою чергу призводить до зменшення ціни для кінцевого споживача.

Для якісної оцінці стратегічної позиції компанії-електропостачальника у лібералізованому середовищі ринку електричної енергії у контексті впровадження стартап проекту «Forecast as a service» з розробки такого програмного забезпечення був проведений аналіз п'яти сил Портера

За своїм змістом аналіз п'яти сил Портера включає оцінку прояви загроз продуктів-замінників та нових гравців, сили ринкової влади постачальників і споживачів, а також рівня конкурентної боротьби [6]. Зазвичай він проводиться у два етапи, перший з яких пов’язаний з ранжуванням п'яти сил Портера на підставі кількісних показників. Останні можуть бути визначені, наприклад, методом експертної оцінки. Другий етап – це аналіз силу впливу зазначених сил у конкретній конкурентній ситуації, а також визначення можливих компенсаційних заходів.

Враховуючі те, що конкурентним середовищем електропостачальної компанії є ринок електричної енергії України, а також те, що метою впровадження стартапу «Forecast As A Service» є прогнозування попиту на електричну енергію, до аналізу п’яти сил Портера були

включені:

1. аналіз загрози появи товарів-замінників, що проводився у контексті появи товарів-субститутів електричної енергії;
2. аналіз загрози появи нових гравців, що характеризував появу потенційних конкурентів, до яких належать компанії-трейдери, які почали використовувати програмне забезпечення для прогнозування попиту споживачів, а також трейдери, які розширюють зовнішньо-економічну діяльність з купівлі-продовжу електричної енергії;
3. аналіз ринкової влади постачальників, що оцінював рівень сили впливу існуючих конкурентів: компанії-електропостачальників, зокрема, постачальників за вільними цінами;
4. аналіз ринкової влади споживачів електричної енергії, включаючи побутових та непобутових споживачів (з урахуванням специфіки споживачів груп «а» та «б»), що розглядав можливість тиску споживачів на електропостачальника через вимоги до ціни, сервісу тощо;
5. аналіз рівня конкурентної боротьби оцінював силу конкурентного впливу компаній-виробників електричної енергії, включаючи тих, що здійснюють виробництво електричної енергії з альтернативних джерел енергії.

За результатами аналізу була проведена оцінка впливу сил Портера на стратегічну позицію компанії-електропостачальника у лібералізованому середовищі ринку електричної енергії при впровадженні стартап проекту «Forecast As A Service», яку наведено у вигляді діаграми на Рис. 1.

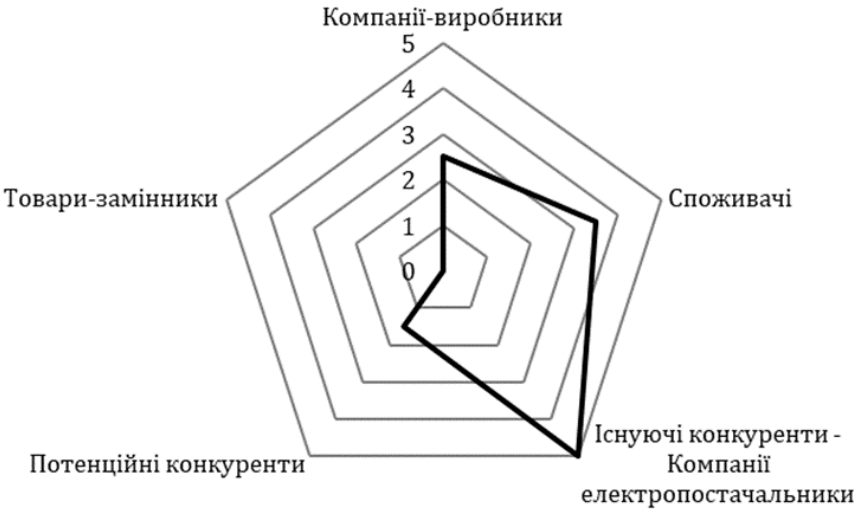


Рисунок 1. Діаграма впливу сил Портера на електропостачальну компанію

Якщо ранжувати рівень впливу п’яти сил Портера від найменшого до найбільшого значення, то загроза появи товарів-замінників не має впливу на електропостачальну компанію, так як електроенергія є товаром, що немає замінника. Слабкий вплив має загроза появи нових гравців - «потенційних конкурентів», які тільки розробляють власне програмне забезпечення та займаються трейдерською діяльністю в Бурштинській зоні. Втім далі спостерігається посилення впливу рівня конкурентної боротьби на електропостачальну компанію внаслідок діяльності компаній-виробників електричної енергії. На сьогоднішній день великий рівень ринкової влади на формування роздрібного ринку електричної енергії мають споживачі, особливо тому, що крупні споживачі отримали можливість створювати власні енергопостачальні компанії. Якщо розглянути вибір електропостачальника з боку споживача, головними критеріями буде запропонована ціна та умови договору. Правилами роздрібного ринку електричної енергії є запропонований типовий договір між постачальником та кінцевим споживачем, який регламентується Законом України «Про ринок електричної енергії». Тому як вже зазначалося, головною конкурентною перевагою енергопостачальної компанії є

можливість запропонувати найнижчу ціну для споживача. Однак найзначніший вплив ринкової влади мають постачальники внаслідок їх великої кількості на ринку (категорія «Існуючі конкуренти» на Рис.1). За офіційними статистичними даними НКРЕКП [7] по споживанню електричної енергії та кількості постачальників з початку впровадження нової моделі ринку було створено понад 600 компаній постачальників. За рахунок великої кількості постачальників у споживачів є можливість самостійно обирати енергопостачальника.

Оцінка інвестицій у інноваційне рішення по створенню програмного забезпечення для стартап проекту «Forecast As A Service». Проведення оцінки обсягу інвестицій було пов'язана з тим, що компанія, яка спеціалізуються на постачанні електричної енергії, зазвичай не має власного ІТ-відділу з розробки програмного забезпечення (ПЗ).

Обсяг необхідних інвестицій для стартап проекту «Forecast As A Service» було розраховано за наступним алгоритмом:

1. визначення обсягу продажів та ціни на ПЗ за методом експертних оцінок;
2. визначення повної собівартості проекту на підставі відкритої типової інформації, а саме витрат на оплату праці (в тому числі ЄСВ), постійні витрати (оренда офісного приміщення, або коворкінг, адміністративні витрати), змінні витрати (витрати пов'язані з продажами ПЗ та тощо) та інших витрат (закупівля обладнання та підтримки);
3. визначення доходу та чистого прибутку/збитку:

$$\text{Дохід} = Q * P, \tag{1}$$

де Q – обсяг продажів, P – ціна за од. продукції;

4. визначення чистого прибутку/збитку:

$$\text{Операційний дохід} = \text{Дохід} - \text{Витрати}\ , \tag{2}$$

$$\text{Чистий прибуток} = \text{Операційний дохід} - \text{податки}\ , \tag{3}$$

де ставка податку на прибуток становила 18% [8].

5. визначення грошового потоку інноваційного проекту за 5 років:

$$\text{Грошовий потік} = \text{Чистий прибуток} + \text{Амортизаційні відрахування} \tag{4}$$

6. визначення дисконтного множника для кожного розрахункового періоду:

$$D = \frac{1}{(1+i)^t} \tag{5}$$

де i – ставка дисконту, t – відповідний період проекту (1,2,3,….n).

7. визначення доцільності проекту за методами оцінки ефективності [9-10] відповідно до наступних показників:

7.1. чистий приведений дохід (NPV):

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_1}{(1+i)^t}\ , \tag{6}$$

де CF_t – грошові потоки по періодах, I_0 – початкові капіталовкладення (інвестиції).

7.2. індекс рентабельності інвестицій (PI):

$$PI = \left. \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \right/ I_0\ ; \tag{7}$$

7.3. дисконтований період окупності проекту (DBP):

$$DBP = \frac{I_0}{\sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \Big/ t} \quad . \tag{8}$$

За наведеним алгоритмом та рівняннями (1-8) були розраховані дохідність стартап проекту «Forecast As A Service» (Табл. 1) та виконана оцінка доцільності проекту (Табл. 2).

Таблиця 1. Показники доходності стартап проекту «Forecast As A Service»

Показник (грн.)	1 рік	2 рік	3 рік	4 рік	5 рік
1.Обсяг реалізації (Q), од вим	200	250	300	350	500
2.Ціна (Р), грн.	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00
3.Дохід	3 000 000,00	3 750 000,00	4 500 000,00	5 250 000,00	7 500 000,00
4.Повна собівартість	3 908 800,00	3 938 800,00	3 963 800,00	3 988 800,00	4 038 800,00
5.Витрати на оплату праці	2 040 000,00	2 040 000,00	2 040 000,00	2 040 000,00	2 040 000,00
6.ЄСВ	448 800,00	448 800,00	448 800,00	448 800,00	448 800,00
7.Витрати (пост)	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00
8.Витрати(зм)	120 000,00	150 000,00	175 000,00	200 000,00	250 000,00
9. Інші витрати	700 000,00	700 000,00	700 000,00	700 000,00	700 000,00
10.Амортизаційні відрахування (за наявності)	54 000,00	54 000,00	54 000,00	54 000,00	54 000,00
11.Операційний прибуток\збиток	-908 800,00	-188 800,00	536 200,00	1 261 200,00	3 461 200,00
12.Чистий прибуток\збиток	-745 216,00	-154 816,00	439 684,00	1 034 184,00	2 838 184,00

Таблиця 2. Оцінка доцільності стартап проекту «Forecast As A Service»

Показники	0 період	1 рік	2 рік	3 рік	4 рік	5 рік
1. Чистий прибуток, грн.	0,00	-745 216,00	-154 816,00	439 684,00	1 034 184,00	2 838 184,00
2.Амортизаційні відрахування, грн.	0,00	54 000,00	54 000,00	54 000,00	54 000,00	54 000,00
3.Грошові потоки, грн.	0,00	-691 216,00	-100 816,00	493 684,00	1 088 184,00	2 892 184,00
4.Інвестиції (позикові кошти), грн.	1 085 000,00					
5.Дисконтний множник 18%	1,00	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44
6.Дисконтовані інвестиції, грн.	1 085 000,00					
7.Диконтовані грошові потоки, грн.	0,00	-585 459,95	-72 385,89	300 653,56	561 502,94	1 263 884,41

За результатами розрахунків можна побачити, що на реалізацію даного проекту компанія потребує інвестиції на суму 1 085 000,00 грн. Дані кошти будуть витрачені, зокрема, на консалтинг, залучення ІТ-спеціалістів, розробку програми, її апробацію, маркетинг програми, забезпечення технічної підтримки, матеріали, офісне приміщення (або коворкінг) для робочої групи, комп'ютерну техніку. Перші 2 роки реалізації проекту є збитковими, а прибуток від продажу програмного забезпечення (0,35 грн прибутку на 1 грн інвестицій) компанія отримує на 3 рік. Чистий приведений дохід проекту становитиме 383 195,07 грн.

PEST-аналіз стану макросередовища компанії при впровадженні стартап-проекту «Forecast As A Service». Цей аналіз був застосований для аналізу стану зовнішнього середовища компанії та оцінки існуючих ринкових тенденцій шляхом щодо впровадження стартап-проекту. PEST-аналіз проводиться в декілька етапів.

Перший етап полягав у виявленні потенційно-можливих політичних, економічних, соціальних технологічних факторів. Результати за цим етапом наведено у Табл.3.

Таблиця 3. PEST - аналіз стану макросередовища компанії при впровадженні стартап-проекту «Forecast As A Service»

ПОЛІТИЧНІ ФАКТОРИ	**ЕКОНОМІЧНІ ФАКТОРИ**
Фактор 1. Зміни у законодавстві. Фактор 2. Нестабільна ринкова ситуація (зміна правил).	Фактор 1. Зміна тарифу. Фактор 2. Зниження доходів споживачів. Фактор 3. Збільшення попиту на електроенергію.
СОЦІАЛЬНІ ФАКТОРИ	**ТЕХНОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ**
Фактор 1. Покращення іміджу компанії. Фактор 2. Інноваційність компанії. Фактор 3. Несприйняття проекту споживачем.	Фактор 1. Відсутність на ринку схожого програмного забезпечення. Фактор 2. Використання подібного програмного забезпечення іншими електропостачальниками. Фактор 3. Кооперування з учасниками ринку для трансферу програмного забезпечення.

Другий етап PEST – аналізу полягав у проведенні експертної оцінки ступеня впливу зазначених факторів на проект для визначення середньозваженого значення по кожному фактору. В якості експертів виступали співробітники електропостачальної компанії.

В Табл.4 наведено результати оцінки ступеня впливу потенційно-можливих політичних, економічних, соціальних та технологічні факторів, яку було визначено за методом експертних оцінок.

Таблиця 4. Експертна оцінка ступеня впливу факторів на стартап-проект «Forecast As A Service»

Фактор	**Вага впливу фактору**	**Експертна оцінка**			**Середня оцінка**	**Середньозважене значення оцінки**
		1 експерт	2 експерт	3 експерт		
Політичні фактори						
Фактор 1	0,2	4	5	4	4,3	0,86
Фактор 2	0,15	5	3	4	4	0,6
Економічні фактори						
Фактор 1	0,03	3	4	3	3,3	0,1
Фактор 2	0,07	5	3	4	4	0,28
Фактор 3	0,01	4	4	2	3,3	0,03
Соціальні фактори						
Фактор 1	0,1	5	2	3	3,3	0,33
Фактор 2	0,08	4	3	2	3	0,3
Фактор 3	0,06	4	3	4	3,7	0,37
Технологічні фактори						
Фактор 1	0,1	5	2	3	3,3	0,33
Фактор 2	0,15	4	3	4	3,7	0,37
Фактор 3	0,05	3	2	4	3	0,3
Загальний підсумок	1					3,87

На думку експертів-співробітників електропостачальної компанії найбільший вплив на проект мають політичні фактори, а саме зміни у законодавстві та нестабільна ринкова ситуація (зміна правил). Для зменшення збитків від політичних факторів впливу компанія повинна розробити певні заходи щодо зменшення їх впливу на реалізацію проекту. Загальний бал середньозваженої оцінки становить 3,87 балів, що свідчить про те що реакція компанії на стратегічні фактори зовнішнього середовища перебуває на середньому рівні та на думку експертів не несуть загрози в реалізації стартап проекту.

Висновки

Аналіз стратегічної позиції компанії-електропостачальника у лібералізованому середовищі ринку електричної енергії України за допомогою п'яти конкурентних сил Портера показав, що найвпливовішими є споживачі, які отримали право самостійно обирати електропостачальника, або створювати власні компанії чи підрозділі по постачанню електричної енергії.

За результатами оцінки інвестицій у інноваційне рішення зі створення стартап проекту «Forecast As A Service» було виявлено доцільність даного проекту в умовах конкурентної купівлі-продажу електричної енергії енергопостачальною компанією на ринку електричної енергії. В результаті вкладення інвестицій в даний проект, компанія окрім того що скоротить власні витрати за рахунок продажу програмного забезпечення та буде отримувати додатковий дохід.

За результатами PEST- аналізу стартап-проекту «Forecast As A Service» визначено, що найвпливовішим є політичний фактор, за рахунок не стабільної ринкової ситуації та внесення змін у законодавстві. Але не дивлячись на це, реакція компанії на стратегічні фактори зовнішнього середовища перебуває на середньому рівні.

Перелік використаних джерел

1. Договір про заснування Енергетичного Співтовариства. - Набрання чинності для України міжнародного договору від 01.02.2011: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_926
2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. - Набрання чинності від 01.09.2017: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу
3. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII - Набрання чинності від 11.06.2017: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19
4. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність"» від 18 серпня 2017 р. № 605-р: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80
5. Стрелкова, Г. Г. Динаміка цін на роздрібному ринку електричної енергії в умовах функціонування нової моделі ринку електроенергії України / Г. Г. Стрелкова, М. Т. Стрелков, В. В. Людмирська // Енергетика. Екологія. Людина : збірник наукових праць XII науково-технічної конференції Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, 7-8 травня 2020 р., м. Київ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 110-115. : [Електрон. ресурс]. - Режим доступу https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36856
6. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
7. НКРЕКП поставо Про затвердження правил роздрібного ринку електричної енергії від 14 березня 2018 р. №312: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18#Text
8. Податковий кодекс України [Електрон. ресурс]. - Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text
9. Верба, В.А. Проектний аналіз: слайд курс [Текст] : навч. посібник / В.А. Верба, О.М. Гребешкова. - К. : КНЕУ, 2006. - 236 с.
10. Краснокутська Н. В. Інноваційний менеджмент: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2003. — 504 с.
11. Наливайко А. П. Стратегія підприємства: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2016 — 141с.

УДК. 620.9

Мельник Д.О.
кафедра електропостачання

ОЦІНКА РИЗИКІВ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ В СУЧАСНОМУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

***Анотація*:** В даній темі розглянуто оцінка ризиків методів прогнозування на ринку електричної енергії. На сьогоднішній день ринок електричної енергії, є складною-організаційною-технічною системою, яка включає в себе ряд суб'єктів господарювання, що характеризуються слабкими зв'язками один між одним або їх відсутністю. Головною концептуальною засадою є управління ризиками при прийняті управлінських рішень в питаннях прогнозування електричної енергії.

Abstract: *This topic considers the risk assessment of methods for forecasting electricity consumption in the modern power system of Ukraine. Today, the electricity market is a complex-organizational-technical system, which includes a number of economic entities, characterized by weak links between them or their absence. The main conceptual framework is risk management in making management decisions in electricity forecasting.*

***Ключові слова*:** *оцінка ризиків, ризики, ризик-менеджмент, прогнозування,, електроспоживання, ринок електричної енергії, енергетичний сектор.*

Вступ: В сучасній тенденції до розвитку енергетичної системи України, яка потребує аналізу ризиків для прийняття управлінських рішень. На даний час науці відомі три види подій: випадкові, детерміновані, випадкові та невизначені. Детерміновані – це події, які підпорядковуються фізичним та іншим законам. Випадкові та невизначені події – дані події можуть відбутися чи не відбутися, тобто їх виникнення є неоднозначним. Вагомий вклад у розвиток ризкології зробили такі вчені як М. Алле, І. Т. Балабанов, В. В. Вітлінський, А. Маршал, Ф. Найт, Н. Т. Севрук. Прикладні аспекти ризик –менеджменту в енергетиці втілені у наукових працях вчених, як В. О. Бараннік, С. В. Войтко, І. І. Гусєва, Н. М. Денисова, Ю. В. Дронова, А. І. Замілко, О. Д. Вовчак.

Мета та завдання: Проаналізувати особливості управління, прогнозування та оцінки ризиками в умовах роботи ринку електричної енергії.

Матеріал і результати досліджень. Термін ризик – це ймовірність несприятливих наслідків [1]. Прогнозування та управління ризиками на об'єктах об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) повинно мати облік впливу випадкових факторів на основні процеси функціонування цих об'єктів (їх інфраструктура, виробничі підприємства, комунальні господарства, системи забезпечення енергоресурсами. Недооцінювання факторів та їх вплив, приводить до зростання кількості аварійних ситуацій, надлишкових матеріальних та енергетичних втрат, трудових ресурсів, також екологічні, матеріальні і соціальні збитки. Знаючи, що єдиної та однотипної класифікації ризиків не існує, а кількість різновидів ризиків досить багато у сучасному світі, в літературі різних авторів наведені різнотипні класифікації ризиків. Цією роботою пропонується адаптувати та класифікувати ймовірні ризики в енергетичній системі України, за наступними ознаками: за виникненням (походженням); за спрямованістю; за рівнем прийнятності для ринку, об'єктів енергетики, держави, світового співтовариства; за можливими причино-наслідковим зв'язком (рис.1).

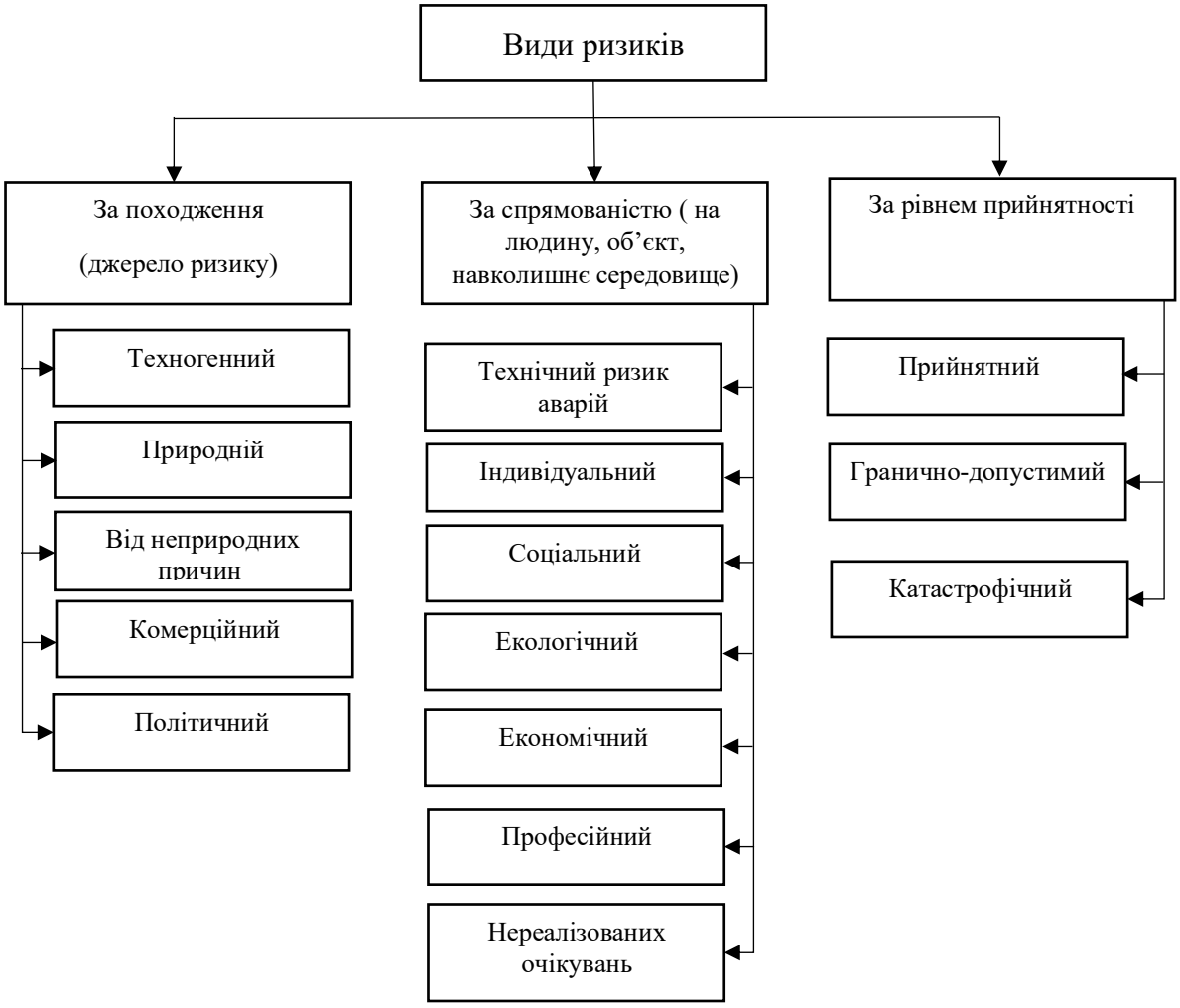


Рис. 1. Загальна класифікація ризиків в об'єктах енергетичної системи [2]

Відносно цього, постає питання до визначення основних принципі управління ризиками, а саме їх поділяють за: принципом масштабності; принцип мінімізації; принцип адекватної реакції; принцип обґрунтованого прийняття. В свою чергу, основними етапами управління ризиком є: ідентифікація ризику, оцінка ризику, вибір методів управління ризиком, контроль ризику, фінансування ризику, оцінка результатів. Також аналіз ризиків може здійснюватися кількісно та якісно [1].

Прикладом для реалізації аналізу ризиків є дослідження інвестиційних проектів від дії ризикових ситуацій. У зв'язку з цим, потрібно згрупувати основні види ризиків, які будуть враховувати специфіку діяльності енергетичного об'єкта та техніко-економічні показник. Було запропоновано згрупувати ризики в відповідності наслідку впливу на об'єкт: ризики що призводять до аварійного стану; ризики, що призводять до фінансових втрат; ризики, що спричиняють збитки третім особам [3] (табл. 1). Дослідження методичних аспектів ризикології дає можливість сконцентрувати увагу на тих методах, які на нашу думку є доцільними при проведені ризик-менеджменту даних проектів. Поставлена задача була вирішена за допомогою оптимізаційної моделі (де найкращий варіант впливу позначався позначкою «+», а відповідно не впливовий фактор – «-»). Якщо при аналіз ризиків було досліджено фактори, які відповідають вирішенню комплексної задачі, потрібно використовувати

багатокритеріальні методи розв'язку.

Таблиця 1 Групування ризиків енергетичних об'єктів

Види ризику	**Характеристика**	**АЕС**	**ТЕЦ**	**СЕС**	**ВЕС**	**ГЕС**
I група: ризики, що призводять до аварійного стану						
Проектний	допущення помилок на етапі проектуванні;	+	+	+	+	-
	прорахунок в оцінки геологічного складу будівельного майданчику.	+	+	+	+	+
Будівельно-монтажний	аварії спричиненні дією вогню;	+	+	+	+	+
	збитки, завдані при переміщенні.	+	+	+	+	+
II груп: ризики, що призводять до фінансових збитків						
Ринковий	зміна цін й умов при закупівлі обладнання, устаткування, машин і програмного забезпечення;	+	+	+	+	+
	зміна цін й умов при закупівлі палива;	+	+	-	-	-
	зміна «зелених» тарифів.	-	-	+	+	-
Фінансовий	порушення строків чи припинення фінансування інвестиційного проекту;	+	+	+	+	+
	перевищення кошторисних витрат.	+	+	+	+	+
III група: ризики, що спричиняють збитки третім особам						
Екологічний	потрапляння води із водосховища-охолоджувача в навколишній водний простір під час продувки;	+	-	-	-	-
	забруднення аерозольними і газовими викидами повітряного простору, теплове забруднення та зміни клімату;	-	+	-	-	-
	розмиви русел і берегів рік нижче гідровузлів, погіршення умов перебування флори та фауни в річках та водоймах самого водотоку, якості води;	-	-	-	-	+
	підвищення рівня забруднення газо-аерозольними викидами продуктів харчування.	-	+	-	-	-
	зміна природнього середовища та міграція тварин	+	+	+	+	+
Соціальний	зниження рівня безпеки життєдіяльності.	+	+	-	-	+

Отже, якщо провести аналіз методів управління ризиком можемо виділити основні методи зниження для сучасного ринку електричної енергії, а саме:

1. **Резервування** (основна ідея створення відповідних резервних потужностей і їх зміст в електроенергетичних системах для покриття споживчого попиту);
2. **Дублювання** (мінімізувати технічні ризики резервуванням паралельно працюючих агрегаторів в системі електропостачання);
3. **Страхування** (економічна сутність страхування полягає у прийнятті страховою компанією ризиків з виробночо-господарьскої діяльності страхувальника за страхову премію, яка виплачується одноразово);
4. **Хеджування** (являється способом уникнення від можливих втрат шляхом укладання врівноважуючої угоди (перенесення ризику зміни ціни з однієї сторони на іншу);
5. **Диверсифікація** (спосіб зменшення сукупної схильності ризику шляхом розподілення вкладень і зобов'язань);
6. **Вирівнювання ризику** (процес нейтралізації негативного впливу здійснення ризикованих операцій з рахунок проведення паралельних операцій з позитивним результатом або розподілу втрат серед суб'єктів енергетичного ринку (учасники ринку), причетних до ризику) [1];

Загальна ефективність ризик-менеджменту залежить від рівня підготовки, бази знань, досвіду та компетентності ризик-менеджера, який несе відповідальність за виконання програм по управлінню ризиками у межах реалізації інвестиційних проектів на підприємствах.

В процесах управління ризиками від якого вимагається вчасна реакція на ризикоутворюючі фактори та ризикові ситуації з метою унеможливлення негативних наслідків. Цільова функція ризик-менеджменту – це зменшення ймовірності виникнення ризиків та їх сумарних збитків шляхом здійснення комплексу превентивних заходів у межах бюджету департаменту з управління ризиків (заробітна плата, постійні й змінні витрати, витрати на превентивні заходи тощо). Ризик менеджеру доцільно обрати із загальної кількості (b_i) комплексу превентивних заходів той оптимальний номер комплексу для кожного i-го

ризику, які у сукупності мінімізують сумарний очікуваний збиток, а сумарні витрати на їх управління не перевищать затвердженого бюджету. За допомогою експертної оцінки для кожного ідентифікованого ризику було обрано набори комплексів, які певною мірою знижують p_i ймовірність. Для кожного i-го ризику ці комплекси заходів різні.

У результаті оптимізація цільової функції ризик-менеджменту має наступний вигляд:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i(x_i)L_i \to \min,$$

$$1 \le x_i \le b_i, \ \ i = 1, n,$$

де p_i – ймовірність виникнення i-го ризик; x_i – номер комплексу превентивних заходів, спрямованих на зменшення ймовірності i-го ризику; L_i – очікувані збитки від реалізації i-го ризику.

Зниження ймовірності виникнення i-го ризику відбувається прямо пропорційно витратам коштів на його. Обмеженнями для функції ризик-менеджменту є:

$$C_i(x_i) < L_i$$

$$\sum_{i=1}^{n} C_i(x_i) < \ P,$$

де C_i – сума витрат на здійснення превентивних заходів спрямованих на мінімізацію i-го ризику; P – бюджет на управління ризиками [2].

Дану методику вирішення завдання по вирішенню прогнозуванню та оцінники ризиків в ринку електричної енергії, представлено в блок схемі (рис.2).

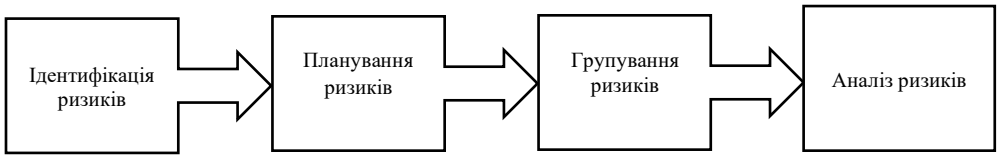


Рис. 2 Блок-схема систематизації ризиків

Висновок При аналізі сучасних методів прогнозування та оцінки ризиків, що для всього електроенергетичного комплексу, єдиної класифікації ризиків не існує.

Ризики в електроенергетиці це об'єктивно-суб'єктивна категорія, що пов'язана з ймовірністю виникненням небажаних подій в умовах невизначеності та суперечливості інтересів різних груп суб'єктів енергетичного ринку і відображає міру їх втрат від порушення надійного режиму електропостачання внаслідок неузгоджених дій даних суб'єктів.

Підбір методів зменшення впливу ризиків на роботу системи електропостачання та ринку в цілому, потребує постійного вдосконалення та адаптації до змін зовнішніх факторів.

Загалом процес управління ризиками повинен відповідно сучасному стану ринку електричної енергії, створити прогнозні показники впливу систематичних ризиків на роботі агрегаторів ринку. Також потрібно пам'ятати, що існують непідконтрольні ризики, які неможливо спрогнозувати.

Таким чином, для ефективної роботи ринку електричної енергії потрібно використовувати різні типи підходів, для оцінки ризиків та їх прогнозування.

***Список використаних джерел*:**

1. Ризик-менеджмент сталого розвитку енергетики: інформаційна підримка прийняття рішень: навчальний посібник/ Н. В. Караєва, С. В. Войтко, Л. В. Сорокіна. –К .: Альфа Реклама, 2013. – С. 308.

2. Люльчак З.С. Особливості класифікації та оцінювання ризиків у функціонуванні систем життєзабезпечення будівель та населених пунктів/ Люльчак З.С., Хтей Н.І., Білик М.В. // Матеріали VII Міжнародній науково-практичній конференції «Маркетинг і логістика в системі менеджменту». – Львів, 2010. – С. 137– 138.
3. Яресько Р. С. Ризик-менеджмент як інструмент управління інвестиційною діяльністю підприємства: теоретичний аспект / Настоящи изследования и развитие – 2013 : материали IX междунар. научн.-практ. конф. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2013. – С. 27-29 (0,14 друк. арк.).

керівник ктн. доц. Калінчик В. П.

UDC 621.311

Hawkar Noori
Power Supply Department

DETERMINATION OF THE OPTIMAL CONDITIONS FOR CONNECTING DISTRIBUTED GENERATION SOURCES TO ELECTRICAL NETWORKS WITH VARIOUS TOPOLOGIES

Abstract. *Electrical distribution networks in Iraq are old and many of them remain without maintenance. We always have a significant losses of power and energy from the lines because of their old age, and after the year 2003 we need to install new electrical transformers and electrical generating sources, to construct new distribution lines and we need to reduce power and energy losses by connecting electrical generating sources at best points in the electrical networks.*

Key words*: Optimal placement, distributed generation, active energy losses minimization.*

Introduction. Distributed generation includes various generation sources of relatively small power integrated into distribution and low voltage networks. Wide use of DG during past decades can be explained due to deregulation and liberalization of electrical power markets, intention to reduce emissions and to increase effectiveness of electrical energy transmission and distribution processes.

At the same time, character of the DG influence on distribution network operation and level of this influence depends on location and real capacity of a such generation units. So, optimal placement and sizing DG sources give the opportunity to reduce power and energy losses, to improve voltage profile, to increase the reliability and as a result to minimize total cost pertaining to the operation of distribution systems. Naturally, in this case we consider such sources of energy with predictable (micro turbines, fuel cells, diesel generators, etc.) and non predictable (renewable) power output, that may be connected to any node of distribution network.

In this case, theoretically, the solution can be found by applying various optimization methods. However, here we have the following difficulties. Any problem of complex technical system design is inevitably associated with the uncertainty of information regarding the condition of its operation in the future. This problem becomes more complicated, when we are dealing with alternative sources of energy, technical characteristic of which (first of all, output power) depend on set of external factors. It is impossible to set these factors in deterministic form.

On the other hand, it is impossible to collect necessary statistical data at all potential points of the DG sources integration into electrical networks. This makes difficult to apply probabilistic methods in solving problem under consideration. In this reason, accounting the information uncertainty becomes an important feature in the process of selection of optimal placement of DG units.

Taking into account the complexity of solving optimization problems, where parameters are uncertain, an approach which involves decomposition of a problem is proposed below. Here initially a limited number of the best points of DG sources integration in electrical networks have to be determined, for example, in terms of power losses minimization. At the next stage selected options are compared based on economical indicators, taking into account uncertainty of a set of technical and economical parameters.

Objectives of the research. Reducing the loss of electrical power and the loss of electrical energy by identifying the best points to connect new generation sources to improve electrical networks operation, and to deliver electrical power to the consumer with the lowest loss.

Research materials and results. Optimal placement of distributed generation sources to minimize power and energy losses. One of the important positive factors for the use of DG in distribution systems is the ability to reduce power and energy losses. When using DG sources connected to the low-voltage bus bars of distribution transformers, loss reduction is primarily achieved by changing of the power flow distribution in the network sections located between the substation and the connected source. At the same time, power losses in the areas located behind the connected source remain the same.

To estimate the change in power losses, let us consider a hypothetical line with a uniformly distributed load (Figure.1).

Let I_0 be the load per unit length of the line with resistivity r_0 (ohm/km). Power losses for an arbitrary instant in time is determined by the formula (1)

$$\Delta P = \int_0^{\ell} 3I_0^2 x^2 r_0 dx = 3I_0^2 r_0 \int_0^{\ell} x^2 dx = I_0^2 r_0 \ell^3 . \quad (1)$$

Now suppose that at a distance y from the end of the line, a generating source is connected, the power of which provides a current injection into the network I_d. In the presence of an DG source, power losses are determined as follows:

$$\Delta P_d = \int_0^{y} 3I_0^2 x^2 r_0 dx + \int_y^{\ell} 3(I_0 x - I_d)^2 r_0 dx = I_0^2 y^3 r_0 + \int_y^{\ell} 3I_0^2 x^2 r_0 dx - \int_y^{\ell} 6I_0 I_d x r_0 dx +$$

$$+ \int_y^{\ell} 3I_d^2 r_0 dx = I_0^2 y^3 r_0 + I_0^2 \ell^3 r_0 - I_0^2 y^3 r_0 - 3I_0 I_d \ell^2 r_0 + 3I_0 I_d y^2 r_0 + 3I_d^2 \ell r_0 - 3I_d^2 y r_0 ,$$

$$\Delta P_d = I_0^2 \ell^3 r_0 - 3I_0 I_d \ell^2 r_0 + 3I_0 I_d y^2 r_0 + 3I_d^2 \ell r_0 - 3I_d^2 y r_0 \quad (2)$$

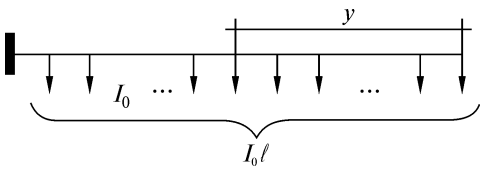


Figure1 - Electrical line with uniformly distributed load

Let us determine the coordinates of the connection point of the generating source, at which the minimum power losses in the line is ensured. Using expression (2), we find

$$\frac{\partial(\Delta P_d)}{\partial y} = 6I_0 I_d y r_0 - 3I_d^2 r_0 = 0 .$$

Hence

$$I_0 y = I_d / 2 \quad (3)$$

Despite the fact that the electrical line considered above does not correspond to the real distribution networks, these results can be used to formulate a rule that tentatively determines the condition for the optimal location of the DG source from the standpoint of power losses minimization.

The load node k (Fig. 2), where it is advisable to connect the DG source of a given capacity, can be determined from the condition

$$\frac{I_d}{2} \geq \sum_{i=k+1}^{n} I_i . \quad (4)$$

Here I_d is the current injection into the network from the DG source (D); $\sum_{i=k+1}^{n} I_i$ - the total load of distribution transformers located behind the point of DG source integration.

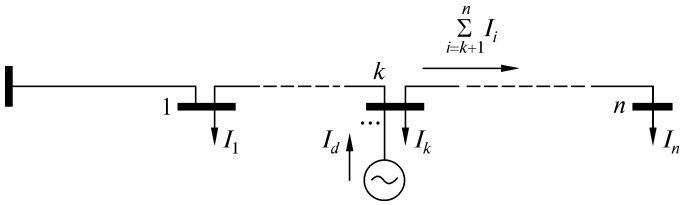


Figure2 - Distribution line with a source of DG

Assuming that the power factor and voltage on the distribution transformer buses during the time *T* (for example, during the day) change slightly, an expression similar to (4) can be used to determine the condition under which a minimum of electric energy losses in the line is ensured.

$$\frac{A_d}{2} \geq \sum_{i=k+1}^{n} A_i \,, \tag{5}$$

where A_d is the energy generated by the DG source within time *T*; A_i is the energy consumption during time T at the *i*-th load node located behind the point k of connecting the source of the DG.

Let us consider how this approach can be applied to networks that are more complex in terms of topology. Obviously, any line with branches (Fig. 3) can be represented using several simplified equivalents in the form of lines like given on (Fig. 4). In this case, for each of the equivalent lines, there is an optimal solution with respect to the connection point of the DG source.

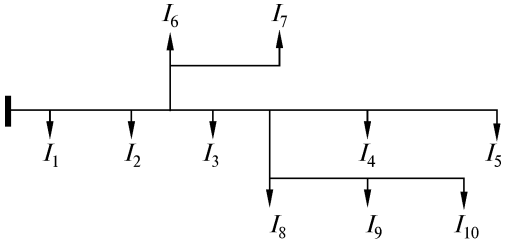


Figure 3 - Electrical line of distribution network

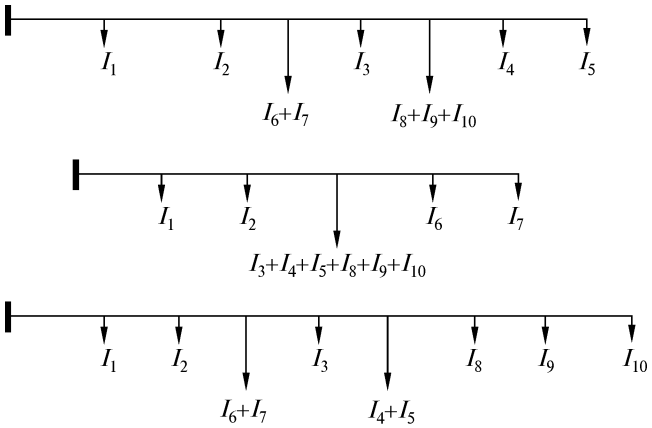
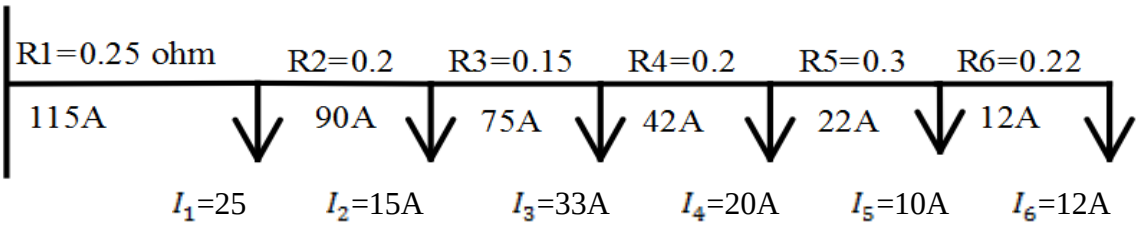


Figure 4 - Equivalent electrical lines

The indicators proposed above permits one to select optimal place for connecting generating sources, from the minimizing power or energy losses point of view for each equivalent line. However, this do not allow to determine the actual value of loss reduction in each particular case. Therefore, in order to select the final solution, we will carry out a feasibility study for each of the selected applications for DG.

Let us consider several examples.

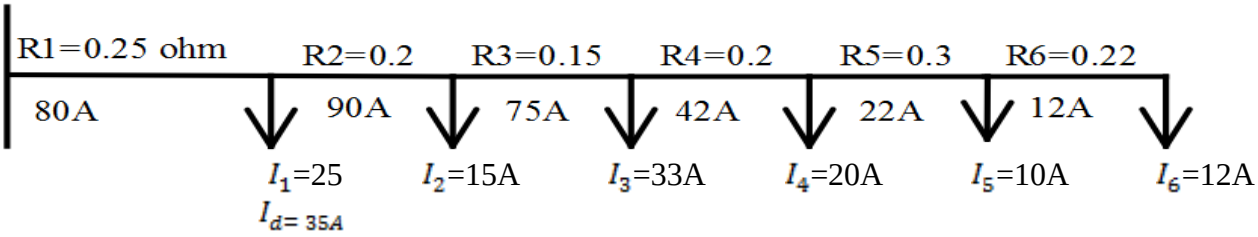


Power losses $\Delta P = 3(I^2)R$

$$\Delta P = 3\left(I_6^2\right)R_6 + 3\left(I_5 + I_6\right)^2 R_5 + 3\left(I_4 + I_5 + I_6\right)^2 R_4 + 3\left(I_3 + I_4 + I_5 + I_6\right)^2 R_3$$
$$+ 3\left(I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6\right)^2 R_2 + 3\left(I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6\right)^2 R_1$$
$$\Delta P = 3\left(12^2\right)*0.22 + 3\left(22^2\right)*0.3 + 3\left(42^2\right)*0.2 + 3\left(75^2\right)*0.15 + 3\left(90^2\right)*0.2 + 3\left(115^2\right)*0.25$$

$\Delta P = 18.89$ kw

Let us connect the DG source $(I_d = 35A)$ to different nodes of the line one by one in the first step connect DG source to the node number 1



$$\Delta P = 3\left(I_6^2\right)R_6 + 3\left(I_5 + I_6\right)^2 R_5 + 3\left(I_4 + I_5 + I_6\right)^2 R_4 + 3\left(I_3 + I_4 + I_5 + I_6\right)^2 R_3$$
$$+ 3\left(I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6\right)^2 R_2 + 3\left(I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6\right)^2 R_1$$
$$\Delta P = 3\left(12^2\right)*0.22 + 3\left(22^2\right)*0.3 + 3\left(42^2\right)*0.2 + 3\left(75^2\right)*0.15 + 3\left(90^2\right)*0.2 + 3\left(80^2\right)*0.25$$

$\Delta P = 13.78$ *kw*

The results of all calculations are presented in Table 1.

Tab. 1 Power losses at different points of connection of DG sources

Active Power Losses(kw)						
Without DG source	Connect DG source with Node No;1	Connect DG source with Node No;2	Connect DG source with Node No;3	Connect DG source with Node No;4	Connect DG source with Node No;5	Connect DG source with Node No;6
18.89	13.78	10.73	8.92	7.89	7.61	7.88

The calculations show that the optimal point of DG source connection is the node 5.

We will obtain a similar result when using the expression (4) ($\frac{35}{2} \geq 12$), which confirms the possibility of its application in practical calculations.

Let us carry out similar calculations, but considering in this case the loss of electrical energy.

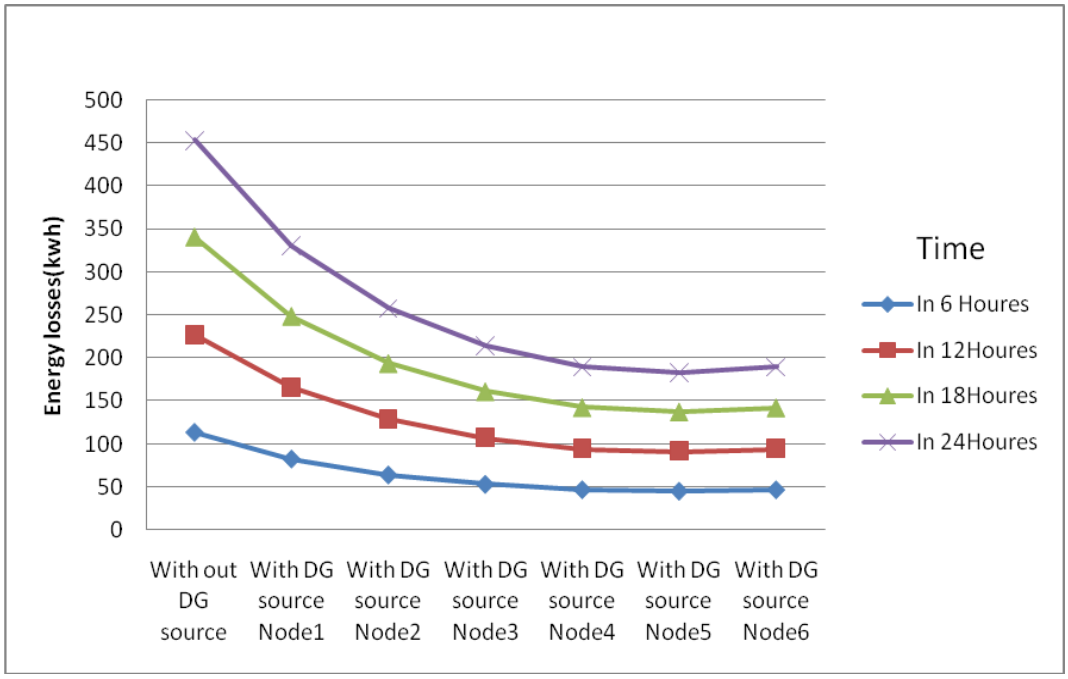


Figure 5 - Change of energy losses with various places of DG sources integration in electrical network

The calculation of electrical energy losses for various options of DG sources integration to the distribution network is given Table 2.

Tab. 2 Energy losses at different points of connection of DG sources

Active Energy Losses(kwh)							
Time in(h)	Without DG source	Connect DG source with Node No;1	Connect DG source with Node No;2	Connect DG source with Node No;3	Connect DG source with Node No;4	Connect DG source with Node No;5	Connect DG source with Node No;6
6	113.34	82.68	64.38	53.52	47.34	45.66	47.28
12	226.68	165.36	128.76	107.04	94.68	91.32	94.56
18	340.02	248.04	193.14	160.5	142.02	136.98	141.84
24	453.36	330.72	257.52	214.08	189.36	182.64	189.12

The calculations show that the optimal point of DG source connection is the node 5, which corresponds to the calculations performed in accordance with (4).

Conclusions. Optimal placement of DG plays an important role for maximizing the total active power loss reduction in the modern distribution systems, The article proposes analytical expressions that make it possible to determine both the optimal points of connection to the distribution network of distributed generation sources of a given power, and to determine the optimal power of distributed generation sources integration to a given network node with the purpose to minimize total power or energy losses. The adequacy of the proposed equations is confirmed by the results of experimental calculations.

References:

1. Жаркин А.Ф., Денисюк С.П., Попов В.А. Системы электроснабжения с источниками распределенной генерации. Київ: Наукова думка, 2017. 232 с.

2. Garcia E.D., Pereira P.R., Canha L.N., Popov V. Grid functional blocks methodology to dynamic operation and decision making in Smart Grid. Proc. *Electrical Power and Energy Systems*. 2018. Vol. 103. Pp. 267–276.

УДК 621.311.003.13

Олійник В.В.
Кафедра електропостачання

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СПРОЩЕНОГО РОЗРАХУНКОВО-АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРОБАЛАНСІВ ЦЕХУ З ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ

Анотація. *Проаналізовано методи побудови електробалансів для виробничих об'єктів. На прикладі підприємства з виробництва азотних добрив продемонстровано розрахунок електробалансу за допомогою спрощеного розрахунково-аналітичного методу та співставлено із фактичними даними підприємства. Запропоновано напрямок подальшого удосконалення методики.*

Ключові слова. *баланс, аналіз, метод, побудова, споживання, електроенергія, електробаланс.*

Abstract. *Methods of construction of electric balances for production facilities are analyzed. On the example of the enterprise for the production of nitrogen fertilizers, the calculation of the electric balance is demonstrated using a simplified calculation and analytical method and compared with the actual data of the enterprise. The direction of further improvement of a technique is offered.*

Key words. *balance, analysis, method, construction, consumption, electricity, electric balance*

Вступ. Необхідність практичного розв'язання задач енергозбереження в усіх ланках національної економіки, насамперед, у промисловості, яка є найбільшим споживачем палива та енергії всіх видів, стає все більш нагальною. Для досягнення бажаних результатів у сфері енергозбереження потрібно здійснювати управління цими процесами як на державному рівні, так і на конкретних підприємствах, в організаціях чи установах. При цьому обов'язковою і надзвичайно важливою функцією такого управління є систематичний контроль та аналіз ефективності використання ПЕР на відповідних об'єктах [1].

Як відомо, в Україні оцінка та контроль енергоефективності, зокрема, у промисловості традиційно здійснюється шляхом нормування питомих витрат палива та енергії, яке у свою чергу базується на побудові, аналіз та раціоналізації енергетичних балансів виробничо-господарських об'єктів (підприємств, організацій, установ, їх структурних підрозділів тощо) [2]. Тому надзвичайно важливо, щоб енергетичні баланси, які будуються з метою контролю та аналізу енергоспоживання господарських об'єктів, були якомога більш точними і максимально об'єктивно відображали реально існуючі напрямки та обсяги корисного споживання і втрат палива чи енергії.

Метою та завданням цієї статті є обґрунтувати на прикладі реального виробничого об'єкту неможливість та недоцільність застосування традиційних методів побудови фактичних балансів споживання електричної енергії.

Аналіз традиційних методів побудови електричних балансів підприємств. Теоретично для побудови електробалансів будь-яких технологічних чи виробничо-господарських об'єктів можуть бути застосовані експериментальний, розрахунково-аналітичний або комбінований методи, останній з яких являє собою поєднання двох попередніх [4,5].

Найбільш точно електробаланси виробничих об'єктів (машин, установок, агрегатів, окремих технологічних процесів, підприємств, їх підрозділів тощо) можуть бути отримані експериментальним методом. Однак застосування цього методу для отримання енергетичних балансів підприємств є просто неможливим, оскільки у цьому випадку мова йде про

необхідність проведення синхронізованих у часі вимірювань у багатьох десятках чи навіть сотнях пунктів.

Тому про використання експериментального методу для побудови енергобалансів виробничо-господарських об'єктів мова може йти лише у тому випадку, якщо підприємство, організація чи установа має розгалужену систему технічного обліку енергоспоживання, зокрема відповідну автоматизовану систему обліку. Проте на сьогоднішній день переважна частина господарських об'єктів таких систем обліку не має.

Найбільш реальним для побудови енергобалансів різних виробничих об'єктів традиційно вважається комбінований метод. Однак практичне застосування цього методу також є суттєво обмеженим, зокрема, через неможливість отримання з зазначених вище причин необхідних експериментальних даних.

Таким чином, для побудови балансів споживання електричної енергії для різних виробничо-господарських об'єктів зараз фактично використовується лише один метод - розрахунково-аналітичний. При використанні цього методу обсяги споживання електричної енергії для більшості установок та агрегатів на практиці визначаються за спрощеною розрахунковою формулою, тобто як добуток їх номінальної потужності на коефіцієнт завантаження і на тривалість роботи у відповідному періоді. Очевидно, що застосування такої спрощеної розрахункової формули не тільки не дозволяє враховувати конкретні умови та режими роботи обладнання на тому чи іншому підприємстві, але й створює низку додаткових проблем, що виникають при нормалізації питомих витрат електричної енергії [2, 3].

Зокрема, коефіцієнт завантаження та тривалість роботи обладнання, що використовуються в зазначеній спрощеній формулі, здебільшого являють собою невизначені параметри, числові значення яких необґрунтовані відповідними експериментальними вимірюваннями, розрахунками або технологічною документацією. Таким чином, на сьогоднішній день баланси споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів, що складаються з використанням розрахунково-аналітичного методу, фактично будуються в умовах невизначеності та неточності вихідних даних.

При цьому числові значення коефіцієнтів завантаження кожного з видів обладнання при побудові електробалансів, як правило, визначаються на основі відповідної довідкової літератури (наприклад, [6]). Однак зрозуміло, що довідкові коефіцієнти є середньостатистичними величинами і здебільшого не відповідають конкретним виробничим умовам того чи іншого підприємства; до того ж їх величини наводяться у досить широкому діапазоні. Очевидно, що прийняття різних можливих значень довідкових коефіцієнтів завантаження (наприклад, мінімальних або максимальних) дуже помітно впливає на результати розрахунку обсягу споживання електроенергії того чи іншого виду обладнання. Тому необхідна точність побудови балансу споживання електроенергії на об'єкті досягається шляхом виконання численних ітеративних розрахунків, в ході яких підбираються найбільш достовірні значення коефіцієнтів завантаження відповідних установок чи агрегатів.

Те ж саме стосується тривалості роботи устаткування, достовірні значення якої також визначаються шляхом підбору. Очевидно, що при такому підході не можна очікувати, що прийняті в результаті ітеративних розрахунків значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи кожного з видів обладнання відповідатимуть їх реальним величинам.

Отже, можна сказати, що електробаланси виробничо-господарських об'єктів, одержані розрахунково-аналітичним методом, в дійсності являють собою не фактичні чи планові баланси, а деякі їх розрахункові моделі, причому процедура побудови таких моделей не є чітко визначеною і значною мірою має суб'єктивний характер.

Зазначені обставини призводять до того, що при достатньо хорошому збігу розрахункового та фактичного обсягів споживання електроенергії по господарському об'єкту в цілому розподіл загального електроспоживання між підрозділами та окремими видами обладнання здебільшого виявляється суттєво спотвореним і не відповідає реальній структурі

витратної часини фактичного електробалансу. Тобто, одержані таким чином розрахункові моделі балансів споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів не є достатньо адекватними їх реальним балансам.

Таким чином, цілком очевидно, що в існуючих умовах удосконалення і подальший розвиток методів побудови балансів споживання електричної енергії на господарських об'єктах є задачею важливою і актуальною. Не менш очевидно також, що для об'єктів, не оснащених автоматизованими системами обліку споживання електроенергії, мова може йти про удосконалення методів побудови розрахункових моделей їх електробалансів. При цьому перш за все необхідно розробити певну об'єктивну процедуру побудови таких моделей, яка була б достатньо обґрунтованою і дозволяла визначати найбільш реальну структуру витратної частини балансів електроспоживання.

Опис побудови розрахункових моделей електробалансів виробничо-господарських об'єктів спрощеним розрахунково-аналітичним методом.

При застосуванні розрахунково-аналітичного методу для визначення обсягу споживання електроенергії на будь-якому виробничо-господарському об'єкті використовується спрощена формула:

$$W = P_{\text{вст.}} \times \text{T} \times k \qquad (1)$$

Де $P_{\text{вст}}$ - встановлена потужність обладнання, кВт;

k - середній коефіцієнт завантаження відповідного обладнання;

T - середня тривалість роботи цього обладнання, год.

Можливість та доцільність практичного застосування спрощеного розрахунково-аналітичного методу для побудови розрахункових моделей електробалансів виробничо-господарських об'єктів, може бути проілюстрована на прикладі побудови балансу споживання електричної енергії одного з цехів підприємства з виробництва азотних добрив. Склад основного обладнання цього цеху, яке споживає електричну енергію, його встановлена потужність, прийняті за довідковою літературою [4] значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи цього обладнання, а також відповідні розрахункові обсяги добового електроспоживання наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Розрахункові значення споживання електричної енергії основним обладнанням цеху з виробництва аміаку протягом доби (06.04.10)

п/п	Найменування електроспоживаючого обладнання	Встановлена потужність одиниці обладнання, кВт	Кількість одиниць обладнання, шт.	Загальна встановлена потужність обладнання,	Довідковий коефіцієнт завантаження обладнання	Середня потужність обладнання, кВт	Розрахункова тривалість роботи за добу, год	Розрахункове добове електроспоживання, кВт×тод
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Компресор	4800	1	4800	0,7	1783,84	23	77280,0
2	Компресор	4800	1	4800	0,7	3230,53	24	80640,0
3	Компресор	4800	1	4800	0,7	4901,92	24	80640,0
4	Компресор	6780	1	6780	0,7	5451,22	24	113904,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Компресор	6780	1	6780	0,7	5285,75	24	113904,0
6	Компресор	6780	1	6780	0,7	0,54	24	113904,0
7	Компресор	6780	1	6780	0,7	4302,2	0	0
8	Компресор	6780	1	6780	0,7	5393,16	24	113904,0
Всього:								694176,0

У якості прикладу застосування спрощеного розрахунково-аналітичного методу для побудови електробалансів вибрано саме цей цех, тому що він оснащений автоматизованою системою обліку споживання електроенергії основним обладнанням, що дає змогу порівнювати результати виконаних розрахунків з фактичними даними про електроспоживання і, тим самим, робити висновки щодо можливості практичного використання зазначеного методу.

Було прийнято значення коефіцієнту використання компресорів 0,7 [4] і взято тривалість їх роботи із даних, які були зібрані приладами обліку даного підприємства.

У таблицях 1, 2 наведено результати розрахунку для різних діб (одна доба є прикладом найкращого результату, а інша – найгіршого). Фактичні обсяги споживання електроенергії, що продемонстровано у табл. 3, отримано від підприємства з виробництва аміаку та зіставлено із розрахунковими. Розрахунок похибки виконувався заданою формулою:

$$\delta = \frac{W_{\text{факт.}} - W_{\text{розр.}}}{W_{\text{факт.}}} \qquad (2)$$

Де, $W_{\text{факт.}}$– фактичні обсяги електроспоживання, кВт/год
$W_{\text{розр.}}$ –розрахункові обсяги електроспоживання кВт/год.

Таблиця 2. Розрахункові значення споживання електричної енергії основним обладнанням цеху з виробництва аміаку протягом доби (18.04.10)

п/п	Найменування електроспожи ваючого обладнання	Встановле-на потужність одиниці обладнання, кВт	Кількість одиниць облад-нання, шт.	Загальна встановл ена потуж-ність облад-нання,	Довідковий коефіцієнт завант-таження обладнання	Середня потуж-ність обладнан-ня, кВт	Розрахун кова тривалість роботи за добу, год	Розрахун-кове добове електро-споживання, кВт×тод
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Компресор	4800	1	4800	0,7	4918,2	23	77280,0
2	Компресор	4800	1	4800	0,7	0,42	24	80640,0
3	Компресор	4800	1	4800	0,7	3249,03	24	80640,0
4	Компресор	6780	1	6780	0,7	0,33	24	113904,0
5	Компресор	6780	1	6780	0,7	129,29	24	113904,0
6	Компресор	6780	1	6780	0,7	417,5	24	113904,0
7	Компресор	6780	1	6780	0,7	4009,71	0	0,0
8	Компресор	6780	1	6780	0,7	5154,16	24	113904,0
Всього:								694176,0

Результати розв’язання цієї задачі для зазначеного вище цеху з виробництва аміаку, а також їх порівняння з відповідними фактичними величинами електроспоживання наведено в табл. 3, 4.

Результати численних подібних розрахунків, виконаних для інших діб місяця, підтверджують, що застосування розрахунково-аналітичного методу є досить не точним і тому для вирішення поставленої проблеми пропонується використати ймовірнісно-статистичний метод.

Таблиця 3. Порівняння фактичного балансу та результатів побудови розрахункового електробалансу цеху з виробництва аміаку для доби (06.04.10)

Найменування енергоспоживаючого обладнання	Розрахункове споживання електроенергії	Фактичне споживання електроенергії	Похибка результату, %
Компресор 1	77280,0	1783,84	-800
Компресор 2	80640,0	3230,53	-400
Компресор 3	80640,0	4901,92	300
Компресор 4	113904,0	5451,22	1200
Компресор 5	113904,0	5285,75	1000
Компресор 6	113904,0	0,54	-876084
Компресор 7	0,0	4302,2	10000
Компресор 8	113904,0	5393,16	1199
Добове електроспоживання	**694176,0**	**728 380,63**	**4,6**

Таблиця 4. Порівняння фактичного балансу та результатів побудови розрахункового електробалансу цеху з виробництва аміаку для доби (18.04.10)

Найменування енергоспоживаючого обладнання	Розрахункове споживання електроенергії	Фактичне споживання електроенергії	Похибка результату, %
Компресор 1	4918,22354	77280,0	34,5
Компресор 2	0,425	80640,0	790480,32
Компресор 3	3249,03	80640,0	3,4
Компресор 4	0,33	113904,0	1423694,6
Компресор 5	129,29	113904,0	3570,5
Компресор 6	417,5	113904,0	1036,76
Компресор 7	4009,71	0,0	100
Компресор 8	5154,16	113904,0	7,91
Добове елетроспоживання	**429 088,65**	**694176,0**	**-61,77**

Висновки. Таким чином, можна стверджувати, що використання спрощеного розрахунково-аналітичного методу є неможливим і непрацездатним через те що:

1. Окремі результати розрахунку, одержані для деяких діб, взагалі не є балансами, бо сумарне споживання електроенергії цехом дуже відрізняється від фактичного, визначеного за приладами обліку;
2. Окремі статі витратної частини розрахункових балансів, тобто, окремі розрахункові значення електроспоживання компресорів визначаються з прийнятною похибкою; але є чимало таких розрахункових обсягів електроспоживання окремих компресорів, які визначаються з зовсім неприйнятно похибкою, яка складає сотні і навіть тисячі відсотків.

На підставі аналізу результатів застосування розрахунково-аналітичного методу для побудови балансу споживання електроенергії можна зробити висновок, що розрахунково-аналітичний метод, який застосовують здебільшого для отримання та аналізу електробалансів виробничо-господарських об’єктів, не дає змоги оцінювати та контролювати ефективність використання електричної енергії з прийнятною точністю. Однією з основних причин низької якості побудови електробалансів існуючими методами є недостатньо обґрунтовані та

достовірні вихідні дані, отримані переважно на основі суб'єктивних уявлень відповідних фахівців.

Необхідність використання для побудови балансів споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів саме ймовірнісно-статистичних методів ґрунтується на тому, що традиційний розрахунково-аналітичний метод не враховує змінного характеру як вихідних даних, так і обсягів електроспоживання, а також випадкового характеру зміни цих величин. Цілком природно, що для отримання більш точних та достовірних електробалансів господарських об'єктів можна й доцільно застосовувати саме методи теорії ймовірності та математичної статистики.

Список використаної літератури

1. *Находов В. Ф.*энергосбережение и проблема контроля зффективности энерго-использования / Находов В. Ф. // Промелектро. - 2007. - № 1. - С. 34-42.

2. *Находов В. Ф.* Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів / В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, К. К. Кочетова // Промелектро. - 2007. - № 2. - С. 42-48.

3. *Находов В. Ф.* Ймовірнісно-статистичний підхід до побудови енергобалансів виробничо-господарських об'єктів /В. Ф. Находов, О. В. Бориченко // Промелектро. - 2007. - № 6. - С. 45-54.

4. *Справочник* по электропотреблению в промышленности / [О. А Аузинь, О. Т. Балыковский, Л. Г. Бедынерман и др.]; под ред. Г. П. Минина, Ю. В. Копытова. - 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергия, 1978. -496 с., ил.

5. *Архипов Л И.* Методи составления энергобалансов промышленных предприятий: учебное пособие по курсу «Энергобалансы промышленных предприятий» для студ., обучающ. по направленню «Теплотехника» / [Л. И. Архипов, А. Б. Гаряев, В. А. Горбенко и др.]; А. Л. Ефимов (ред.); Московский энергетический ин-т (Технический ун-т). - М.: Издательство МЗИ, 2000. - 48 с.

6. *Справочник по электроснабжению* и электрическому оборудованию: В 2 т. Т. 2. Электрооборудование / [Р. Б. Авринский, С. И. Вершинина, С. И. Гамазин и др.]; под общ. ред. А. А. Федорова. -М.: Энергоатомиздат, 1987. - 592 с.

УДК 620.92

Підгурський І.П.
кафедра електропостачання

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ СПОРТКОМПЛЕКСУ УНІВЕРСИТЕТУ

Детально розглянуто інженерні системи спорткомплексу університету та проведено аналіз споживання енергоресурсів наявними споживачами. Обрано основний об'єкт, де буде впроваджено заходи з підвищення енергоефективності інженерних систем, на основі споживання енергоресурсів будівлею. Проведено розрахунки ефективності впровадження заходів з підвищення енергоефективності та терміну окупності обраних заходів. Ключові слова: У цій статті використано терміни які установлені в Законі України «Про енергетичну ефективність будівель», Законі України «Про енергозбереження», та у документах «Державні будівельні норми України». ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ, БУДІВЛЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЗАХОДИ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ, КЛАС ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ, БАССЕЙН, СПОЖИВАННЯ, ЕНЕРГОРЕСУРСИ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, УТЕПЛЕННЯ.

The engineering systems of the university sports complex are considered in detail and the analysis of energy consumption by existing consumers is carried out. The main object has been selected, where measures will be implemented to improve the energy efficiency of engineering systems, based on the energy consumption of the building. Calculations of the effectiveness of the implementation of measures to improve energy efficiency and payback period of the selected measures were performed. Keywords: This article uses the terms established in the Law of Ukraine "On Energy Efficiency of Buildings", the Law of Ukraine "On Energy Conservation", and in the documents "State Building Norms of Ukraine". ENGINEERING SYSTEMS, BUILDING, ENERGY EFFICIENCY, MEASURES TO ENSURE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDING, ENERGY EFFICIENCY CLASS, POOL, CONSUMPTION OF ENERGY, HEAT PUMPS, SOLAR POWER, INSULATIONS.

Вступ

Після аналізу споживання енергоресурсів спорткомплексом, стало зрозуміло, основним споживачем енергоресурсів є басейн і його допоміжні приміщення. Було прийнято рішення знайти способи для скорочення споживання енергоресурсів басейном. Для забезпечення басейну теплом і скорочення споживання ним тепла з системи теплопостачання спорткомплексу, як захід обрано тепловий насос, для забезпечення електроенергією, як захід обрано електростанцію на даху будівлі спорткомплексу, для зменшення тепловтрат через огороджувальні конструкції прийнято рішення про заміну вікон та дверей приміщення басейну які виходять на вулицю. Усі ці заходи будуть спрямовані на підвищення енергоефективності саме тих частин інженерних систем які забезпечують функціонування басейну і його допоміжних приміщень.

Мета та завдання. Завданням та метою дослідження є підвищення рівня енергетичної ефективності житлової будівлі під час обстеження стану споруди, визначення показників огороджувальних конструкцій та інженерних систем, з переліку інженерних систем спорткомплексу визначити які споживають найбільше енергоресурсів і вибрати заходи які б максимально ефективно забезпечили підвищення енергоефективності обраних систем, оцінка ефективності та рентабельності впровадження вибраних заходів з підвищення енергоефективності.

Основна частина: Об'єктом дослідження є басейн та інженерні системи будівлі

спорткомплексу за адресою м. Київ, вул. Верхньоключова, 1/26. Спорткомплекс введений в експлуатацію в 1985 році.

Спочатку було вирішено визначити споживання теплової енергії, втрати теплоти та заходи для економії паливно-енергетичних ресурсів які споживає блок басейну.

Таблиця 1 – Споживання теплової енергії басейном та допоміжними приміщеннями(душові, туалети)

№	Місяць	2017		2018		2019	
		Гкал.	Грн.	Гкал.	Грн.	Гкал.	Грн.
1	Січень	260,816	402522,344	368,784	594942,39	469,472	858826,8
2	Лютий	389,64	539214,304	162,2	110698,58	392,536	715352,3
3	Березень	185,592	256842,008	290,648	482226,27	286,112	521407
4	Квітень	63,152	87373,32	188,184	312203,23	159,16	290045,9
5	Травень	170,352	235688,808	0	0	67,704	123383,2
6	Червень	0	0	0	0	0	0
7	Липень	0	0	0	0	345,792	630166,2
8	Серпень	50,304	66820,248	0	0	0	0
9	Вересень	9,488	12603,288	0	0	26,968	49149,18
10	Жовтень	18	19128,096	0	0	260,984	475612,8
11	Листопад	155,048	205978,744	217,032	405090,92	180,92	329701
12	Грудень	844,08	1121486,472	347,312	648258,79	308,832	450244,5
Σ	Всього	2142,872	2947657,632	1249,76	2332023	1976,504	3492663

Таблиця 2 - Тепловтрати через огороджувальні конструкції основного блоку бассейну

Найменування	Нормативний термічний опір, ($м^2$ ·К)/Вт	Приведений термічний опір, ($м^2$ ·К)/Вт	Площа, $м^2$	Тепловтрати, кВт	Частка тепловтрат, %
Стіна зовнішня	3,3	3,175	1286	151,39	27,76
Вікна зовнішні	0,75	0,54	576	206,25	37,81
Двері зовнішні	0,6	0,42	30	59,87	10,98
Підлога	3,75	0,78	1092	38,3	7,02
Дах	4,95	4,612	1092	89,64	16,43
Сумарні тепловтрати				545,45	100

Після визначення втрат теплоти через огороджувальні конструкції (Таблиця 2), було побудовано зведену діаграму тепловтрат (Рисунок 1), з якої видно, що найбільша кількість теплоти втрачається через вікна (37,81%), зовнішні стіни (27,76%) та зовнішні двері (10,98%).



Рисунок 1 - Зведена діаграма тепловтрат басейну

Таблиця 3 – Запропоновані заходи для економії паливно-енергетичних ресурсів

№ п/п	Назва заходу	Інвестиції, грн.	Простий термін окупності, років	Економія, грн./рік
1	Заміна віконних конструкцій	2780000	14 роки	198570
2	Утеплення зовнішніх стін	2117800	26	81453,8
3	Заміна металевих дверей на металопластикові	380240	3 роки 3 місяці	111835,3
4	Встановлення теплового насосу	760000	3 роки 6 місяців	217142,85
5	Промивка системи теплопостачання	45000	1 рік 6 місяців	30000

Далі було зроблено оцінку використання електроенергії (Таблиця 4) для функціонування басейну та його допоміжних приміщень. Споживачі електричної енергії які забезпечують функціонування басейну і споживають основну частку електроенергії це: три великих насоси, потужністю 37 кВт два з яких постійно працюють і один в резерві.

Таблиця 4 – Використання електроенергії споживачами які забезпечують функціонування басейну

Електроенергія					
2017		2018		2019	
кВт· год	грн	кВт· год	грн	кВт· год	грн
347472	686565,7	288458,4	642840,8	355440	843916

Зрозуміло що споживання електроенергії не зменшується з часом, в свою чергу платіжки за електроенергію з часом тільки зростають, старе обладнання яке функціонує на даний момент зношується і потребуватиме заміни найближчим часом. Альтернативне джерело енергії зможе за доволі швидкий термін допомогти зменшити щорічні витрати на електроенергію.

Далі було запропоновано заходи для економії електроенергії (Таблиця 5).

Таблиця 5 – Запропоновані заходи для економії електроенергії

№ п/п	Назва заходу	Інвестиції, грн.	Простий термін окупності, років	Економія, грн./рік
1	Заміна двигунів насосів для підкачки води	460000	4 роки 6 місяців	102222,2
2	Встановлення сонячної електростанції на даху будівлі	1620000	6 років	270000

Висновки.

Зробивши обстеження та аналіз даних наданих відділом енергоменеджменту університету, було визначено напрямки вдосконалення і підвищення енергетичної ефективності інженерних систем будівлі спорткомплексу, в цілому, та більш детально в блоці басейну. На сьогодні найбільшим питанням є споживання теплової і електричної енергії. На основі проаналізованих літературних джерел та досвіду попередніх років, коли студенти займалися енергоаудитами корпусів університету, було представлено заходи які б змогли забезпечити зменшення витрат на енергоресурси. В подальшому варто приділити увагу також системі вентиляції та каналізації спорткомплексу, оскільки вони також потребують вдосконалення, а в деяких приміщення і повної заміни.

Бібліографічний список:

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. – 37с.

2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2016-01-01]. Київ:Мінрегіон України, 2015. – 145с.

3. Батухтин А. Г., Кобылкин М. В., Барановская М. Г. Применение тепловых насосов для развития теплофикации //Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2016. – №. 1 (238).

4. Горшков В. Г. Тепловые насосы //Аналитический Обзор//Справочник промышленного оборудования. – 2004. – №. 2. – С. 80.

5. Калькулятор сонячної електростанції. Режим доступу: https://pvsol-online.valentinsoftware.com/#/.

Рибій Михайло
кафедра електропостачання

МУЛЬТИАГЕНТНЕ КЕРУВАННЯ, РОЗРОБКА, ВИЗНАЧЕННЯ АЛГОРИТМІВ ОПТИМАЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ СПОЖИВАННЯ У ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ З ГНУЧКОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ТА АКТИВНИМИ СПОЖИВАЧАМИ

Економія, що пов'язана з інтелектуальною мережею, впливатиме на ряд факторів, які значною мірою є наслідком «ефекту збереження». Інтелектуальна мережа є основним механізмом досягнення агресивних національних цілей щодо економії енергії та скорочень викидів у атмосферу. Концепція визначається «інтелектуальною мережею», яка має «розумну» поведінку та дії всіх суб'єктів, що пов'язані з нею. Вдосконалення мережі стало одним з найбільших прогресів у сучасну епоху, оскільки невідновлювальні енергетичні ресурси зникають, що призводить до дефіциту електроенергії та різкої зміни клімату, через викиди парникових газів. Традиційна інфраструктура була зосереджена на взаємодії між генераторами, операторами систем передачі та систем розподілу. «Просюмер» інтегрує інформаційні комунікаційні технології з передовими енергетичними електронними технологіями для здійснення двонаправленого потоку електроенергії та інформації. Розвиток мультиагентних систем та поява нових агентів на локальних ринках електроенергії в цілому є актуальним науково-технічним завданням.

Ключові слова: Smart Grid, просюмери, мультиагентні системи, відновлювальні джерела енергії, генератор, алгоритм тарифікації, лічильник, мікроконтролер.

MULTIAGENT CONTROL, DEVELOPMENT, DETERMINATION OF ALGORITHMS FOR OPTIMAL FUNCTIONING OF CONSUMPTION IN LOCAL SYSTEMS WITH FLEXIBLE GENERATION AND ACTIVE CONSUMERS

The savings associated with the smart grid will affect a number of factors that are largely the result of the "conservation effect". The smart grid is the main mechanism for achieving aggressive national targets for energy savings and emission reductions. The concept is defined by an "intelligent network" that has "reasonable" behavior and actions of all subjects associated with it. Improving the grid has been one of the greatest advances in modern times, as non-renewable energy resources are disappearing, leading to electricity shortages and drastic climate change due to greenhouse gas emissions. Traditional infrastructure has focused on the interaction between generators, transmission system operators and distribution systems. Prosumer integrates information and communication technologies with advanced energy electronic technologies to implement a bidirectional flow of electricity and information. The development of multi-agent systems and the emergence of new agents in local electricity markets in general is an urgent scientific and technical task.

Keywords: Smart Grid, prosumer, multiagent systems, renewable energy sources, generator, tarification of algorithm, counter, microcontroller.

Вступ

Досліджується питання аналізу особливостей функціонування локальних систем електропостачання з гнучкою генерацією та активними агентами, особливості функціонування МАС на локальному рівні. Визначення алгоритмів та оптимальне функціонування локальних систем з гнучкою генерацією та активними споживачами.

Мультиагентні технології отримують все більше розповсюдження в електроенергетичних системах на ієрархічних рівнях, зокрема в рамках двох аспектів: як методичний апарат для моделювання електроенергетичних систем при вирішенні різних задач, так і як платформа для побудови систем керування різного призначення. Наразі

накопичено досить суттєвий досвід використання мультиагентного підходу за вирішенням різних роду проблем електроенергетики. Мультиагентні системи керування(МАСК) електроенергетичних систем, де кожен агент є рівноправним учасником процесу, надають можливість реалізувати функції автоматичного ведення режимів виявлення ушкоджень і їх локалізації, виділення та швидкого відновлення електропостачання, збору і обробки інформації. При цьому важливою проблемою є непередбачуваність роботи установок розосередженої генерації, як основного елемента. Режими визначаються метрологічними умовами, а також складності керування процесами взаємодії активних споживачів з елементами електроенергетичної системи.

Постає проблема взаємодії керування з електроенергетичною системою нового «гравця» на локальному ринку електроенергії, як активного споживача. Для цього необхідно сформувати й вирішити питання оптимізаційних процесів, активної взаємодії споживачів електроенергії з електроенергетичною системою із збереженням сумарної вигоди активного споживача від оптимізації власного графіку споживання електроенергії та можливого доходу від продажу електроенергії з підтримкою нормального режиму роботи електросистеми.

Також, зміна традиційної поведінки споживачів на активну потребує в Україні вирішення низки проблем. Це спричинено тим, що енергетична система України в цілому є централізованою, з електростанціями великої потужності, орієнтованою на класичних споживачів електроенергії.

Гнучка генерація в електроенергетичних системах суттєво впливає на зміну поведінки агентів на локальному ринку електроенергії. Вона також впливає на формування тарифної політики на ринку енергії та ведення режимів мережі.

Необхідність розгляду цього питання полягає у можливості керуванні та коригуванні графіків споживання електроенергії, в сумісності із генерацією. Основний напрямок діяльності практики покладено у вирішені індивідуального завдання щодо керування попитом оптимального споживання об’єкту та розгляд оптимальної генерації.

Метою є вивчення нових, додаткових питань, які полягають у застосуванні просюмерів на локальному рівні Smart Grid.

Завдання полягає у розробці та визначенні алгоритмів оптимального функціонування локальних систем з гнучкою генерацією та активними споживачами. Розробка наглядних графіків споживання електричного навантаження, математичної моделі, алгоритмів оптимальних дій.

У виконання завдання покладено основу питання про застосування просюмерів, як споживачів електричної енергії та визначення графіку навантаження у різних технологічних процесах, які пов’язані з алгоритмами оптимального функціонування локальних систем з гнучкою генерацією.

Матеріал і результати досліджень

Традиційно системи енергетичного моніторингу створюють і застосовують як для окремих установок, агрегатів та невеликих їх груп, так і для цілих технологічних процесів. На будь-якому виробничому об’єкті кількість технологічних установок вимірюється сотнями або навіть тисячами.

Для здійснення енергетичного моніторингу потенційно існує потреба у побудові сотень відповідних систем, що пов’язано зі значними витратами часу і коштів. Причому доцільність цих витрат далеко не завжди є очевидною.

Вибір окремих технологічних установок, їх груп або технологічних процесів, для яких є можливим і доцільним створення локальних систем енергетичного моніторингу, являє собою досить складне завдання. Вирішення цього завдання має здійснюватись «індивідуально» для кожного виробничого об’єкту.

На першому етапі все основне і допоміжне обладнання підприємства попередньо має бути розділене на певну, порівняно невелику кількість груп. Найбільш доцільно здійснювати

такий розподіл за технологічним принципом. Тобто наявне технологічне обладнання потрібно розподілити між технологічними процесами виробництва всіх видів продукції підприємства.

З цією метою, перш за все, необхідно скласти схеми відповідних технологічних процесів, які мають відображати послідовність виконання окремих операцій та взаємозв'язок між ними. А також відомості про обладнання, на якому виконуються ці операції, з зазначенням видів енергоресурсів, що при цьому споживаються.

Наступним кроком вирішення задачі має бути побудова балансів споживання енергії окремо для кожного з технологічних процесів виробництва всіх видів продукції підприємства. **Крім того, для складання балансів споживання електричної енергії у процесах виробництва кожного виду продукції може бути застосована методика побудови оптимальних розрахункових моделей електробалансів.**

На підставі побудованих балансів енергоспоживання і складених технологічних схем фактичні обсяги споживання енергії за попередні періоди на підприємстві можуть бути обґрунтовано розподілені між усіма видами продукції.

Тим самим можна отримати статистичні дані про споживання енергії на виробництво кожного виду продукції, які є необхідними на подальших етапах визначення локальних технологічних об'єктів для створення системи енергетичного моніторингу на підприємстві.

Наступним кроком вирішення цієї задачі має бути розподіл основного та допоміжного обладнання, віднесеного до технологічного процесу виробництва кожного виду продукції, на більш дрібні групи. Таке подальше групування обладнання повинно здійснюватись, виходячи з двох критеріїв:

- Першим з цих критеріїв повинно бути місце розташування відповідного обладнання у тих чи інших будівлях, спорудах чи виробничих приміщеннях.

- Другим критерієм подальшого групування технологічного обладнання підприємства мають бути схеми внутрішнього енергопостачання відповідних будівель, споруд та виробничих приміщень.

Такий аналіз, у свою чергу, потребує вирішення низки додаткових задач.

Основними з цих задач є:

− визначення складу чинників (параметрів технологічного процесу, зовнішніх умов тощо), які впливають на обсяги споживання енергії кожною з попередньо визначених груп обладнання;

− визначення додаткових приладів обліку споживання енергії, виробництва продукції, а також параметрів, що характеризують виробничі умови, необхідних для побудови системи енергетичного моніторингу для кожної з груп обладнання;

− оцінка грошових витрат на побудову і функціонування такої системи енергетичного моніторингу;

− оцінка потенціалу енергозбереження, що матиме місце завдяки створенню системи енергетичного моніторингу, що охоплює кожну групу обладнання, що розглядаються;

− фінансовий аналіз доцільності створення системи енергетичного моніторингу для попередньо визначених груп обладнання.

Для зазначеної дільниці, із застосуванням різноманітних методів, було обрано декілька варіантів вибору об'єктів для побудови системи енергетичного моніторингу. Розглянемо застосування АВС-аналізу для вирішення поставленого завдання.

Цей аналіз ґрунтується на групуванні об'єктів залежно від значущості та за конкретною ознакою. Спочатку необхідно обрати вибірку об'єктів, що були б об'єднані спільною ознакою. Наприклад, це може бути величина енергоспоживання кожного виду обладнання окремого виробничого підрозділу.

В подальшому розраховується сумарна величина споживання енергії для виробничого

підрозділу в цілому:

$$w_{сум} = w_1 + w_2 + ... + w_n,$$

де $w_1 + w_2 + ... + w_n$ – річне енергоспоживання окремого n-го об'єкту дільниці; n – відповідний номер об'єкту дільниці

Потім для кожного об'єкту вибірки визначається його частка енергоспоживання в загальній величині споживання енергії виробничого підрозділу, а також частка за зростаючим підсумком для кожного об'єкту відповідно за формулами:

$$K_n = \frac{W_n}{W_{сум}} \cdot 100\%$$

$$K_{зр.} = K_n + K_{n+1}, \%$$

Для побудови балансів споживання електроенергії на виробничо-господарських об'єктах в умовах недостатніх та нечітко визначених вихідних даних щодо значень технологічних параметрів, показників умов виробництва, а також обсягів електроспоживання, коли застосування традиційного розрахунково-аналітичного методу є практично неможливим, слід використовувати методи теорії ймовірності та математичної статистики. Загальні принципи застосування ймовірнісно-статистичного підходу до побудови балансів споживання електричної енергії в зазначених умовах.

Наявність на виробничих об'єктах численного та різноманітного обладнання, яке працює у різних режимах, складність та розгалуженість технологічних процесів значно ускладнюють процедуру побудови елетробалансів. З метою спрощення цієї задачі, запропоновано застосовувати ієрархічний підхід, який передбачає послідовне її вирішення спочатку за видами продукції, а потім за агрегатами, що задіяні у процесі виробництва кожного з видів продукції.

Найскладнішим випадком побудови електробалансів є схема з єдиною вихідною інформацією обсягу споживання електроенергії на підприємстві в цілому, а також технологічні схеми виробництва кожного виду продукції. В зазначених умовах для знаходження обсягів електроспоживання окремих агрегатів застосовують спрощену розрахунково-аналітичну формулу:

$$W_i = P_{вст.i} k_{з.i} T_i$$

де $P_{вст.i}$ – встановлена потужність і-ї одиниці обладнання; $k_{з.i}$ – середній коефіцієнт завантаження цього обладнання; T_i – тривалість його роботи.

При цьому числові значення величин $k_{з.i}$ та T_i, як правило, є невідомими або нечітко визначеними параметрами. Тому першим кроком побудови електробалансів у зазначених умовах є визначення найбільш ймовірних значень показників $k_{з.i}$ та T_i.

Розрахунок оптимальних режимів систем електропостачання необхідно проводити з використанням моделей джерел електроенергії та споживачів електричної енергії, які враховують як техніко-економічні та соціально-екологічні показники, так і параметри режимів.

Наявність в системах електропостачання промислового підприємства власних джерел активної та реактивної потужності обумовлює розробку алгоритму, що дозволяє отримати оптимальний розподіл активних і реактивних потужностей між агрегатами власних електростанцій за критеріями мінімуму витрат на вироблення електроенергії і мінімуму вартості втрат активної потужності, а також дозволяє визначити оптимальне значення потужності, споживаної підприємством з мереж енергосистеми.

Оптимізація режимів систем електропостачання доцільно також проводити за величиною завантаження власних електростанцій по реактивній потужності і за положенням регулювальних відгалужень трансформаторів замкнутих мереж.

Управління електроспоживанням та оптимізація режимів систем електропостачання потребує визначення регулюючих ефектів групових навантажень, а також виявлення впливу статичних характеристик споживачів і конденсаторів на втрати потужності та напруги в пасивних елементах систем електропостачання.

Необхідно також визначити вплив ступеню компенсації реактивної потужності в цехових мережах і рівнів напруги у вузлах системи електропостачання на споживання потужності від джерела живлення. Зробити аналіз залежностей зазначених факторів від параметрів елементів електромереж та споживачів.

Доцільним є також проведення оптимізації споживання активної потужності від джерела живлення при взаємопов'язаному визначенні рівнів напруги в системах електропостачання промислових підприємств і потужності конденсаторів в цехових мережах.

Система містить два об’єкти, які мають споживання та генерацію активної потужності підприємства. Споживання та генерація може бути сумісна, або різна. Це залежить від роботи технологічного процесу та параметрів енергомережі.

Об’єкти виконують певну технологічну роботу/процес, який залежить від:

- Складність обсягів процесу, які в майбутньому складуть вплив на технічні характеристики
- Зміна/складання графіку навантаження відповідно до ціноутворення із впливом часових характеристик
- Зміна параметрів P,U,I,f до часових характеристик

Кожен технологічний процес має свої умови роботи та режими роботи. Споживання кожного об’єкта повинно забезпечувати надійність та якість енергоспоживання.

Система повинна мати орган керування, який відповідає за контроль технологічних процесів, характеристику споживання енергоресурсів та генерацію. Відповідні умови для цих технологічних об’єктів повинні мати відповідний контроль.

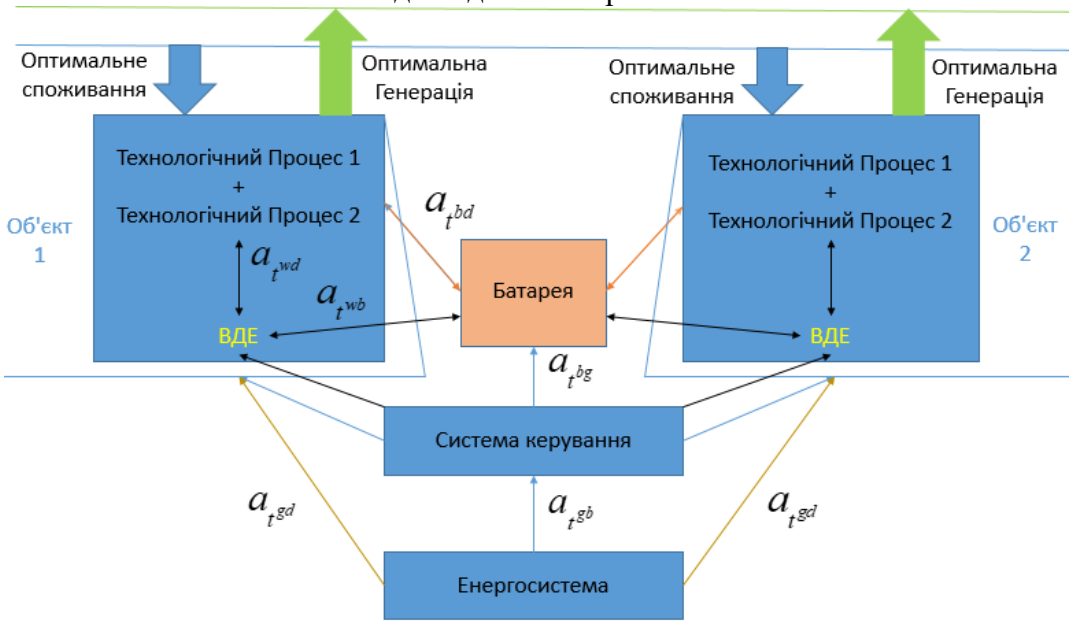


Рисунок 1. Система оптимального споживання та генерації

де, $a_{t^{gd}}$ - технологічний зв’язок керування між енергосистемою та об’єктом

технологічних процесів; $a_{t^{gb}}$ - технологічний зв'язок керування між енергосистемою та системою керування; $a_{t^{bg}}$ - технологічний зв'язок керування між системою керування та батареєю; $a_{t^{wb}}$ - технологічний зв'язок керування між системою відновлених джерел енергії та батареї; $a_{t^{wd}}$ - технологічний зв'язок керування між технологічними процесами та відновлених джерел енергії; $a_{t^{bd}}$ - технологічний зв'язок керування між технологічними процесами та батареєю.

$$a_t = (a_{t^{wd}}, a_{t^{gd}}, a_{t^{bd}}, a_{t^{wb}}, a_{t^{gb}}, a_{t^{bg}})^{\tau} \geq 0, a_t \in x_t$$

$a_t = a_{t^{bd}} + a_{t^{gd}} = D_t$ - обсяг енергії у цілому

$a_{t^{bd}} + a_{t^{bg}} \leq B_t$ - обсяг енергії у батареї

Споживання має змогу у коригуванні і регулюванні параметрів енергоспоживання. Від збільшення споживання потрібно підвищити надійність системного постачання.

Оператори розподільчих мереж змушені підвищувати свою ефективність завдяки споживачам, які вимагають поліпшення якості послуг та процедур регулювання, встановлених регуляторними органами.

У двох об'єктах можуть бути різні групи електроприймачів, тому, до підходу необхідності регулювання технологічного процесу потрібно відноситись з чіткою позицією безпечності.

Також, впровадження джерел розподіленої генерації дає змогу в електричних мережах знизити екологічне навантаження на навколишнє середовище та вирішити багато проблем, які пов'язані з викидами і відходами при виробництві.

Впровадження такого джерела має змогу забезпечити:

1 - Зниження вартості електричної енергії. Це є позитивним фактором щодо об'єкта в цілому.

2 - Розвантаження системи та забезпечення процесу модернізації об'єктів.

Ці всі аспекти дозволять диверсифікувати майбутні ризики, які можуть мати вплив на зростання цін електроенергії.

Технологія генерації базується на:

1 – Спалювання палива, який в подальшому перетворюється в енергоресурс.

2 – Вироблення енергоресурсу(активної енергії) з енергоносіїв.

Така технологія генерації може базуватися(розташування) поблизу кінцевих споживачів електричної енергії, щоб забезпечити економічну ефективність розподільної мережі. Генерація може мати як позитивний характер впливу, так і негативний.

По-перше – це процес впливу на рівні напруги в усталених режимах роботи електромережі. По-друге – вплив розподільної генерації на коливання частоти напруги у електромережах.

У електромережах, активні та реактивні навантаження змінюються у вузлах з впливом часу, від чого виникають певні коливання рівнів напруги у мережі. Тому прийнято аналізувати вплив напруги, вплив на втрати та вищі гармоніки.

Нерівномірність графіків електричного навантаження енергосистеми ускладнює забезпечення балансу споживання та недопущення зміни частоти мережі змінного струму і

розрахункового рівня напруги.

Через технологічні вимоги генеруючих станцій неможливо оперативно та оптимально чітко забезпечити покриття графіка електричних навантажень енергосистеми у кожній точці її доби.

Це призводить до значних втрат на використання природних ресурсів при генерації електричної енергії.

Графік навантаження енергосистеми являє собою суму безліч графіків навантаження споживачів, тому вирівняти графіки можна тільки за допомогою споживачів – регуляторів, які здатні до обмеження, коригування або перенесення свого електричного навантаження з одного проміжку часу доби на інший, якщо це стосується добового регулювання.

Основною метою є економічне стимулювання підприємства до коригування споживання електроенергії з більш завантажених періодів до/на менш завантажені.

Якщо споживання електричної енергії співпадає, то загальна вартість електричної енергії також буде рівною, тобто:

$$\begin{pmatrix} W^1_{ніч} = W^2_{ніч} \\ W^1_{день} = W^2_{день} \end{pmatrix}$$

Загальна ціна вартості спожитої енергії за добу залежить від середнього значення навантаження (ΔP), або кількості спожитої електроенергії(W) в межах зон тарифів:

$$W = \Delta P \cdot t$$

Стандартне середньоквадратичне відхилення визначається як:

$$\sigma = \sqrt{P_{ск}^{\ 2} - P_c^{\ 2}}$$

Коефіцієнт форми графіку навантаження:

$$K_ф = \frac{P_{ск}}{P_c}$$

Гнучкість повинна бути для того, щоб з’явився простір збалансування енергосистеми та мати можливість зменшити обмеження відновлювальної генерації і одночасно зменшити залежність від вугільної генерації.

генерації і одночасно зменшити залежність від вугільної генерації.



Рисунок 2. Гнучкість споживання енергосистеми

Використання акумуляторних батарей, як додаткове джерело живлення, дозволяє підвищити енергетичну автономність вітрової електричної станції та збільшити частку використання ВДЕ в розподільчих мережах.

Застосування енергоакумулюючого елемента в складі ВДЕ потребує розроблення нових вдосконалених методів управління з урахуванням параметрів енергоакумулюючого елемента та навантаження споживання.

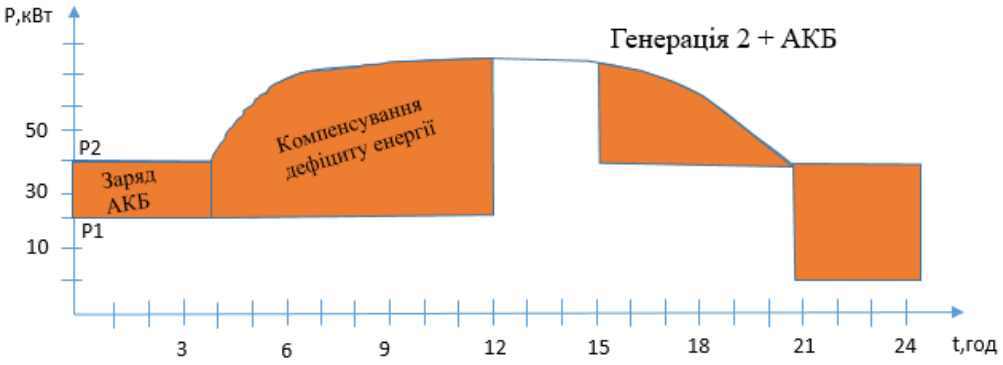


Рисунок 3. Генерація енергосистеми

Якщо станції ВДЕ в певний період часу виробляють певну кількість енергії, яка є більшою порівняно з навантаженням, то необхідно її акумулювати з метою забезпечення електромагнітної сумісності у мережі.

Блок керування повинен вчасно реагувати на будь-які зміни, які можуть бути викликані зміною енергетичних потреб. Використання батареї в структурі ВДЕ дозволить істотно покращити стабільність роботи та забезпечити повне, або часткове, покриття потреб споживачів в періоди несприятливих умов.

Впровадження ВДЕ в енергетичних системах забезпечує зниження використання природних ресурсів, а також знизить шкідливий вплив на навколишнє середовище, які пов'язані із забрудненням від відходів, що з'являються під час вироблення електроенергії. ВДЕ, зокрема сонячна, не здатна покривати ранковий на вечірній графік навантаження. Робота ВДЕ сонця залежить виключно від сонячної активності. В свою чергу, пора року теж активно впливає на рівень генерації електричної енергії.

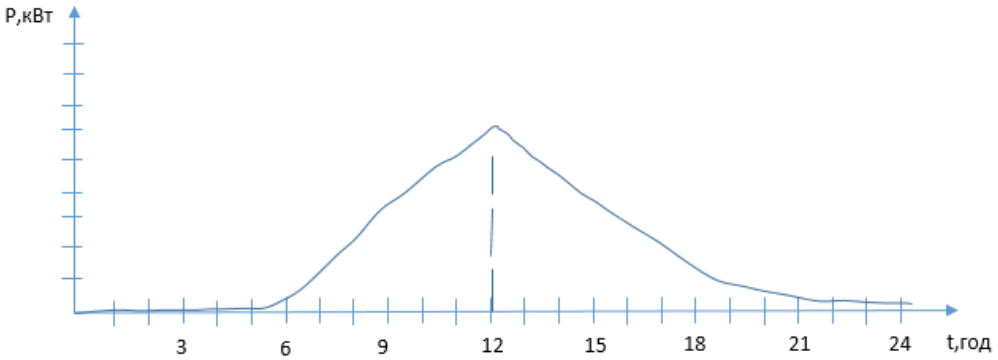


Рисунок 4. Часова характеристика ВДЕ

З огляду роботи ВДЕ в енергетичній мережі, очевидно, що визначення та реалізація керуючих впливів для забезпечення оптимальних режимів та їх сумісної роботи, відповідно до змін зовнішніх впливів, можливо лише за допомогою автономної системи керування.

Впровадження джерел розподіленої енергії та генерації, як і будь-який технічний захід, вимагає оцінки техніко-економічної ефективності. Одним з інтегральних показників роботи електричних мереж з ДРГ є електрична енергія, яка була отримана від ДРГ за розрахунковий період. Цей показник залежить від виду первинного енергетичного ресурсу та способу отримання електричної енергії.

$$W_{ГЕ} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}(W_{П_{ij}^{теор}} - \Delta W_{ij}^{нев})\eta_{Г_j}$$

де, і – Вид первинного енергетичного ресурсу; j – порядковий номер вузла генерації;

$W_{П_{ij}^{теор}}$ - частка енергії первинного енергетичного ресурсу, яка може використовуватись для

виробництва електричної енергії у вузлі «j» ДРГ;

$\Delta W_{ij}^{нев}$ - частка енергії первинного ресурсу виду «i», яка з певних технологічних причин не була використана у вузлі «j»(відключення ДРГ, регулювання потужності); $\eta_{Г_j}$ - ККД вузла «j» генерації.

Електроенергія може бути поділена на два потоки:

- Власне споживання $W_{Власн_\Sigma}$
- Генерація в енергосистемі $W_{Г_\Sigma}$

$$W_{EC_\Sigma} : W_{Г_\Sigma} = W_{Власн_\Sigma} + W_{EC_\Sigma}$$

З позиції модернізації, впровадження в електроенергетику ДРГ дає змогу підвищити величину $W_{Г_\Sigma}$, але в той же час, з точки зору загальної ефективності роботи електричних мереж, постає ряд проблем пов'язаних з ДРГ на якість електричної енергії, втрати електричної енергії, функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики, надійність роботи електричної мережі. Важливим фактором є сумарний вплив ДРГ на сумарні графіки навантаження.

коефіцієнт форми графіку:

$$K_\phi = \sqrt{\frac{\sum_i^{24} (P_i - P_Г)^2}{24 P_{ср}^2}}$$

де, і – порядковий номер години; P_i - активна потужність у мережі за і-й інтервал часу до встановленої ДРГ; $P_Г$ - активна потужність ДРГ; $P_{ср}$ - середньодобова активна потужність мережі після встановлення ДРГ.

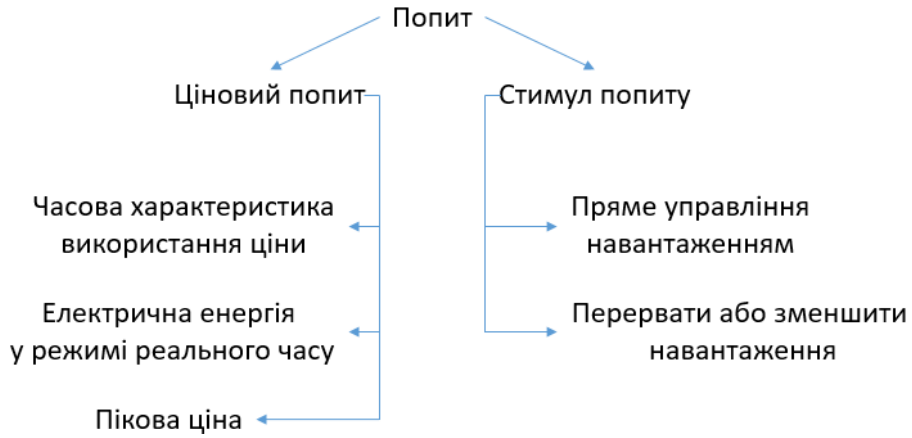


Рисунок 5. Попит технологічного процесу

Оскільки генерація – це процес, який має складність до коригування і залежить від геотермальних умов навколишнього середовища.

У нашому випадку, щоб керувати та мати можливість коригувати, оптимізувати графік споживання електричного навантаження, ми маємо адаптувати такі характеристики, як:

- Часова характеристика залежності
- Цінова характеристика залежності

- Потужність від часової характеристики залежності.

Внаслідок цього, генерація може працювати одночасно, або послідовно, щоб зменшити «провали» саме у генерація. Після цього є можливість зменшити обсяг споживання електричної енергії з мережі. В часи нормального навантаження, генерація може накопичуватися у АКБ для подальшого використання у власних технологічних потребах підприємства.

Приклад поділу характеристики потужності у певній часовій характеристиці:

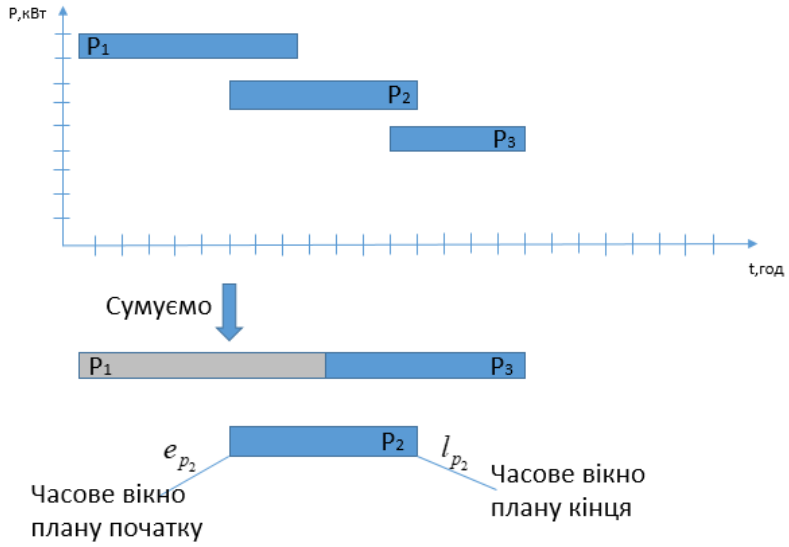


Рисунок 6. Поділ характеристики потужності

Якщо нам треба величина початку P_2 та закінчення P_2, то Зазначаються плани початку та тарифи зарядки:

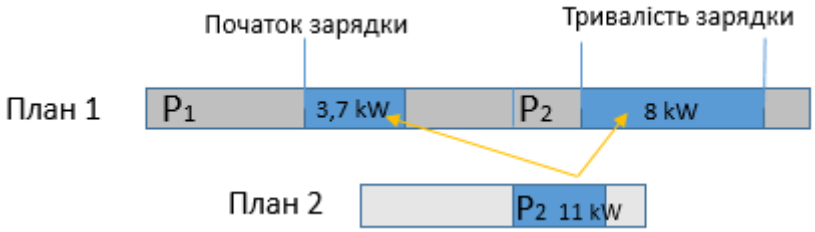


Рисунок 7. Дві фази вирішення проблеми фотовольтаїки

Взаємозв'язок часової характеристики проектуємо у три стадії.

1. На початку, ми приймаємо ту часову характеристику, яку можемо змінити:

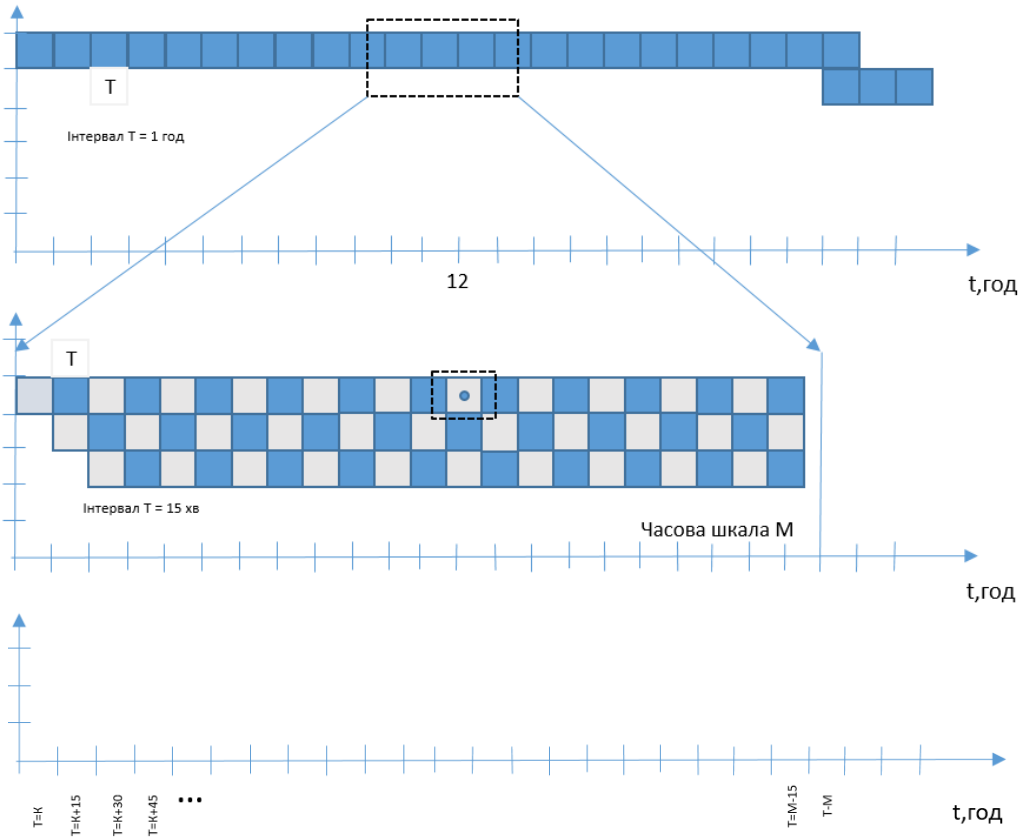


Рисунок 8. Поділ часової характеристики

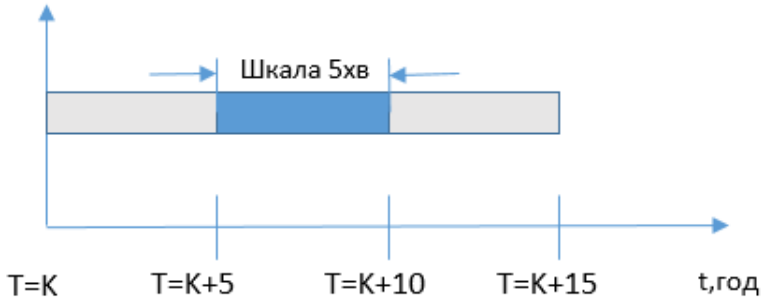


Рисунок 9. Поділ часової характеристики на частини

Графіки споживання електричної енергії мають можливість коригування у інтервалах часу «t», якщо це доречно.

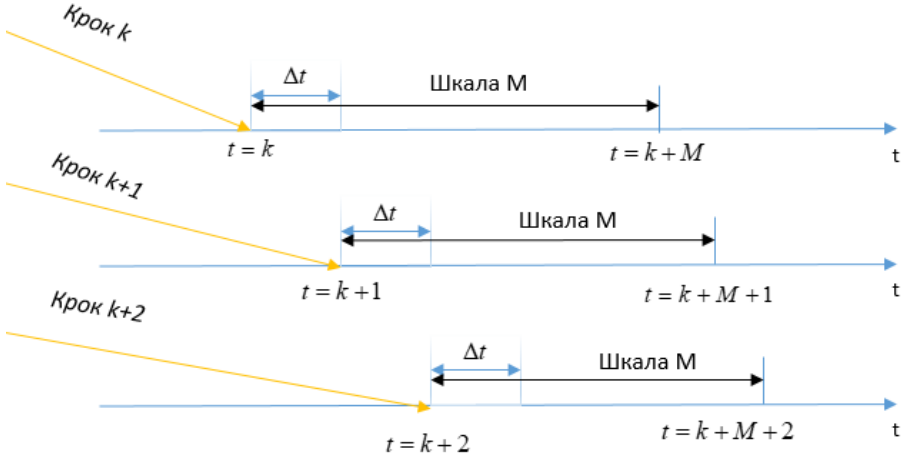


Рисунок 10. Часова залежність від кроку M

1) Якщо ми маємо власну генерацію, то у часи пікового навантаження ми можемо знизити споживання електричної енергії з мережі та застосувати споживання з АКБ (забезпечуючи генерацію енергії з ДРГ).

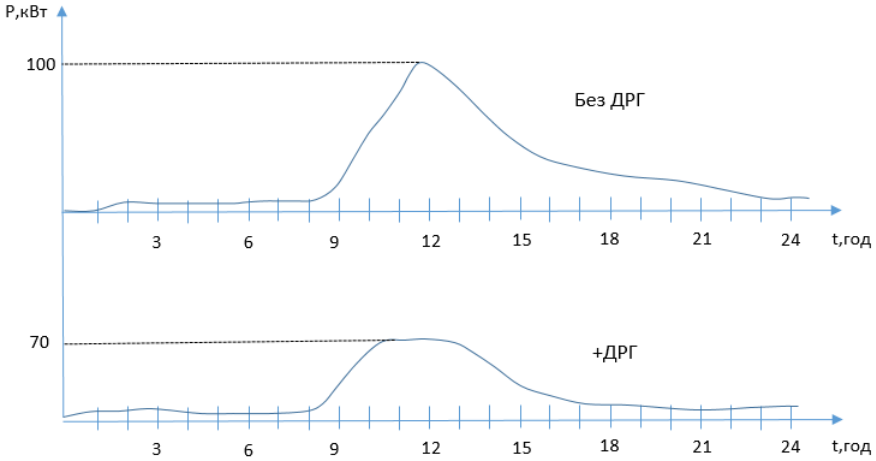


Рисунок 11. Залежність споживання із застосуванням ДРГ

Якщо є змога змінити технологічний процес в залежності від часової та цінової характеристики:

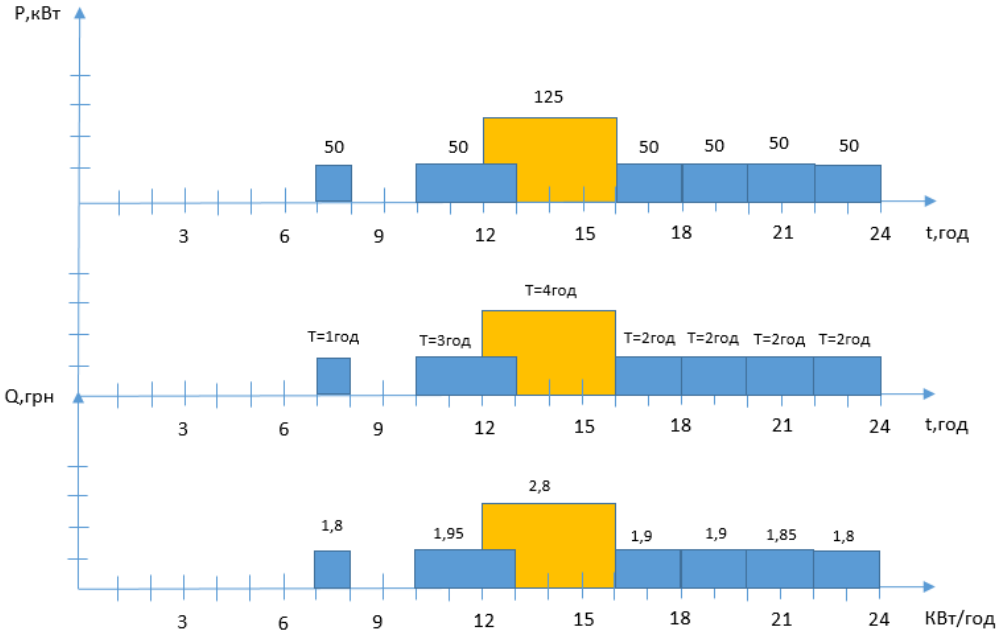


Рисунок 12. Залежність встановленої потужності до часової характеристики з встановленою ціновою характристикою

В залежності від часу, ми можемо змінювати час ввімкнення/введення в експлуатацію електроустановку технологічного процесу та мати можливість до коригування.

Ціноутворення мережі змінити неможливо, тому оптимальним рішенням є огляд ринку ціни та створення графіку експлуатації електрообладнання. Також є можливість зміни потужності шляхом комбінування технологічних процесів у той, чи інший момент часу графіку.

Для того, щоб обрати варіант стратегії для виробництва, яка у майбутньому повинна задовольнити потреби, треба побудувати алгоритм взаємодії оптимальних режимів роботи енергосистеми:

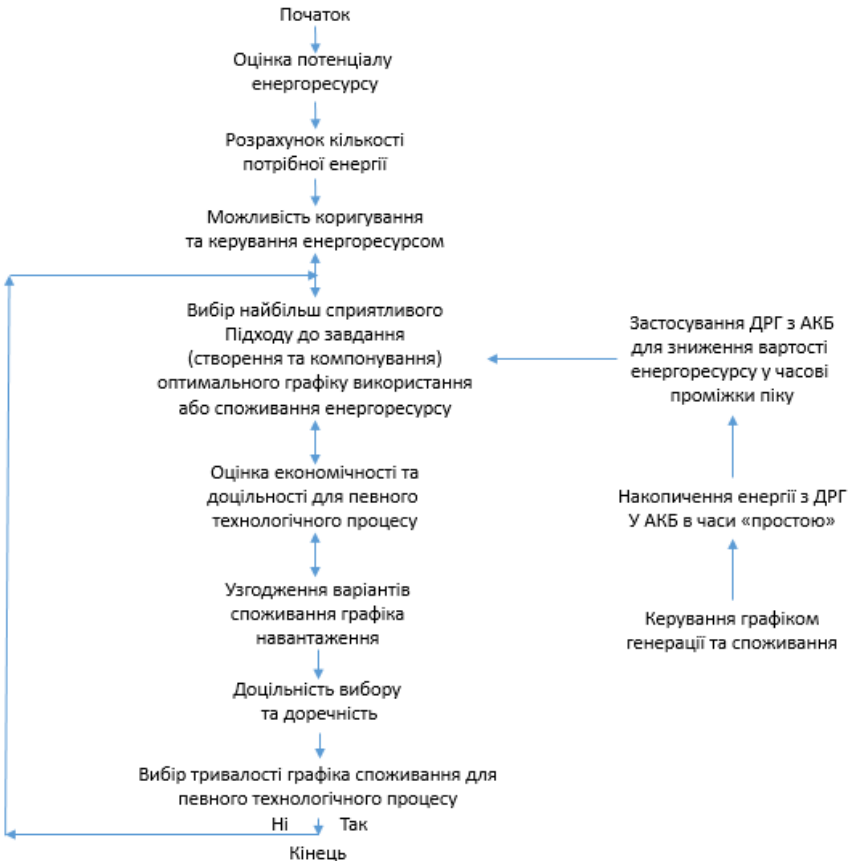


Рисунок 13. Алгоритм вибору оптимального графіка споживання енергоресурсу

З огляду на алгоритм вибору оптимального графіку споживання енергоресурсу, можна запропонувати 3 оптимальні варіанти споживання:

1. Комбінований – групи споживачів потужності, що працюють паралельно у певному інтервалі t

2. Послідовний - групи споживачів потужності, що працюють послідовно у певному інтервалі t

3. Коригувальний - групи споживачів потужності, що працюють в залежності заданих умовних часових та цінових характеристик.

Варіант 1 – Комбінований

Якщо є можливість коригування технічного процесу в іншому проміжку часу, то ми застосовуємо цей варіант з метою економії.

У проміжку «Т = 6-9 год» генерації ми можемо використовувати енергію для споживання(щоб зменшити споживання з мережі) або зберегти у «сховище АКБ» для подальшого використання.

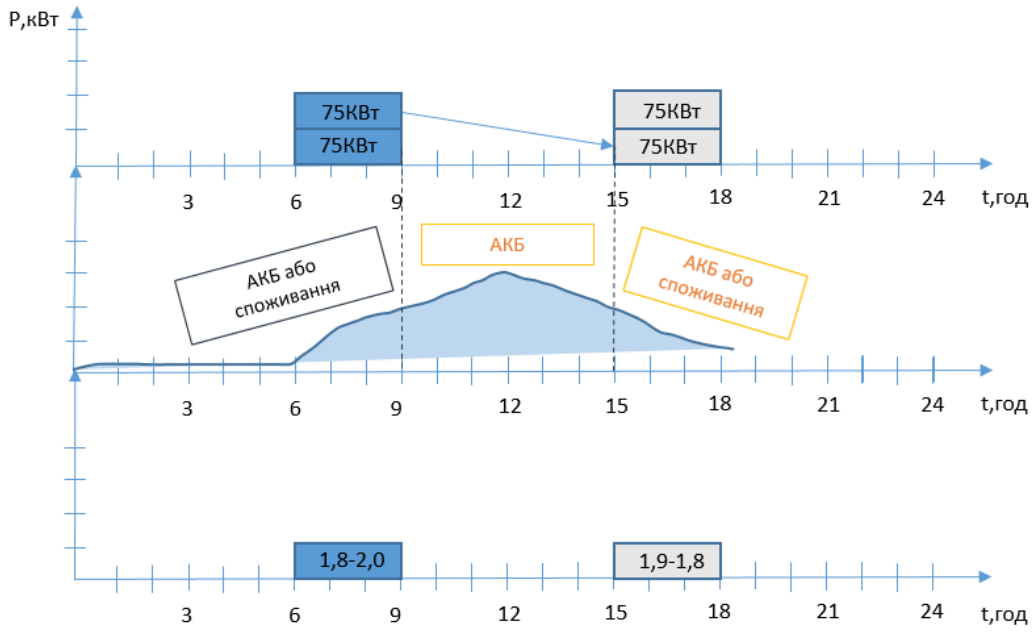


Рисунок 13. Комбіноване споживання енергії з можливістю «перенесення)
Генерація з «Т = 9-15 год» має накопичуватись та зберігатись у АКБ.

Варіант 2 - Послідовний

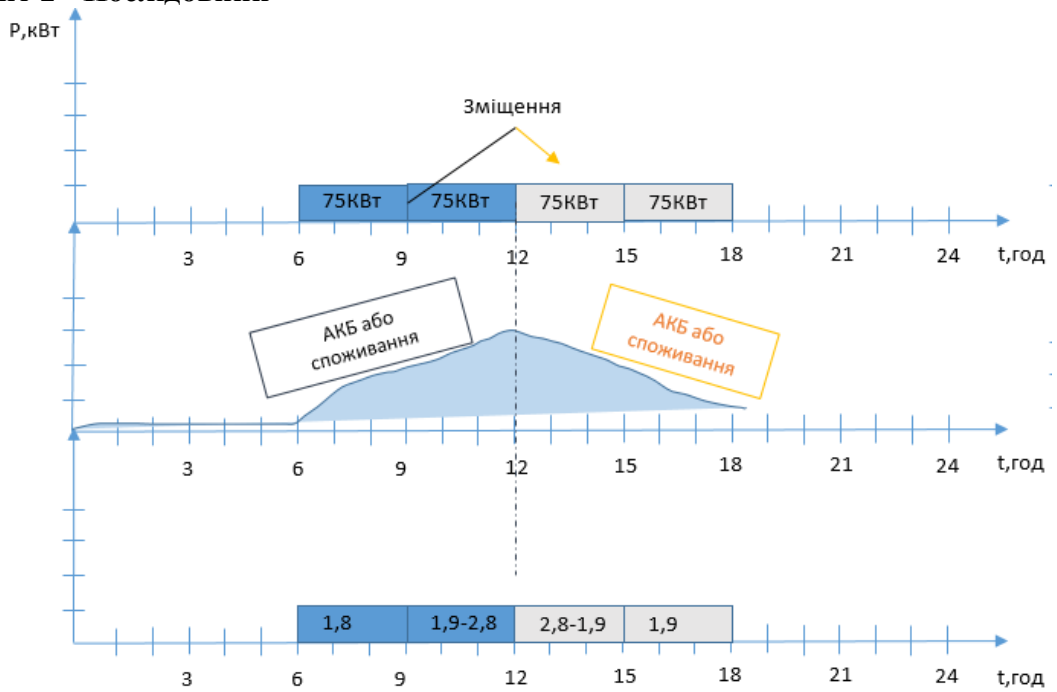


Рисунок 14. Послідовне споживання енергії з можливістю «перенесення»

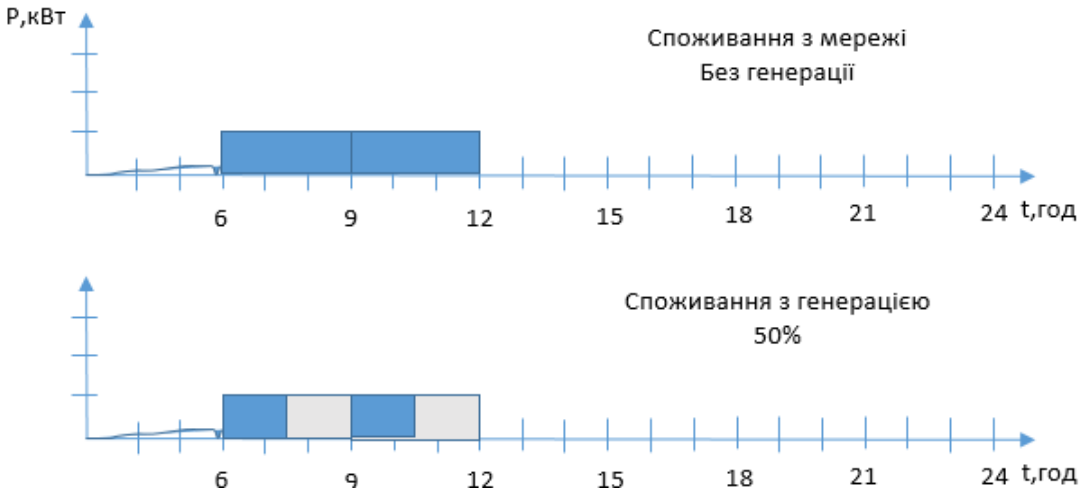


Рисунок 15. Застосування ДРГ(50%)

Якщо ми зміщуємо технологічний процес, то в залежності від цього змінюється ціна на енергоресурс з мережі. У зв'язку з тим, що ми маємо генерацію, ми можемо знизити споживання з енергомережі та застосувати власне споживання. Ціну можна знизити у випадку зменшення споживання з енергомережі.

Варіант 3 - Коригувальний

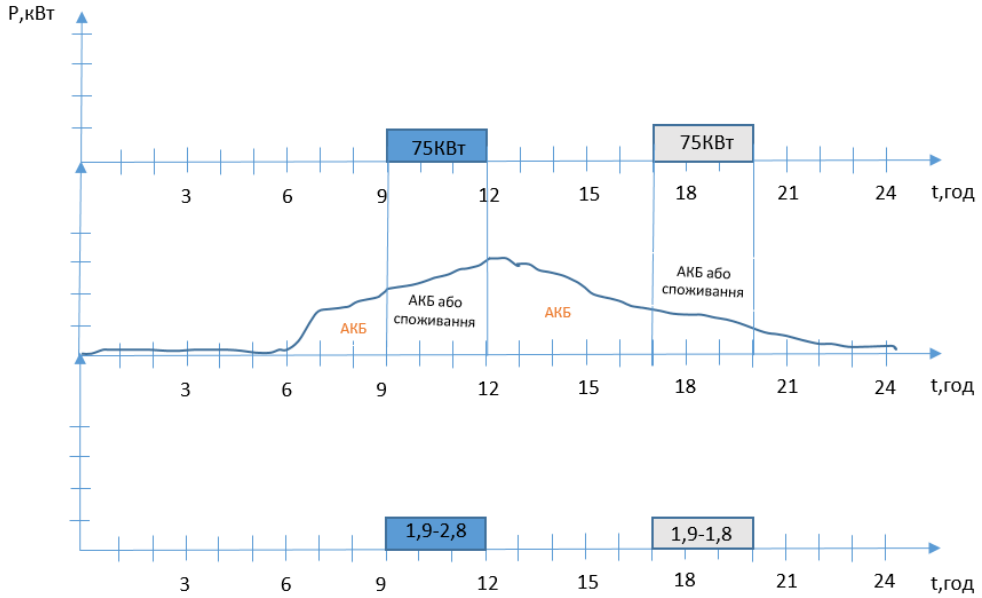


Рисунок 16. Застосування споживання в певний вибірковий момент часу

Технічні процеси поділяються на 2 проміжки часу, які мають різне ціноутворення. З часом піку, ми можемо генерувати та зберігати енергію до моменту її використання. Ціна залежить від часу, але її можна знизити шляхом застосування енергії з АКБ для власного споживання.

Таблиця 1.Алгоритм споживання у математичній моделі

Загальна потужність всього інтервалу	$P_{сум} = P_{поч} \Delta t_1 + P_{кінц} \Delta t_2; КВт$
Загальна спожита енергія з мережі	$W_{заг} = \frac{P_{сум1} + P_{сум2}}{T}; кВт$

Якщо технологічний процес відбувається з різними інтервалами, необхідно використовувати середнє значення:	$U_{сер} = \frac{U_1 t_u + U_2 (T - t_u)}{T}$ $I_{сер} = \frac{I_1 t_1 + I_2 (T - t_1)}{T}$ $P_{сер} = I_{сер} \square U_{сер}$
Якщо споживання рівне	$\Delta U = \Delta I = \Delta$
Пропорційний приріст зростання потужності	$P^2 = U_1^2 I_1^2 (\delta + \Delta^2 (1 - \delta))$
Якщо є два однакових інтервали	$t_1 = t_2 = t$ $t_1 + t_2 = T$ $P = \frac{U_1 I_1 t}{T_t} + \left(\frac{(U_1 + \Delta U)(I_1 \square \Delta I)(T_t - t}{T_t} \right)$
Генерація та енергія АКБ	
Живлення споживання від мережі	$P_{Г(t)} = P_{Н(t)}$
Живлення споживання та системи АКБ від мережі	$P_{Г(t)} = P_{Н(t)} + P_{АКБ(t)}$
Живлення споживання від мережі та\або від АКБ	$P_{Н(t)} = P_{Г(t)} + P_{АКБ(t)}$
Ціноутворення	
Значення частки енергії з мережі для споживання (без генерації та АКБ)	$Wмер_1 = \frac{P_{сум}}{t}$ Загальна енергія, яка спожита за проміжок часу
Значення частки енергії з мережі для споживання (з генерацією та АКБ)	$Wмер_2 = \frac{P_{сум} - P_{ген} - P_{АКБ}}{T}$
Ціна енергії на одиницю продукту (без генерації)	$Ц_{заг1} = Цмер \square W_{заг(t)}$

Ціна енергії на одиницю продукту (з генерації)	$Ц_{заг2} = Цмер \cdot W_{заг(t)} - W_Г$
Споживання з мережі із накопиченням енергії у АКБ	$Ц_{заг3} = \frac{Цмер \cdot W_{заг(t)} + W_{АКБ}}{T}$
Вартість енергії можна коригувати, в залежності від генерації	$Цмер_1 = Ц_{заг} - Ц_{W_Г}$ (знижена ціна для технологій)
	$Цмер_2 = Ц_{заг} + Ц_{W_Г}$ (ціна за загальне споживання + заряд АКБ)
	$Цмер_3 = W_{заг} \cdot Ц_{мережі} \cdot t$
Ціна за заряд АКБ з мережі	$Ц_{W_{АКБ}} = Ц_{мережі} \cdot t$

Висновок

Метою та завдання є вивчення нових, додаткових питань в основі мультиагентного керування в локальних ситемах електропостачання з гнучкою генерацією та активними споживачами електричної енергії. Проведено аналіз особливостей функціонування локальних систем електропостачання з гнучною генерацією та активними агентами, проаналізовано особливості функціонування мультиагентної системи на локальному рівні. Визначено алгоритми та оптимальне функціонування локальних систем з гнучкою генерацією та активними споживачами.

Оптимізовано вибір визначення графіка навантаження у різних технологічних процесах, які повязані з алгоритмами оптимального функціонування локальних систем з гнучкою генерацією. На основі цього можна виокреслити технічні, експлуатаційні, економічні, екологічні чинники. Кожне технічне рішення повинно бути економічно мотивованим і обгрунтованим, тому необхідно опрацьовувати ці рішення як єдине ціле.

Отже, характеристика керування споживання енергосистеми має чітку позицію. Вибір системи керування залежить від особливостей об’єкта, що споживається. Графік споживання технологічного об’єкта можна змінювати в залежності від зміни параметрів P,U,I,f відповідно до часової характеристики, зміна/складання графіку навантаження відповідно до ціноутворення із впливом часових характеристик, впровадження режимів роботи відповідно до ціноутворення із впливом часових характеристик. Генерація має можливість до зниження встановленого ціноутворення з мережі та забезпечити власне споживання енергомережі. Алгоритм вибору має чітко визначатись відповідно до конкретного типу технологічного об’єкту.

УДК 620.92

Слюсарь К.В.
Кафедра електропостачання

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА ПОТРЕБИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ОПАЛЕННЯ ЛІКАРНІ

Анотація. *В статті розглядаються методи підвищення енергоефективності теплових процесів в закладах охорони здоров'я, огляд останніх стратегії сталого управління енергетикою.*

Ключові слова*: енергоефективність; енергозбереження; заклади охорони здоров'я; моделювання; оптимізація.*

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE ENERGY CONSUMPTION SYSTEM FOR THE REQUIREMENTS OF COOLING AND HEATING OF HOSPITALS

Abstract. *The article considers methods of improving the energy efficiency of thermal processes in health care facilities, an overview of the latest strategies for sustainable energy management.*

Keywords*: energy efficiency; energy saving; health care facilities; modeling; optimization.*

Вступ. Заклади охорони здоров'я споживають велику кількість енергії, займаючи друге місце за величиною в комерційному секторі. У розвинених країнах енергетичне споживання медичних установ може становити до 18% від загального споживання енергії в комерційному секторі. Споживання енергії в медичних установах на одне ліжко зазвичай коливається від 43-92 квт / год в день. Два основних споживача теплової енергії визначено як опалення, системи вентиляції та кондиціонування повітря (овкв) і водонагрівальні системи. Тому пропонується підвищити енергоефективність цих систем і підвищити ефективність управління попитом на них. Ці методи поділяються на різні рівні: концептуальний рівень, активний рівень, технічний і рівень подальшого вдосконалення, визначений у рамках поет. На кожному рівні енергоефективні заходи, засновані на потенційній економії енергії і зусиллях, необхідних для досягнення заощадження. Крім того, підходи до модельного прогностичного контролю (mpc) розглядаються як частина розділу подальшого вдосконалення. Середня можлива економія енергії коливається від 50% до 70% на концептуальний рівень, в той час як від заходів в області енергоефективності можна очікувати економію енергії в розмірі 15% -30% на активному рівні. Діяльність в області ее на технічному рівні і подальше вдосконалення можуть привести до економії 50% -70% і 5% -10% відповідно.

Згідно енергоспоживання комерційних будівель в розвинених країнах коливається від 8% до 18%, в той час як середній світовий показник для цих будівель становить до 7% від загальної споживаної енергії. Заклади охорони здоров'я є п'ятим за величиною споживачем енергії в комерційному секторі з точки зору споживання енергії. Однак при оцінці інтенсивності енергоспоживання (eui) кожного типу будівель, установи охорони здоров'я займають друге місце за величиною в більшості розвинених країни, поступаючи лише сектору продовольчих послуг. Крім того, було відзначено, що енергоспоживання закладів охорони здоров'я коливається приблизно в межах 43-92 квт · год / койко-місце / день. Висока енергоємність цих будівель може бути пов'язана з енергоємними системами, які повинні працювати в повному обсязі, 24 години в день. Безперервні експлуатаційні вимоги призводять до високих енергетичних витрат. Це призводить до значних витрат на електроенергію через те, що обладнання експлуатується в періоди пікового навантаження, коли електричні витрати найвищі.

Мета та завдання. ***Підвищення енергоефективності закладу охорони здоров'я шляхом підвищення ефективності систем енергоспоживання.***

Матеріал та результати досліджень. Було проаналізовано дані про споживання енергії організаціями охорони здоров'я та отримано типовий обсяг використання енергії. На рисунку 1 середнє споживання енергії кількома медичними установами в україні показано у вигляді кругової діаграми. З діаграми видно, що опалення, система вентиляції та кондиціонування повітря (овкв) є найбільшими енергетичними процесами в лікарнях, що складає 45% від загального споживання енергії. На споживання світла припадає приблизно 15% від загального споживання енергії в закладах охорони здоров'я та це є другим за обсягом показником споживання енергії. Медичне та офісне обладнання може споживати до 14% енергії, в той час як відповідні процеси при нагріванні води до 12% споживаної енергії. Центральний відділ стерильних послуг (цвсп) споживає значно менше енергії в порівнянні з іншими процесами, за якими слідує кухня, 6% від загального обсягу споживання енергії.



Рисунок 1. Обсяг споживання енергії в закладах охорони здоров'я

У ретроспективі, два основних тепло- і енергоємних процеси, на які припадає 59% загальне споживання енергії може бути визначено як системи овкв і водонагрів. В цьому випадку теплові процеси обираються через велику кількість споживаної енергії і потенціал для підвищення енергоефективності. Решта категорії становлять приблизно 41% від загального числа споживана енергії, найбільшими з яких є освітлення, медичне і офісне обладнання, за яким слідують менші навантаження, такі як кухня і центральний відділ стерильних послуг.

Ефективність обладнання. Після визначення енергоємних процесів, в даному випадку овкв і водонагрівальних систем, можуть бути прийняті відповідні рішення для визначення пріоритетів і обґрунтування заміни обладнання. Підвищення енергоефективністі на цьому рівні може спричинити за собою заміну або монтаж існуючого обладнання. Загалом, це вдосконалення можна далі назвати модернізацією з метою підвищення енергоефективності будівель (beer).

Опалення, вентиляція і кондиціювання повітря (овкв). З огляду на процеси овкв, вдосконалені компоненти обладнання, наявні на ринку, можуть встановлюватися, замінюючи існуючі неефективні компоненти. Типова комплектація системи овкв показана на рисунку 2. Компоненти овкв можна розділити на п'ять категорій: вентилятори, охолодження, опалення, насоси. Споживання енергії вентиляторами, охолодження та опалення становлять 34%, 27% і 17%, відповідно. Насоси і градирні відповідають за 16% і 6% відповідно. Заміна існуючого обладнання, що відповідає за ці енергоємні процеси з більш високою ефективністю

обладнання, може запропонувати істотну економію. Крім того, існуючі системи зазвичай застаріли через деградацію з плином часу. Основний фактор деградації цих систем може бути результатом безперервної роботи, поганого технічного обслуговування і тривалого впливу умов навколишнього середовища обладнання.

Крім того, нещодавно розроблене обладнання може запропонувати істотні поліпшення з точки зору енергоефективності. Наприклад, використання приводів змінної швидкості для управління компресорними системами в холодильних машинах, на відміну від автономних компресорів з фіксованою частотою обертання, може забезпечити суттєву економію. Відповідь на запит вводиться компонент, на відміну від постійної подачі стисненого холодоагента звичайною системою. Крім того, приводи зі змінною швидкістю також представлені у водяних насосах та вентиляторах для подальшого підвищення ефективності. Насоси розташовані як в випарнику, так і секції конденсатора, а вентилятори, що відповідають за відведення тепла і регулювання повітряного потоку, розташовані на конденсаторній секціїї і повітрозабірні установки відповідно.

Інші поліпшення в конструкції овкв можуть включати синхронні двигуни з постійними магнітами, замість асинхронних двигунів, пропонуючи середнє підвищення енергоефективності до 10,4% в цілому діапазон швидкостей. У перспективі загальна економія енергії в системах овкв може бути наступною: до 8,58% в результаті заміни асинхронних двигунів. Синхронні двигуни з постійними магнітами можуть замінити всі існуючі асинхронні двигуни в системі овкв, щоб підвищити загальну енергоефективність. Крім того, синхронні двигуни з постійними магнітами зазвичай працюють при майже постійній ефективність приблизно 96% при будь-якій заданій швидкості.

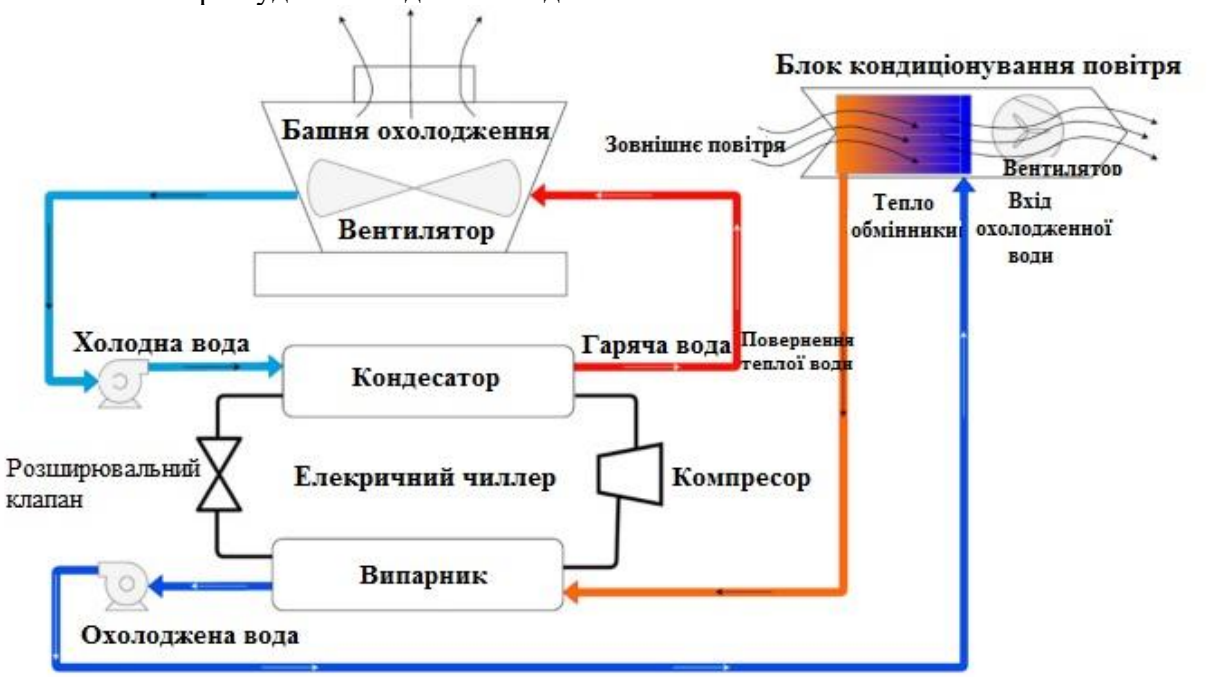


Рисунок 2 – схема системи опалення, вентиляції та кондиціонування (hvac)

Більше того, при розгляді випарника останнім часом були досягнуті значні зрушення для поліпшення роботи випарника. Найчастіше використовувана конструкція випарника в минулому був тип, де холодоагент повністю покривав водопроводи всередині випарника. Два інші заходи були введені щодо зменшення кількості холодоагенту, необхідного для його подачі результат, як найбільш часто використовувана система, тобто затоплений тип. Зменшення холодоагенту може призводить до меншої витрати енергії з точки зору роботи, необхідної для стиснення та перекачування холодоагенту навколо контуру охолодження. Ці

вдосконалені системи випарника складаються з випарника з плівкою із змішаним падінням (mf) і повністю випадаючий (ff) випарник плівки. Спостерігалося, що випарник типу mf використовував приблизно 15% менше холодоагенту, ніж звичайний затоплений тип, тоді як тип ff може зменшити необхідний холодоагенту до 40% у порівнянні із затопленим типом. Тому при виборі типу ff – енергія необхідна через стиснення та перекачування холодоагенту може бути зменшена приблизно на 40%. Це означає економію енергії приблизно на 10,8%, враховуючи загальну енергію споживання обладнання hvac. Додатково використання сучасного змінного холодоагенту потокові (vrf) системи можуть забезпечити економію 30–40% від загального споживання енергії hvac.

Висновок. Інтенсивність використання енергії в закладах охорони здоров'я майже в три рази більша, ніж у типових комерційних будівель. Споживання електричної енергії може коливатися від 43 до 92 квт-год на добу. Визначення енергоємних процесів та напрямків підвищення енергоефективності є необхідне для зменшення енергоспоживання будь-якої будівлі чи масштабної системи. Два основні споживачі теплової енергії в лікарнях були визначені hvac та водонагріванням системи. Ці споживачі становлять приблизно 59% від загальної кількості споживаної енергії в будівелі. Структура poet слугувала настановою з енергоменеджменту для оцінки потенціалу економії енергії та витрат. Заходи з енергоефективності та пов'язані з ними потенційні заощадження, де визначено на кожному рівні, який включав; концептуальний рівень, активний рівень, технічний рівень та подальше вдосконалення. Крім того, було надано максимальну розрахункову економію енергії в результаті впровадження запропонованих системи. Середня можлива економія енергії становила від 50% до 70% на концептуальному рівні, тоді як для заходів з енергозбереження можна очікувати економії енергії 15–30% на активний рівень. Діяльність з ее на технічному рівні та подальший рівень вдосконалення може призвести до економії 50% –70% та 5% –10% відповідно. Ці заощадження можуть бути недосяжними в деяких випадках, через економічні бар'єри. Ці бар'єри особливо помітні на технічному рівні і виникають від високих витрат на впровадження та, в свою чергу, тривалих періодів окупності в результаті глибокої модернізації або впровадження системи відновлюваної енергетики. Однак зовнішній стимул з боку уряду залишається обов'язковим, щоб досягти встановленої мети зменшення енергії на 37%. Висновки попередніх досліджень вказують на те, що методи оптимізації, що обговорюються на подальшому рівні вдосконалення, можуть запропонувати значну економію за відносно низьких витрат на впровадження.

Список використаної літератури

1. Енергоспоживання та ефективність у медичних закладах - видавництво ее. Доступ: https://www.ee.co.za/article/energy-usage-and-efficiency-in-hospitals-clinics-and-medical-facilities.html
2. Посібник з передового практичного обслуговування та експлуатації систем опалення та кондиціонування повітря для енергоефективності. С. 36–37. Доступ: http://ee.ret.gov.au/energy-efficiency/non-residential-buildings/heating-ventilation-andair-conditioning-hvac
3. Системи опалення, вентиляції та кондиціонування (hvac): енергоефективне використання та технології; інформаційний пакет енергоменеджменту еском: йоганнесбург, 2015 р.
4. Теке, а., тимур о. Оцінка потенціалів підвищення енергоефективності систем вентиляції та вентиляції економічні та екологічні аспекти в лікарнях, 2014 р.
5. Гепбаслі, а., калінці, ю. Огляд систем теплового насоса для водяного опалення, 2009 р.

Тисячний С. Г.
Кафедра електропостачання

МОНІТОРИНГ РІВНІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

Метою даної статті є загальне розуміння всіх можливих шляхів використання систем моніторингу режимів електричного споживання на підприємствах.

У роботі запропонована ідея побудови системи моніторингу режимів електричного споживання на виробництві.

Розглянуті методи, за допомогою яких можна зменшити втрати електричної енергії і розмір оплати за неї.

Розроблені процедури, які забезпечують достатню точність, достовірність і оперативність вимірюваних даних, які надходить із автоматизованих систем обліку електричної енергії .

Доведена необхідність контролю і моніторингу поточних технічних параметрів режимів споживання електричної енергії на підприємствах.

Зроблені висновки,які стверджують, що на промисловому підприємстві потрібно створювати та розвивати автоматизовану систему моніторингу режимів електричного споживання для подальшого проведення заходів, направлених на підвищення енергоефективності підприємства.

Ключові слова: АСКОЕ, режим електричного споживання, облік електроенергії, система моніторингу.

MONITORING OF POWER LEVELS AT ENTERPRISES

The purpose of this article is a general understanding of all possible ways to use systems for monitoring electrical consumption regimes at enterprises.

The work suggests the idea of building a system for monitoring the modes of electrical consumption in production.

The methods by which you can reduce the loss of electricity and the amount of payment for it are considered.

Procedures have been developed that ensure sufficient accuracy, reliability and efficiency of measured data coming from automated electrical energy metering systems.

The need to control and monitor the current technical parameters of electricity consumption regimes at enterprises has been proven.

Conclusions have been drawn, which state that the industrial enterprise needs to create and develop an automated system for monitoring electrical consumption regimes for further measures aimed at improving the energy efficiency of the enterprise.

Keywords: *ASCOE, electric consumption mode, electricity metering, monitoring system.*

Вступ. Підвищення рівня ефективності стану економіки є одним з головних питань сучасності та особливо сьогодні це гостро стосується України. Тому тільки максимально раціональне використання виробленої кВт·год електроенергії дозволить забезпечити

економічну конкурентоспроможність та незалежність, як держави в цілому, так і певного промислового підприємства. Тобто, гостро стоїть завдання енергоефективності. У випадку вирішення даного завдання на певному промисловому підприємству, то потрібно відмітити наступне. За останній проміжок часу з'явилося багато різних шляхів застосування автоматизованих систем обліку електричної енергії (АСКОЕ) як для контролю параметрів режимів постачальних систем електричної енергії промислових підприємств, так і для підвищення раціонального та ефективного використання електричної енергії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. АСКОЕ уже декілька десятків років знаходять застосування на промисловому підприємстві для автоматизації і організації обліку електроенергії. Перші інформаційно-вимірювальні системи були розроблені в СРСР у 70-х роках минулого століття [1, 2]. В більшій кількості випадків, та на станом на сьогодні також, впроваджені АСКОЕ використовуються в якості так званих AMR (Automated Meter Reading) – дистанційний збір інформації із лічильників електроенергії. Інформація із первинної бази даних лічильника за допомогою цифрового інтерфейсу зчитується та передається у центри їх обробки для аналізу та формуванню рахунків за спожиту / поставлену електроенергію. Тобто, впровадження АСКОЕ сильно скорочує час збору даних, покращує їх достовірність і дозволяє автоматизувати процес розрахунків за спожиту/поставлену електроенергію.

Беручи до уваги стрімке вдосконалення, як технічних засобів, так і математичних методів які можуть бути використані для вирішення завдань підвищення енергоефективності промислового підприємства, постає потреба перетворення (на першому етапі) системи типу AMR в систему AMI (Advanced Metering Infrastructure) – розвинену інформаційну структуру, тобто вимірювально-інформаційну структуру, яка може не тільки збирати інформацію із лічильників електроенергії, та їх аналізувати. Це дасть змогу (на другому етапі) впровадити на промисловому підприємстві повноцінну, інформаційну одиницю, як складову загальної системи Smart Grid, систему AMM (Advanced Meter Management – система інтелектуальних вимірювань).

Проаналізуємо стан справ станом на сьогодні у сфері застосування даних від АСКОЕ на промисловому підприємстві.

Дані в АСКОЕ відображається у вигляді таблиць, мнемосхем, діаграм і графіків [3].

Від зручності роботи операторів автоматизованих робочих місць АСКОЕ залежить раціональність використання даних АСКОЕ, правильне управління та оперативність енергоспоживанням.

На сьогодні для власників промислових підприємств існує основна мета використання АСКОЕ: зменшення витрат електричної енергії і зменшення розміру оплати за електричну енергію.

Мета та завдання. Метою роботи є розробка концепції створення системи моніторингу режимів електричного споживання на базі збору і аналізу даних від впроваджених АСКОЕ для вирішення завдань підвищення енергоефективності на промисловому підприємстві, а також узагальнення всіх можливих напрямків використання систем моніторингу режимів електричного споживання у виробничій діяльності промислового підприємства.

Матеріал і результати досліджень.

Шляхи зменшення витрат електроенергії та розміру оплати за електроенергію

1. Розрахунок за спожиту електричну енергію за наявності економічного ефекту по

тарифам, диференційованими за періодами часу.

2. Проведення внутрішньозаводських розрахунків між структурними підрозділами за електричну енергію.

АСКОЕ зменшує технологічну частину споживання електричної енергії промислового підприємства, пов'язану з неефективністю використання устаткування і порушенням технологічного циклу [2].

3. Постійний моніторинг виробітку та витрат реактивної електричної енергії у структурних підрозділах та на підприємстві в цілому.

АСКОЕ має можливість розраховувати у режимі on-line оптимальну потужність компенсуючих установок перетікання реактивної потужності у електромережі промислового підприємства. За даними АСКОЕ за розрахунковий період визначаються відхилення від оптимальних значень, визначаються реактивні потужності підстанцій і обираються регулюючі впливи на компенсуючі прилади. Основне завдання в цьому випадку – зменшити перетікання реактивної потужності на межі балансового розподілу електромереж споживача й енергопостачаючої компанії та не допустити генерації реактивної потужності у мережу.

4. Розрахунок у режимі on-line або за запитом втрат електричної енергії в елементах електромережі згідно формул, вказаних в [6].

5. Розробка процедури проведення короткочасного, оперативного прогнозування електричного навантаження. Це дасть змогу уникнути перевищення узгодженого розрахункового електричного навантаження на підприємстві. Прогнозування можа виконати, як економіко-математичними методами (наприклад, методом експоненціального згладжування [4]), так і методом нейронних мереж [5]. По кожному приєднанню технічного обліку електричної енергії (найбільш доцільно це для найбільш потужніших приєднань) потрібно розрахувати максимальну величину електричного навантаження. Це дасть можливість точно отримувати значення розрахункового максимуму для точки комерційного обліку електричної енергії.

6. Перевірка якості роботи технологічного або оперативного персоналу шляхом порівняння питомих норм витрат електричної енергії на одиницю випущеної продукції або іншого паливно-енергетичного ресурсу (ПЕР) за кожну зміну, добу, тиждень тощо.

7. Розрахунок в режимі on-line втрат на власні потреби на підстанціях промислового підприємства [7].

8. Об'єднання АСКОЕ із системами управління ресурсами промислового підприємств, задля впровадження на виробництві системи контролю та оперативного планування енергоресурсів (КіОП). Після збору інформації, від яких залежить обсяг споживання ПЕР, даних об'єму виробленої продукції і обсягу спожитої сировини система КіОП повинна створити математичну модель енергоспоживання об'єкта, обраховувати групові «стандарти» та індивідуальні оптимального споживання електричної енергії. Докладніше ці питання розглянуті в роботах [8, 9].

9. Зведення балансів на підстанціях промислового підприємства із метою знайдення небалансів, невиробничих втрат з метою їх подальшого усунення.

10. Підтримка процесів впровадження і подальшого супроводу енергозберігаючих технології й заходів в тому числі енергетичного аудиту, а також реалізації керуючих впливів у рамках впровадження систем енергетичного моніторингу і енергетичного менеджменту [10, 11].

Балансовий метод є головним способом достовірності і виявлення похибок вимірювання електричної енергії. Ідея методу полягає у порівнянні значень фактичного і допустимого небалансів електричної енергії на всій секції шин або підстанції [12].

Фактичний небаланс в процентах $НБ_Ф$ розраховується відповідно показників приладів

обліку, як різниця між електричною енергією, що поступили на об'єкт W_n і відпущеною електричною енергією W_o. Крім того, враховуються виробничі, власні й господарчі потреби об'єкту W_H, а також технічні втрати у елементах устаткування ΔW_{mex} за формулою (1): ·

$$НБ_Ф = \frac{W_n - W_o - W_H - \Delta W_{mex}}{W_n} 100\% \quad (1)$$

Значення допустимого небалансу електричної енергії у відсотках $НБ_\sigma$ розраховуються за формулою, яка враховує максимально допустимі відносні похибки δ_{Wi} кожного вимірювального каналу, а також частку електричної енергії d_i , що поступила по всім вимірювальним каналам прийому електричної енергії Nn і частку електричної енергії d_j , що поступила по всіх вимірювальних каналах віддачі електроенергії $N0$ з енергооб'єкту:

$$НБ_\sigma = \pm\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{Nn} \delta_{Wi}^2 d_i^2 + \sum_{j=1}^{N0} \delta_{Wj}^2 d_j^2\right) * 100\%} \quad (2)$$

Максимально допустима відносна похибка вимірювального каналу вираховується за наступною формулою (2.8):

$$\delta W_i = \sqrt{\delta_I^2 + \delta_U^2 + \delta_{Лч}^2 + \delta_л^2} \quad (3)$$

де δ_U , δ_I , $\delta_{Лч}$, $\delta_л$ - похибки трансформатора напруги (ТН), трансформатора струму, лічильника та втрати між ТН та лічильником відповідно.

У разі, коли $НБ_Ф$ не перевищує $НБ_\sigma$, облік електричної енергії може бути визнаний достовірним. В противному випадку облік є недостовірним, та персонал підстанції зобов'язаний виявнити причини небалансу і вжити заходи з їх усунення.

Потрібно розраховувати небаланс по кожній секції лінії 6, 10 або 110 кВ головних понижуючих підстанцій і розподільних пунктів з урахуванням класів точності і кількості приладів обліку, технічного обліку та комерційного обліку [13].

11. Використання систем АСКОЕ, які зобов'язані враховувати всі можливі співвідношення перетікань в заданих тимчасових проміжках в умовах складних схем електричного постачання із змінними напрямами перетікань реактивної потужності.

Мінімізація оплати за перетікання реактивної електричної енергії для складних структурованих електропостачальних систем промислового підприємства зі змінними напрямами перетікань реактивної потужності із трьохфазними силовими трансформаторами з розщепленими обмотками або трьохобмоточними, у яких рамки балансового розподілу знаходиться на стороні високої напруги силових трансформаторів, а прилади обліку встановлені на стороні низької або середньої напруги [5].

На рисунку 1 зображено концептуальний приклад такої схеми, де приладовий облік встановлений на стороні низької напруги живлячого трансформатора (секції I, II, III, IV), на кожній секції присутні режими споживання і (або) генерації реактивної потужності та можливі внутрішні зрівнювальні перетікання WQy, які не включені у мережу електропостачальної компанії. Дані зрівнювальні перетікання двічі враховуються приладовим обліком (по одній секції в режимі генерації, по іншій - споживання). В звичайних умовах обліку фіксувати величини зрівнювальних перетікань не має змоги.

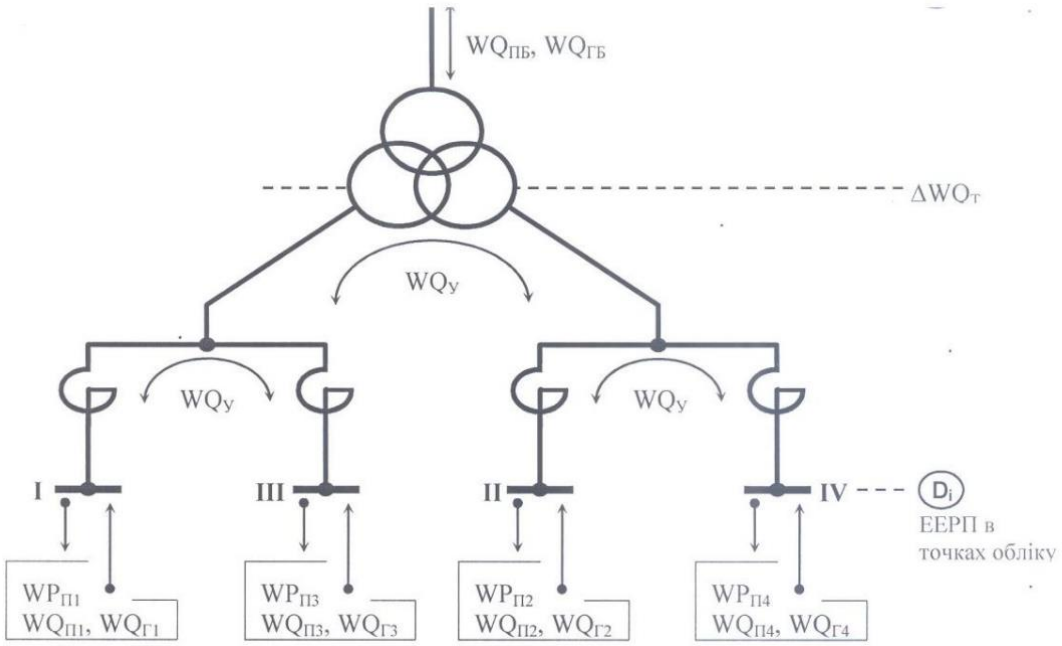


Рисунок 1. Схема електричного постачання підстанції 110/6 кВ

Умовні позначення на рисунку 1:

WQп – споживання реактивної електричної енергії в точці обліку;

WQг – генерація реактивної електричної енергії в точці обліку;

WQу– внутрішні зрівнювальні перетікання, що не виходять в мережу енергопостачальної компанії;

WQПБ, WQГБ – відповідні розрахункові балансні перетікання реактивної електричної енергії на межі балансового розділу електричних мереж (МБР);

ЕЕРП – економічний еквівалент реактивної потужності.

Тому раціонально розробити спосіб оптимізації перетікань та розрахунків балансу реактивної електричної енергії на електричних підстанціях у складі АСКОЕ промислових підприємств [16], що дасть змогу проводити точний розрахунок втрат електричної енергії в силових трансформаторах в інформаційних умовах АСКОЕ в режимі on-line.

12. Керування режимами електричного споживання з метою зниження споживання у години пікового навантаження і збільшення його в позапіковий час.

Вирівнювання навантаження має вагоме значення, як для зменшення втрат електроенергії, так і для зменшення оплати за спожиту електричну енергію. АСКОЕ здатна розраховувати коеф. форми, загрузки, максимуму, а також інші морфометричні характеристики графіків електричних навантажень, запропоновані в роботі [14].

Немає змоги досягти зменшення суми сплати за електричну енергію та зменшення обсягу споживання електричної енергії без забезпечення оперативності, точності й достовірності вимірювальних даних, а також постійного контролю і моніторингу поточних технологічних параметрів режимів електричного споживання на промисловому підприємстві.

Забезпечення точності, оперативність та достовірність вимірювальної інформації

1 Верифікація та достовірність інформації обліку електроенергії.

Це досягається за допомогою перевірки масивів даних електричного споживання на грубі помилки та застосуванням балансового методу, розглянутого вище.

2. Відновлення відсутніх даних електричного споживання. До вимог головного оператора системи комерційного обліку ОРЕ щодо змісту, складу та умов погодження проектно-кошторисної документації на створення АСКОЕ [15] п. 5.12 вказано, що однією із

головних функцій автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії є заміщення (відновлення даних), не отриманих операторами АСКОЕ у постановлений термін.

3. Резервування каналів зв'язку між лічильником (пристроєм збору-передачі даних) і сервером. На сьогодні в якості каналів зв'язку в автоматизованій системі комерційного обліку застосовують виділені телефонні лінії або канали стандарту Radioethernet або GSM. Рекомендується у таких випадках мати резервні канали зв'язку і дублювати передачу інформації по каналами стандарту GSM або каналам Radioethernet. Розумно на кожному вимірювальному каналі у АСКОЕ мати як основний канал зв'язку так і резервний. У випадку технічної можливісті, краще перейти на канали зв'язку з оптоволокна, які мають високу надійність і швидкість передачі інформації. Але потрібно пам'ятати, що такому каналу зв'язку будуть властиві певні недоліки, такі як неможливість охоплення важкодоступних точок обліку, висока вартість та необхідність дотримання спеціальних вимог при прокладанні.

4. Встановлення високоточних лічильників (наприклад, трансформаторів напруг і струму класу 0,2 або 0,5), які забезпечують підвищення точності обліку електричної енергії й зменшення похибки лічильників.

5. Своєчасна повірка лічильників електроенергії, пристроїв збору-передачі інформації і вимірювальних каналів АСКОЕ.

6. Розробка сигналізації про відсутність обліку електричної енергії в будь-якій точці.

7. Перевірка коректності схем обліку, надійності контактних з'єднань в них.

Висновки

1. Проведений аналіз можливих способів застосування інформації від АСКОЕ дає змогу стверджувати, що на промисловому підприємстві необхідно та можливе створення цілісної автоматизованої системи моніторингу режимів електроспоживання/ електропостачання електроенергії (а в подальшому і всіх енергоресурсів) для проведення комплексу заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності підприємства у цілому.

2. Звернено увагу на важливість завдання забезпечення достовірності і точності вимірювальної інформації й постійного контролю і моніторингу поточних технологічних параметрів режимів електричного споживання на підприємстві.

3. Розглянуті заходи із використання АСКОЕ для зменшення витрат на оплату спожитої електричної енергії і розміру електричного споживання.

4. Перераховано найважливіші поточні технологічні параметри режимів електричного споживання на промисловому підприємстві.

5. Розглянуті процедури, які гарантують достовірність і точність вимірювальної інформації.

Список літератури

1. Гинайло В. А. Зачем нужны автоматизированные системы учета электроэнергии?/ В.А. Гинайло, А.В. Гинайло, П. Р. Надуда, Е.Н. Танкевич // Промэлектро. – 2008 – № 5 – С. 47–52.

2. Праховник А.В. Автоматизовані системи обліку та якості електроенергії в оптовому ринку / А.В. Праховник, Ю.Ф. Тесик, А.Ф. Жаркін, В.О. Новський, О.Г. Гриб [та ін.] (під ред. Гриба О.Г.). – Харків.: ПП «Ранок-НТ», 2012. – 516 с.

3. Калинчик В.П., Розен В.П., Соловей А.И., Танский А.-М. М. Энергетическ ий менеджмент. Графические методы обработки информации: Учебное пособие / В.П. Калинчик, В.П. Розен, А.И. Соловей, А.-М. Танский. – К.: Кондор. – 2007. – 104 с.

4. Бедерак Я.С. Применение метода экспоненциального сглаживания для восстановления утерянных данных технического учета на промышленных предприятиях / Я.С. Бедерак // Електротехніка і Електромеханіка. – 2014. – №4. – С. 52–55.

5. Р.О. Буйний. Використання інформації від АСКОЕ та нейронних мереж для розрахунку недовідпуску електричної енергії споживачам / Р.О. Буйний, В.В. Зорін, В.В. Козирський // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2009. – № 2. – С. 82 – 86

6. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко. – М.: НЦ ЭНАС. – 2002. – 280 с.

7. ГНД 34.09.203-2004. Нормування витрат електроенергії на власні потреби підстанцій 35-750 кВ і розподільчих пунктів 6-10 кВ. Інструкція. Галузевий нормативний документ. . – К.: ОЕП «ГРІФРЕ». – 2004. – 38 с.

8. Банин Д.Б., Банин М.Д., Дегтярев А.В., Бедерак Я.С. Расчет реальной величины перетока реактивной электроэнергии для промышленных предприятий на основе данных АСКУЭ / Д.Б. Банин, М.Д. Банин, А.В. Дегтярев, Я.С. Бедерак // Енергетика та електрифікація. – 2013. – №9. – С. 16 – 21.

9. Находов В.Ф. Удосконалення діючої системи нормалізації енергоспоживання на основі контролю і планування витрат електричної енергії/ В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, О.В. Тишко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. – 2010. – № 3. – С. 51 – 58.

10. Находов В.Ф. Контроль та аналіз виконання встановлених «стандартів» в системах статистичного контролю ефективності використання електричної енергії / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. – 2011. – № 2. – С. 16 – 23.

11. Прокопенко В.В. Полнофунциональный инструментарий для реализации перманентного энергетического аудита / В.В. Прокопенко, О.В. Коцарь , Ю.А. Расько, Ю.С. Павлова // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 2. – С. 85 – 92. ISSN 1813-5420 (Print). Енергетика: економіка, технології, екологія. 2014. № 4 56 ISSN 2308-7382 (Online)

12. Чернявський А.В. Інформаційно-аналітичні засоби моніторингу енергоефективності об’єктів нафтодобувної галузі / А.В. Чернявський, Д.В. Якобюк // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 2. – С. 111 – 115.

13. Коменда Н.В. Пошук споживачів-регуляторів на основі морфо метричного підходу при управлінні добовим навантаженням промислового підприємства / Н.В. Коменда, Т.І. Коменда, О.Д. Демов // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України: Зб. наук. пр. — К.: ІЕД НАНУ, 2010. — Вип 27. — С. 22 – 26.

14. Вимоги Головного оператора системи комерційного обліку ОРЕ щодо складу, змісту та умов погодження технічних завдань, технічних, робочих та техноробочих проектів на створення автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) ОРЕ. Додаток до листа ДП «Енергоринок» від 13.06.2014 № 03/35-6204.

Трегубов А.С.
кафедра електропостачання

ЗАХИСТ ІЗОЛЯЦІЇ ПЛ 110-220 КВ ВІД ГРОЗОВИХ ПЕРЕНАПРУГ

Вступ

В даний час у вітчизняних мережах 110-220 кВ присутня тенденція знімати блискавкозахисні троси, які виконують важливу функцію зниження числа відключень повітряних ліній (ПЛ) від грозових перенапруг. Найбільш активно подібні роботи планується проводити в західній Україні. Після демонтажу троса для компенсації погіршення блискавкостійкості на таких ПЛ пропонується масово встановлювати обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН).

Мета статті - дати оцінку ефективності застосування ОПН на ВЛ 110-220 кВ, в тому числі при відмові від традиційної тросової захисту.

Оцінка числа відключень ПЛ з урахуванням троса і без нього

Річне число ударів блискавки в ПЛ 110-220 кВ залежить від багатьох факторів, але, перш за все, від протяжності ПЛ і грозової активності. З точки зору грозових перенапруг для ізоляції ПЛ 110-220 кВ основну небезпеку становлять прямі удари блискавки в ПЛ [1], які умовно можна розділити на:

- удари блискавки в трос (точка 1 на рис.1) і опору (точка 2);
- удари блискавки в фазний провід (точка 3).

Середнє співвідношення числа ударів в елементи ПЛ 110-220 кВ, визначене за різним існуючим вітчизняним і зарубіжним методикам [1-3 та ін.], наведено в табл.1

Таблиця 1.

Доля D ударів	Є трос	Нема тросу
в трос в прольоті D_T	0.5	0
в опору D_O	0.5	0.5
в фазні дроти $D_Ф$	0.005	0.5
$D_T + D_O + D_Ф$	≈ 1	1

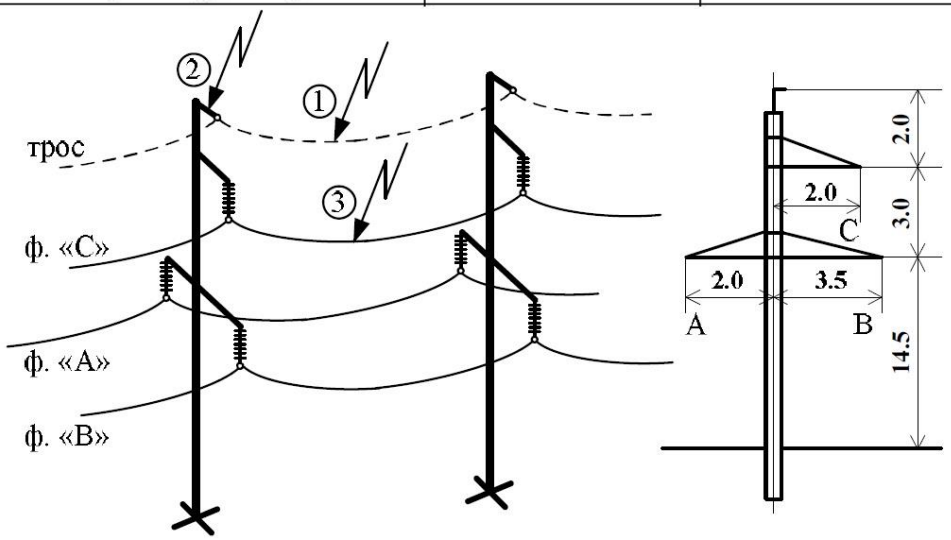


Рис.1. Основні джерела грозових перенапруг на ізоляції одноланцюгової ВЛ 110-220 кВ і ескіз ж / б опори типу ПБ110-1.

Спрощено будемо вважати, що кожне імпульсне перекриття ізоляції ПЛ 110-220 кВ в

мережах з заземленою нейтраллю переходить в силове коротке замикання (ряд методик підтверджують ймовірність винекнення силової дуги). Тоді число відключень ПЛ, викликаних грозовими перенапруженнями суттево зростає.

У разі розрядів блискавки в фазні проводи ПЛ 110 кВ (швидше за все в верхню фазу «С») ймовірність перекриття ізоляції ураженої фази можна в першому наближенні прийняти $P_ф \approx 1$ незалежно від опору заземлення опор [4, 5]. Якщо враховувати міркування [6] щодо орієнтування найбільш потужних блискавок на заземлені частини ПЛ, то ймовірність перекриття ізоляції Рф буде менше одиниці. У разі розрядів блискавки в заземленій частині ПЛ 110 кВ (рис.2) видно: навіть при дуже малих опорах заземлення вірогідні перекриття ізоляції ПЛ 110 кВ. Справа в тому, що при розряді блискавки в трос або опору по опорі в землю стікає імпульсний струм (рис.3, а), що створює падіння напруги і на заземлювальному пристрої опори $R_з\, i(t)$, і на індуктивності [1] опори $L \times di(t)/dt$.

Висока напруга на опорі щодо фазного проводу призводить до перекриття ізоляції з заземленою траверси на фазний провід, тобто до «Зворотнього» перекриття. Внаслідок наявності падіння напруги на індуктивності опори навіть ідеальне заземлення опори $R_З \approx 0$ не гарантує відсутність зворотних перекриттів ізоляції ПЛ 110 кВ при ударах блискавки в її трос або опору. Оскільки для верхніх фаз ПЛ 110 кВ індуктивність L ділянки опори до заземлюючого пристрою виявляється більше, то для ПЛ без троса по рис. 2 на верхній фазі «С» зафіксована підвищена ймовірність перекриття ізоляції в порівнянні з нижніми фазами «А» і «В».

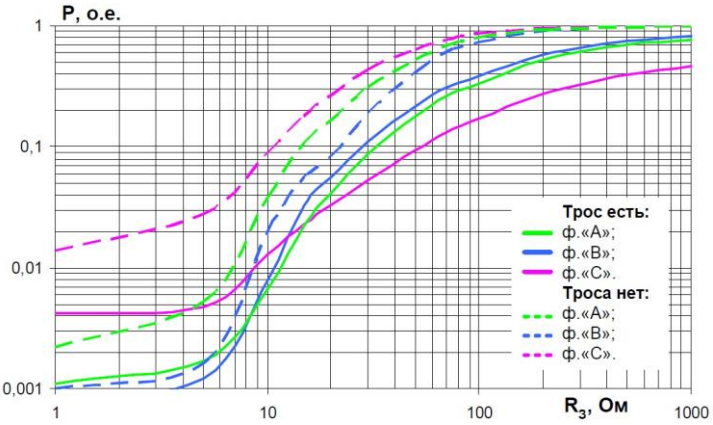


Рис.2. Розподіл ймовірності перекриття ізоляції різних фаз одноланцюгової ПЛ 110 кВ в залежності від опору заземлення опори.

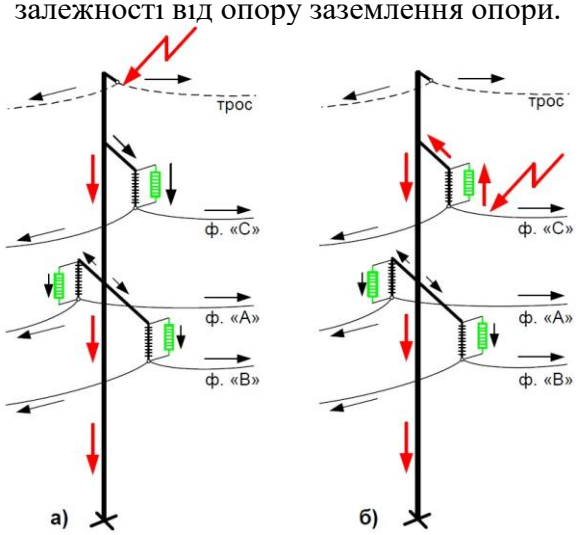


Рис. 3. Шляхи розтікання струму блискавки при розрядах:
а) в трос або пору, б) в фазний провід.

На рис. 2 ми бачимо, що верхня фаза «С» лінії з тросом є визначальною в числі зворотних перекриттів лише при «малих» опорах заземлення, коли незначний вплив встановленого троса на шляху розтікання струму блискавки. При «великих» опорах заземлення струм блискавки стікає в землю не тільки через заземлюючих пристроїв найближчої опори, а й по тросу направляється в заземлюючих пристроїв сусідніх опор (рис. 3, а). наявність напруги на тросі $u_T(t)$ призводить до наведення потенціалу на фазні дроти $Ku(t)$, де K – так званий коефіцієнт зв'язку проводу і троса [1]. Наведення (або коефіцієнт K) виявляються максимальними для верхнього фазного проводу «С», найближче розташованого до тросу і, отже, для верхньої фази буде найменшою напруга на ізоляції $(1-K)u_T(t)$ та ймовірність її перекриття, що видно з рис. 2 при «великих» опорах.

Висновки

1. Блискавкозахист ПЛ 110-220 кВ істотно залежить від наявності троса і величин опору заземлення опор.

2. Відмова від установки тросового захисту і (або) від забезпечення прийнятних опорів заземлення повинен бути ретельно обгрунтований, так як призведе до помітного погіршення надійності електропостачання споживачів і, в якості компенсації, потребує масової установки ОПН на опорах лінії.

3. При масової установці ОПН на ПЛ 110-220 кВ їх ефективна робота забезпечується лише при розміщенні одночасно в усіх фазах захищеного ланцюга на кожній опорі ділянки, що траси яка захищається.

Список використаних джерел

1. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений/Под научной редакцией Н.Н.Тиходеева. –2-е изд. –СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. –355 с.

2. IEEE Std 1243-1997. IEEE Guide For Improving the Lightning Performance of Transmission Lines//The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. –New York, 1997. –36 p. – ISBN 1-55937-937-5.

3. М.В.Костенко, И.Ф.Половой и А.Н.Розенфельд. "Роль прорывов молнии на провода мимо тросов для грозозащиты линий высших классов напряжения". Электричество №4, 1961.

4. Дмитриев М.В. Методика выбора ОПН для защиты оборудования сетей 110-750 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений: дис. канд. тех. наук: СПбГПУ, 2006, 248 стр.

Фундаментальная библиотека.

5. Дмитриев М.В. Грозовые перенапряжения на оборудовании РУ 35-750 кВ и защита от них. –СПб.: Изд-во “НИВА”, 2008. –60 с. ISBN 5-86456-037-5.

6. Гайворонский А.С., Карасюк К.В. Новые методические принципы оценки грозоупорности воздушных линий электропередачи высших классов напряжения//Научный вестник НГТУ. –1998. –№2(5). –с.9-32.

Федіна О.О.
Кафедра електропостачання

МОНІТОРИНГ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ М. КИЄВА

У статті наведено актуальність та переваги моніторингу енергоефективності навчальних закладів, проаналізовано методи енергомоніторингу, побудови базового рівня споживання теплової енергії.

The article presents the relevance and advantages of monitoring the energy efficiency of educational institutions, analyzes the methods of energy monitoring, and builds a basic level of heat consumption.

Ключові слова: *енергоефективність, енергомоніторинг, енергетичний аудит, базовий рівень, довірчий інтервал, регресійний аналіз, навчальний заклад.*

Вступ. Актуальність проблеми енергозбереження для будівель бюджетних організацій, з одного боку, обумовлена соціальною значущістю цих об'єктів, з іншого боку, марнотратне споживання енергії та відсутність системного підходу до реалізації енергозберігаючих заходів є одними з основних причин дефіциту бюджетів усіх рівнів. Зважаючи на те, що останнім часом нові об’єкти бюджетної сфери в експлуатацію майже не вводяться, основні резерви енергозбереження знаходяться у сфері вдосконалення енергоспоживання раніше побудованих будівель бюджетних установ.

Однією з важливих складових процесу управління енергозбереженням та підвищення енергоефективності суспільного господарства є здійснення систематичного контролю за рівнем ефективності використання палива та енергії.

Мета та завдання. Метою та завданнями моніторингу енергоефективності навчальних закладів є виявлення перевитрат енергоресурсів, аварійних ситуацій, недотримання нормативних мікрокліматичних умов в закладах, шляхом збору даних щодо параметрів будівлі, побудови базового рівня енергоспоживання та виявлення факторів що найбільше впливають на нього.

Матеріал і результати досліджень. Невід'ємною частиною вирішення не лише питання енергозбереження, а й отримання необхідної інформації про об’єкт дослідження є енергоаудит, проведення якого (крім виявлення джерел нераціональних витрат енергоресурсів та розробки заходів з енергозбереження) забезпечує можливість визначення низки показників, які не обліковуються існуючими на об’єкті засобами обліку енергоресурсів, але характеризують технічний стан об’єкту та ефективність його функціонування.

Проведено енергетичний аудит навчального закладу СЗШ 229 за адресою вул. Олекси Тихого, 57, побудованого у 1981 році за типовим проектом Ш3. Після обстеження даної будівлі було пораховано термічний опір огороджувальних конструкцій, порівняно його з нормативними показниками, побудовано зведену діаграму тепловтрат (рисунок 1), з якої видно, що найбільше тепла втрачається через вікна та стіни закладу.

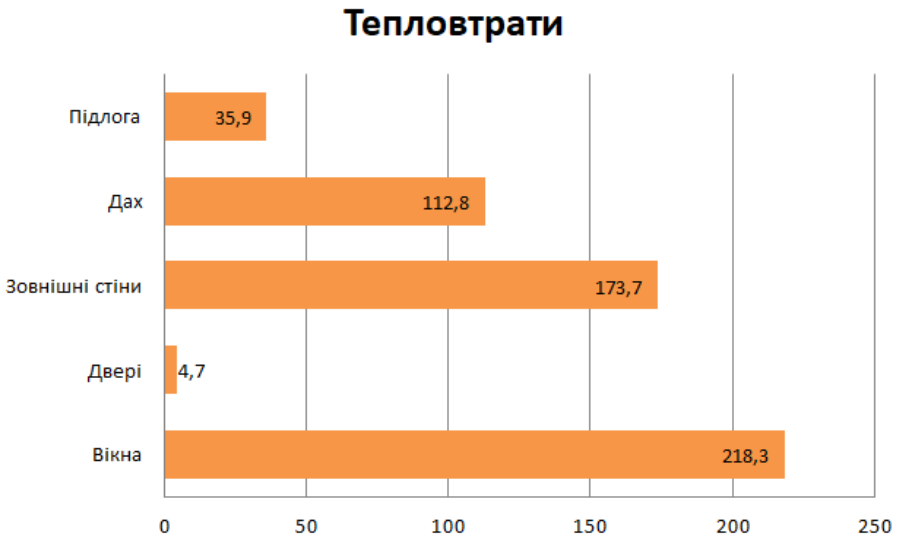


Рисунок 1 – Тепловтрати через огороджувальні конструкції

За результатами обстеження та розрахунків були запропоновані заходи з енергозбереження, а саме:

- Заміна світильників з люмінісцентними лампами та лампами розжарювання на енергоефективні (світлодіодні);

- Налаштування МІТП;

- Встановлення локальних систем вентиляції;

- Заміна дверей на більш енергоефективні;

- Заміна вікон на нові енергоефективні;

- Утеплення даху;

- Утеплення стін;

- Впровадження дистанційної системи моніторингу енергоефективності.

Важливою складовою системи моніторингу енергоефективності є встановлення базового рівня енергоспоживання та допустимого відхилення від нього. Базовий рівень енергоспоживання (energy baseline) – кількісний показник, що дає основу для порівняння рівня досягнутої енергоефективності. Базовий рівень фіксує існуючий стан теплоспоживання об'єкту за 3 роки, що передують впровадженню заходів з підвищення ефективності енергоспоживання, та коригується з урахуванням нормативних показників санітарних умов перебування людей у приміщеннях.

Згідно методики запропонованої USAID побудовано базовий рівень теплоспоживання (рисунок 2), що визначається за формулою:

$$Q_{\text{б}}^{\text{заг}} = \frac{m^{\text{оп}}(t_{\text{норм}}^{\text{вн}} - t^{\text{зовн}})}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i^{\text{заг}}}{m_i^{\text{оп}}(t_i^{\text{вн}} - t_i^{\text{зовн}})}$$

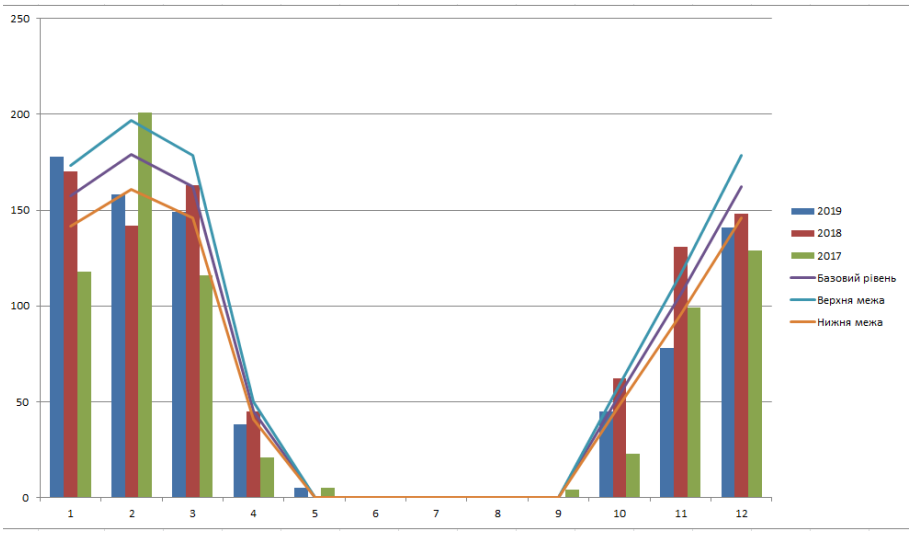


Рисунок 2 – Фактичне споживання теплової енергії та базовий рівень за методикою USAID

З одержаної діаграми бачимо значну перевитрату тепла у лютому 2017 року та у листопаді 2018 року.

Ще одним з можливих методів контролю є карти Шухарта. Мета контрольних карт — знайти неприродні зміни в даних для процесів, які повторюються, і дати критерії для виявлення недостатку статистичного керування. Для кожної підгрупи визначається середнє арифметичне X, а також розмах R (різниця між максимальним і мінімальним значенням підгрупи). Карта має центральну лінію, що відповідає еталонному значенню характеристики. Еталонним зазвичай служить середнє арифметичне даних. Карта Шухарта має дві контрольні межі: верхню (ULC) та нижню (LCL).Вони розраховуються за відповідними формулами:

$$ULC = X + A_2R \quad \text{та} \quad LCL = X - A_2R$$

Коефіцієнт A_2 залежить від кількості даних всередині підгрупи та від виду карти, що будується (ДСТУ ISO 8258 – 2001). За представленою методикою було побудовано карту Шухарта для СЗШ 229 (рисунок 3).

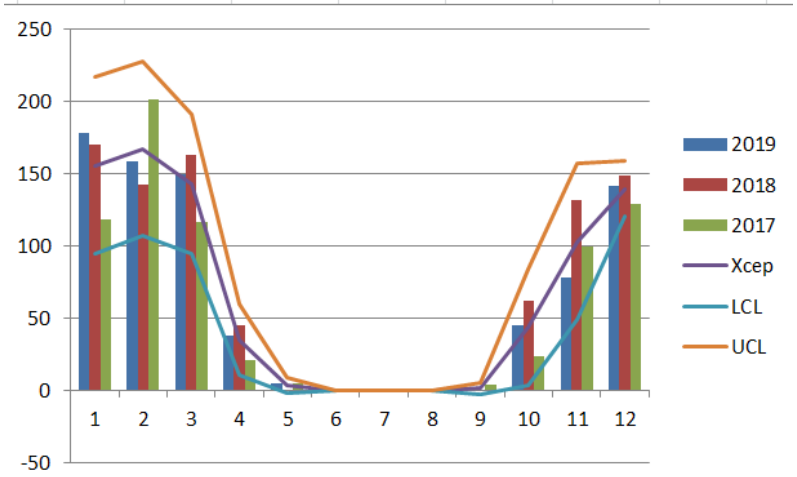


Рисунок 3 – Фактичне споживання теплової енергії та базовий рівень за картами Шухарта

Було розглянуто модель множинної лінійної регресії, що використовується для виявлення факторів, які найбільше впливають на енергоспоживання, побудови базового рівня, довірчого інтервалу, а також прогнозування споживання енергії.

Загальний вигляд початкової регресійної моделі:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$$

За результативну ознаку (Y) обираємо споживання енергії за місяць, за факторні ознаки

(X_1, X_2, X_3) - відповідно середньомісячну зовнішню температуру, градусодоби, тривалість світлового дня (таблиця 1). Рівень надійності обираємо - 95%.

Таблиця 1 – Фактори, що впливають на споживання теплової енергії

Місяць	Споживання теплової енергії 2018, Гкал	Зовнішня температура, °С	Градусодоби	Тривалість світлового дня, год
1	170	-3,8	768,8	8,5
2	142	-2,4	655,2	10,1
3	163	-1,9	709,9	11,9
4	45	13,1	118,5	13,8
5	0	18,8	0	15,5
6	0	20,6	0	16,4
7	0	21,4	0	15,9
8	0	22,5	0	14,5
9	0	17,3	0	12,6
10	62	10,7	154,5	10,7
11	131	0,3	621	9
12	148	-2,2	719,2	8,1

Використовуючи програмне забезпечення MS Excel, отримали наступне рівняння:

$$y = 61{,}3356 - 3{,}7483x_1 + 0{,}1042x_2 + 1{,}1110x_3$$

р-значення$_1$=0,040598256; р-значення$_2$= 0,037396138; р-значення$_3$= 0,594242126.

Робимо висновок, що на споживання енергії має найменший вплив фактор X_3, оскільки рівень надійності P = 95%, значить ймовірність прийняття нульової гіпотези – р-значення має бути найбільшим серед інших. Тому виконуємо другу ітерацію, виключивши найменш впливовий фактор X_3.

Рівняння множинно-лінійної регресії після другої ітерації:

$$y = 68{,}7278 - 3{,}2886x_1 + 0{,}1101x_2$$

р-значення$_1$= 0,026675733<0,05; $t_{розр1}$=-2,645.

р-значення$_2$= 0,019636019<0,05; $t_{розр2}$=2,833.

Гіпотези перевіряємо за допомогою t-критерію Стьюдента. Розраховане значення t-критерію $t_{розр}$ порівнюємо зі значенням t-критерію, яке визначається за таблицею розподілу Стьюдента і називається критичним $t_{крит}$=2,26. Бачимо, що для двох факторів значення /$t_{розр}$/>$t_{крит}$. З цього слідує, що основна гіпотеза про незначущість параметрів моделі регресії відкидається, тобто відповідні фактори визнаються значимими і залишаються в рівнянні регресії. Будуємо базову лінію та довірчий інтервал за даним рівнянням (рисунок 4).

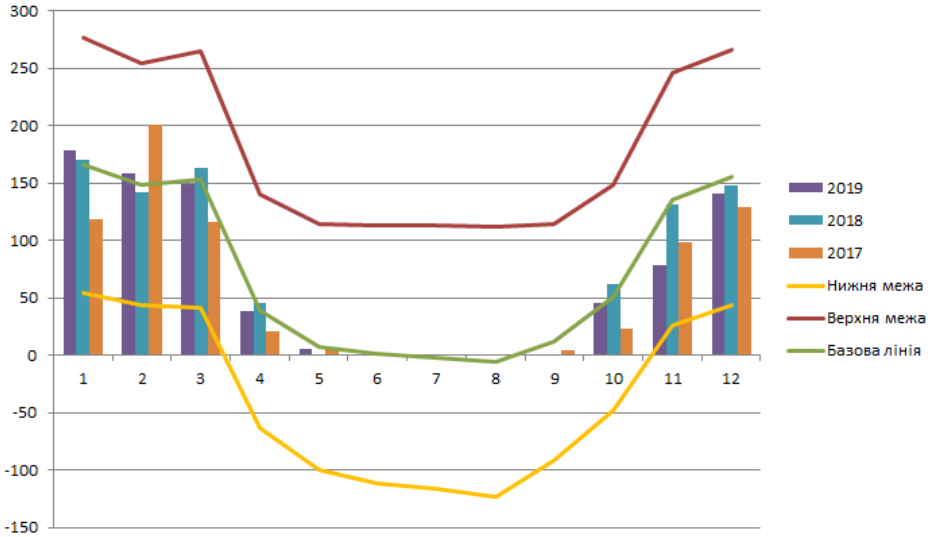


Рисунок 4 – Базова лінія та довірчий інтервал

Висновки. Сучасна система моніторингу дозволяє не тільки збирати дані про фактичне споживання енергоресурсів, а й розраховувати базове енергоспоживання, що дозволяє вчасно виявляти причини перевитрат або низького споживання та недотримання нормативних умов у закладі, оцінити ефективність від впроваджених заходів. Це можливо завдяки методам контролю, наприклад, картам Шухарта або множинній лінійній регресії, що також дозволяє оцінити вплив обраних факторів на енергоспоживання.

Список використаних джерел.

1. Управління економічного та інтеграційного розвитку. Підвищення енергоефективності в будівлях навчальних закладів м.Івано-Франківська [Електронний ресурс] / Управління економічного та інтеграційного розвитку – Режим доступу до ресурсу: http://www.mvk.if.ua/kperozv/32062

2. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. – 37с.

3. Агенство США з міжнародного розвитку (USAID). ПРОЕКТ USAID “МУНІЦИПАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА РЕФОРМА В УКРАЇНІ” [Електронний ресурс] / Агенство США з міжнародного розвитку (USAID). – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://misto-em.org.ua/wp-content/uploads/2018/10/ENERGY_MANAGEMENT_15_08_2017.pdf.

4. ДСТУ ISO 8258-2001. Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. – 34с.

5. Спецглави математики. 2.4 Множинна лінійна регресія [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/6kulacov_metodvkaz_prakt_kontrrob_specglavy_matematyky/link-2/2.4.html.

УДК 621.333.4

Федоренко Д.С.
Кафедра електропостачання

АНАЛІЗ ПИТАНЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИФІКОВАНОГО ПІДЗЕМНОГО ТРАНСПОРТУ

Анотація

В статті виконана оцінка потенціалу збереження електроенергії за допомогою використання енергоефективних систем управління під час експлуатації рухомого складу. Основна увага сконцентрована на вирішенні проблеми використання рекуперативної енергії та повернення її в мережу електропостачання. Приведені результати експериментальних досліджень енергопроцесів між контактною мережею та модернізованим поїздом метрополітену під час його експлуатації на Святошинсько-Броварській лінії КЛ «Київський метрополітен». Встановлено, що в режимі рекуперативного гальмування під час заданих умов експлуатації модернізованого поїзда до мережі генерується близько 20 % та утилізується близько 17 % електроенергії витраченої на тягу. Також встановлено, що шляхом модернізації існуючого рухомого складу його енергоефективність підвищується більш ніж на 40 %.

Ключові слова: *рекуперація, рекуперативна енергія, накопичувач електричної енергії, рухомий склад метрополітену, поїзд, метрополітен, частотний перетворювач, електропостачання, енергозбереження, енергоефективність, модернізованний, система рекуперації, система накопичення енергії, система управління, мережа.*

Abstract

The article evaluates the potential for saving electricity through the use of energy-efficient control systems during the operation of rolling stock. The main focus is on solving the problem of using regenerative energy and returning it to the power grid. The results of experimental investigations of energy processes between the catenary network and the modernized metro train during its operation on the Sviatoshynsko-Brovarska line of the Kyiv Metro are presented. It is established that in the mode of regenerative braking during the set conditions of operation of the modernized train about 20% of the electricity consumed for traction is generated to the network and utilized. It is also established that by modernizing the existing rolling stock, its energy efficiency increases by more than 40%.

Key words*: recuperation, recuperative energy, electric energy storage, subway rolling stock, train, subway, frequency converter, power supply, energy saving, energy efficiency, modernized, recuperation system, energy storage system, control system, network.*

Вступ. На даний час актуальною є проблема значного споживання електроенергії рухомим складом під час його експлуатації. У зв'язку з поетапним підвищенням тарифів за спожиту електроенергію подальший розвиток рейкового електрорухомого транспорту, зокрема рухомого складу метрополітену, неможливий без застосування сучасних енергозберігаючих технологій та енергоефективних систем. Для вирішення зазначеної проблеми необхідно виконати аналіз заходів і визначити перспективні напрямки з енергозбереження та підвищення енергоефективності на рухомому складі метрополітену.

На разі однією з ключових вимог при модернізації існуючого або створенні нового рухомого складу є впровадження на ньому енергоефективних та енергозберігаючих систем з метою заощадження енергоресурсів.[1]

Традиційним способом позбавлення від зайвої енергії, що виділяється, в перетворювачах частоти під час гальмування керованих ними асинхронних двигунів, було

розсіювання в формі тепла на резисторах. Гальмівні резистори застосовувалися всюди, де мала місце висока інерція навантаження, наприклад в центрифугах, на електротранспорті, на навантажувальних стендах і т. д.[2]

Таке рішення було необхідністю, щоб обмежити максимальну напругу на затискачах перетворювачів в режимі гальмування. Інакше б частотні перетворювачі виходили з ладу, адже було б неможливо контролювати параметри розгону і гальмування.

Гальмівні резистори не обтяжували економічно обладнання, але деякі незручності за собою незмінно тягли. Резистори – габаритні, сильно розігріваються, потрібен захист від вологи і пилу. І все це пов'язано лише з тим, що потрібно розвіяти енергію впусту, за яку підприємство платить гроші, і гроші не малі, якщо тим більше мова про велике виробництво.

Влітку особливо небажаний додатковий нагрів навколишнього повітря, адже технологічне обладнання і так нагріте теплим повітрям, а тут ще й резистори, прогріті до 100 градусів і вище. Потрібна додаткова вентиляція - знову витрати.[3]

Відомо, що вітчизняні метрополітени є потужними та енергоємними споживачами електроенергії. Близько 70 % від загального споживання електроенергії у вітчизняному метрополітені - це споживання електроенергії на тягу рухомим складом метрополітену. За результатами виконаних досліджень на КП «Київський метрополітен» встановлено, що за останні роки витрати на електроенергію збільшились. Тому в умовах постійного подорожчання вартості енергоресурсів проблема енергозбереження та енергоефективності на рухомому складі стає все більш актуальною.[4-5]

Основними напрямками з енергозбереження та підвищення енергоефективності рухомого складу метрополітену є впровадження на ньому систем рекуперації, накопичення енергії та енергоефективних систем управління. Встановлено, що впровадження систем рекуперації та накопичення енергії дозволить заощадити значну кількість електроенергії, що витрачається на тягу, проте потребує й суттєвих капіталовкладень.[5]

Мета роботи. Метою роботи є розвиток підходів щодо енергоефективного управління режимами тягового електропостачання систем електрифікованого транспорту при рекуперації електроенергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Аналіз показників ефективності використання енергії рекуперації в електрифікованому міському транспорті – метрополітені.
2. Дослідження впливу режимів систем зовнішнього електропостачання на ефективність передачі енергії рекуперації в первинну живлячу мережу.
3. Розробка імітаційної моделі процесу розподілу енергії рекуперації в тяговій мережі з урахуванням можливостей її накопичення та передачі до системи зовнішнього електропостачання та дослідження впливу експлуатаційних факторів на ефективність розподілу.
4. Удосконалення методу розрахунку системи тягового електропостачання в режимі рекуперації для визначення раціонального розподілу надлишкового струму рекуперації за енергетичним критерієм та визначення показників ефективності використання енергії рекуперації для класичних і перспективних систем тягового електропостачання.
5. Розробка наукових принципів моделювання зони розподілу енергії рекуперації для багатоваріантних структур системи тягового електропостачання на основі математико-алгоритмічного конструктивізму.
6. Розробка методу управління режимами енергообміну накопичувачів, інверторів та регуляторів напруги тягових підстанцій на основі досліджень в залежності від структури системи тягового електропостачання.
7. Удосконалення методу визначення потенціалу енергозбереження за рахунок підвищення ефективності використання енергії рекуперації в існуючих і перспективних системах електрифікованого транспорту.

8. Розробка практичних рекомендацій з підвищення ефективності використання енергії рекуперації. [1-6]

Об'єкт досліджень – процес рекуперації електроенергії та ефективність її споживання в системах тягового та зовнішнього електропостачання електрифікованого транспорту.

Предмет досліджень – енергоощадні алгоритми управління технічними засобами розподілу та споживання енергії рекуперації в системах електрифіко-ваного транспорту.

Безумовно, частотні перетворювачі сьогоднішнього дня сильно скорочують споживання електрики обладнанням, завдяки оптимізації способу живлення двигунів різного технологічного устаткування, і це економить ресурси. Але застосування рекуперації ще більш збільшує економію. Енергія може не розсіюватися на резисторах при гальмуванні, а повертатися в мережу з урахуванням поточних параметрів мережі.[6]

З метою скорочення витрат електроенергії на тягу поїздів данна концепція передбачає модернізацію вагонів експлуатуючого парку поїздів Святошинсько-Броварської лінії КП «Київский метрополітен», термін експлуатації яких більший ніж встановлений заводом виробником. Модернізація даних вагонів передбачає:

- заміну двигуна постійного струму на асинхронний, релейно-контакторної системи;
- управління на мікропроцесорну, а також можливість реалізації рекуперативного гальмування.

Як наслідок, за рахунок модернізації електричного обладнання вагонів прогнозується скорочення витрат на тягу поїздів до 35 %. Тому актуальним питанням є дослідження енергоефективності модернізованого поїзда під час його експлуатації.[7]

Матеріал і результати досліджень. Експериментальні дослідження виконані за допомогою випробувального комплексу, в склад якого входять модернізований дослідний поїзд та вимірювальна система, що встановлена на його борту (рис. 1).

За результатами отриманих даних (рис. 3) виконані розрахунки відношення рекуперованої в мережу до споживаної електроенергії (γ, %) та відношення надлишкової до споживаної електроенергії (ψ, %) модернізованим поїздом метрополітену під час його експлуатації між кінцевими станціями Святошинсько-Броварської лінії за формулами:

$$\gamma = \left|\frac{A_{\text{сер.рек}}}{A_{\text{сер.тяги}}}\right| \cdot 100\% \qquad (1)$$

$$\psi = \left|\frac{A_{\text{сер.рек}}}{A_{\text{сер.тяги}}}\right| \cdot 100\% \qquad (2)$$

Результати розрахунків, виконані за формулами 1 та 2, приведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків відношення кількості електроенергії

Досліджувана ділянка	Відношення кількості електроенергії, %	
	γ	ψ
Лісова-Академмістечко	15,31	13,4
Академмістечко-Лісова	24,96	21,64
Лісова-Академмістечко-Лісова	19,87	17,29

Результати експериментальних досліджень (табл. 1) свідчать, що реалізація рекуперативного гальмування під час заданих умов експлуатації модернізованого поїзда між кінцевими станціями Святошинсько-Броварської лінії дозволить зберегти близько 20 % електроенергії, витраченої на тягу. Крім того, існує значний резерв енергозбереження за рахунок використання надлишкової електроенергії, який складає близько 17 % електроенергії, витраченої на тягу.[8]

Таким чином, отримані дані дають можливість визначити підвищення енергоефективності за рахунок реалізації рекуперативного гальмування на модернізованому поїзді. Проте в цілому на підвищення енергоефективності модернізованого поїзда, окрім застосування рекуперативного гальмування, впливає також впровадження на ньому асинхронного приводу та мікропроцесорної системи управління, які є більш ефективними. Отже отримані дані не дають повну оцінку підвищення енергоефективності модернізованого поїзда.

Для повної оцінки підвищення енергоефективності модернізованого поїзда за рахунок впровадження вищевказаних заходів виконано додаткові експериментальні дослідження з визначення показника питомих витрат електроенергії на тягу. Даний показник визначається під час руху поїзда з максимальним завантаженням на прямолінійних ділянках колії (ухил не більше ніж 3 %) довжиною 1700 м з швидкістю сполучення 42 км/год. Більш детально умови проведения досліджень даного показника описані в методиках. Експериментальні дослідження питомих витрат електроенергії модернізованого поїзда виконані на ділянці «Хрещатик - Арсенальна-Хрещатик», яка відповідає основним вимогам.[7-9]

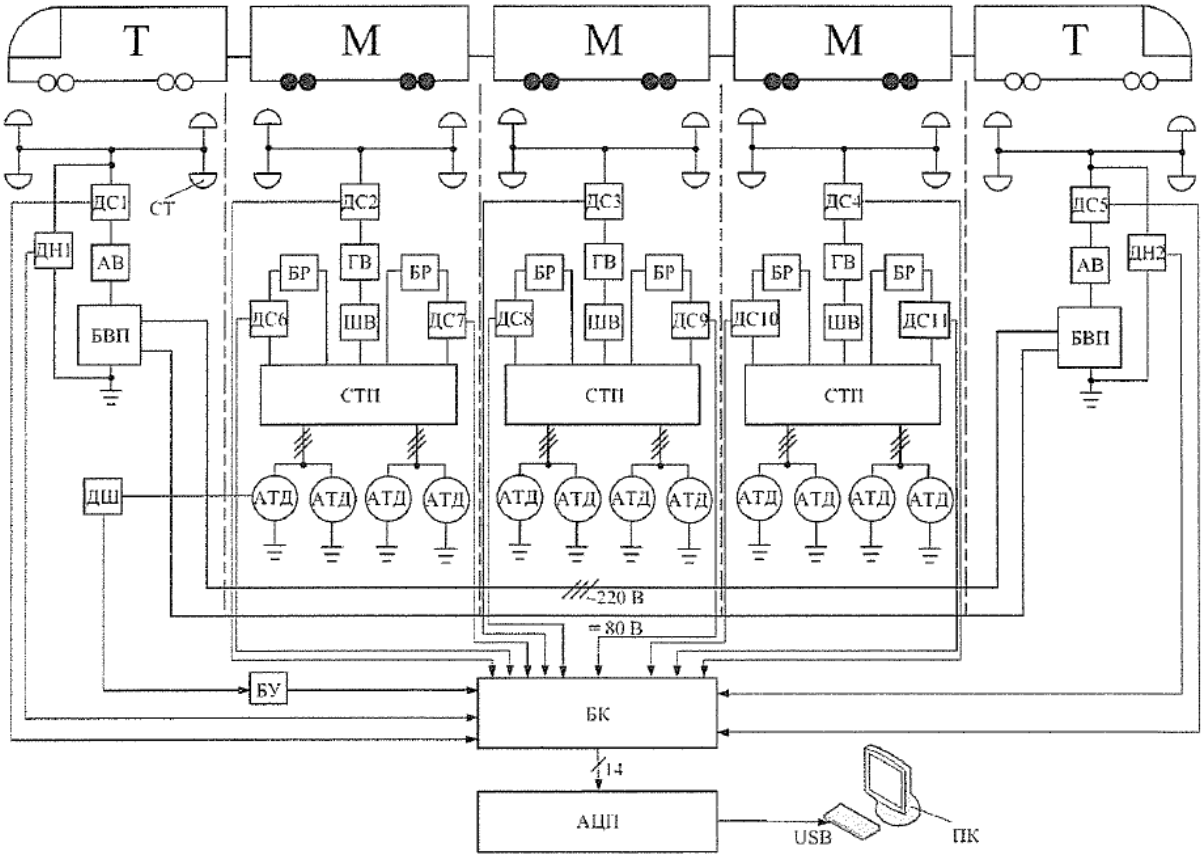


Рис. 1. Блок-схема випробувального комплексу

Дослідний модернізований поїзд складається з п'яти вагонів, в якому головні вагони - безмоторні, проміжні - моторні (комплектація 3М + 2Т).

Головні вагони укомплектовані блоками власних потреб (БВП), які з'єднані з струмоприймачами (СТ) через автоматичні вимикачі (АВ). Встановлені БВП забезпечують живленням нетягове електрообладнання поїзда. Основними функціями АВ є підключення кола живлення нетягового електрообладнання до контактної мережі та його захист під час виникнення аварійних ситуацій. Встановлені на головних вагонах СТ забезпечують споживання електроенергії з мережі на власні потреби.

Проміжні вагони укомплектовані асинхронними тяговими двигунами (АТД) типу МВ-5149-А на кожній колісній парі з наступними номінальними параметрами: $P_н$ = 150 кВт; $U_н$ =

610 В; $I_н$ = 185 А; $f_н$ = 65 Гц, $\eta_н$ = 0,91; $n_н$ = 1900 об/хв; $s_н$ = 2,4 %.

Асинхронні ТД обмоторених вагонів отримують живлення від статичного тягового перетворювача (СТП), який складається з двох інверторів та має блочно-модульну конструкцію. Інвертори забезпечують регулювання вихідної напруги та частоти від нуля до максимального значення. Один інвертор забезпечує плавне управління двома АТД. Конструкція інвертора також передбачає рекуперативне гальмування за наявності споживача електроенергії в мережі та реостатне гальмування за допомогою блоків резисторів (БР) за їх відсутності. Силові тягові перетворювачі з'єднанні з СТ через швидкодіючий вимикач (ШВ) та головний вимикач (ГВ).

Вимикачі (ШВ, ГВ) встановлені на кожному проміжному обмотореному вагоні з метою підключення силового електрообладнання (СТП, АТД) до контактної мережі та його захисту під час виникнення аварійних ситуацій в силовому колі. Встановлені на проміжних обмоторених вагонах СТ, забезпечують енергообмін між мережею і вагонами в режимах споживання та рекуперації.[10]

Вимірювальна система розроблена провідними спеціалістами для дослідження енергообмінних процесів між контактною мережею та поїздом в реальних умовах його експлуатації.

До складу вимірювальної системи входять: персональний комп'ютер (ПК), аналого-цифровий перетворювач (АЦП), блок комутації (БК), блок узгодження (БУ) та вимірювальні датчики.

В якості вимірювальних датчиків використовуються: одинадцять датчиків струму (ДС1-ДС11), два датчики напруги (ДН1-ДН2) та датчик швидкості (ДШ). Контроль спожитого струму на власні потреби здійснюється ДС1 і ДС5, контроль загального струму споживання на тягу та рекуперацію виконуються ДС2-ДС4,контроль струму при реостатному гальмуванні відповідно ДС6-ДС11. Контроль напруги контактної мережі здійснюється за допомогою ДН1 та ДН2. Вимірювання швидкості поїзда здійснюється за допомогою штатного ДШ.

Для узгодження типу та рівня вихідного сигналу ДШ з вхідним каналом АЦП використовується БУ. Сигнали з виходів вимірювальних датчиків через БК надходять на вхідні канали АЦП, який виконує функцію перетворення аналогових сигналів в цифрову форму для подальшої обробки на ПК.

Обробка даних на ПК здійснюється за допомогою атестованого програмного забезпечення «ЕЛЕКТРО» - спеціального програмного забезпечення розробленого для КП «Київський метрополітен».

Вимірювальна система передбачає отримання, відображення та збереження даних, отриманих від вимірювальних датчиків, які встановлені на дослідному поїзді.

Слід зазначити, що дана система універсальна, оскільки може застосовуватись для дослідження енергопроцесів практично на всіх типах електрорухомого складу.

Експериментальні дослідження енергопроцесів між контактною мережею та модернізованим поїздом виконано на Святошинсько-Броварській лінії КП «Київський метрополітен» під час руху поїздів в штатному режимі по «непіковому» графіку. Експерименти здійснювались при номінальному завантаженні вагонів модернізованого поїзда. Режим ведення дослідного поїзда відповідав дотриманню «непікового» графіку руху.[11]

На рис. 2 представлено одну з реалізацій енергопроцесів між контактною мережею та поїздом під час його руху на ділянці «Арсенальна – Політехнічний інститут».

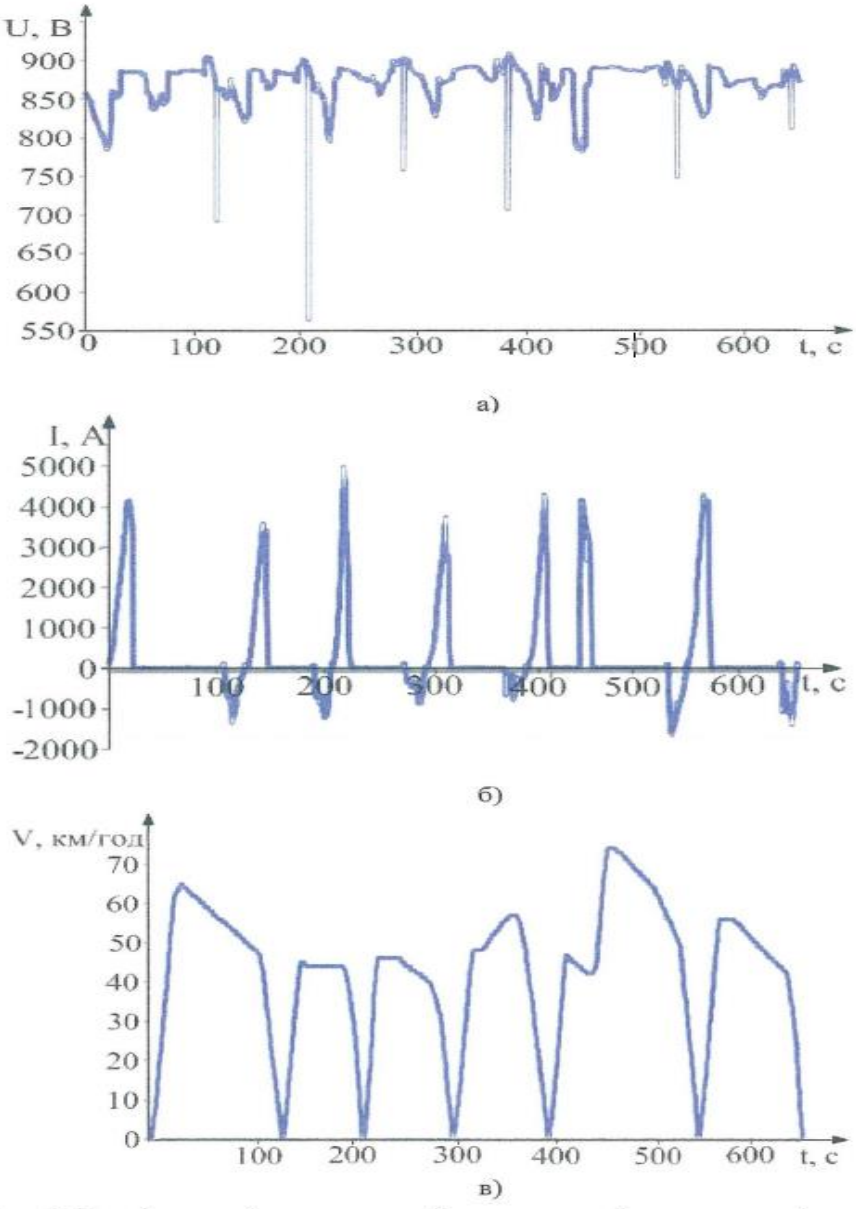


Рис. 2. Досліджувані параметри під час руху поїзда метрополітену: а) напруга на струмоприймачі $U(t)$; б) споживаний (рекуперований) струм поїзда $I(t)$;в) швидкість руху поїзда $V(t)$.

Під час заданих умов експлуатації поїзда між кінцевими станціями Святошинсько-Броварської лінії виконано ряд реалізацій. Для кожної реалізації отримані значення кількості споживаної ($A_{\text{тяги}}$, кВт-год), рекуперованої до мережі ($A_{\text{рек}}$, кВт-год) та надлишкової електроенергії ($A_{\text{надл.рек}}$, кВт-год) за формулами:

$$A_{\text{тяги}} = \frac{I_{\text{сер.тяги}} \cdot U_{\text{сер.тяги}} \cdot t_{\text{тяги}}}{3600 \cdot 1000};$$

$$A_{\text{рек}} = \frac{I_{\text{сер.рек}} \cdot U_{\text{сер.рек}} \cdot t_{\text{рек}}}{3600 \cdot 1000};$$

$$A_{\text{надл.рек}} = \frac{I_{\text{сер.гал}} \cdot U_{\text{сер.рек}} \cdot t_{\text{рек}}}{3600 \cdot 1000};$$

де $I_{\text{сер.тяги}}$ – середнє значення струму в режимі тяги, А; $U_{\text{сер .тяги}}$ – середнє значення напруги в режимі тяги, В; $t_{\text{тяги}}$ - тривалість режиму тяги, с; $I_{\text{сер.рек}}$ – середне значення струму, що повертається в мережу в режимі рекуперативного гальмування, А; $U_{\text{сер.рек}}$ – середнє значення напруги в режимі рекуперативного гальмування, В; $t_{\text{рек}}$ - тривалість режиму

рекуперативного гальмування, с; $I_{\text{сер .гал}}$ – середнє значення струму на гальмівних резисторах в режимі рекуперативного гальмування, А.

Середні значення кількості споживаної ($A_{\text{сер .тяги}}$), рекуперованої до мережі ($A_{\text{сер.рек}}$) та надлишкової ($A_{\text{сер.надл.рек}}$) електроенергії під час заданих умов експлуатації модернізованого поїзда між кінцевими станціями Святошинсько-Броварської лінії представлені на рис. 3.

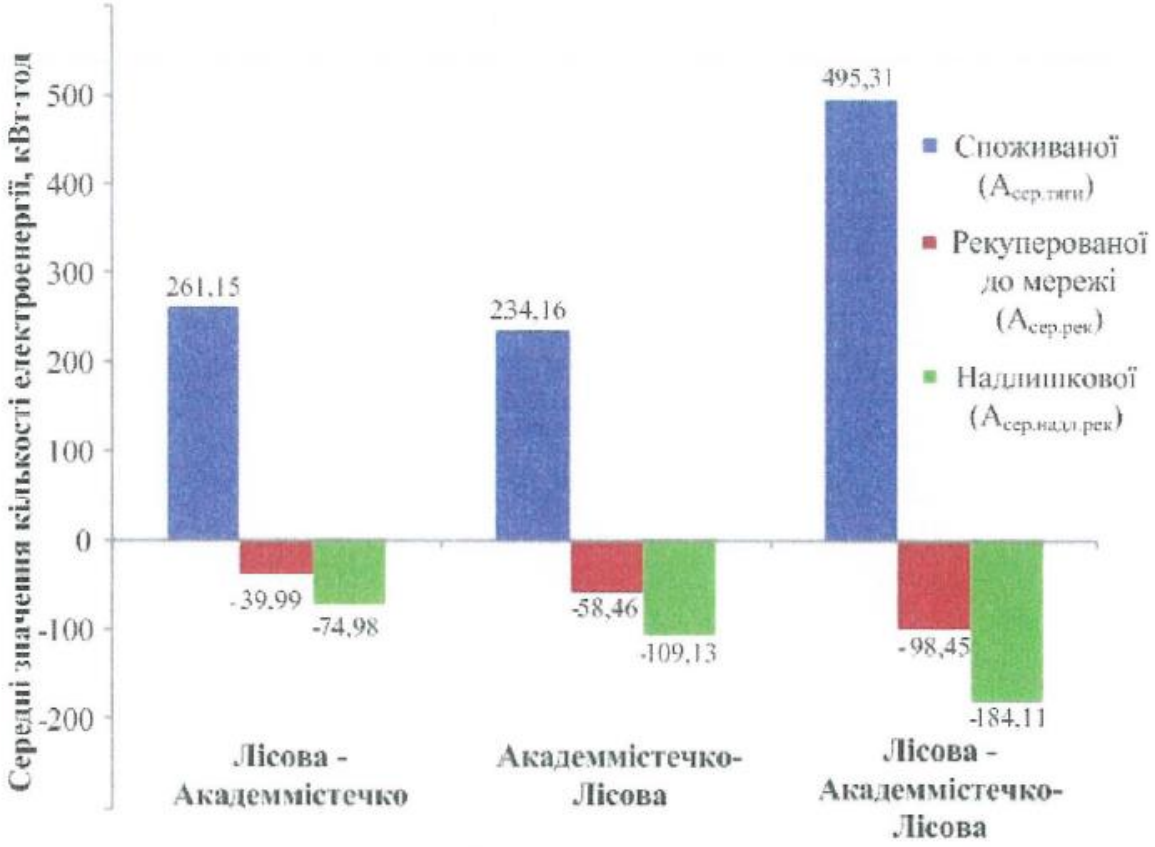


Рис. 3. Кількість споживаної рекуперованої до мережі та надлишкової електроенергії під час заданих умов експлуатації поїзда

Відомо, що питомі витрати електроенергії на тягу існуючого не модернізованого поїзда становлять близько 50 Вт·год/т·км. Дане значення питомих витрат прийнято як базове для визначення енергоефективності модернізованого поїзда.

На рис.4 представлено одну з реалізацій енергопроцесів між контактною мережею та поїздом під час його руху на ділянці «Арсенальна - Хрещатик».

Згідно вимог під час заданих умов експлуатації поїзда на ділянці «Хрещатик - Арсенальна - Хрещатик» виконано ряд реалізацій. Для кожної реалізації отримані значення питомих витрат електроенергії без урахування ($a_{\text{пит}}$, Вт·год/т·км) та з урахуванням генерації до мережі електроенергії ($a_{\text{пит.рек}}$, Вт·год/т·км) за формулами:

$$a_{\text{пит}} = \frac{I_{\text{сер.тяги}} \cdot U_{\text{сер.тяги}} \cdot t_{\text{тяги}}}{m \cdot L};$$

$$a_{\text{пит.рек}} = \frac{I_{\text{сер.тяги}} \cdot U_{\text{сер.тяги}} \cdot t_{\text{тяги}} - I_{\text{сер.рек}} \cdot U_{\text{сер.рек}} \cdot t_{\text{рек}}}{m \cdot L};$$

де m - маса завантаженого поїзда; L - довжина досліджуваної ділянки.

Результати експериментальних досліджень визначення питомих витрат електроенергії на тягу за формулами приведені в табл. 2.

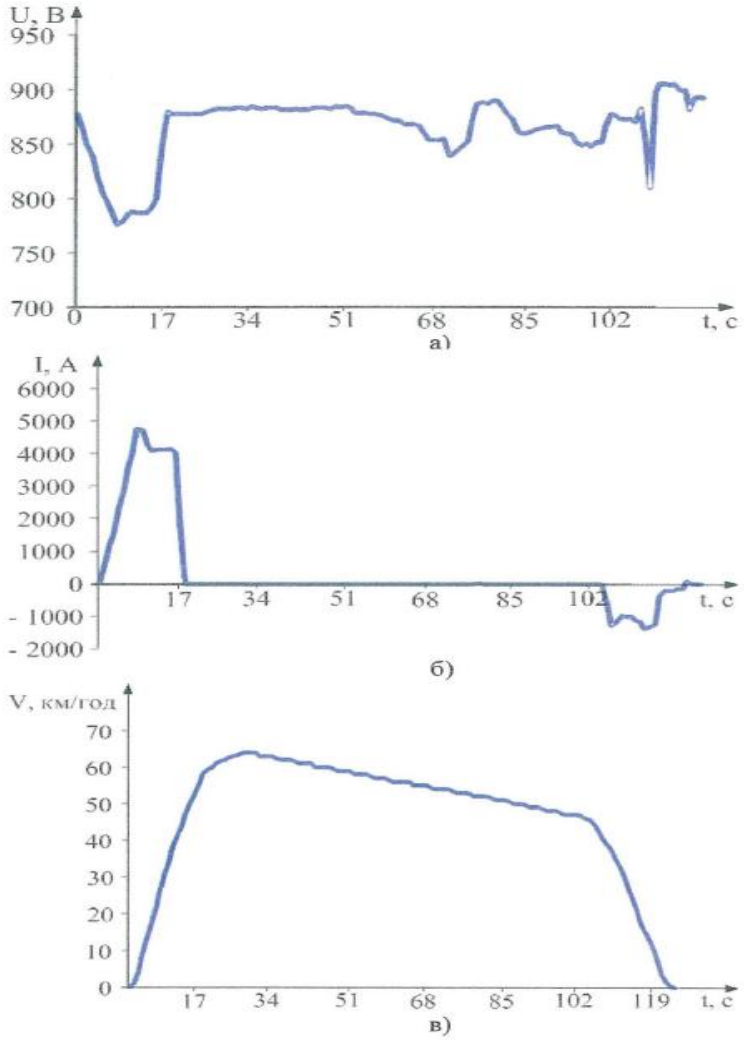


Рис.4. – Досліджувані параметри під час руху поїзда метрополітену: а) напруга на струмоприймачі $U(t)$; б) споживаний (рекуперований) струм поїзда $I(t)$; в) швидкість руху поїзда $V(t)$

Таблиця 2. Результати визначення питомих витрат електроенергії на тягу

Номер реалізації	$U_{сер.тяги}$, В	$I_{сер.тяги}$, А	$t_{тяги}$, с	$U_{сер.рек}$, В	$I_{сер.рек}$, А	$t_{рек}$, с	$a_{пит}$, Вт·год/т·км	$a_{пит.рек}$, Вт·год/т·км
Запис 1	817,5	2815	21	885,7	791	16	30,14	23,15
Запис 2	819,9	2781	22	891,1	821	16	31,29	23,99
Запис 3	805,6	2655	29	872,6	949	17	38,68	29,9
Запис 4	809,1	3325	20	876,1	638	16	33,56	27,98
Запис 5	816,4	3440	18	898,4	182	16	31,53	29,73
Запис 6	809,3	3510	17	881,1	825	16	30,12	22,87
Запис 7	828,4	3241	18	891,7	272	17	30,14	27,57
Запис 8	830,9	3327	17	885,2	464	17	29,31	24,96
Запис 9	812,2	3064	20	872,8	822	17	31,04	23,43
Запис 10	820,7	3116	19	890,4	360	17	30,3	26,9
Запис 11	825,7	3021	18	874,5	761	16	27,98	21,34
Запис 12	817,8	3261	19	872,3	492	17	31,6	27,05
Запис 13	815,5	3004	18	876,7	261	16	27,5	24,62
Середнє значення							31,0	25,7

Енергоефективність модернізованого поїзда визначено за формулою:

$$\alpha = 100 - \left(\frac{a_{\text{пит.модерн}}}{a_{\text{пит.немодерн}}} \cdot 100 \right);$$

де $a_{\text{пит.модерн}}, a_{\text{пит.немодерн}}$ - питомі витрати на електроенергію відповідно модернізованого та немодернізованого поїзда.

Результати визначення енергоефективності модернізованого поїзда представлено в табл. 3.

Показник	Без урахування генерації електроенергії до мережі	З урахуванням генерації електроенергії до мережі
Енергоефективність, %	38	48,6

За результатами отриманих даних (табл. 3) встановлено, що шляхом модернізаціїї існуючого рухомого складу його енергоефективність без урахування та з урахуванням генерації електроенергії до мережі підвищується на 38 % та 48,6 % відповідно.[9-12]

Висновок. За результатами даних експериментальних досліджень встановлено наступне:

- реалізація рекуперативного гальмування під час заданих умов експлуатації модернізованого поїзда між кінцевими станціями Святошинсько-Броварської лінії дозволяє зберегти близько 20 % електроенергії, витраченої на тягу;
- існує значний резерв енергозбереження за рахунок використання надлишкової електроенергії, яка за відсутності споживачів виділяється у вигляді тепла на резисторах та складає близько 15 % електроенергії, витраченої на тягу;
- шляхом модернізації існуючого рухомого складу його енергоефективність підвищується більш ніж на 40 %.

Список використаних джерел

1. Донченко А.В. До питания витрат електроенергії на тягу вагонів метрополітену КП «Київський метрополітен» / А.В. Донченко, А.О. Сулим// Збірник наукових праць ДЕТУТ: «Транспортні системи і технології». - К.: ДЕТУТ, 2013. Вип. № 22. - С. 5-8.

2. Шевлюгин М.В. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии/ М.В. Шевлюгин, К.С. Желтов//Журнал «Наука и техника транспорта». М., 2008. -Вып. № 1. -С. 15-20.

3. Донченко А.В. Экспериментальные исследования электроэнергии рекуперации электропоездами метрополитена в условиях КП «Киевский метрополитен» / А.В. Донченко, А.А. Сулим, П.А. Хозя, В.В. Федоров// Залізничний транспорт України-К., 2015. -Вип. 2. -С. 51- 55.

4. Саблін О.І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену / О.І. Саблін / /Восточно-Европейский журнал передовых технологий: «Энергосберегающие технологии и оборудование». -Х., 2014. -Вип. № 6/8 (72). С. 9-13.

5. Сычев С.Д. Разработка программного обеспечения для измерительных комплексов на базе персонального компьютера/С.Д. Сычев//Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. -Д., 2007. - Вип. № 15. -С. 131 - 134.

6. Дослідження енергоефективності модернізованого поїзда метрополітену виробництва ПАТ «КВБЗ» / А. В. Донченко, С. О. Мужичук, А. О. Сулим [та ін.] // Рейковий рухомий склад: зб. наук. пр. – Кременчук, 2015. – Вип. 12. – С. 48–56.

7. Васильева, М. А. Энергооптимальные режимы управления движением поезда метрополитена : дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / Васильева Марина Алексеевна ; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – М, 2003. – 182 с.

8. Голынский, А. П. Автоведение поездов метрополитена – базовая функция системы «Движение» / А. П. Голынский, А. Б. Жданович //Транспорт Рос. Федерации. – 2011. – № 3 (34).– С. 44–45.

9. Бычкова, М. П. Система накопителей электроэнергии для повышения энергоэффективности в метро / М. П. Бычкова // Энергосовет. – 2011. – Вып. 3 (16). – С. 74–76.

10. Кислий, Д. М. Визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів / Д. М. Кислий //Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 71–84. doi: 10.15802/stp2016/60983.

11. Колб, А. А. Использование энергии рекуперации электротранспорта для управления качеством электроэнергии / А. А. Колб // Вісн. Кременч. нац. ун-ту ім. Михайла Остроградського. – Кременчук, 2010. – Вип. 4 (63), ч. 1. – С. 98–102.

12. Костин, Н. А. Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока / Н. А. Костин, А В. Никитенко // Залізн. трансп. України. –2014. – № 3. – С. 15–23.

керівник Замулко А.І.

СЕКЦІЯ 2.
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

УДК 697.1:

Радзівіл Б. І.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГУРТОЖИТКУ СІМЕЙНОГО ТИПУ

SIMULATION MODELING OF SOLAR ENERGY TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF A FAMILY-TYPE DORMITORY

Анотація. Для даного об'єкту виконано теплотехнічний розрахунок тепловтрат, річних витрат енергії та написаний комплекс енергозберігаючих заходів для гуртожитку сімейного типу та виконано моделювання сонячної станції на даху будівлі.

Ключові слова: будівля, моделювання, енергоефективність, тепловтрати, сонячна станція.

Abstract. Forthisobject, theheatcalculationofheatloss, annualenergyconsumptionand a setof energy-saving measuresfor a family-type dormitorywasperformed, and a simulationof a solarstationontheroofofthebuildingwasperformed.

Keywords:building, modeling, energyefficiency, heatloss, solarstation.

Вступ.На даний час Україна стоїть перед проблемою з вичерпаністю викопного палива і найбільш продуктивному використанню енергетичних ресурсів.За допомогою запропонованих комплексів енергозберігаючих заходів, які виконані у результаті енергетичного аудиту на досліджуваному об'єкті є змогамаксимальнозменшитивитрати на енергозабезпечення. Під час виконання енергетичної оцінки гуртожитку № 22 КПІ ім.Ігоря Сікорського були проведені як інструментальні вимірювання, такі необхідні розрахунки, а також програмні середовища для моделювання сонячної енергії.

Мета та завданнядослідження. Метою даноїроботи єенергетичне обстеження будівлі гуртожитку сімейного типу та аналіз використання енергії сонця для підвищення рівня енергетичної ефективності за результатами моделювання у програмних середовищахPVSol 2020 та TSol.Завдання дослідження:

- збір вихідної інформації про будинок та визначення теплотехнічних, енергетичних та геометричних показників;
- розрахунок сумарноготепло і енергоспоживання сімейного гуртожитку №22 КПІ ім.Ігоря Сікорського;
- побудова 3Dмоделі будівлі та сонячної станції на даху гуртожитку, проведення моделювання енергії сонцяпротягом року у програмному середовищі PVSol;

Матеріал і результати досліджень. Об'єкт дослідження – будівля 1986 року побудови, яка знаходиться за адресою місто Київ, вул. Металістів 6, і служить гуртожитком сімейного типудля студентів та аспірантів КПІ ім. Ігоря Сікорського (рисунок 1), налічує 9-поверхів з одним центральним входом, та має в розпорядження 216 кімнат. Кімнати представляють собою житлове приміщення в складі яких: одна або дві кімнати; гардеробна;коридор; сумісний санвузол; кухня з електроплитою.Практично в кожній кімнаті є діти дошкільного віку, що суттєво впливає на енерговитрати.Загальна площа 6396 м^2. Житлова площа 3199 м^2. Площа скління 863 м^2.Зовнішні стіни будівлі товщиною 0,67 м, виконані з силікатної цегли, опір теплопередачі яких не відповідає нормативному [1].Вікна в будівлі частково дерев'яні, частково замінені на метало-пластикові.Двері центрального входу дерев'яні.Дах плоский, знаходиться над будівлею. Наявне технічне приміщення, підлога якого виконана з залізобетонної панелі перекриття та вкрита цементно-піщаною стяжкою, шаром руберойду

та керамзиту. Під всією площею будівлі розміщений неопалювальний підвал, в якому знаходиться трубна розводка системи опалення.



Рисунок 1 – Гуртожиток 22

Теплопостачання централізоване, теплоносій – вода,температурний графік - 150/70°С. Встановлений індивідуальний тепловий пункт, з автоматичним погодозалежним регулюванням витрати теплоносія. Температурний графік системи опалення 90/70 °С.Опалювальні прилади у кімнатах – чавунні секції, висотою 50см.

Система освітлення місць загального користування будівлі переважно складається з люмінісцентних ламп.

Розрахунок сумарного енергоспоживання, гуртожитку

Теплотехнічний розрахунок є детальним розрахунком втрат теплоти через зовнішні огородженняз врахуванням їх характеристик [2] та втрат теплоти за рахунок інфільтрації. Розподіл втрат теплової енергії через огороджувальні конструкції наведено на рис.2.



Рисунок 2 – Втрати теплової енергії, %

Для даного гуртожитку пропонується впровадження наступних заходів з

енергозбереження: заміна вікон на нові енергоефективні; утеплення зовнішніх стін; утеплення даху; модернізація індивідуального теплового пункту;пофасадне регулювання; заміна змішувачів; заміна електродвигунів ліфтів; встановлення сучасних енергозаощаджувальних плит. Розрахована економія енергії, зекономлені кошти та терміни окупності, результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків заходів з енергозбереження

Захід з енергозбереження	ΔQ, Гкал	ΔE, грн/рік	$T_{ок.}$, роки
Заміна вікон на нові енергоефективні	56,9	75450	16,78
Утеплення зовнішніх стін	288,88	303493	16,83
Утеплення даху	32,56	43181,6	33,1
Модернізація ІТП	346,7	575219	2,6
Пофасадне регулювання	151,27	200576	1,3
Заміна змішувачів	4,811	64951	2,2

Моделювання в програмному середовищі PVSol 2020

PVSol 2020 - це програма яка дозволяє побудувати динамічну модель досліджуваного обєкту, виконати імітаційне моделювання сонячної електростанції на ньому, розрахунки по генерації сонячного світла, вибрати різноманітні сонячні панелі та інвертори, розрахувати термін окупності та багато іншого. Даний програмний продукт містить базу кліматичних умов, створює графіки експлуатації і характеристики електричних мереж, дозволяє оцінювати фінансову складову ефективності проекту.

На даний час PV Sol [3] є однією з провідних програм з побудови і розрахунку сонячних електростанцій, і є конкурентом таких програм та інтернет середовищ як PVSyst та SolarEdge. В створених моделях враховують не тільки задані статичні і динамічні параметри самої будівлі, але й зовнішні кліматичні умови, що можуть здійснювати вплив на роботу об’єкту.

У вихідних параметрах для побудови 3D моделі для початку потрібно вибрати тип системи, вказати кліматичну зону, вибрати місто в якому знаходиться досліджуваний об’єкт та вказати параметри мережі живлення. Також потрібно вказати електроспоживання по кожному місяці за 2019 рік. В нашому випадку буде використовуватися підключення фотоелектричної системи до загальної мережі з електричним обладнанням.(рис.3)

За допомогою програми PVSol 2020проведено фінансовий аналіз з урахуванням капітальних витрат, темпу інфляції, додаткових щорічних витрат на експлуатацію обладнання, вартості енергоресурсів, очікуваної економії у натуральних та грошових одиницях після впровадження заходів з енергозбереження.

В результаті моделювання сонячної електростанції та її симуляції за цілий рік ми підібрали сонячні панелі марки JASolar на 340 Вт, та розмістили її на металевому каркасі під кутом 20°, це найбільш вдале розташування сонячних панелей, тому що при дистанції рядків в 1 метр один від одного ступінь затемнення сонячних панелей в рік буде менше 5%. При більшому куту нахилу чи меншій дистанції між рядками ступінь затемнення буде сягати більше 10%, що буде негативно впливати на роботу всієї сонячної станції.Також було обрано 3 інвертори марки Froniusha 23,4 кВт кожен. Отже за рік електростанція на 70,5 кВт зможе виробити 77002 кВт*год, це майже третя частина від усього річного споживання гуртожитку. Загальні характеристики можна побачити на рисунку 4.

Ми отримали графік помісячної генерації сонячної станції де можемо побачити, що найбільш продуктивними місяцями буде період з квітня по серпень, а найменш продуктивними грудень, січень, лютий, що очікувано так як зимою день найкоротший. Графік також показує і електроспоживання гуртожитку помісячно, і можемо побачити яку кількість електричної енергії нам потрібно буде докуповувати.

За результатами моделювання термін окупності сонячної станції становитиме 17років,

що для подібних проектів є прийнятним.

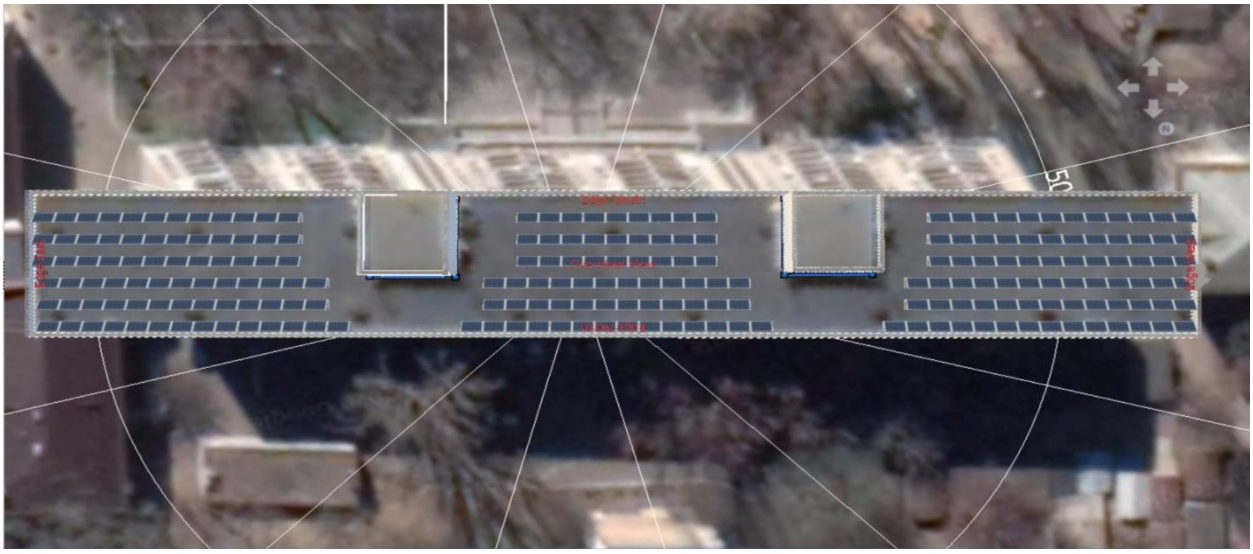


Рисунок 3 – Робоче вікно програмного продукту PVSol 2020 (побудова сонячної станції)



Рисунок 4 – Загальні характеристики побудованої сонячної станції

Висновки

Гуртожиток має досить типові проблеми об’єктів масових часів забудови, будівля має значний потенціал енергозбереження і потребує термомодернізації. Впровадження комплексу заходів для об’єкту дослідження дозволить значно зменшити витрати та енергоресурси, та забезпечить комфортні умови проживання.

За допомогою програмного середовища PVSOL 2020 ми побудували і наглядно побачили сонячну станцію на даху досліджуваного об’єкту – гуртожитку №22 КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Ми підібрали сонячні панелі марки JASolar на 340Вт , та інвертори Fronius на 23,4 кВт. Загальна кількість панелей становила 217 штук. Було підібрано 3 інвертори які розподілили всі панелі на 9стрінгів. Панелі встановлювалися на спеціальний каркас на південь під кутом

20 градусів.

Споживання гуртожитку за 2019 рік склало близько 324тис. кВт, при цьому річна генерація сонячної станції склала близько 77тис. кВт, , тому можна зробити висновок що при наявності достатнього фінансування даний захід є абсолютно доцільним.

Виконано розрахунок фінансово-економічних показників проекту: при існуючих тарифах на енергію дисконтований термін окупності заходів становить 17 років, що є прийнятним.

Перелік використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
3. PVSol 2020 Premium [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/#release-notes

Сиваченко О.А
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНУ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Анотація

Доповідь на тему «Аналіз характеристик стану будівель для подальшого підвищення його енергоефективності». Метою доповідіє підвищення рівня енергоефективності житлового будинку.

Ключові слова:*підвищення енергоефективності, енерго ресурси,аналіз будівель,збір даних,програмні забезпечення.*

Report on "Analysis of the characteristics of buildings to further improve its energy efficiency." The purpose of the report is to increase the level of energy efficiency of a residential building.

Keywords: energy efficiency improvement, energy resources, building analysis, data collection, software.

Вступ

Підвищення енергоефективності в будівлях є життєво важливим для вирішення проблем кліматичних змін та досягнення енергетичної незалежності (тобто стати нульовою енергією). Покращенню енергоефективності в існуючих будівлях останнім часом приділяється значна увага, що тягне за собою зменшення потреби в енергії для експлуатації будівель, не впливаючи на здоров'я та комфорт мешканців. Цей підхід вимагає стратегій, а не лише технічний прогрес. Результати цього дослідження забезпечують важливу основу для вироблення загальнодержавної та загальноорганізаційної стратегії підвищення енергетичної ефективності комерційних та інституційних будівель. Цей огляд досліджував сучасні підходи до енергоефективності, включаючи технічні, організаційні та поведінкові зміни. Перед містами України постають різноманітні виклики. Постійно зростаючі витрати на енергоносії при обмежених фінансових ресурсах та занедбаний стан більшості будівель — серед найбільших із них. Перевіреним методом для вирішення обох цих проблем одночасно є енергетичний менеджмент. Він допомагає зменшити тягар вартості енергоносіїв та утримувати будівлі в належному стані для роботи, навчання і проживання. Енергетичний менеджмент — це організаційний процес моніторингу, контролю та оптимізації постачання й використання енергії. Його метою є скорочення витрат на енергію, забезпечення достатнього постачання енергії і надання високоякісних енергетичних послуг, таких як освітлення або опалення.

Отже, нергоефективність означає, що ви оптимально використовуєте енергію у своєму будинку і не витрачаєте її даремно. У вас не витікає повітря з вікон, ви не залишаєте двері відчиненими, і у вас немає холодного повітря, яке просочується в будинок через настінні розетки та незагерметизовані трубопроводи. Коли ваш будинок енергоефективний, ви не витрачаєте гроші на рахунок за електроенергію, ви використовуєте саме те, що вам потрібно, і не більше того.

Перш ніж ми зможемо займатись такими справами, як встановлення сонячної енергії, ми повинні переконатися, що будівля є енергоефективною. Встановлювати сонячну енергію - це величезне марнотратство, коли стільки енергії, яку ви створюєте, уникає будівлі, для якої створюється.

Завдання

1.Регламентні роботи(обхід,огляд,перевірка роботи та технічного стану систем енергоспоживання) та внесення в програмне забезпечення;

2.Ліквідаціяя аварійних участків будівлі;

3.Оптимізувати структуру споживання енергоресурсів;

4.Підвищення ефективності використання всіх видів енергоносіїв;

5.Впровадження інноваційних рішень із застосування новітніх технологій.

Матеріал та результати досліджень

Перш за все перед підвищенням енергоефективності будівлі потрібно зупинитись на програмі завдяки якій можливо провести повний аналіз будівлі. На сьогодні їх безліч від професійних за які потрібно сплачувати та безкоштовні. Будучи студентом всі програми є безкоштовними чи з можливістю пробного періоду.

Отже деякі з них: OfficeReports, Second Prism, Databoard, Q Research Software, DataMarket, Statwing, MATLAB, DX Studio, Automation Studio, ADINA. З більшістю цих програм нажаль не вдалось по працювати ,але якщо будівля з великим обсягом даних і змінних то Q Research Software вам з цим допоможе. Але програмне забезпечення це лише мала частина для 100% енергоефективності.

Тому їх поєднують з заходами по підвищенню ефективності:

- **Ущільніть роботу каналу.** Переконайтеся, що робота каналу герметична, це включає повітроводи під вашим будинком, а також місця, де вони потрапляють у ваш будинок (вентиляційні отвори). Хоча це може здатися не великою справою, через ці крихітні щілини між підлогою та повітроводами може вийти багато повітря.
- **Перевірте свої крани на герметичність.** Витік, залишений без нагляду, може коштувати вам великого часу на оплаті води. Дуже часто ми навіть не усвідомлюємо, що витік відбувається, поки не пізно, і часто проходять місяці зі збільшенням рахунків за електроенергію. Слідкуйте за своїм рахунком за електроенергію, якщо помітите значне збільшення споживання води чи електроенергії, можливо, проблема.
- **Ізолюйте свій водонагрівач та труби.** Якщо ваш водонагрівач знаходиться у вашому неізольованій кімнаті, вам не потрібно утеплювати всю кімнату, щоб ізолювати свій водонагрівач. Можливо придбати куртку водонагрівача за мінімальну ціну і встановити її самостійно, не тільки зменшить енергію, яку повинен використовувати пристрій для нагрівання води, але і зменшує час, необхідний для того, щоб гаряча вода дісталася до інших районів вашого будинку.
- **Встановіть програмований термостат.** Незалежно від того, чи йдете ви з базовим блоком або з одним із нових вишуканих термостатів, який програмується самостійно на основі ваших дій, програмований термостат не тільки заощадить ваші гроші, але і забезпечить ваш будинок набагато комфортнішим.
- **Замініть електроприлади, перш ніж вони помруть.** Швидше за все, вашій техніці близько 10 років. Якщо ви все ще користуєтеся старими приладами, що не належать Energy Star, подумайте про заміну їх більш ефективними приладами до того як вони вийдуть з ладу. Ви не тільки заощадите енергію (і гроші) в довгостроковій перспективі, але і вбережете себе від короткочасного головного болю від необхідності заміни.
- **Очистіть і замініть фільтри.** Перевірте свої повітряні фільтри та замінюйте їх за регулярним графіком.
- **Перевірте вологість.** Якщо ви боретеся з тим, щоб зберегти ваш будинок досить прохолодним у теплі місяці, можливо, вам доведеться перевірити вологість. Гідристат дозволить побачити вологість повітря в приміщенні. Якщо він занадто високий, ви захочете придбати та встановити осушувач. Це зменшить ваші витрати на охолодження та зробить ваш будинок набагато комфортнішим.

• **Загерметизуйте негерметичні вікна.** Чи знали ви, що втрачаєте тонну енергії на негерметичні вікна (навіть якщо вони нові)? Ці невеликі тріщини можуть прирівнюватися до того, щоб вікно (а то й два) було відкрито настільки широко, наскільки вони будуть ходити.

Завдяки цим не тяжким заходам та модернізація можливо зекономити від 10 до 30 %.Але нажаль більшість з них потребують вкладення коштів. Що і ставить під сумніви енергоефективність несправних чи мало забезпечених будівель,які нажаль переважають в країні. Тому економія буде видима лише через деякий час.

Висновки

Отже, застосування постійної перевірки та внутрішнього аудиту сприятиме формуванню позитивного іміджу будівлі, яка демонструє постійне дотримання нормативно-правових вимог у галузі енергоефективності, захисту навколишнього середовища, економії природних ресурсів, зниження екологічних ризиків та ризиків пов'язаних з енергопостачанням і енергоспоживанням. Оптимізуючи енергетичні потоки на місцях можна економити 15-30% споживання енергетичних ресурсів. Позитивним для нас є те, що, освоюючи нові технології, ми вже можемо покладатися на практичний досвід інших країн. Акумулюючи результати вже реалізованих змін і власних розробок, ми можемо знайти найбільш прийнятні моделі для кожної будівлі України, враховуючи його індивідуальну специфіку.

Перелік використаних джерел

1. Еренгоефективність вашої будівлі https://www.bdc.ca/en/articles-tools/business-strategy-planning/manage-business/how-aim-net-zero-energy-efficiency

2. Життєвий цикл будівлі https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/096132100369073

3. Центр досліджень соціальних комунікацій http://nbuviap.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=745:pidvishchennya-energoefektivnosti&catid=8&Itemid=350

4. Що таке енергоефективність https://alcse.org/ways-to-increase-energy-efficiency/

Шевчук С.І
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ КОРПУСУ №17

Анотація

Доповідь на тему «Дослідженнятеплоенергетичного стану корпусу №17». Метою доповідіє підвищення рівня енергоефективності корпусу.

Ключові слова:*підвищення енергоефективності, енерго ресурси,аналіз к,збір даних,програмні забезпечення.*

Report on "Study of the thermal state of the building №17". The purpose of the report is to increase the level of energy efficiency of the building.

Keywords: energy efficiency improvement, energy resources, analysis, data collection, software.

Вступ

Підвищення енергоефективності та дослідження теплоенергетичного сатну в будівлях є життєво важливим для вирішення проблем кліматичних змін та досягнення енергетичної незалежності (тобто стати нульовою енергією).

Покращеннюенергоефективності в існуючихбудівляхостаннім часом приділяєтьсязначнаувага, щотягне за собою зменшення потреби в енергії для експлуатаціїбудівель, не впливаючи на здоров'я та комфорт мешканців.Цейпідхідвимагаєстратегій, а не лишетехнічнийпрогрес.

Постійнозростаючівитрати на енергоносії при обмеженихфінансових ресурсах та занедбаний стан більшостібудівель — середнайбільшихіз них. Перевіреним методом для вирішенняобохцих проблем одночасно є енергетичний менеджмент. Віндопомагаєзменшититягарвартостіенергоносіїв та утримуватибудівлі в належномустані для роботи, навчання і проживання. Енергетичний менеджмент — цеорганізаційнийпроцесмоніторингу, контролю та оптимізаціїпостачання й використанняенергії. Його метою є скороченнявитрат на енергію, забезпеченнядостатньогопостачанняенергії і наданнявисокоякіснихенергетичнихпослуг, таких як освітленняабоопалення.

Вибір відповідних теплоізоляційних матеріалів після будівництва являє собою завдання дослідження, яке потребує розумного та горизонтального підходу. Обґрунтування найбільш прийнятних рішень вимагає глибокого розуміння значних витрат та екологічних властивостей теплоізоляційних матеріалів, а також умов, за яких вони застосовуються для різних будівельних рішень.

Цей розділ завершується розробкою всебічної бази знань у галузі теплоізоляційних матеріалів, що базується на засадах та підтверджена науково підтвердженими концепціями, а також успішними тематичними дослідженнями. Наведено основи теплоізоляційних матеріалів, що стосуються їх складу, а також фізики їх експлуатаційних характеристик. Висновки цієї глави також встановлюють ефективність та надійність прийняття підходів життєвого циклу як на екологічному, так і на економічному рівні для визначення відповідних теплоізоляційних матеріалів для їх впровадження в енергетичне оновлення будівель. У цій главі також розглядається сучасний рівень наукових досліджень у галузі теплоізоляції будівельних матеріалів та рішення, що вико

Завдання

1.Регламентні роботи(обхід,огляд,перевірка роботи та технічного стану систем енергоспоживання) та внесення в програмне забезпечення;

2.Ліквідаціяя аварійних участків будівлі;

3.Оптимізувати структуру споживання енергоресурсів;

4.Підвищення ефективності використання всіх видів енергоносіїв;

5.Впровадження інноваційних рішень із застосування новітніх технологій.

Матеріал та результати досліджень

Перш за все перед підвищенням енергоефективності будівлі потрібно зупинитись на програмі завдяки якій можливо провести повний аналіз будівлі. На сьогодні їх безліч від професійних за які потрібно сплачувати та безкоштовні. Будучи студентом всі програми є безкоштовними чи з можливістю пробного періоду.

Отже деякі з них:OfficeReports, Second Prism, Databoard, Q Research Software, DataMarket, Statwing, MATLAB, DX Studio, Automation Studio, ADINA.

З більшістю цих програм нажаль не вдалось по працювати ,але якщо будівля з великим обсягом даних і змінних то QResearchSoftware вам з цим допоможе. Але програмне забезпечення це лише мала частина для 100% енергоефективності.

Тому їх поєднують з заходами по підвищенню ефективності:

- **Фаза зміни матеріалів**(PCM) протягом останнього десятиліття приділяли значну увагу використанню в системах теплового накопичення прихованого тепла (LHTS). PCM дають можливість зберігати пасивні сонячні та інші надбавки тепла як приховане тепло в певному температурному діапазоні, що призводить до зменшення споживання енергії, підвищення теплового комфорту за рахунок згладжування коливань температури протягом дня та зменшення та / або зміщення в пікових навантаженнях. Інтерес до ПКМ суттєво зростав за останнє десятиліття як до нових будівель, так і до модернізації існуючих. Отже, на ринок надійшло кілька комерційних продуктів з різними сферами використання в будівельних додатках. У цьому дослідженні розглядаються найсучасніші комерційні продукти, що знаходяться на ринку, та демонструються деякі потенційні сферив икористання PCM у будівельних додатках. Також були розглянуті приклади того, як PCM можна інтегрувати в будівлі, а також будівельні матеріали та проекти з використанням PCM, які вже були реалізовані. Здається, що на даний момент опублікованих даних про фактичну ефективність реальних програм немає. Однак багато лабораторних та повномасштабних експериментів показали позитивні результати щодо економії енергії. Крім того, досліджено майбутні дослідницькі можливості та обговорено проблеми з технологією на сьогодні.
- **Встановіть програмований термостат.** Незалежно від того, чийдетеви з базовим блоком або з одним із нових вишуканих термостатів, який програмується самостійно на основі ваших дій, програмований термостат не тільки заощадить ваші гроші, але і забезпечить ваш будинок набагато комфортнішим.
- **Будівельний сектор** перебуває під тиском з метою підвищення його економічної ефективності, якості, енергоефективності та екологічних показників та зменшення використання невідновлюваних ресурсів. Ключовим питанням конкурентоспроможності матеріалів на біологічнійоснові є постачання надійних компонентів з контрольованою

міцністю з мінімальними потребами в технічному обслуговуванні та витратами життєвого циклу. Цілями європейської стандартизації є забезпечення якості та задоволення очікувань споживачів, усунення торгових бар'єрів, гармонізація використовуваних методів оцінки, полегшення взаєморозуміння між виробниками та користувачами та сприяння сталому розвитку шляхом постачання надійної продукції з належним терміном служби.

- **Загерметизуйте негерметичні вікна.** Чи знали ви, щовтрачаєте тонну енергії на негерметичні вікна (навіть якщо вони нові)? Ці невеликі тріщини можуть прирівнюватися до того, щоб вікно (а то й два) було відкрито настільки широко, наскільки вони будуть ходити.
- **Більш ніж 40% втрат** тепла зазвичай відбувається через стіни і не має значення – житловий це будинок чи комерційна будівля, хіба що тарифи на опалення різні. Зберегти тепло, позбавитись вологих стін у квартирі, офісі чи виробництві та зменшити комунальні платежі допоможе утеплення.
- **Волога**, перепади температур та агресивні сполуки, присутні у міському повітрі чинять негативний вплив на фасади незалежно від матеріалів, з яких вони виконані. Плановий ремонт фасаду будинку необхідна міра безпеки. Завдяки високій мобільності, промислові альпіністи зроблять такий ремонт швидким та відносно малозатратним.
- Досить часто дерева ростуть без урахування архітектурних норм

Завдяки цим не тяжким заходам та модернізація можливо зекономити від 10 до 30 %.Але нажаль більшість з них потребують вкладення коштів. Що і ставить під сумніви енергоефективність несправних чи мало забезпечених будівель,які нажаль переважають в країні. Тому економія буде видима лише через деякий час.

Важливо

Рідкісні випадки, коли утеплення будинку зсередини залишається єдиною опцією. Але в абсолютній більшості варіантів власнику приватного будинку варто надати перевагу зовнішньому утепленню.

І справа не тільки в тому, що внутрішнє утеплення зменшує простір кімнат будинку, це якраз фактор другорядний. Куди гірше те, що при внутрішньому утепленні зовнішня стіна будівлі починає серйозно замерзати, а точка роси (місце утворення конденсату) зсувається вглиб утеплювального «пирога». «Спіймати конденсат» досить непросто, а при внутрішньому утепленні це стає складною «задачкою».

Вам точно буде потрібна додаткова вентиляція, і не факт, що усе ж таки вдасться організувати все досить добре і надійно. Тому, якщо у вас є можливість зробити зовнішнє утеплення замість внутрішнього, наполегливо рекомендуємо вам скористатися такою можливістю і робити зовнішнє утеплення фасаду приватного будинку.

Висновки

Отже, застосування постійної перевірки та внутрішнього аудиту сприятиме формуванню позитивного іміджу будівлі, яка демонструє постійне дотримання нормативно-правових вимог у галузі енергоефективності, захисту навколишнього середовища, економії природних ресурсів, зниження екологічних ризиків та ризиків пов’язаних з енергопостачанням і енергоспоживанням.Оптимізуючиенергетичні потоки на місцях можна економити 15-30% споживання енергетичних ресурсів. Позитивним для нас є те, що, освоюючи нові технології, ми вже можемо покладатися на практичний досвід інших країн. Акумулюючи результати вже реалізованих змін і власних розробок, ми можемо знайти найбільш прийнятнімоделі для кожної будівлі України, враховуючи його індивідуальнуспецифіку.

Перелік використаних джерел

5. Еренгоефективність вашої будівлі https://www.bdc.ca/en/articles-tools/business-strategy-planning/manage-business/how-aim-net-zero-energy-efficiency

6. Утеплення фасадівhttp://www.3dplast.kiev.ua/

7. Центр досліджень соціальних комунікацій http://nbuviap.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=745:pidvishchennya-energoefektivnosti&catid=8&Itemid=350

8. Що таке енергоефективність https://alcse.org/ways-to-increase-energy-efficiency/

9. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919317155

10. Удосконалені ізоляційні матеріали https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/vacuum-insulation-panel

11. https://zt.20minut.ua/novini-kompanij/chim-utepliti-fasad-budinku-poradi-profesionaliv-10627940.html

УДК 62-67

Махлай Д.С
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

PECULIARITIES OF USING DIFFERENT TYPES OF HEAT PUMPS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Анотація. В даній статті розглядаються складнощі, які пов'язані з використанням різних видів теплових насосів у навчальних закладах. Вплив особливостей на обрання виду теплового насосу. Незручності використання при обранні теплового насосу в якості джерела теплової енергії. Оцінка ефективності обраного виду теплового насосу.

Ключові слова: тепловий насос, теплопостачання, відновлювальне джерело, споживання тепла, енергоефективність.

Annotation. These articles consider the components that are presented using different types of heat pumps in educational institutions. Influence of features on the choice of the type of heat pump. Inconvenience of use at the chosen heat pump as heat sources. Evaluation of the efficiency of the selected type of heat pump.

Key words: heat pump, heat supply, renewable source, heat consumption, energy efficiency.

Вступ

Україна продовжує додержуватися власної енергетичної стратегії. Поступово в навчальних закладах і у приватному секторі проводиться термомодернізація. Утеплення будівель та встановлення власних джерел тепла сприяє поступовому збільшенні рівня енергоефективності. Розрив в рівнях енергоефективності між Україною та країнами ЄС поступово зменшується. Якщо станом на минулий рік різниця була близько 60%, то станом на 2020 рік, складає 54%. За даними Міжнародного енергетичного агентства, Україна має величезний енергетичний потенціал в секторі енергозбереження.

Мета та завдання дослідження

На прикладі навчального корпусу №14 НТУУ «КПІ» імені Ігоря Сікорського розглянути складнощі, що виникають при обранні та встановленні теплового насосу в навчальних закладах в якості основного та додаткового джерела теплової енергії.

Матеріал і результати дослідження

В навчальному корпусі був проведений енергетичний аудит та визначений рівень споживання теплової, електричної енергії та гарячої води. Дані про витрату тепла крізь огороджуючи конструкції зведені до таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Теплові втрати крізь огороджуючи конструкції

1	Тепловтрати через стіни	$Q_{ст}$	кВт	75,6
2	Тепловтрати через вікна	$Q_{вік}$	кВт	86,2
3	Тепловтрати через стелю	$Q_{стелі}$	кВт	7,6
4	Тепловтрати через двері	$Q_{дв}$	кВт	0,5
5	Тепловтрати через підлогу	$Q_{підлоги}$	кВт	58,4
6	Сумарні тепловтрати через огороджувальні конструкції	$Q_{огор}$	кВт	228,6
7	Тепловтрати будинку через вентиляцію	$Q_{вв}$	кВт	151,1
8	Сумарне теплове навантаження будівлі	$Q_{сум}$	кВт	290,9

Тепловий насос обирається за навантаження на систему опалення впродовж

найхолоднішого місяця. Для періоду спостереження це виявився січень. Навантаження за місяць склало 42,27 Гкал. Середньодобове навантаження становить 68,2 кВт·год.

За можливості тепловий насос потрібно обрати з запасом на рівні 10-15% від розрахованих витрат.

Далі будуть наведені та розглянуті загальні для всіх теплових насосів проблеми та окремо власні для кожного.

1) Будівля;
2) Архітектура будівлі;
3) Особливості забудови міста;
4) Режим використання;
5) Кошти та термін окупності;
6) Обслуговування.

Окремо по кожному з пунктів, далі:

Більшість навчальних закладів були побудовані понад 30 років назад. В таких закладах закладалися інші обсяги витрат енергоресурсів, що не відповідають визначенню енергоефективність. Будівлі старі та потребують не просто утеплення та термомодернізації, а також капітального ремонту.

Проблема, що стосується більшості ДНЗ, це архітектура будівлі. Величезні вікна та двері, що є недоцільними, тощо. Їх слід демонтувати та замінити на більш енергоефективні.

Тепловий насос є низько потенційним джерелом тепла, температура теплоносія не перевищує 40˚ С, а отже для його використання слід звести до мінімуму витрати крізь огороджуючи конструкції.

Щільна забудова міста теж впливає на обрання типу теплового насосу. В деяких випадках міська влада надає дозвіл для використання міських мереж в якості джерела тепла. Такі проекти мають свій ряд особливостей та коштують менше через специфіку використання.

Тепловий насос може використовуватися в якості єдиного, основного або додаткового джерела теплоти. Проте ця особливість також торкається питання вартості установки теплового насосу. Якщо тепловий насос обирається в якості єдиного джерела тепла, то його слід розраховувати на максимальне навантаження. Повітряний тепловий насос, в такому випадку, буде на багато дорожчим від інших видів установок. Якщо річ йде про використання теплового насосу в якості основного або додаткового джерела, то всі насоси приблизно однакові. Використання їх в парі з іншим джерелом тепла дозволить суттєво зменшити витрати та збільшить клас надійності будівлі.

Технічна підтримка коштує певних грошей та потребує час на її виконання. Не своєчасне обслуговування теплових насосів призведе до швидкого виходу з ладу та можливого придбання дорого вартісних запчастин.

Далі більш детально для кожного окремо:

Ґрунтовий тепловий насос

Ґрунтовий тепловий насос WATERKOTTE 5068.5DT промисловий насос що відповідає розрахованому навантаженню. На його прикладі розглядалися складнощі, що виникають при використанні даного виду теплових насосів.

Наведений тепловий насос споживає 11,2 кВт електричної енергії. Завдяки високому COP = 5,8, виготовляється 68,2 кВт теплової енергії. За опалювальний період в місті Києві, тепловий насос задовольнить потребу у 250,1 Гкал, що потрібна для підтримки комфортних умов.

Для роботи ґрунтового теплового насосу потрібно мати достатню площу для встановлення зондів. Перед розробкою геотермального поля потрібно отримати дозвіл від Міністерства, що очолює нагляд за ґрунтовими водними ресурсами України.

Зонди в геотермальному полі встановлюються вертикально та окремо один від одного на відстані 8 метрів. Довжина зонду не повинна перевищувати 70 метрів, інакше може виникнути ряд складнощів з транспортуванням фреону в трубках.

З одного погонного метру зонду отримується 55 Вт. Таким чином щоб отримати 68,2 кВт теплової потрібно мати загальну довжину 1240м. За умови, що кожен має обмеження в 70 метрів, кількість зондів становитиме 18 шт. Встановивши зонди в два ряди площа складатиме 576 м^2. Зонди тампонуються або піностеролом, або суміщу землі та води.

Наступним обмеження є довжина від гребінки до теплового насосу, що має становити менше 15 метрів в одному напрямку. Після встановлення геотермального поля, його заповнюють фреоном. Фреон небезпечний як для людини, так і для оточуючого середовища. Його утилізація покладається на власника установки та суворо дотримується.

Простий термін окупності рахується з витрат на обладнання та роботу найманих працівників:

$$\text{Т} = \frac{\text{П}}{\text{Е}} = \frac{(1040577 + 733212 + 39150)}{330738} = 5{,}4 \text{ роки}$$

З розрахунку видно, що встановлення такого теплового насосу є доцільним оскільки його термін окупності складає менше ніж його дійсний термін використання.

Повітряний тепловий насос

Повітряний тепловий насос WAMAKAW 65 EVIHD промисловий насос що відповідає розрахованому навантаженню. На його прикладі розглядалися складнощі, що виникають при використанні даного виду теплових насосів.

Наведений тепловий насос споживає 17,4 кВТ електричної енергії. Завдяки високому COP = 3,7, виготовляється 63,8 кВт теплової енергії. За опалювальний період в місті Києві, тепловий насос задовольнить потребу у 250,1 Гкал, що потрібна для підтримки комфортних умов.

Ефективність повітряного теплового насосу на пряму залежить від температури повітря. Чим нижча температура повітря, тим менше коефіцієнт перетворення у теплового насосу. Найкращим варіантом є використовувати повітряний тепловий насос в парі з будь-яким іншим джерелом тепла. Такий спосіб дозволить суттєво знизити капітальні витрати та буде гарантією дотримання нормальних умов в будівлі.

На відміну від попереднього, цей тип теплового насосу не потребує геотермального поля. Джерелом для нього є оточуюче повітря.

Повітряний тепловий насос повинен мати магістраль не більше 15 довжиною в кожному напрямку. Велику роль відіграє місце розміщення зовнішнього блоку. Його слід розміщувати таким чином, щоб задня стінка була на відстані 30 см від перешкоди, а передня мінімум 2 метри. Також такий тип теплового насосу потребує окремого встановлення засобів захисту від обмерзання зовнішнього блоку.

Простий термін окупності рахується з витрат на обладнання та роботу найманих працівників:

$$\text{Т} = \frac{\text{П}}{\text{Е}} = \frac{(922095 + 733212 + 39150)}{261616} = 6{,}4 \text{ роки}$$

З розрахунку видно, що встановлення такого теплового насосу є доцільним оскільки його термін окупності складає менше ніж його дійсний термін використання.

Примітка: під час розрахунку терміну окупності враховувалась вартість установки теплового насосу, монтажу та мінімально необхідного обладнання для теплопункту.

Для ефективної роботи теплових насосів рекомендується використовувати системи теплих підлог. Така система дозволить використовувати ручне налаштування або автоматичне зональне регулювання. Для кожної кімнати просто і легко задати потрібну температуру, а в поєднані з автоматикою та системами керування в будівлі можна підтримувати мінімально

необхідну температуру.

Висновки

Повітряний тепловий насос найкраще підходить для використання в ДНЗ, бо його монтаж в рази швидше, дешевше, а сам тепловий насос простіше в обслуговуванні.

Використана література

1. Технічна інформація WATERKOTTE 5068.5DT. URL: https://www.waterkotte.de/industrial/waermepumpe-20-112-kw/industrial-line-ecotouch-5112dt-erdwaermepumpe-51-112kw
2. Технічна інформація WAMAKAW 65 EVIHDURL: https://www.wamak.eu/en/heat-pumps/heavy-duty/aw-evi-heavyduty
3. ЕНЕРГЕТИЧНА СТРАТЕГІЯ УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2035 РОКУ «БЕЗПЕКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ». СХВАЛЕНО розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
4. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. 12 с.
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. 10 с.

УДК 620.9

Рязанцев А.Ю.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ДОЦІЛЬНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ

FEASIBILITY OF MODERNIZATION OF POWER SUPPLY HOUSING BUILDINGS USING HEAT PUMPS

Анотація: *В даній роботі розглядається один із методів підвищення енергоефективності житлового будинку, а саме використання теплового насосу. Даний метод дозволяє відмовитись від системи централізованого теплопостачання та забезпечувати тепловою енергією об'єкт за допомогою альтернативних джерел енергії.*

Ключові слова: *енергоефективність, тепловий насос, теплопостачання, енергозбереження, тепловтрати, тепло надходження, енергоефективні будівлі.*

Abstract: *Thispaperconsidersoneofthemethodsofincreasingthemodernizationof a residentialbuilding, namelytheuseof a heatpump. Thismethodallowsyoutoabandonthecentralheatingsystemandprovidethermalenergytotheobjectwiththehelpofalternativeenergysources.*

Keywords: *energyefficiency, heatpump, heatsupply, energysaving, heatloss, heatofreceipt, energyefficientbuildings.*

Вступ. У зв'язку з високими тарифами на теплову енергію, все більш актуальною стає тема енергозбереження. Централізоване опалення виконує не якісну подачу теплоти в житлові приміщення, через це в них може бути занадто жарко в теплу пору року або занадто холодно взимку. Все більша кількість людей має бажання відмовитися від централізованого опалення і перейти на інший його вид. Тому одним з таких видів є теплові насоси, які являють собою систему теплопостачання, альтернативну роботі котла на основі газу і електрики, робота такої системи ґрунтується на принципі поглинання теплоти з навколишнього повітря, води і ґрунту і подачі його в кімнати для їх обігріву. Такий пристрій може підігрівати воду в системі ГВП, повітря в житлових приміщеннях.

Мета та завдання дослідження. Метою та завданням даної роботи є аналіз ефективності використання теплового насосу на прикладі житлового будинку .

Результати досліджень. Об'єктом дослідження є багатоповерховий будинок, що знаходиться у м. Київ, та побудований в 1990 році. Має 16 поверхів, 2 під'їзди. Теплопостачання будівліздійснюється від центральної теплової мережі через індивідуальний тепловий пункт, що розташований в підвальному приміщенні будинку, що не опалюється.

За даними, які були надані розрахуємо середнє споживання теплової енергії для опалення будинку за 3 найхолодніші місяці 3 попередніх років та зведемо в таблицю 1:

Таблиця 1 – Середнє енергоспоживання теплової енергії в місяць, Гкал/місяць

	2017	**2018**	**2019**
Січень	110,9	134,82	104,23
Лютий	148,96	97,96	84,44
Грудень	102,64	102,64	73,67
Середнє	106,70		

Середнє використання теплової енергії на опалення в Гкал/год:

$$E_{сер} = E_{Гкал} / T = 106,7 / 30 / 24 = 0,148\ Гкал / год = 172\ кВт$$

Розрахуємо потужність ГВП:

- Теплова потужність для ГВП на 1 людину - 0,25 кВт.
- Кількість мешканців в будинку – 340.

$$P_{ГВП} = E_{ГВП} \cdot N = 0,25 \cdot 340 = 85\ кВт$$

Оскількибіля будинку немає великої земельної ділянки,будемо використовувати для системи теплопостачаннятеплові насоси «повітря – вода» фірми Clitech згідно[1].

Зведемо дані в таблицю 2:

Таблиця 2– Розрахункові данні для опалення та ГВП

	Гкал/год	**кВт**
ГВП	0,046	85
Опалення	0,148	172
Всього	0,194	257

Підберемо під ці потреби теплові насоси марки Clitech типу «повітря-вода»згідно[1](таблиця 3):

Таблиця 3 – Розрахункові дані

	Потужність ТН, кВт	**COP (середній по опалювальному сезону)**	**Кількість, шт.**
ГВП	23	3,25	4
Опалення	19	3,22	9
Всього			13

Для встановлення теплового насосузгідно[1]потрібно також встановити: бак ГВП на 1000л непрямого нагріву – 2 шт., розширювальний бак ZilmetCal-Pro – 2шт., автоматичний повітровідвідник – 4 шт., байпас – 2 шт., додаткові виходи для зливу води – 6 шт., термоманометр – 30 шт., циркуляційний насос – 30 шт., фільтр грубої очистки – 17 шт., теплообмінник – 2 шт.

Схема автономної системи ГВП

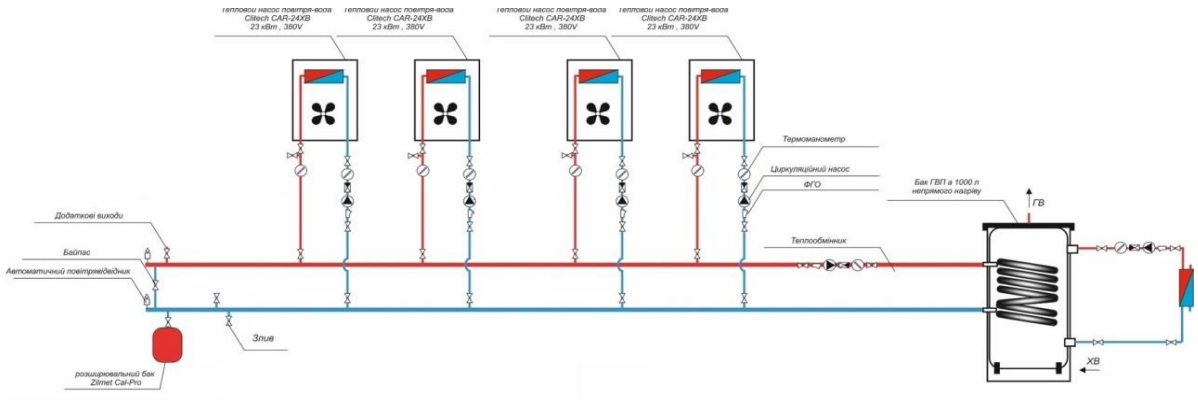
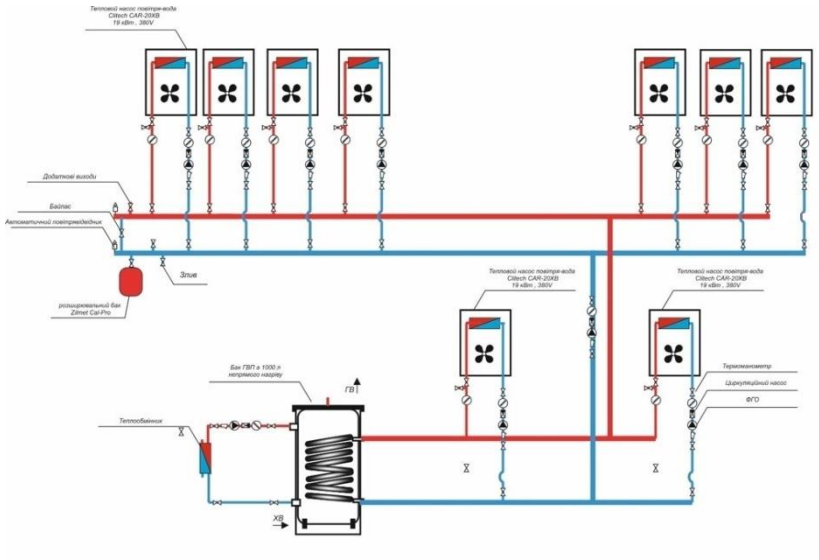


Схема автономної системи опалення



Фінансові розрахунки зведемо в таблицю 4:

Таблиця 4 – Орієнтовні фінансові розрахунки

№	Найменування	Вартість, тис. Грн
1	Вартість теплових насосів для ГВП	129*4=516
2	Вартість теплових насосів для опалення	76*9=684
3	Монтаж теплових насосів для ГВП	51,6
4	Монтаж теплових насосів для опалення	152
5	Вартість додаткового обладнання для монтажу автономної системи ГВП	400
6	Вартість додаткового обладнання для монтажу автономної системи опалення	1960
7	Проект автономної системи ГВП	35
8	Проект автономної системи опалення	35
9	Всього за ГВП	1002,6
10	Всього за опалення	2831

Річна вартість оплати теплоти без теплового насосу, при існуючому тарифі 1654,41 грн/Гкал:

$$E_{грн(безТН)} = E_{тепло} \cdot T = 395,04 \cdot 1654,41 = 653558,12 \ грн / рік.$$

$E_{тепло}$ - річне споживання тепла за 2019 рік, $E_{тепло}$ – 395,04Гкал.

Річна вартість оплати теплоти з тепловим насосом, при існуючому тарифі 1,68 кВт/год:

$$E_{грн(зТН)} = E_{тепло} / COP \cdot T = 459431,52 / 3,22 \cdot 1,68 = 239703,4 \ грн / рік.$$

$E_{тепло}$ - річне споживання тепла за 2019 рік, $E_{тепло}$ – 459431,52 Квт.

Річна економія грошей, грн/рік:

$$E_{грн} = E_{грн(безТН)} - E_{грн(зТН)} = 653558,12 - 239703,4 = 413854,72 \ грн / рік.$$

Тоді простий термін окупності складе:

$$T = \frac{K}{E_{грн}} = \frac{2831000}{413854,72} = 6,8 \ роки$$

Річна вартість оплати ГВП без теплового насосу, при існуючому тарифі 97,89 м^3:

$$E_{грн(безТН)} = v \cdot N \cdot T = 3,5 \cdot 340 \cdot 97,89 \cdot 12 = 1397869,2 \ \ грн / рік$$

v- середнє споживання гарячої води в рік, v = 3,5 м^3
N- кількість людей проживаючих в будинку, N = 340 люд.
Річна вартість оплати ГВП з тепловим насосом, при існуючому тарифі за електроенергію 1,68 грн/(кВт·год):

$$E_{грн(зТН)} = E_{тепло} / COP \cdot T = 85/3,25 \cdot 1,68 \cdot 24 \cdot 365 = 384900,92 \ \ грн / рік$$

Річна економія грошей, грн/рік:

$$E_{грн} = E_{грн(безТН)} - E_{грн(зТН)} = 1397869,2 - 384900,92 = 1012968,28 \ \ грн / рік$$

Тоді простий термін окупності складе: $T = \frac{K}{E_{грн}} = \frac{1002600}{1012968,28} = 0,9 \ \ роки$

Висновок:Для підвищення рівня енергоефективності житлової будівлі рекомендується встановити тепловий насос типу «повітря-вода» фірми Clitech , що дозволить зменшити грошові витрати на опалення будівлі. Зовнішні блоки теплонасосної установки не займають багато місця та можуть бути розміщені на верхньому технічному поверсі. Монтаж повітряних теплових насосів не вимагає спеціальних дозволів або земляних робіт, тому установка має пройти без особливих проблем.

Список використаних джерел:

1. Програма підбору теплових насосів MyCond [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: mctn.aclima.ua
2. Тепловыенасосы. Использование в жилых домах отопления, горячеговодоснабжения, кондиционирования и вентиляции- Б. М. Губов. – Тверь, 2013р.

Науковий керівник к.т.н., доцент Дубровська В.В.

Гончаров Н. С.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

РОЗПОДІЛ СПОЖИВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ У БАГАТОКВАРТИРНОМУ БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИЛАДІВ-РОЗПОДІЛЮВАЧІВ

Анотація

Раніше індивідуальний (поквартирний) облік був тільки для мешканців новобудов (будинків з горизонтальною системою опалення). Мешканці старих будівель, де була відсутня технічна можливість встановити індивідуальний тепловий лічильник, платили за обсяг опалення, який споживав увесь будинок, при цьому спожита теплова енергія розподілялася пропорційно площі на всіх мешканців.

Зараз власники квартир, що встановлять квартирні прилади-розподілювачі теплової енергії на радіатори (при вертикальній системі опалення), зможуть регулювати температуру в своїх квартирах, економити на опаленні та сплачувати виключно за власним лічильником. Доплата складе лише за обігрів загальних місць користування і допоміжних приміщень відповідно до площі їх квартири. Це загальноєвропейська практика.

Ключові слова: індивідуальний облік, тепловий лічильник, прилади-розподілювачі, вертикальна система опалення.

Annotation

Previously, individual (apartment-by-apartment) accounting was only for residents of new buildings (houses with a horizontal heating system). Residents of old buildings, where there was no technical possibility to install an individual heat meter, paid for the amount of heating consumed by the whole house, while the consumed heat energy was distributed in proportion to the area among all residents.

Now apartment owners who install heating distributors on radiators (with a vertical heating system) will be able to regulate the temperature in their apartments, save on heating and pay only at their own meter. Surcharge will be only for heating common areas and ancillary facilities in accordance with the area of their apartment. This is a pan-European practice.

Key words:individual metering, heat meter, heatingdistributors, vertical heating system.

Вступ

Прилад-розподілювач теплової енергії призначений для вимірювання різниці температури між поверхнею опалювального приладу та температури оточуючого його повітря, обчислення на основі вимірів різниці температур числового значення, пропорційного кількості теплової енергії, що виділяється опалювальним приладом.

Прилад-розподілювач теплової енергії вимірює не абсолютну, а відносну (пропорційну) кількість теплової енергії, що віддається поверхнею кожного опалювального приладу в системі опалення будівлі.

Відповідно до статті 10 Закону України "Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання", пункту 4 частини другої статті 4 Закону України "Про житлово-комунальні послуги", пункту 8 Положення про Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30 квітня 2014 року № 197 було затверджено Методику розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг, що регулює, в тому числі, розподілення теплової енергії при використанні в будівлі приладів-розподілювачів. В методиці присутній ряд поправкових коефіцієнтів для різних типів приміщень, залежно від їх конфігурації, та формул, що їх використовують.

Об’єкт дослідження: Багатоквартирна житлова будівля із вертикальною системою опалення та приладами-розподілювачами на радіаторах.

Предмет дослідження: Фактичні дані про розподілення теплової енергії в

багатоквартирній житловій будівлі із вертикальною системою опалення, при використанні приладів-розподілювачів.

Мета дослідження: Дослідити вплив різних факторів на розподілення теплової енергії при використанні приладів-розподілювачів.

Матеріал і результати досліджень

Методика розрахунку

Об'єкт дослідження – 18-поверхова житлова будівля із одним під'їздом та загальним числом квартир – 80. Перший поверх будівлі не має житлових приміщень, другий поверх виділено під офіси, над останнім (вісімнадцятим) житловим поверхом знаходиться неопалювальний технічний поверх. Система опалення будівлі – вертикальна, двотрубна із нижньою подачею теплоносія. На момент зняття показань, в опалювальний період 2019-2020 років, 95% опалювальних приладів було оснащено приладами-розподілювачами теплової енергії. Розподіл споживання теплової енергії між приладами відбувався згідно із Методикою розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг (надалі – Методика) [1]. На рисунку 1 зображено типовий поверх будівлі.

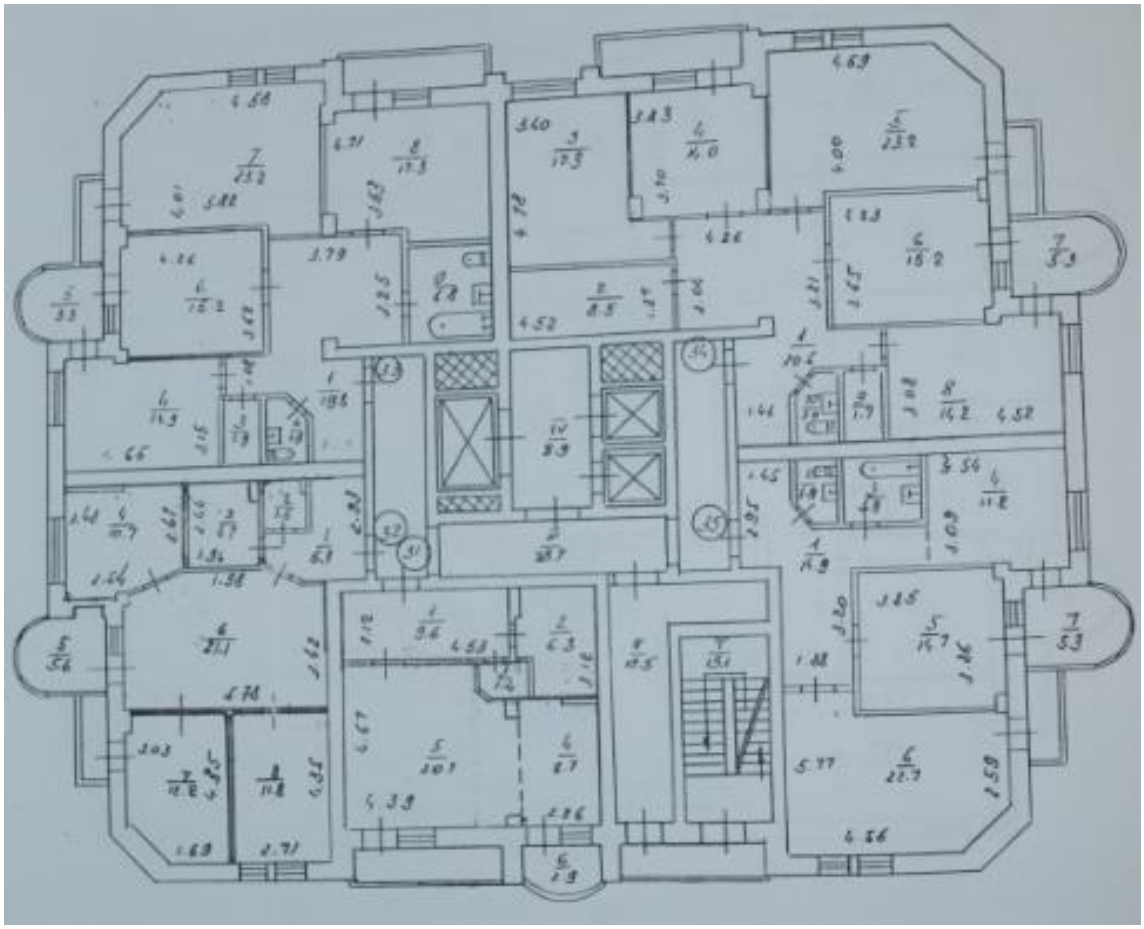


Рисунок 1 – Типовий поверх будівлі

Всього на одному поверсі знаходиться 5 квартир, з яких 4 мають кутову конфігурацію та 1 – рядову. Згідно із Методикою, при розподіленні теплової енергії для кутових та рядових квартир використовуються різні поправкові коефіцієнти, залежно від їх положення в будівлі. В таблиці 1 наведено коефіцієнти, що використовуються.

Таблиця 1 – Поправкові коефіцієнти для розподілу обсягу спожитої теплової енергії на опалення між окремими споживачами

Поверх	Поправковий коефіцієнт	
	кутової квартири (приміщення)	рядової квартири (приміщення)
Перший над неопалюваними приміщеннями	0,8	0,9
Перший над опалюваними приміщеннями	0,9	1
Середній	0,9	1
Середній над аркою або проїздом	0,9	0,9
Останній	0,8	0,9

Питомий обсяг спожитої теплової енергії на опалення усіх g-их опалюваних приміщень, опалювальні прилади у яких оснащені приладами-розподілювачами теплової енергії, та і-их приміщень, не оснащених вузлами розподільного обліку теплової енергії у будівлі, у якій наявні приміщення, оснащені вузлами розподільного обліку, та у решті опалюваних приміщень не менше половини опалювальних приладів оснащено приладами-розподілювачами теплової енергії та наявні приміщення, не оснащені вузлами розподільного обліку ($q^{\text{пр-роз}}$), розраховується за формулою1:

$$q^{\text{пр-роз}} = \left(Q^{\text{оп}}_{\text{буд}} - \sum_j Q^{\text{т.ліч}}_{\text{пр}.j} - Q^{\text{фс}}_{\text{оп}} - Q_{\text{МЗК}}\right) / \left(\sum_g S^{\text{пр-роз}}_{\text{пр}.g} + \sum_i S^{\text{б.обл}}_{\text{пр}.i}\right), \text{ Гкал/м}^2 \ (1)$$

Розрахований питомий обсяг використовується для визначення споживання теплової енергії на опалення приміщення з найбільшою сумою показань приладів-розподілювачів теплової енергії, що припадає на один метр квадратний його площі серед g-их приміщень. Обсяг спожитої теплової енергії у приміщенні з найбільшою сумою показань приладів-розподілювачів теплової енергії, що припадає на один метр квадратний його площі серед g-ихприміщень ($Q^{\text{пр-роз}}_{\text{max.пр.g}}$), розраховується за формулою2:

$$Q^{\text{пр-роз}}_{max.\text{пр}.g} = q^{\text{пр-роз}} \times S^{\text{пр-роз}}_{max.\text{пр}.g}, \text{ Гкал} \ (2)$$

Обсяг спожитої теплової енергії у g-му опалюваному приміщенні, оснащеному приладами-розподілювачами теплової енергії ($Q_{\text{пр.g}}^{\text{пр-роз}}$), визначається з урахуванням вимог розділів VI, VIII Методики та розраховується за формулою 3:

$$Q^{\text{пр-роз}}_{\text{пр}.g} = q^{\text{пр-роз}}_{N} \times N_{\text{пр}.g}, \text{ Гкал} \ (3)$$

Питомий обсяг спожитої теплової енергії на опалення, визначений на одиницю вимірювання приладів-розподілювачів теплової енергії, що розраховується за формулою 4:

$$q^{\text{пр-роз}}_{N} = Q^{\text{пр-роз}}_{max.\text{пр}.g} / N_{max.\text{пр}.g}, \text{ Гкал/од.вим.} \ (4)$$

Результати розподілення теплової енергії

На рисунку 2 графічно зображено порівняння розподілення річного споживання теплової енергії в розрізі за поверхами будівлі,при використанні приладів-розподілювачів теплової енергії та при розподіленні за площею.

Як видно із графіка, споживання першого поверху рівне нулю, другий поверх має найменше споживання – там знаходяться офісні приміщення. Близько половини приміщень3-го та 5-го поверхів не оснащені приладами-розподілювачами, споживання теплової енергії майже не відрізняється від розрахованого за площею. Бачимо піки споживання на 6-му (20 Гкал/рік), 9-му (20,5 Гкал/рік), 11-му (19,8 Гкал/рік), 17-му (20,6 Гкал/рік) та 18-му (22,2 Гкал/рік) поверхах. На 6-му, 13-му та 14-му поверхах більша частина (≥75%) приміщень оснащені приладами-розподілювачами. На 9-му та 18-му поверхах приладами-

розподілювачами оснащено близько третини приміщень. Приміщення 11-го, 17-го та всіх інших поверхів повністю оснащені приладами-розподілювачами. Додаткові втрати теплоти на 9му поверсі можуть бути зумовлені зміною геометрії будівлі, через що частина підлоги кутових кімнат контактує із зовнішнім повітрям. В інших приміщеннях, різницю розподілення тепла із розрахованою за площею вважаємо результатом регулювання мешканцями будівлі.

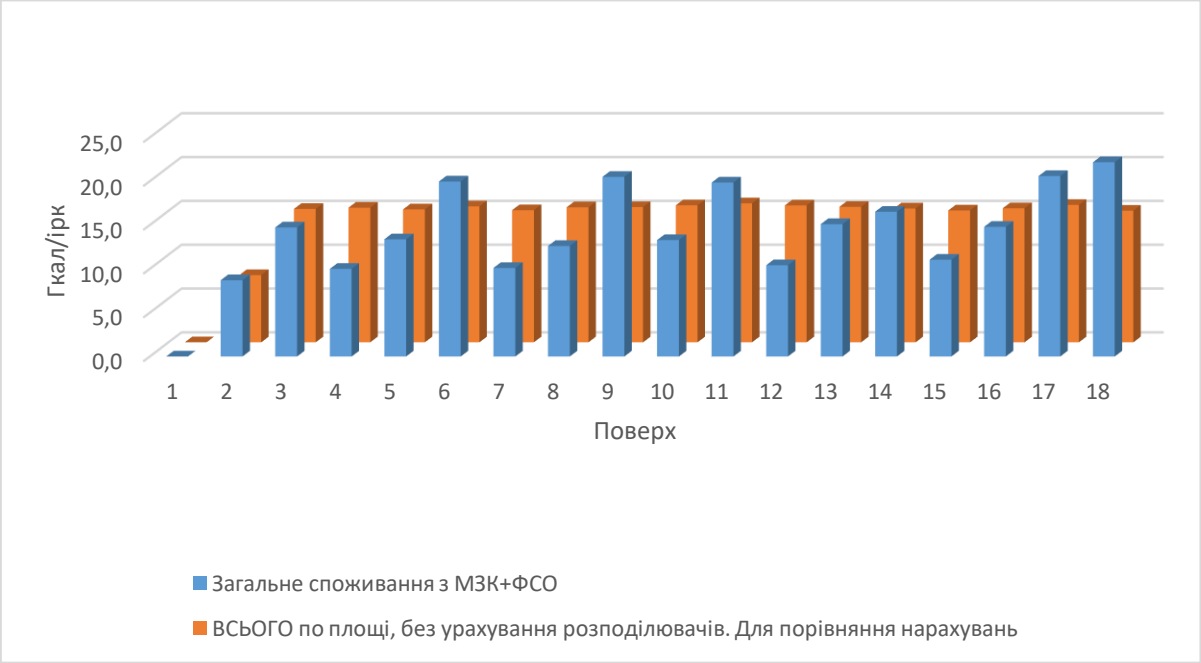


Рисунок 2 –Порівняння розподілення теплової енергії за поверхами розподілювачами

На рисунку 3 зображено порівняння розподілення річного споживання теплової енергії в розрізі за орієнтацією фасадів будівлі.

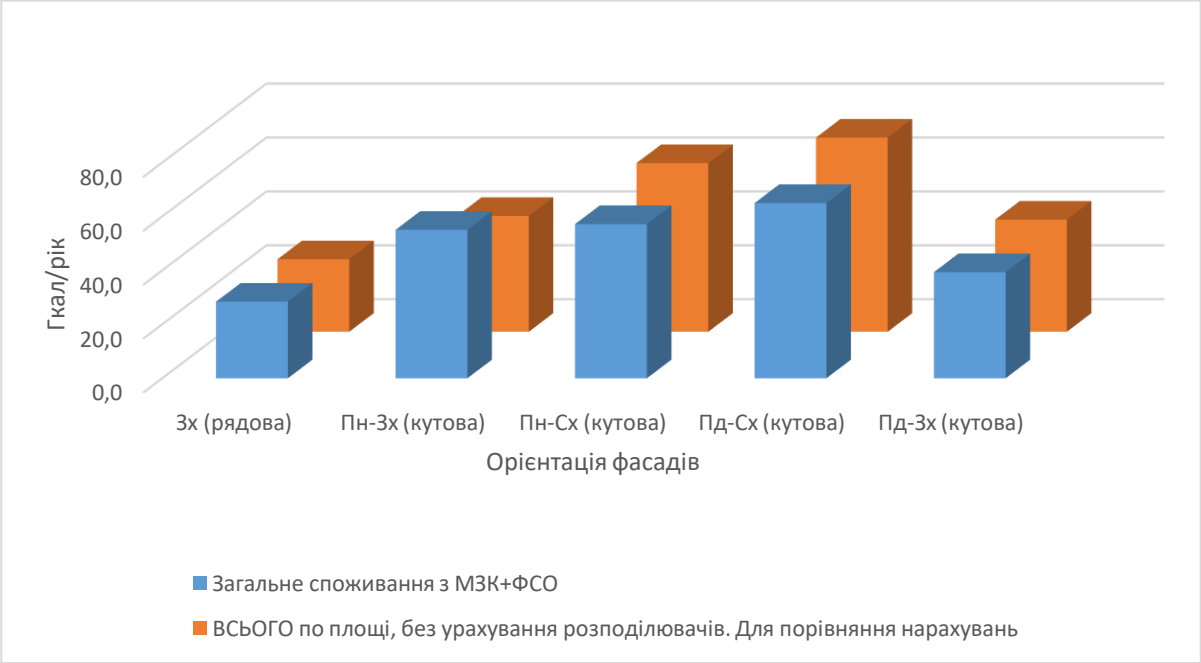


Рисунок 3 – Порівняння розподілення теплової енергії за орієнтацією фасадів

В таблиці 2 наведено опалювальні площі та споживання енергії приміщеннями за орієнтацією фасадів. При побудові графіка на рисунку 3 та таблиці 2 не враховувалися офісні приміщення, через неможливість встановлення орієнтації приміщень, згідно із наданими даними.

Таблиця 2 – Порівняння приміщень за фасадами

Орієентація	Опалювальна площа	Споживання за приладами-розподілювачами, з урахуванням МЗК+ФСО	Споживання по площі
	$м^2$	Гкал/рік	Гкал/рік
Зх (рядова)	727,56	28,4	26,9
Пн-Зх (кутова)	1162,9	55,1	43,0
Пн-Сх (кутова)	1692,7	57,2	62,6
Пд-Сх (кутова)	1949,27	65,0	72,0
Пд-Зх (кутова)	1125,1	39,4	41,6

Як видно із графіка на риснку 3 та даних у таблиці 2, рядові приміщення на Західному фасаді мають найменшку опалювальну площу і, як насідок, найменше споживання теплової енергії. Споживання енергії за приладами-розподілювачами перевищує розраховане лише на 5,3%. Північно-Західний та Південно-Західний фасади мають приблизно однакову опалювальну площу та розраховане за площею споживання. Тим не менше, споживання Північно-Західного фасаду на 21,9% вище розрахованого, а Південно-Західного на 5,6% нижче. Споживання теплової енергії за приладами-розподілювачами у приміщеннях Північно-Східного та Південно-Східного фасадів нижче розрахованих за площею, відповідно на 9,4% та 10,8%. Відмінності у споживанні тепла за фасадами можна розглядати як комбінацію факторів регулювання витрати теплоносія мешканцями будівлі та додаткових теплонадходжень за рахунок кількості сонячної радіації.

Висновки

Спираючись на отримані дані, можна з упевненістю сказати про важливий вплив використання приладів-розподілювачів на кількісне розподілення теплової енергії між приміщеннями, що дозволяє проводити нарахування за її використання із більшою точністю. Тим не меше, Методика, за якою проводиться розподілення, вимагає більш детального вивчення та додаткової перевірки коефіцієнтів, які в ній використовуються, з метою підвщення точності розрахунків.

Список використаної літератури

1. Про затвердження Методики розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг: Наказ міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України №315 від 22 листопада 2018. Зареєстрована у Міністерстві юстиції України 28 грудня 2018 року за № 1502/32954. 29 с.

Головецький О.П
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПОКРАЩЕННЯ КОМФОРТУ АУДИТОРНОЇ ЗАЛИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ ПАНЕЛЕЙ

Анотація. В даній статті розглядаєтьсяпокращення комфорту аудиторної зали з використанням теплових панелей. Проведено оцінку ефективності систем для підтримки комфортних умов в приміщенні з використанням математичного моделювання. Здійснено моделювання роботи керамічного електронагрівача та температурні і теплові потоки самого електронагрівача. Здійснено моделювання розподілу температури повітря в приміщенні, нагрітого керамічним електронагрівачем.

Ключові слова: керамічний електронагрівач, приміщення, опалення, гаряче водопостачання, холодильний коефіцієнт, економічна ефективність, витрати, повітря, електрична енергія, розподіл.

Annotation. This article discusses improving the comfort of the classroom with the use of thermal panels. The efficiency of systems for maintenance of comfortable conditions indoors with use of mathematical modeling is estimated. The modeling of the ceramic electric heater and temperature and heat fluxes of the electric heater itself are carried out. Simulation of the temperature distribution of the air in the room heated by a ceramic electric heater is carried out.

Key words: ceramic electric heater, premises, heating, hot water supply, cooling coefficient, economic efficiency, costs, air, electric energy, distribution.

Вступ

На сьогодні опалення та гаряче водопостачання у міських та позаміських об'єктах в основному проводяться з використанням систем централізованого опалення. Джерелом теплової енергії в цих системах є ТЕЦ, на якій поєднуєтьсявиробництво електроенергії та тепла, або районні котельні. Міське опаленнямає багато переваг. З термодинамічної точки зору, комбіноване виробництвоелектроенергії та тепла на ТЕЦ ефективніші, ніж роздільне.

У той же час використання систем централізованого опалення має свої недоліки іобмеження. Характеризуються традиційні централізовані джерела тепланедостатньою енергією та низькою екологічною ефективністю. Будівництводовгих теплотрасдо віддалених об'єктів пов'язані з високими інвестиційними витратамиі великими втратами тепла. Тоді як електроенергія вже постачається майже у всіх населених пунктахУкраїна. Крім того, Україна виробляє більше електроенергії, ніж споживає,надлишок енергії експортується.

Україна має відповідний досвід електричного опалення. Це 15 тисяч квартир і 10 тисячсоціальні установи (школи, клуби, лікарні, дитячі садки та інші). Загальнапотужність існуючого електричного опалення не перевищує 200 тис. кВтгод. Така маленькачастка електричного опалення в загальній системі теплопостачання країни пояснюється тим що, обмежена пропускна спроможність електророзподільних мереж. До речі, в даний час державні органи запровадили спеціальний тариф дляелектричного опалення,тому населення починає використовувати електронагрівачі.

Одним із напрямків електричного опалення є використання керамічних електронагрівачів - ці прилади продемонстрували свою ефективність і дешевість і є альтернативою опаленнюза допомогою газового котла з нагріванням води.

Мета роботи та завдання

Аналіз ефективності системи опалення аудиторної зали з використанням керамічних електронагрівачів.

Нормативні матеріали та публікації з даної теми

Умови в приміщеннях учбових закладів регламентується ДБН 2018 р. Будинки і споруди «Заклади світи» [1] з посиланням на ДБН 2013 р. «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [2]. Діапазон результуючої температури, відносної вологості та вмісту двоокису вуглецю в приміщенні для опалення та охолодження:

Умови мікроклімату	Діапазон температури приміщення для опалення та охолодження:	Відносна вологість повітря,%	Рівень концентрації CO_2 у приміщені понад рівень у зовнішньому повітрі, ppm	
			Типовий діапазон	Типове значення
Підвищені оптимальні	22±1,0	30-50	<400	350
Оптимальні	22±2,0	25-60	400-600	500
Допустимі	22±3,0	25-70	600-1000	800
Обмежено допустимі		Менше 20 та більше 70	>1000	1200

Схожі регламенти для повітря в приміщенні учбових та громадських закладів наведені у ГОСТ 30494-2011 для Росії під назвою «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Цей документ розглядає оптимальним для здоров'я людини рівень CO_2 вважає 800 – 1 000 ppm. Відмітка на рівні 1 400 ppm – межа допустимого вмісту вуглекислого газу в приміщенні. Якщо його більше, то якість повітря вважається низьким.

Влада США рекомендує школам підтримувати рівень CO_2 не вище 600 ppm [6]. В Росії відмітка трохи вище: вже згаданий ГОСТ вважає оптимальним для дитячих установ 800 ppm і менш. Однак на практиці не тільки американський, а й російський рекомендований рівень – мрія для більшості шкіл.

Слід обумовити, що даній проблеми присвячені ряд досліджень та публікацій. Їх дані свідчить про те, що на рівні 1 000 ppm більше половини випробовуваних відчувають наслідки погіршення мікроклімату: почастішання пульсу, головний біль, втому і, звичайно, горезвісне «нічим дихати» [5].

Також відмічена розбіжність між будівельними нормативами і санітарно-гігієнічними рекомендаціями. Перші кажуть: не вище 1 400 ppm CO_2, другі попереджають: це занадто багато. Цікавим є, на наш погляд, таке порівняння:

Концентрація CO_2 (ppm)	**Строительные нормативы (согласно ГОСТ 30494-2011)**	**Вплив на організм (згідно санітарно-гігієнічним дослідженням)**
менше 800	Повітря високої якості	Ідеальне самопочуття і бадьорість На рівні 1 000 ppm кожен другий відчуває духоту, млявість, зниження концентрації, головний біль
800 – 1 000	Повітря середньої якості	На рівні 1 000 ppm кожен другий відчуває духоту, млявість, зниження концентрації, головний біль

1 000 - 1 400	Нижня границя допустимої норми	Млявість, проблеми з уважністю і обробкою інформації, важке дихання, проблеми з носоглоткою
Вище 1 400	Повітря низької якості	Сильна втома, безініціативність, нездатність зосередитися, сухість слизових, проблеми зі сном

Фінські вчені під керівництвом OlliSeppanen [6] провели 21 експеримент на основі дослідження впливу концентрації вуглекислого газу більш як у 30 000 випробовуваних. Якщо рівень вуглекислого газу в офісному приміщенні був нижче 800 ppm (0,08% об.), значно знижувалися симптоми, як запалення очей, закладеність носа, запалення носоглотки, проблеми, пов'язані з дихальною системою, головний біль, втома і складність з концентрацією уваги, які виникали у працівників при більш високій концентрації CO_2.

Крім зазначеного вмісту CO_2 в приміщеннях важливим показником є загальний вміст забруднюючих речовин у складі повітря особливо в крупних містах, які за даними Центральна геофізична обсерваторі [7] мають тенденцію до зростання. Фонова частка CO_2 складає 440 ppm для м. Києва, а для деяких районів в двічі більша. Не слід забувати про вміст інших значно шкідливіших сполук які містить повітря сучасних мегаполісів, у тому числі і в Києві. Зростання кількості населення за останні роки набуває неконтрольованого розмаху. В минулому саме зелене місто Європи перетворюється в багатоповерхову забудову в основному за рахунок саме зелених паркових зон. Це скорочення вже має негативні екологічні наслідки. На прикладі шкіл спостерігається значне зростання учнів в класах з 25 до 30 та більше, а це зменшення простору у класах та необхідність у додатковому повітрообміні.

Опис об’єкту дослідження

Навчальний корпус №22 (рис.1) - 7-поверхова будівля з технічним поверхом, розміщена в І кліматичній зоні, а саме - м. Київ, вул. Борщагівська 115, збудована в 1974р., загальна площа 16030м2. Площа засклення – 4055м2 (близько 45% площі зовнішніх стін). Будівля зорієнтована на північ та південь. В будівлі знаходяться адміністративні приміщення, навчальні аудиторії, 12 комп’ютерних класів, науково-дослідні лабораторії, буфет, майстерні, підсобні приміщення. На 3-му поверсі знаходиться Центр Підготовки Енергоменеджерів (ЦПЕМ), він являє собою окрему структуру.



Рисунок 1– Зовнішній вигляд будівлі

Будівля не має підвального приміщення. Канали, що знаходяться під першим поверхом, використовуються для комунікацій.

Аудиторний фонд університету в 22 корпусі складає 1790,98м2 . Максимальна розрахункова кількість присутніх приблизно 2760 чоловік.

Режим роботи навчального корпусу:

- 8:30-18:00,
- вихідні – субота та неділя.

Експериментальна частина.

Для вимірювань було використано: комплексний прилад Регістратор CO_2 TR-75Ui (див. рисунок 3) з діапазоном вимірювань CO_2: 0…9999 ppm, Temperature: 0…55°C, Humidity: 10…95% RH. Для дублювання температур повітря та вимірювання швидкості вітру був використаний анемометр LM-8000, та пірометр GM320 з діапазоном вимірювань –50ºС … +380ºС для вимірювань поверхонь стін, підлоги, стелі, вікон.

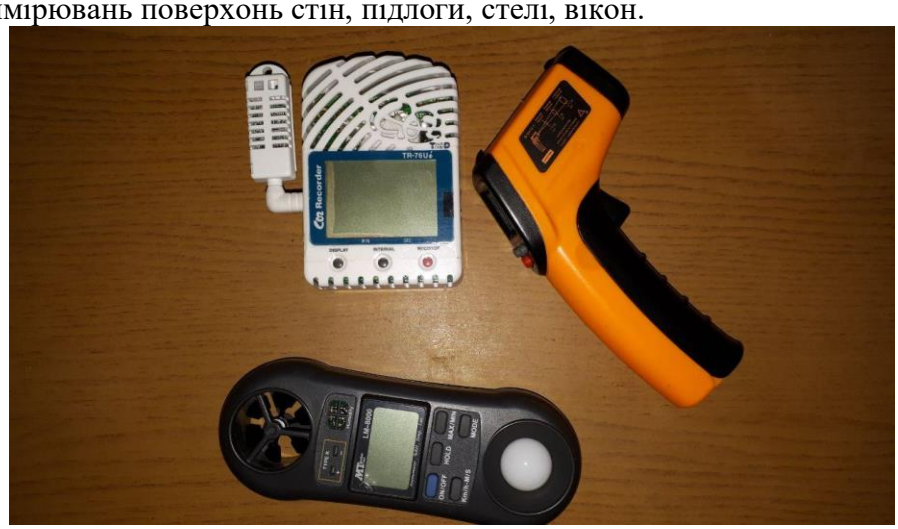


Рисунок 2– Прилади для вимірювання вмісту CO_2, температури, вологості та швидкості вітру.

t	t,C	ф,%	CO2,ppm
8:20	22,5	47	840
8:30	22,8	45	876
8:40	23,6	44	930
8:50	24,2	44	963
9:00	24,5	44	994
9:10	24,6	44	1042
9:20	24,6	43	1086
9:30	24,7	43	1150
9:40	24,7	44	1213
9:50	24,7	44	1289
10:00	24,7	44	1353
10:10	24,7	44	1426
10:20	23,5	41	1154
10:30	22,4	37	876
10:40	22,9	40	946
10:50	23,5	41	1024
11:00	24,1	42	1086
11:10	24,3	42	1146
11:20	24,6	43	1212
11:30	24,6	43	1290
11:40	24,7	42	1365
11:50	24,7	43	1447
12:00	24,7	44	1565
12:10	24,7	44	1642
12:20	23,2	40	1243
12:30	22,4	38	1032
12:40	22,8	41	1112
12:50	23,4	42	1198
13:00	23,8	43	1256

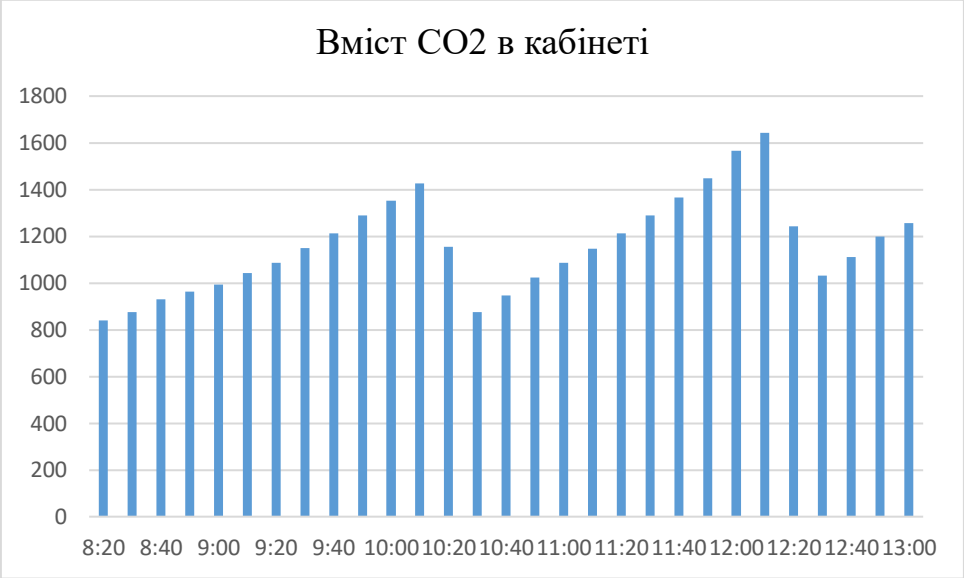


Рисунок 3– Результати вимірювання CO_2 у навчальному класі.

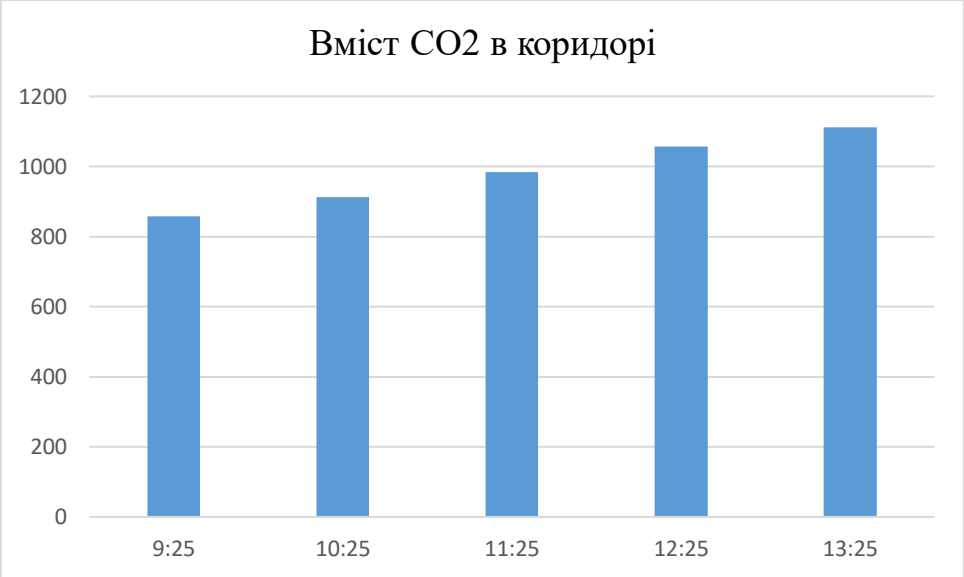


Рисунок 4– Результати вимірювання CO_2 у коридорі.

№	t, C	φ, %	CO2, ppm
1	3,3	78	549

Рисунок 5– Результати вимірювання CO_2, температури та вологості на вулиці о 8 ранку.

Як видно з вимірювань значення температури та вологості відповідають рекомендаціям будівельних норм, але вміст двоокису вуглецю має значне перебільшення для цих рекомендацій. Фонове значення CO_2 (на вулиці) залишається на постійному рівні, як в ранковий так і денний час та знаходиться в оптимальних допустимих межах. Але вміст CO_2 протягом дня постійно зростає як в кабінеті, так і в коридорі та вже після першого уроку є більше норми, що свідчить про те, що витяжна вентиляція не справляється з підтриманням комфортних умов та потребує реконструкції або заміни.

Керамічні електронагрівачі - відмінне рішення для обігріву приміщень, вони об'єднали в собі всі переваги конвекторів та інфрачервоних обігрівачів. Їх унікальність в тому, що що лицьова сторона випромінює тепло інфрачервоним випромінюванням, а

тильна нагріває повітря конвекцією. З цієї причини будь-яка холодна кімната дуже швидко обігрівається. Ці обігрівачі споживають мало електроенергії так як керамічна панель збільшує тепловіддачу. Щоб більше з економити на електричних керамічних нагрівачах можна встановити термостат, за допомогою якого контролювати автоматично системою електричного опалення. Після установки заданої температури можна включати опалення тільки при необхідності.

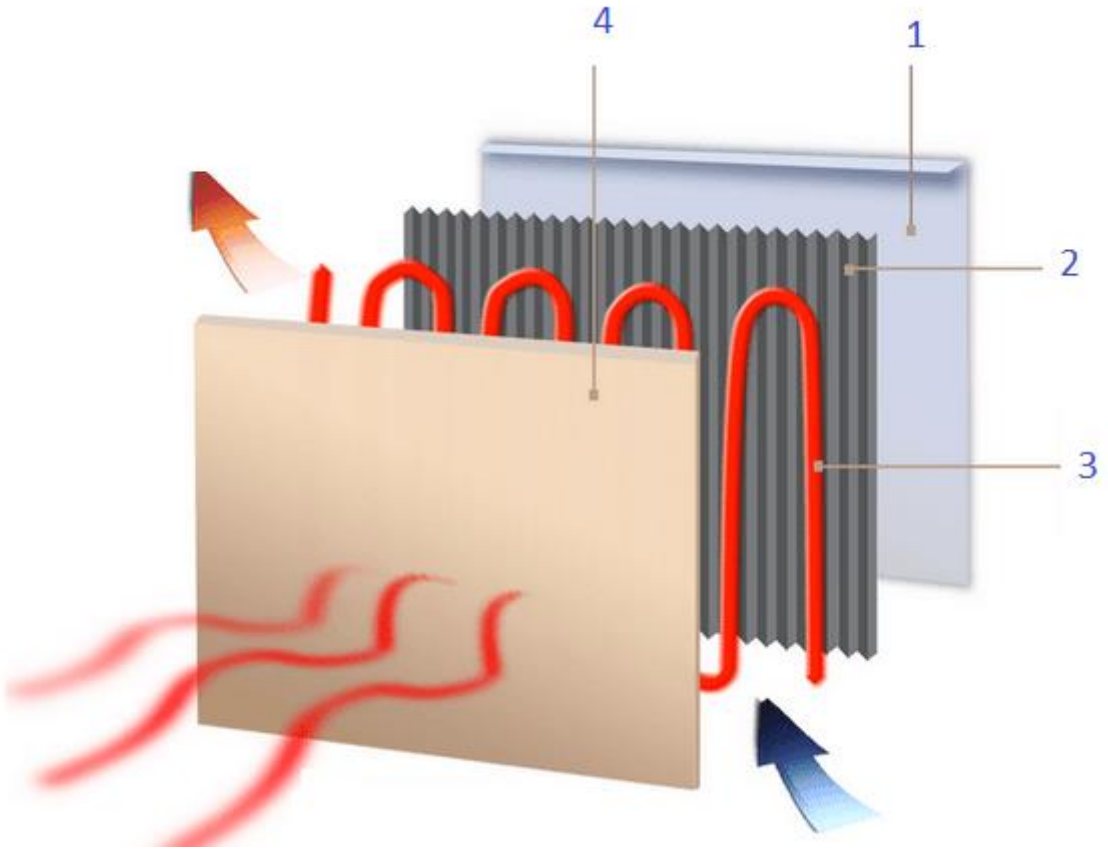


Рисунок. 6 – Принцип дії роботи керамічного електронагрівача

Пристрій зібрано на основі металевого корпусу (поз. 1). Залежно від типу пристрою в коробці передбачені ті чи інші пристрої для установки електронагрівача - кронштейни, підвіси, скоби та ін. Інфрачервоне випромінювання поширюється в основному в заданому напрямку, в бік кімнати, під нагрівальним елементом зазвичай є світловідбиваючий шар (поз.2). Сам випромінювач складається з резистивного або напівпровідникового нагрівального елементу - спіралі, кабелю, пластин. (Поз. 3), яка закрита, а частіше - повністю заповнена керамічним компаундом (поз. 4).

Висновки

Комплекс необхідний і актуальний для електропостачання даного об'єкту є рішення, яке максимально використовує потенціал електричного опалення. Отже знайшли рішення використовувати керамічні електронагрівачі для опалення. Актуальність роботи полягає у тому, що нині питання енергоефективності та енергозбереження вважається головним в галузі енергетики. Електричне опалення мають використовувати на меті зменшити використання в природного газу, як енергоносій для опалення, скоротити викиди шкідливих речовин в атмосферу, а також забезпечити надійність, безшумність та безпеку роботи такої системи..

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруді. Заклади освіти. 61 с.

2. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.–[Чинний від 2014-01-01]– К.: Мінрегіон, 2013. – 141 с. – (Національний стандарт України)

3. ДСТУ Б EN 15603:2013 Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT)

4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. 145 с.

5. О вреде углекислого газа CO_2. Електронний ресурс http://alfaeco.su/o-vrede-uglekislogo-gaza-co2/

6. Углекислый газ как начало жизни и её финал Наука и жизнь, Електронний ресурс https://www.nkj.ru/archive/articles/19306/.

7. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за І півріччя 2018 року.Центральна геофізична обсерваторія ім. Бориса Срезневського. Київ 2018. (50)22-с.

науковий керівник: к.т.н., доц. Виноградов-Салтиков В.О.

УДК 697.1:

Новак Б.М.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТУДЕНТСЬКОГО ГУРТОЖИТКУ №1 КПІ ІМ.ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ЗА РАХУНОК КОМПЛЕКСНОЇ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ

IMPROVING THE ENERGY PERFORMANCE OF THE STUDENTDORMITORY №1 IGORSIKORSKYKYIVPOLYTECHNICINSTITUTEDUETOCOMPLEXTHERMO-MODERNIZATION

Анотація. У даному дослідженні проведено порівняльний аналіз енергоспоживання студентського гуртожитку до та після комплексної термомодернізації. Під час обстеження вивчалися умови мікроклімату та можливості побудови системи автоматизованого віддаленого моніторингу енергоспоживання та параметрів експлуатації будівлі.
Ключові слова: енергоефективність, енергомоніторинг, енергозбереження, гуртожиток.
Key words: energyefficiency, energymonitoring, energysaving, studentdormitory

Вступ. Для існуючих будівель часів радянської забудови існує великий потенціал енергозбереження. Особливо це актуально для будівель освітніх закладів, зважаючи на обмеженість бюджетних коштів на енергозабезпечення та поширену практику недотримання умов мікроклімату через стан інженерних систем.

Мета та завданнядослідження. В ході даного дослідженнявиконувалисяенергетичне обстеження будівлі гуртожитку та аналіз розрахунків енергоспоживання будівлі до та після комплексної термомодернізації за результатами моделювання у програмних продуктах DesignBuilder та RETScreen.Завдання дослідження:

- збір вихідної інформації про будинок та визначення геометричних, теплотехнічних та енергетичних показників;
- моніторинг параметрів мікроклімату будівлі;
- розрахунок сумарного енергоспоживаннягуртожитку;
- побудова 3D моделі та проведення моделювання енергоспоживання в програмному середовищі DesignBuilder;
- розрахунок енерговитрат будівлі за допомогою програмного продукту Retscreen;
- порівняльний аналіз результатів.

Матеріал і результати досліджень. Об’єкт дослідження – гуртожиток для студентів№1 КПІ ім. Ігоря Сікорського (рисунок 1),побудований в 1927 році, має 5-поверхів з одним центральним входом, налічує 172 кімнат. Опалювальна площа 5934 м^2. Площа стін3688 м^2, площа скління 624 м^2.Зовнішні стіни будівлі товщиною 0,52 м, виконані з червоної цегли, опір теплопередачі яких не відповідає нормативному [1].Вікна в будівлі частково дерев’яні, частково замінені на метало-пластикові.Наявне технічний поверх. Під всією площею будівлі розміщений неопалювальний підвал, в якому знаходиться теплопункт.



Рисунок 1 – Гуртожиток 1

Теплопостачання централізоване, встановлений індивідуальний тепловий пункт, з автоматичним погодозалежним регулюванням витрати теплоносія. Температурний графік системи опалення в будівлі гуртожитку 90/70 °С.Опалювальні прилади у кімнатах – чавунні секції, висотою 50см.

Для даної будівлі проведено детальне енергетичне обстеження з використанням інструментальних вимірів, виконано теплотехнічний розрахунок тепловтрат, розраховано енергетичні витрати та запропоновано впровадження наступних заходів з енергозбереження: утеплення зовнішніх стін; заміна старих вікон на енергозберігаючі; утеплення даху; встановлення системи вентиляційно-припливної установки з рекуперацією тепла;впровадження системи АСЕМ.

Моделювання в програмному середовищі RETScreen

За допомогою програмного продукту RETScreen[3]було проаналізовано базове споживання енергоносіїв та розраховано споживання після впровадження заходів з енергозбереження, виконано фінансову оцінку ефективності впровадження проєкту. В програмний продукт внесено дані про тип об’єкту, температурний графік, графік присутності, теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій, джерела енергії, характеристики інженерних систем та енергоносіїв (рис.2).

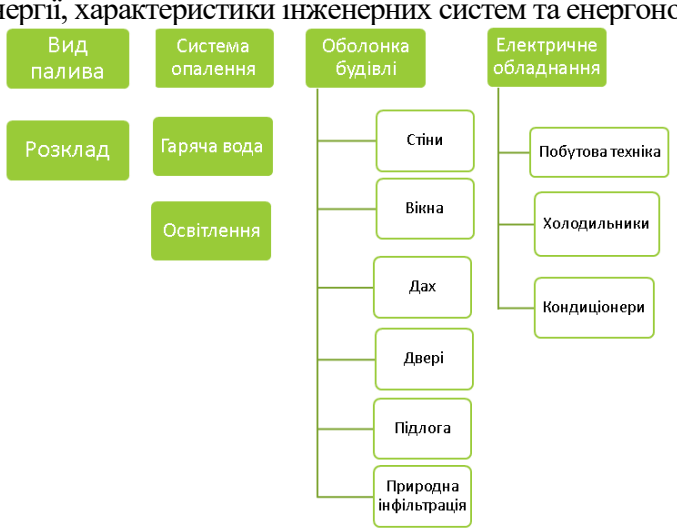


Рисунок 2 – Вхідні дані для програмного продукту RETScreen

За допомогою програми RETScreenпроведено фінансовий аналіз з урахуванням капітальних витрат, темпу інфляції, додаткових щорічних витрат на експлуатацію

обладнання, вартості енергоресурсів, очікуваної економії у натуральних та грошових одиницях після впровадження заходів з енергозбереження. За результатами моделювання термін окупності комплексного пакету заходів з термомодернізації досліджуваної будівлі становитиме 18років, що для подібних проектів є прийнятним.Було виконано моделювання енергоспоживання: фактичного (існуючий стан систем та огороджень з урахуванням умов мікроклімату) і базового енергоспоживання.

Результати розрахунку енергоспоживання до та після заходів наведено в таблиці 1

Моделювання в програмному середовищі DesignBuilder

DesignBuilder[4]дозволяє створити 3D модель будівлі (рис.3) з існуючими характеристиками огороджувальних конструкцій по фасадам будівлі,інженерних мереж та умов експлуатації, в тому числі враховує теплові надходження.

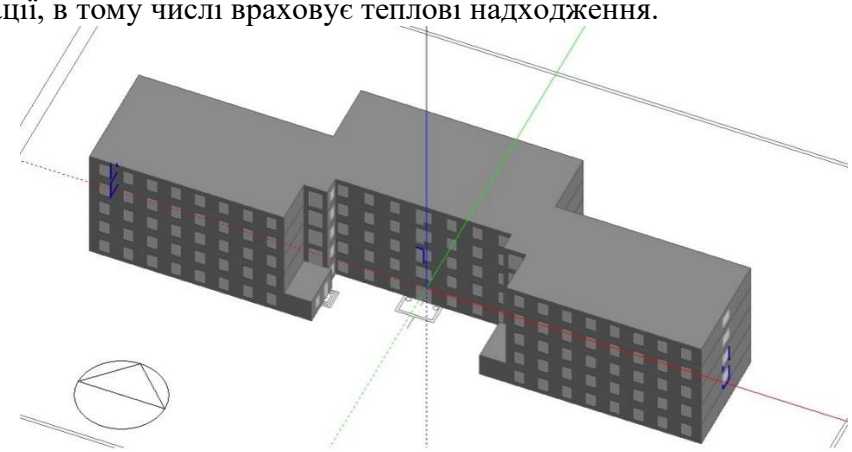


Рисунок 3– Модель будівлі гуртожитку у програмному середовищі DesignBuilder

Перевагами програми є те, що огороджувальні конструкції будуються в 3D моделі, яким присвоюються шари покриття стін, перекриттів, встановлюються вікна, двері. При виконанні моделювання програмавиконує розрахунок витрат енергетичних ресурсів та надає звіт з результатами (рисунок 4).

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	845152.1	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	89611.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	224028	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	640.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	485877.9	8259.9
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	314280	0.00	0.00	0.00	1331030	8259.9

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

Рисунок 4 – Робоче вікно програмиDesignBuilder (використання енергетичних ресурсів)

В ході моделювання визначено енергоспоживання, результати наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків енергоспоживання на опалення

Енерго-споживання на опалення, кВт·год	Фактичний рівень			Базовий рівень	
	Виміряне (усереднене)	Retscreen	Design Builder	Теплотехнічний розрахунок	Design Builder
	1361023	1282214	1331030	2037168	1776575

Питання контролю, підвищення ефективності споживання та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів повинні вирішуватись на основі точної та оперативно отримуваної інформації за допомогою спеціалізованих програмних продуктів. Для даної будівлі пропонується автоматизована система енергомоніторингу, що являє собою комплекс програмного та технічного забезпечення для дистанційногообліку споживання паливно-енергетичних ресурсів (відвузлів обліку тепла, електричної енергії, холодної води). Для даної будівлі розроблено температурні карти приміщень (рис. 5) та встановлено, що умови мікроклімату не відповідають вимогам. Рекомендується установка відповідних датчиків та оперативний збір інформації про температуру, вологість та рівень CO_2 для повітря всередині приміщень.



Рисунок 5 – Температурна карта будівлі

В електротехнічній частині проведено аналіз поточного стану систем електропостачання гуртожитку, виконано уточнення навантажень, вивчено особливості експлуатації та характеристики основного обладнання, а також запропоновано енергозберігаючі заходи, серед яких заміна ламп, встановлення датчиків руху, заміна холодильників, встановлення двозонного лічильника.

Висновки. Для студентського гуртожитку виконано енергоаудит, проведено виміри та розрахунки та визначено, що будівля має значний потенціал енергозбереження. Виконано побудову моделі будівлі та здійснено порівняльну оцінку розрахунків за допомогою програм DesignBuilder і RETScreen. Запропоновано заходи з енергозбереження, а також рекомендовано впровадити систему автоматизовного моніторингу з установкою датчиків для оцінювання дотримання нормативних вимог щодо мікроклімату у будівлі.

Перелік використаних джерел

3. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
4. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
5. RETScreen- Clean Energy Management Software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465
6. DesignBuilder- About DesignBuilder [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://designbuilder.co.uk/about-us
7. Тарифи - Київтеплоенерго [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: kte.kmda.gov.ua/tarufu/

УДК 697.1:

Корженко О.В.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГУРТОЖИТКУ СІМЕЙНОГО ТИПУ З ПОРІВНЯЛЬНИМ АНАЛІЗОМ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A FAMILY-TYPE DORMITORY WITH A COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE PRODUCTS FOR MODELING THE ENERGY CONSUMPTION OF THE BUILDING

Анотація. Для даної будівлі виконано теплотехнічний розрахунок тепловтрат, річних витрат енергії та розроблено пакет енергозберігаючих заходів для сімейного гуртожитку та виконано моделювання енергоспоживання до та після комплексної модернізації.
Ключові слова: будівля, моделювання, енергоефективність, енергоаудит, енергозбереження.
Keywords:building, modeling, energyefficiency, energyaudit, energysaving.

Вступ.У зв’язку з вичерпаністю викопного палива актуальною проблемою є проблема збереження і максимально ефективного використання енергетичних ресурсів.Впровадження пакетів енергозберігаючих заходів, рекомендованих у результаті виконання енергетичного аудиту на громадських будівлях дасть змогу суттєво знизити витрати на енергозабезпечення. В ході виконання енергетичного обстеження сімейного гуртожитку КПІ ім.Ігоря Сікорського використовувалися як інструментальні вимірювання, так розрахунки, а також програмні продукти для моделювання енергоспоживання.

Мета та завданнядослідження. Метою даного дослідження єенергетичне обстеження будівлі гуртожитку сімейного типу та аналіз розрахунків енергоспоживання будівлі до та після комплексної термомодернізації за результатами моделювання у програмних продуктах DesignBuilder та RETScreen.Завдання дослідження:

- збір вихідної інформації про будинок та визначення геометричних, теплотехнічних та енергетичних показників;
- розрахунок сумарного енергоспоживання сімейного гуртожитку №22 КПІ ім.Ігоря Сікорського;
- побудова 3D моделі та проведення моделювання енергоспоживання в програмному середовищі DesignBuilder;
- розрахунок енерговитрат будівлі за допомогою програмного продукту Retscreen
- порівняльний аналіз результатів можелювання.

Матеріал і результати досліджень. Об’єкт дослідження – гуртожиток сімейного типудля студентів та аспірантів№22 КПІ ім. Ігоря Сікорського (рисунок 1),побудований в 1986 році, має 9-поверхів з одним центральним входом, налічує 216 кімнат. Кімнати представляють собою житлове приміщення в складі яких: одна/дві кімнати; кухня з електроплитою; сумісний санвузол; гардеробна; коридор.Практично в кожній кімнаті є діти дошкільного віку, що суттєво впливає на енерговитрати.Загальна площа 6396 м^2. Житлова площа 3199 м^2. Площа скління 863 м^2.Зовнішні стіни будівлі товщиною 0,67 м, виконані з силікатної цегли, опір теплопередачі яких не відповідає нормативному [1].Вікна в будівлі частково дерев’яні, частково замінені на метало-пластикові.Двері центрального входу дерев’яні.Дах плоский, знаходиться над будівлею. Наявне технічне приміщення, підлога якого виконана з залізобетонної панелі перекриття та вкрита цементно-піщаною стяжкою, шаром руберойду та керамзиту. Під всією площею будівлі розміщений неопалювальний підвал, в якому знаходиться трубна розводка системи опалення.



Рисунок 1 – Гуртожиток 22

Теплопостачання централізоване, теплоносій – вода,температурний графік - 150/70°С. Встановлений індивідуальний тепловий пункт, з автоматичним погодозалежним регулюванням витрати теплоносія. Температурний графік системи опалення 90/70 °С.Опалювальні прилади у кімнатах – чавунні секції, висотою 50см.

Система освітлення місць загального користування будівлі переважно складається з люмінісцентних ламп.

Розрахунок сумарного енергоспоживання, гуртожитку

Теплотехнічний розрахунок є детальним розрахунком втрат теплоти через зовнішні огородженняз врахуванням їх характеристик [2] та втрат теплоти за рахунок інфільтрації. Розподіл втрат теплової енергії через огороджувальні конструкції наведено на рис.2.



Рисунок 2 – Втрати теплової енергії, %

Для даної будівлі пропонується впровадження наступних заходів з енергозбереження: утеплення зовнішніх стін; утеплення підлоги; заміна старих вікон на енергозберігаючі; теплоізоляція трубопроводів системи опалення; встановлення рекуператорів теплоти, заміна ламп розжарювання на LED, Встановлення датчиків руху для системи освітлення.Розрахована економія енергії, зекономлені кошти та терміни окупності, результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків заходів з енергозбереження

Захід з енергозбереження	ΔQ, Гкал	ΔE, грн/рік	$T_{ок.}$, роки
Утепленнязовнішніхстін	449,5	596043	10,88
Утепленняпідлоги	128,3	170141	7
Замінавікон на новіенергоефективні	67,6	89642	23,6
Теплоізоляція труб системиопалення	68,22	90332	1,28
Рекуператори	0,44	593	10,4

Моделювання в програмному середовищі RETScreen

Програмний продукт RETScreen[3] містить базу погодних умов, враховує графік експлуатації і характеристики інженерних мереж дозволяє комплексно оцінювати технічну й фінансову ефективність проектів. За допомогою програмного продукту RETScreen було проаналізовано базове споживання енергоносіїв та розраховано споживання після впровадження заходів з енергозбереження. Для початку моделювання необхідно задати місце розташування, дані про тип об'єкту, температурний графік, графік присутності, теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій, джерела енергії, характеристики інженерних систем та енергоносіїв. Одним із найбільших недоліків є те, що конструктивні характеристики огороджень (а саме приведеніопори теплопередачі) необхідно попередньо розраховувати (рис. 3).

За допомогою програми RETScreenпроведено фінансовий аналіз з урахуванням капітальних витрат, темпу інфляції, додаткових щорічних витрат на експлуатацію обладнання, вартості енергоресурсів, очікуваної економії у натуральних та грошових одиницях після впровадження заходів з енергозбереження. За результатами моделювання термін окупності комплексного пакету заходів з термомодернізації досліджуваної будівлі становитиме 14років, що для подібних проектів є прийнятним.Було виконано моделювання енергоспоживання: фактичного (існуючий стан систем та огороджень з урахуванням умов мікроклімату) і базового енергоспоживання.

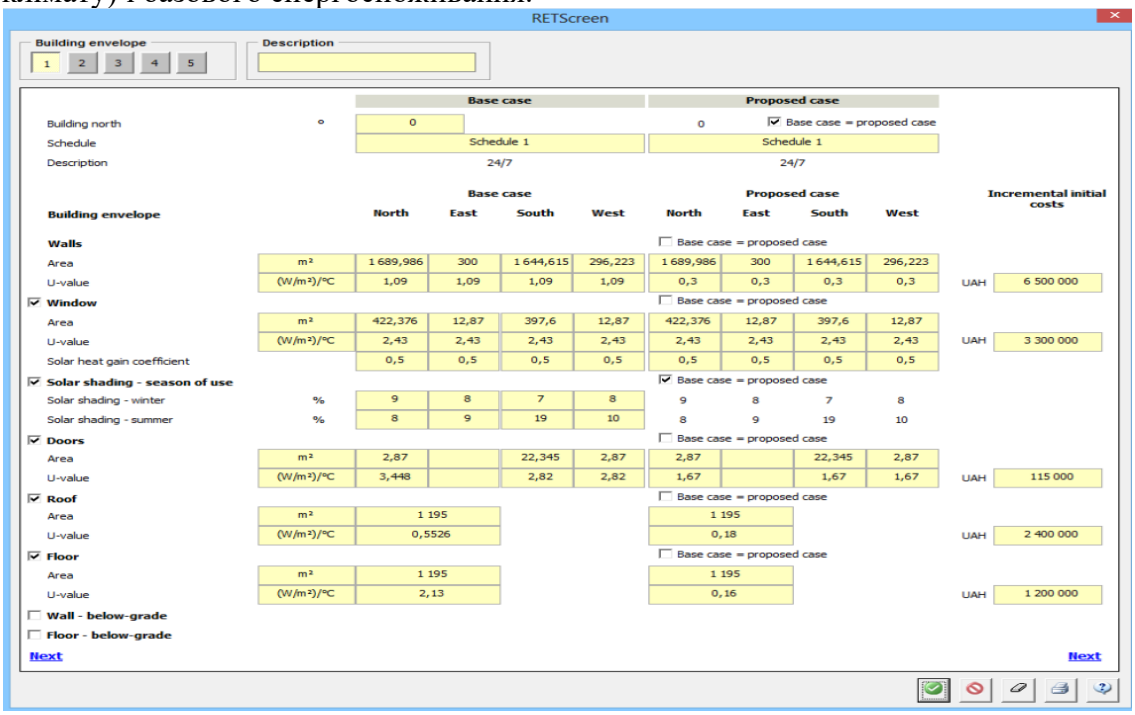


Рисунок 3 – Робоче вікно програмного продукту RETScreen(вихідні дані)

Моделювання в програмному середовищі DesignBuilder

Програмний продуктDesignBuilder [4]дозволяємоделювати енергоспоживання нових будівель, що проектуються та виконувати розрахунки для існуючих будівель. Що реконструюються. DesignBuilder враховує умовикомфорту,вартість енергоносіїв тадозволяє створити 3D модель будівлі (рис. 4) з існуючими характеристиками огороджувальних конструкцій, інженерних мереж та умов експлуатації. Модель дозволяє враховувати графік роботи, теплонадходження, характеристики інженерних мереж та більш деталізовані дані огороджень будівлі, наприклад різний тип вікон по фасадам.

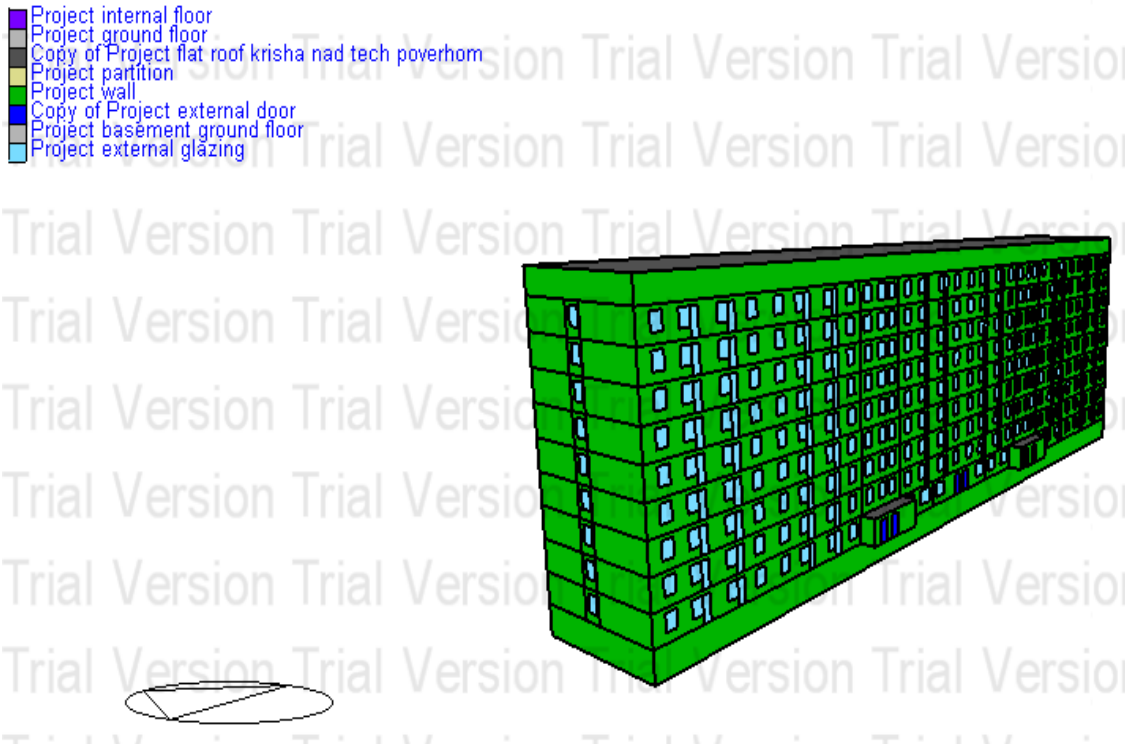


Рисунок 4 – Модель житлової будівлі у програмному середовищі DesignBuilder

Перевагами програми є те, що огороджувальні конструкції будуються в 3D моделі, яким присвоюються шари покриття стін, перекриттів, встановлюються вікна, двері. При виконанні моделювання програмавиконує розрахунок витрат енергетичних ресурсів та надає звіт з результатами (рисунок 5).

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	1095451.45	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	85512.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	293554.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	225.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	629866.68	11332.75
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	379291.44	0.00	0.00	0.00	1725318.13	11332.75

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

Рисунок 5 – Робоче вікно програмиDesignBuilder (використання енергетичних ресурсів)

В ході моделювання визначено базове та енергоспоживаннята після впровадження запропонованих заходів з енергозбереження, результати наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків енергоспоживання на опалення

Варіант розрахунку	Енергоспоживання на опалення, кВт·год			
	Фактичне споживання (за лічильником, усереднено за 3 роки)	Розрахунковий	Retscreen	DesignBuilder
Існуючий стан	1767863	-	-	1725318
Базовий (за проектними даними з додержанням вимог мікроклімату)	-	2 204 019	2257543	2140452
Після термомодернізації (змодельоване)	-	1160678	1025295	1105928

Висновки

Гуртожиток має досить типові проблеми об’єктів масових часів забудови, будівля має значний потенціал енергозбереження і потребуєтермомодернізації. Впровадження комплексу заходів для об’єкту дослідження дозволить значно зменшити витрати та енергоресурси, та забезпечить комфортні умови проживання.

Виконано порівняльну оцінку розрахунків за допомогою спеціалізованих програмних продуктів DesignBuilder, RETScreen. Базове та фактичне значення відрізняються більш суттєво, що пов’язано в першу чергу з недотриманням температурного графіку теплопостачання та умов мікроклімату у даній будівлі, тому рекомендується провести термомодернізацію гуртожитку.Серед рекомендованих заходів: утеплення огороджень, утеплення трубопроводів системи опалення, що проходять у неопалювальних приміщеннях, встановлення рекуператорів для забезпечення нормативних вимог по мікроклімату у будівлі.

Виконано розрахунок фінансово-економічних показників проєкту: при існуючих тарифах на енергію дисконтований термін окупності заходів становить 14 років, що є прийнятним.

Перелік використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
3. RETScreen- CleanEnergyManagementSoftware[Електронний ресурс] –
4. Режим доступу до ресурсу: https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465
5. DesignBuilder- AboutDesignBuilder[Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://designbuilder.co.uk/about-us

УДК 620.91: 697.1

Лигіна М.Р.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОГО БАГАТОКВАРТИРНОГО БУДИНКУ ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ

MATHEMATICAL MODELS FOR ESTIMATING THE LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF A RESIDENTIAL APARTMENT BUILDING AFTER THERMAL MODERNIZATION

Анотація. Для житлового багатоквартирного будинку виконано розрахунок тепловтрат, річних витрат енергії, розроблено пакет енергозберігаючих заходів та виконано динамічне моделювання енергопотреби на опалення для повного та переривчастого режимів.
Ключові слова: будівля, моделювання, динамічна модель, енергоефективність, енергоаудит, енергозбереження.

Abstract. Heat engineering calculation of heat losses, annual energy consumption was performed for residential apartment building and a package of energy saving measures was developed and dynamic modeling of energy consumption for heating for full and intermittent modes was performed.
Keywords: building, modeling, dynamic model, energy efficiency, energy audit, energy saving.

Вступ. В Україні актуальною є проблема максимально ефективного використання енергоресурсів. Впровадження енергозберігаючих заходів дасть змогу суттєво знизити витрати на енергозабезпечення будівель. Методі розрахунку енергопотреби, які використовуються в Україні мають кілька недоліків: таким чином стаціонарні методи визначають енергопотребу в річному розрізі і не враховують інерційні особливості будівель. Квазістаціонарні методи використовують для розрахунку досить тривалого інтервалу часу (місяць або цілий сезон). Для більш детального аналізу енергетичних характеристик доцільно використовувати нестаціонарні та/або динамічні моделі розрахунку енергоспоживання. В динамічних методах тепловий баланс розраховують за короткотривалими часовими інтервалами (одна година), беручи до уваги тепло, що акумулюється в, або вивільняється від масиву будівлі. Динамічна модель дозволяє детально дослідити окремі елементи об'єкту, а також роботу будівлі в цілому, виявити основні недоліки та оцінити шляхи їх вирішення. При наявності комп'ютерної моделі подальші затрати часу і фінансів на дослідження набагато нижче, при цьому результати роботи зазвичай точніші і ближчі до реальних умов, оскільки враховується більше факторів і умов, що можуть здійснювати вплив на об'єкт.

Мета та завдання дослідження. Метою даного дослідження є енергетичне обстеження житлового багатоквартирного будинку, аналіз розрахунків енергоспоживання до та після термомодернізації за результатами моделювання у програмному продукті RETScreen та з використанням динамічної моделі 5R1C. Завдання дослідження:

- збір інформації про житловий будинок та вихідних даних для розрахунків, визначення геометричних, теплотехнічних та енергетичних показників;
- розрахунок енерговитрат будівлі за допомогою програмного продукту RETScreen;
- побудова динамічних моделей 5R1C до та після термомодернізації;
- побудова динамічних моделей з врахуванням переривчастого режиму опалення;

- порівняльний аналіз результатів моделювання

Матеріал і результати досліджень. Об’єкт дослідження – житловий будинок за адресою м. Київ вул. Вадима Гетьмана 22 (рисунок 1), побудований в 1961 році, має 5 поверхів, 4 секції, 60 квартир. Житлові приміщення мають 1/2/3 кімнати, кухню з газовою плитою, сумісний санвузол, коридор. Загальна площа забудови 4304,7 м^2. Житлова площа 2956 м^2. Площа скління 580 м^2. Зовнішні стіни будівлі виконані з цегли товщиною 0,36 м та покриті з внутрішньої сторони шаром штукатурки 0,02 м. Опір теплопередачі стін не відповідає нормативному [1]. Вікна в будівлі частково дерев'яні, частково замінені на метало-пластикові. Встановлено сталеві двері на вході в кожну секцію. Будинок має скатний дах. Також є неопалювальний підвал, горище та тепловий пункт.



Рисунок 1 – Житловий будинок

Система теплопостачання двотрубна. Внутрішня система опалення однотрубна П-подібна. Система вентиляції – природна витяжна. Вентиляційні отвори розміщено на кухнях та в санвузлах квартир.

Теплопостачання централізоване, теплоносій – вода, температурний графік 150/70°С. Температурний графік системи опалення 90/70°С. Опалювальні прилади у кімнатах – чавунні секції, висотою 50 см.

Система освітлення сходових клітин в основному складається з світильників з лампами розжарювання та світлодіодними лампами. Управління відбувається з щитової.

Розрахунок сумарного енергоспоживання житлового будинку

Теплотехнічний розрахунок є детальним розрахунком втрат теплоти через зовнішні огородження з врахуванням їх характеристик [2]. Розподіл втрат теплової енергії через огороджувальні конструкції наведено на рисунку 2.

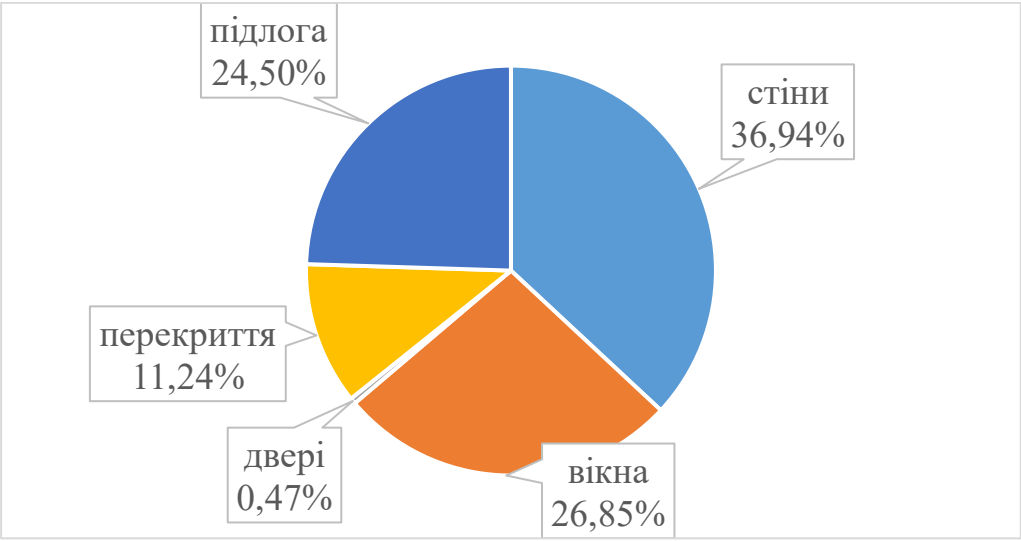


Рисунок 2 – Тепловтрати через зовнішні огородження, %

Для даної будівлі пропонується впровадження наступних заходів з енергозбереження: заміна дерев'яних вікон на металопластикові, утеплення підлоги даху, заміна зовнішніх дверей, утеплення зовнішніх стін, встановлення припливно-витяжної системи тощо.

Моделювання в програмному середовищі RETScreen

Програмний продукт RETScreen [3] містить базу погодних умов, враховує графік експлуатації і характеристики інженерних мереж дозволяє комплексно оцінювати технічну й фінансову ефективність проектів. За допомогою програмного продукту RETScreen було проаналізовано базове споживання енергоносіїв та розраховано споживання після впровадження заходів з енергозбереження. Для початку моделювання необхідно задати місце розташування, дані про тип об'єкту, температурний графік, графік присутності, теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій, джерела енергії, характеристики інженерних систем та енергоносіїв. Одним із найбільших недоліків є те, що конструктивні характеристики огороджень (а саме приведені опори теплопередачі) необхідно попередньо розраховувати (рис. 3).

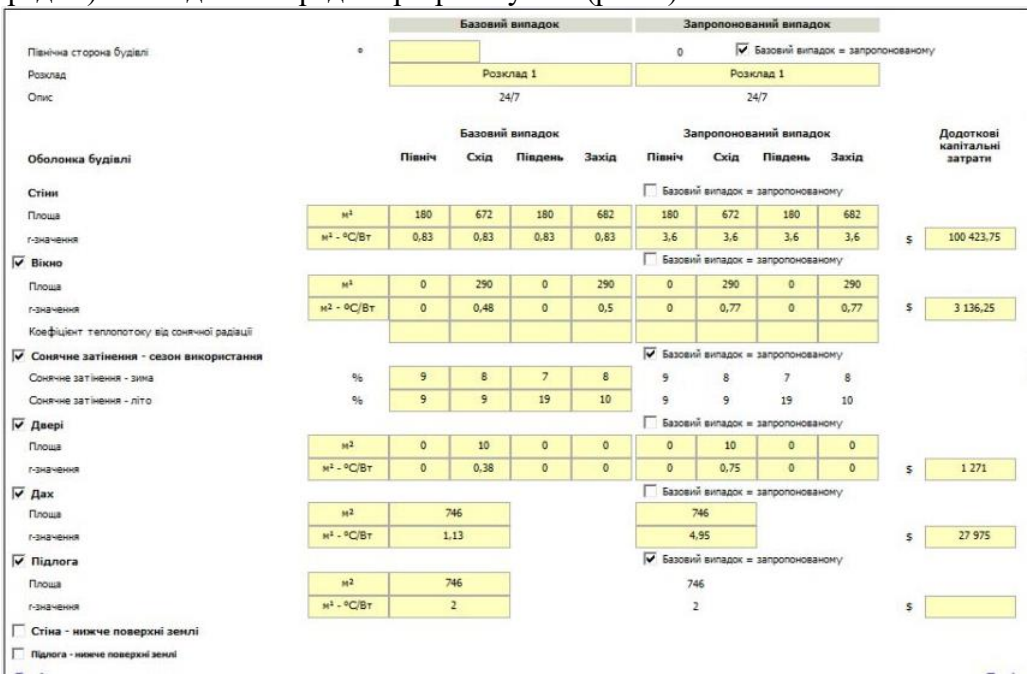


Рисунок 3 – Робоче вікно програмного продукту RETScreen

За допомогою програми RETScreen проведено фінансовий аналіз з урахуванням капітальних витрат, темпу інфляції, додаткових щорічних витрат на експлуатацію обладнання, вартості енергоресурсів, очікуваної економії у натуральних та грошових одиницях після впровадження заходів з енергозбереження. За результатами моделювання термін окупності комплексного пакету заходів з термомодернізації досліджуваної будівлі становитиме приблизно 10 років (при 13,5% ставці інфляції), що є привабливим для інвесторів. Економія при сплаті за спожиті енергетичні ресурси становитиме приблизно 20 тис. дол. США. Було виконано моделювання енергоспоживання: фактичного (існуючий стан систем та огороджень з урахуванням умов мікроклімату), базового енергоспоживання, енергоспоживання після термомодернізації при постійному опаленні 24/7 та при переривчастому 12/5. Результати розрахунків наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків за допомогою RETScreen

	Фактичне (за лічильн)	Базовий рівень	Запропонов. 24/7	Запропонов. 12/5
Споживане тепло	365 079,1 кВт·год	357 955,8 МВт·год	120 647,8	104 536,4
Споживана електроенергія	1,9 МВт·год	2,0 МВт·год	0,7	0,7
Економія, %	-	-	61,3% 60,7% - оп	66,5% 65,9% - оп
Термін окупності	-	-	Простий – 10,8р Пов.кап – 6,5 р	9,8 6,1

Динамічне моделювання 5R1C

Динамічна методика визначення енергопотреби базується на спрощеному погодинному методі розрахунку енергопотреби для опалення та охолодження і моделі – п’ять опорів, одна ємність (5R1C).

Цей підхід потребує написання або використання існуючих програм для реалізації даного методу. На рис. 4 наведена спрощена схема реалізації методу для певної зони будівлі, що включає зовнішні стіни, віконні отвори та вентиляцію, які характеризуються в схемі блоками провідності H_{op}, $H_{tr.w}$, H_{ve}, відповідно.

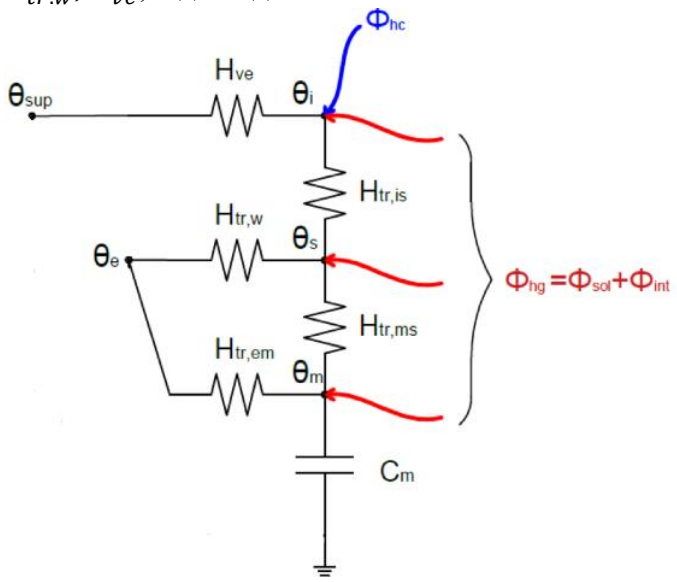


Рисунок 4 – Модель п’ять опорів, одна ємність (5R1C)

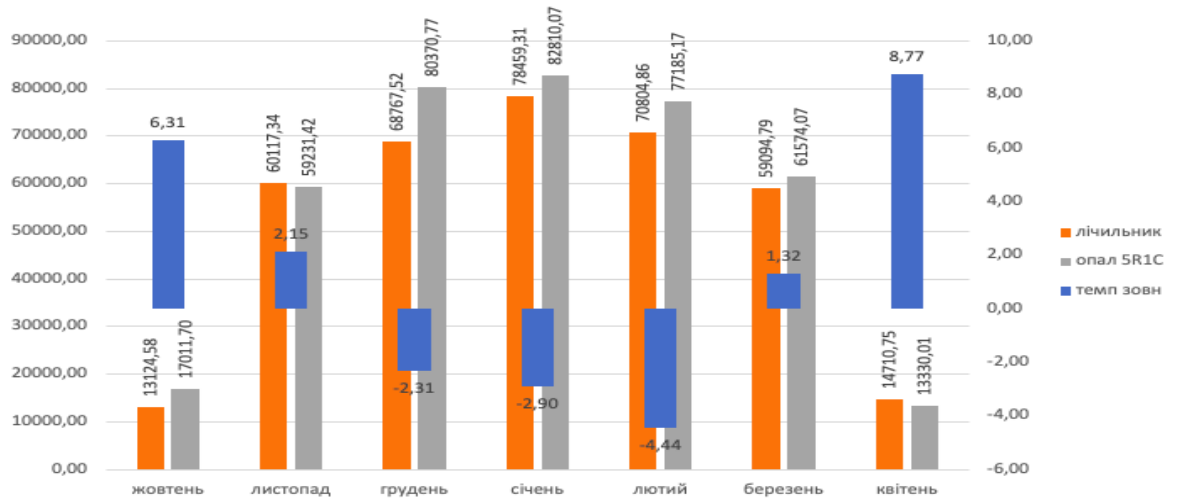


Рис 5 – Помісячне фактичне та змодельоване споживання теплової енергії житловим будинком

На рисунку 5 зображено споживання теплової енергії житловим будинком помісячно за показами лічильника та змодельоване значення енергопотреби. На додатковій осі показана зовнішня температура повітря.

Як бачимо, чим вища температура ззовні – тим менше нам потрібно опалення, проте регулювання було не завжди точним, тому іноді в квартирах було занадто холодно, а іноді занадто тепло і мешканці квартир відкривали вікна, чим спровокували перевитрату. Фактичне і змодельоване значення відрізняються ще й тому, що значення лічильників були усереднені за 3 роки, а температура зовнішнього повітря в ці роки відрізнялась (в 2017 була значно «тепліша» зима).

На рис. 6 зобразили сонячні теплонадходження погодинно за опалювальний період та заміри зовнішньої температури

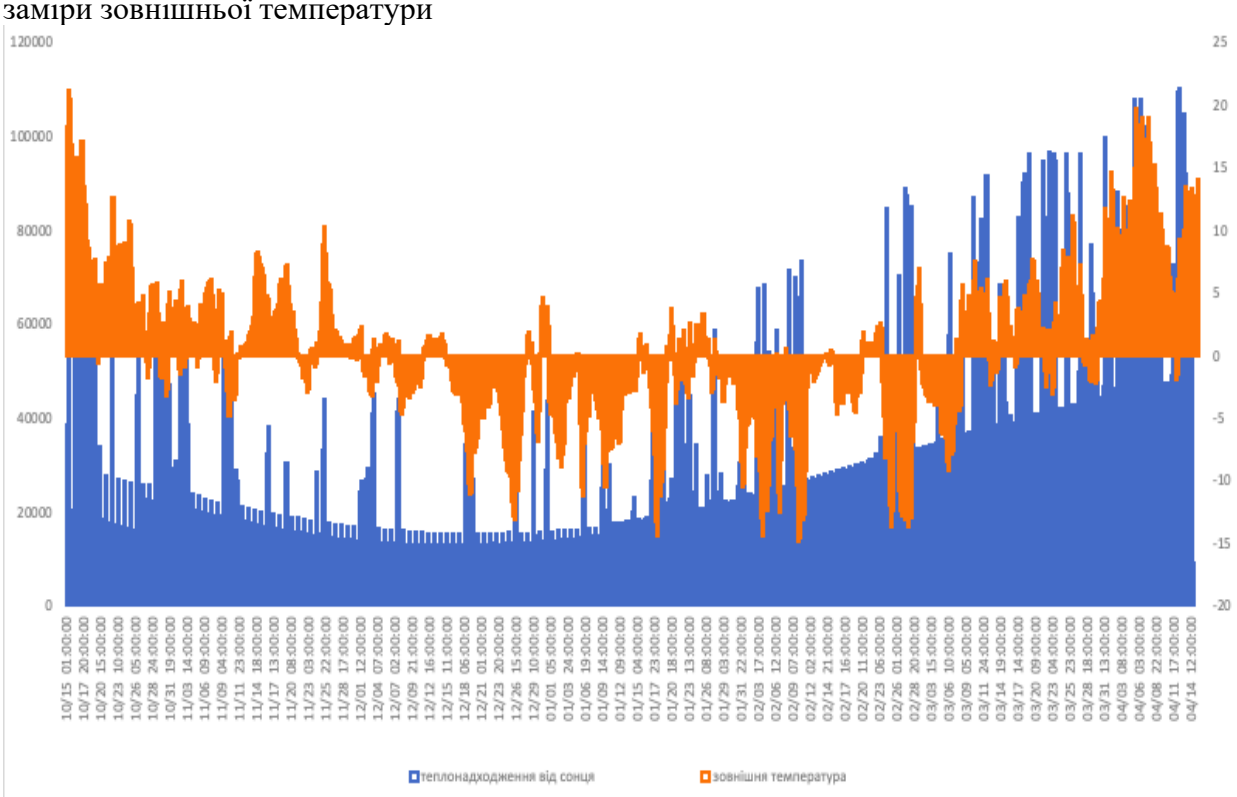


Рис. 6 – Аналіз зовнішньої температури повітря та сонячних теплонадходжень

Як бачимо, температура зовнішнього повітря не є стабільною та постійно змінюється, тому навіть динамічна модель потребує погодного регулювання.

Результати розрахунків різними методами наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків енергоспоживання на опалення

Варіант розрахунку	Енергоспоживання на опалення, кВт·год		
	Фактичне споживання (за лічильником, усереднене за 3 роки)	RETScreen	5R1C (динамічна модель)
Існуючий стан	365 079,1	-	-
Базовий (за проектними даними)	-	357 955,8	390 139,5
Після термомодернізації (змодельоване)	-	120 647,8	138 411,7
Після термомодернізації з впровадженням переривчастого режиму опалення (змодельоване)	-	104 536,4	124 905,6

Висновки

Житловий будинок має типові проблеми об’єктів масової забудови минулого століття. Будівля має значний потенціал енергозбереження і потребує термомодернізації. Впровадження комплексу заходів для житлового будинку, що розглядається, дозволить значно зменшити витрати енергоресурсів та водночас забезпечити комфортні умови проживання.

Виконано порівняльну оцінку розрахунків за допомогою спеціалізованих програмних продуктів, що використовують різні методи розрахунку. Серед рекомендованих заходів з енергозбереження: заміна вікон та дверей, утеплення зовнішніх стін та горища, встановлення припливно-витяжної системи.

Також розглянуто можливість впровадження переривчастого режиму опалення для даного об’єкта. За результатами розрахунків, можна стверджувати, що зниження внутрішньої температури в квартирах на 3°С в робочий час дозволяє заощадити майже 10% тепла.

Перелік використаних джерел

8. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
9. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
10. RETScreen - Clean Energy Management Software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465
11. Динамічна модель 5R1C

Гайдар А.О.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №13 З ВАРІАТИВНИМ СПОЖИВАННЯМ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

RESEARCH OF ENERGY EFFICIENCY OF EDUCATIONAL BUILDING №13 WITH VARIABLE CONSUMPTION OF THERMAL ENERGY FROM HEAT PUMPS

Анотація: В даній роботі розглянуто метод підвищення рівня енергоефективності за рахунок варіативного споживання теплової енергії від теплових насосів. Даний метод дозволяє частково відмовитись від системи централізованого опалення та частково забезпечити тепловою енергією за рахунок альтернативного джерела енергії.

Ключові слова: теплопостачання, тепловтрати, енергозбереження, енергоефективність, тепловий насос.

Abstract: In this paper the method of increasing the level of energy efficiency due to variable consumption of thermal energy from heat pumps is considered. This method allows you to partially abandon the district heating system and partially provide thermal energy from an alternative energy source.

Key words: heat supply, heat loss, energy saving, energy efficiency, heat pump.

Вступ

У нашій країні споживається близько 20% всього світового виробництва первинних енергоресурсів, однак собівартість органічного палива зростає, загострюються екологічні проблеми, пов'язані із забрудненням навколишнього середовища, що використовує паливо установками. У зв'язку з зазначеними проблемами можливості використання екологічно чистої повсюдно доступною відновлюваної енергії сонячного випромінювання, теплонасосних установок привертають дедалі більшу увагу. Відповідно до прогнозів вже протягом найближчих 15-20 років поновлювані джерела енергії повинні зайняти помітне місце в світовому енергетичному балансі, забезпечуючи заміщення використовуються запасів органічного палива та екологічне оздоровлення навколишнього середовища. Розвиток теплонасосних установок відбувається в даний час стрімко. Теплонасосні системи теплопостачання перспективні як екологічно чистих і енергоефективних теплоджерел для децентралізованих споживачів теплової енергії. Є багато можливостей їх ефективного застосування, в основному для часткової заміни котелень на органічному паливі.

Мета та завдання

Метою та завданням даної статті є аналіз енергоефективності з варіативним споживанням теплової енергії від теплових насосів на прикладі навчального корпусу №13 НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» міста Києва.

Результат досліджень

Об'єктом дослідження є навчальний корпус №13 “КПІ ім. Ігоря Сікорського” який було збудовано у 1966 році. Він складається з 4 поверхів та цокольного поверху. Загальна та корисна площа корпусу складає 3008 м^2 та 1727 м^2 відповідно, кондиційований об’єм 10 870 м^3. Теплопостачання будівлі – централізоване опалення від ТЕЦ. В спеціальній кімнаті на цокольному поверху знаходиться теплопункт з елеваторним підмішуванням. В теплопунктах встановлені манометри, термометри, та інші засоби обліку. Річне споживання теплової енергії в 2017-2019 роках та витрачені кошти наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. - Споживання теплової енергії в 2017-2019 роках та витрати

Рік	Гкал	грн
2017	151,06	210 661
2018	158,91	271 143
2019	136,35	237 745

Результати розрахунків тепловтрат та теплонадходжень будівлі наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. – Тепловтрати та теплонадходження навчального корпусу

Назва	Позначення	Значення в кВт	Значення в Гкал/год
Стіни	-	67,292	0,057
Вікна	-	52,522	0,04506
Двері	-	1,342	0,00114
Стеля	-	26,011	0,0223
Підлога	-	13,62	0,0117
Загальні втрати крізь огороджувальні конструкції	$Q_{огор}$	160,78	0,1372
Втрати на інфільтрацію повітря	$Q_{інф}$	165,413	0,142
Втрати теплоти у трубопроводах системи опалення	Q_2	4,213	0,00362
Втрати обумовлені орієнтацією будинку	$Q_{ст}$	4,925	0,00423
Надходження теплоти від людей	Q_3	28,69	0,0246
Надходження теплоти від електрообігрівачів	Q_4	1,44	0,00123
Надходження теплоти від освітлювальних приладів	$Q_{осв}$	3,092	0,00265
Надходження теплоти від Сонячної радіації	$Q_{сон}$	4,925	0,00423

Сумарне теплове навантаження навчального корпусу визначаємо за формулою:

$$Q_{СУМ} = (Q_{огор} + Q_{інф}) \cdot b_1 \cdot b_2 + Q_2 + Q_{ст}^{дод} - Q_3 - Q_4 - Q_{осв} - Q_{сон},$$

де b_1 - коефіцієнт, що враховує додатковий тепловий потік встановлених опалювальних приладів;

b_2 - коефіцієнт, що враховує додаткові витрати теплоти приладами, розташованими у зовнішніх огородженнях при відсутності екранів.

Підставивши значення до формули маємо:

$$Q_{СУМ} = (0{,}1372 + 0{,}142) \cdot 1{,}13 \cdot 1{,}01 + 0{,}00362 + 0{,}00423 - 0{,}0246 - 0{,}00123 - 0{,}00265 - 0{,}00423 = 0{,}29 \frac{Гкал}{год} = 337{,}27 кВт$$

Витрату теплоти на опалення за опалювальний період визначаємо з рівняння :

$$Q_0^{РІК} = Q_0^{max} \cdot \frac{t_В - t_{СР.О.}}{t_В - t_{Р.О}} \cdot n_0 \cdot 24 = 0{,}29 \cdot \frac{18 - (-0{,}1)}{18 - (-22)} \cdot 182 \cdot 24 = 601{,}69 \frac{Гкал}{рік} = 699765{,}45 \frac{кВт \cdot год}{рік}$$

У даній роботі пропоную розглянути варіативне споживанням теплової енергії від теплового насосу типу «Повітря-Вода» так як на відміну від інших він має наступні переваги:

-Найбільш економічно вигідний тип теплових насосів - з мінімальними капіталовкладеннями і низькими експлуатаційними витратами.

- Універсальна функціональність для найкращого комфорту: робота на опалення, опалення та кондиціонування, на нагрів води.

- Є високотемпературні і середньотемпературні моделі для роботи з радіаторами та конвекторами.

- Висока енергоефективність повітряного теплового насоса, високий коефіцієнт перетворення енергії: COP - до 5,0.

- Клас енергоефективності дуже високий: A +++.

- Широкий модельний ряд, можливість установки в каскаді.

- Харчування від однофазної або трифазної мережі.

- Можлива робота в автономному режимі або в комплексі з котлом.

- Погодозалежне управління, програмовані режими роботи, управління через інтернет.

- Управління кількома контурами опалення, регулювання температури нагріву води.

- Можливість управління додатковими джерелами тепла: котлом, електронагрівачем або сонячними колекторами.

- Легкий монтаж і просте обслуговування.

- Максимальна економія витрат при оформленні тарифу на електроопалення.

Тому нижче розглянемо випадок коли тепловий насос «Повітря-Вода» використовується разом з централізованим теплопостачанням.

Розрахуємо тепловий насос Meeting MD600D потужністю 220 кВт (65% від розрахонкової потужності системи теплопостачання $Q_{сум}$=337,27 кВт).

Характеристика теплового насосу Meeting MD600D наведена у таблиці 3.

Таблиця 3 - Характеристика теплового насосу Meeting MD600D

Тепловий насос Meeting MD600D	
Опалювальна площа	понад 1000 м²
Потужність в режимі нагріву	220 кВт
Потужність в режимі охолодження	170 кВт
Споживана потужність	55 кВт

Припустим, що тепловий насос буде працювати 8 годин. Кількість використаної електроенергії на привод ТН знаходиться за формулою:

$$W = N \cdot n \cdot n_o \cdot 24 = 55 \cdot 1 \cdot 182 \cdot 8 = 80080 \ \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}},$$

де N=55 - споживана потужність насосу, кВт;

n =1 - кількість теплових насосів, шт.;

n_0 =182 - кількість опалювальних діб.

Економія за рахунок використання ТН:

$$E = Q - W = 699765{,}45 - 80080 = 619685 \ \frac{\text{кВт·год}}{\text{рік}} = 532{,}83 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}},$$

де Q – теплове навантаження навчального корпусу за опалювальний період, (кВт·год)/рік.

Дійсна економія у звязку з недотопом навчального корпусу:

$$E = Q_Л - W = 184812{,}33 - 80080 = 104732{,}33 \ \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} = 90{,}05 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

де $Q_Л$ = 184812,33 (кВт·год)/рік – теплове навантаження навчального корпусу за лічильником. Обрали найбільш енерговитратний за останні три роки.

Дійсна економія в грошовому еквіваленті:

$$C_{\text{тн}} = E \cdot \text{Ц} = 90{,}05 \cdot 1866 = 168033 \frac{\text{грн}}{\text{рік}},$$

де Ц=1866 грн./Гкал – дійсний тариф на теплопостачання для бюджетних організацій.

Капіталовкладення на встановлення теплового насосу з горизонтальним колектором складатимуть:

$$K_{заг} = K_{ТН} + K_{мон} = 847641 + 30000 = 877641 \text{ грн},$$

де: КТН – вартість теплового насосу типу Meeting MD600D; Кмон – вартість монтажних робіт, грн;

Загальний термін окупності складатиме:

$$T = \frac{K}{C} = \frac{877641}{168033} = 5{,}22 \text{ років.}$$

За даним методом був зроблений розрахунок ще для трьох теплових насосів типу «Повітря-Вода» з різними коефіцієнтами заміщення . Результати розрахунків зведені у таблицю 4.

Таблиця 4 - Результати розрахунків використання теплових насосів «Повітря-Вода»

Назва теплового насосу	Meeting MD400D	Meeting MD500D	Meeting MD600D	Meeting MD1200D
Потужність на опалення (кВт)	150	180	220	440
Споживана потужність (кВт)	37	46	55	111
Коефіцієнт заміщення	0,44	0,53	0,65	1,3
Економія енергії з використанням ТН (Гкал/рік)	555,36	544,1	532,83	462,7
Економія енергії у зв'язку з недотопом (Гкал/рік)	112,5	101,3	90,05	19,94
Додаткова затрата електричної енергії (кВт · год)	53872	66976	80080	161616
Капіта-ло вкладення (грн)	599 533	694 455	877 641	1 236 528
Грошова економія (грн)	209 925	189 025	168 033	37 208
Термін окупності (рік)	2,85	3,67	5,22	33,23

Висновок

Після аналізу енергоефективності з варіативним споживанням теплової енергії від теплового насосу на прикладі навчального корпусу №13 НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» можна зробити висновок, що тепловий насос Meeting MD1200D потужністю 440кВт встановлювати не є доцільним, так як він виробляє потужності більше, ніж необхідно на опалення даної будівлі та термін окупності не задовольняє строку придатності насосу, але для підвищення рівня енергоефективності рекомендується встановити тепловий насос Meeting MD потужністю 150 кВт, 180 кВт або 220 кВт , що дозволить зменшити витрати на опалення будівлі. Також це обладнання має мінімальні капіталовкладення та низькі експлуатаційні витрати, а термін окупності в свою чергу задовольняє. Для встановлення, порівняно з іншими типами теплових насосів, не потребує багато місця, земляних робіт та спеціальних дозволів.

УДК 621.18

Закревський М.А.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

МОНІТОРИНГ ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Анотація: у даній роботі буде проведено моніторинг і визначення класу енергоефективності будівлі.

Ключові слова: енергоефективність будівель, енергозбереження,клас енергетичної ефективності.

MONITORING FOR FURTHER MODERNIZATION OF THE BUILDING POWER SUPPLY SYSTEM USING SOLAR PANELS

Abstract: a given robot will be monitored and assigned to the class of energy efficiency.

Key words:energy efficiency, energy saving, class of energy efficiency.

Вступ

У сучасному світі все частіше з'являється потреба у моніторингу об'єктів зі сторони енергетичного споживання та відповідності до встановлених норм та вказаних енергетичних характеристик у технічних паспортах об'єктів. Сьогодні в Україні досить актуальним є питання енергетичної незалежності країни. Зміни, які відбуваються в енергетичній політиці країни, здійснюються шляхом переходу від застарілої системи до нової моделі управління. Енергетична стратегія Україні на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [1], що схвалена розпорядженням кабінету Міністрів України від 18.09.2017 року № 605-р, посилює енергоефективні вимоги до будівель, запроваджує механізми стимулювання енергоефективності в житловому секторі та підтримує ініціативи з підвищення енергоефективності будівель. Починаючи з 1 липня 2019 року, Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» [2]запроваджена обов'язкова сертифікація енергетичної ефективності будівлі, що і стало однією з перших цеглин у стрімкому зростанні актуальності цієї сфери.

Відповідно до законодавства, сертифікація енергетичної ефективності - це вид енергетичного аудиту, під час якого здійснюється аналіз інформації щодо фактичних або проектних характеристик огороджувальних конструкцій та інженерних систем, оцінюється відповідність розрахункового рівня раціонального використання енергії встановленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель та надаються рекомендації щодо підвищення рівня, що враховують місцеві кліматичні умови, є технічно та економічно обґрунтованими.

Енергетичний сертифікат надає інформацію про те, скільки енергоресурсів витрачається, який технічний стан будівлі, які енергоефективні заходи доцільно впроваджувати. За результатами сертифікації енергетичної ефективності складається енергетичний сертифікат. Інформація, зазначена в енергетичному сертифікаті будівлі, стосується всіх житлових та нежитлових приміщень цієї будівлі. Строк дії енергетичного сертифіката будівлі становить 10 років. Енергетичний сертифікат будівлі вважається таким, що втратив чинність до закінчення-встановленого строку дії, у разі складення для такої будівлі нового енергетичного сертифіката. Витяг з енергетичного сертифіката будівлі, що містить

інформацію про клас та інші показники енергетичної ефективності будівлі, розміщується у доступному для ознайомлення громадян місці у будівлі, яку часто відвідують громадяни та сертифікація енергетичної ефективності якої є обов'язковою відповідно до Закону.

Мета та завдання

Завданням та метою дослідження обстеження стану споруди, визначення показників огороджувальних конструкцій та інженерних систем, для подальшого визначення класу енергоефективності та складання енергетичного паспорту житлової будівлі.

Матеріал і результати досліджень

Об'єктом дослідження є два житлових будинки за адресою місто Київ вулиця Туполева. Назва будинку Житловий будинок №4. Функціональне призначення - житловий будинок з вбудованими (нежитловими) приміщеннями різного призначення.

Огляд об'єкту виконувався згідно з наступною програмою:

1. Опитування та бесіда з головним інженером, щодо проблематик функціонування будівлі.

3. Огляд модульної технічних засобів (індивідуального теплового пункту (ІТП), електрощитової та ін.)

4. Ознайомлення з технічним паспортом будівлі.

5. Збір даних по складу огороджувальних конструкцій та споживанню енергетичних ресурсів.

6. Обговорення результатів огляду житлової будівлі з головним інженером .

Інженерні системи

У будинку передбачена централізована система водяного опалення та індивідуальна поквартирна система гарячого водопостачання з використанням електричних водонагрівачів.

Вентиляція в будинку припливно-витяжна з природним спонуканням. Приплив повітря здійснюється через вікна, видалення – через вентиляційні канали.

Використання відновлювальних та альтернативних джерел енергії не передбачено. Акумулювання енергії у години мінімального енергоспоживання не передбачено.

Облік енергоресурсів:

- теплової енергії для системи опалення – загальний для житлової частини будинку теплолічильник та поквартирні теплолічильники, окремий лічильник для нежитлових приміщень;
- електроенергії – поквартирними лічильниками активної електричної енергії та окремий лічильник для нежитлових приміщень.

Водяна система опалення [1]. ДСТУ Б А.2.2-8:2010):

Тип системи - двотрубна горизонтальна з периметральними поквартирними приладовими вітками;

- регулювання температури теплоносія у системі – за погодних умов;
- коефіцієнт корисної дії – 96 %;
- робоча точка насоса відповідає проектним вимогам – знаходиться у зоні максимальних значень коефіцієнта корисної дії;
- регулювання швидкості обертання насоса ручне;
- теплоізоляція насосів передбачена теплоізоляційними кожухами, укомплектованими виробниками насосів;
- регулювання температури повітря в квартирах здійснюється терморегуляторами прямої дії із зоною пропорційності 2 К, установленими на радіаторах; регулювання температури повітря сходової клітки здійснюється центральним якісним регулюванням теплоносія, що надходить у радіатори без автоматичних терморегуляторів;
- температурний напір (при $t_в$ =20 °С) становить 60 К за температури теплоносія 90/70 °С;
- радіатори встановлено біля зовнішньої стіни під вікнами з радіаційним захистом

- кількість радіаторів на кожній приладовій вітці квартири та на стояку сходової клітки не перевищує восьми.

Система гарячого водопостачання [1]:

- протяжність трубопроводів в опалюваній частині будівлі (квартира) – врахована сумарна всіх квартир;
- регулювання швидкості обертання циркуляційного насоса – відсутнє;
- регулювання періодичності зниження споживання енергії системою – не застосоване;
- регулювання витоку води – ручне.

Характеристика автоматизації інженерних систем [1].

Системи опалення –

– регулювання розподілення та температури теплоносія у подавальному або зворотному трубопроводі – за погодних умов, клас С;

– регулювання періодичності зниження споживання – автоматичне регулювання за розкладом, клас В;

– регулювання надходження теплової енергії до основних приміщень (квартир) – місцеве автоматичне регулювання терморегуляторами на опалювальних приладах приміщення, клас С;

– взаємозв'язок між регулюванням споживання енергії та розподілення теплоносія у системах опалення – частковий, клас В;

– регулювання джерела енергії – якісне регулювання, клас В;

Система вентиляції - природна.

Система освітлення:

– регулювання за присутності людей у приміщенні – ручне Вкл./Викл., клас С;

– регулювання зовнішнього освітлення – ручне, клас С;

– регулювання жалюзі – ручне, клас С.

Локальна система автоматизації - локальна система автоматизації та управління будівлею – відсутня, клас С.

Технічний моніторинг та управління будівлею:

– визначення несправностей систем та забезпечення допомоги в їх діагностиці – відсутнє, клас С;

– формування звітів щодо енергоспоживання та зовнішніх параметрів, а також можливості зниження енергоспоживання– відсутнє, клас С.

Розрахункові кліматичні та теплоенергетичні параметри

Згідно з [3] ДБН В.2.6-31:2016 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $t_в$ = 20 °С, розрахункова температура зовнішнього повітря для умов м. Києва $t_з$ = – 22 °С. Розрахункове значення відносної вологості житлових приміщень 55 %, мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні t_{min} = 10,7 °С.

Кількість градусо-діб опалювального періоду для Києва – D_d= 3590 °С -діб.

Розрахункова тривалість періоду охолодження згідно з [4] ДСТУ Б А.2.2-12:2015 становить 829 год.

Згідно зі [5] ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 тривалість опалювального періоду для м. Києва складає $z_{оп}$= 176 діб, середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{оп\ з}$ = – 0,4 °С.

Згідно з ДБН В.2.6-31:2016 нормативне значення приведеного опору теплопередачі R_{qmin}, м^2·К/Вт, становить:

– для зовнішніх стін – 3,3 м^2·К/Вт;

– для суміщених покриттів – 6,0 м^2·К/Вт;

– для покриттів мансард – 6,0 м^2·К/Вт;

– для світлопрозорих огороджувальних конструкцій – 0,75 м^2·К/Вт;
– для зовнішніх дверей – 0,6 м^2·К/Вт.

Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період згідно з [3] для 16-ти поверхів становить 77 кВт·год/м^2.

Виходячи з даних, отриманих у розрахунках можна зробити висновок, що технологію по монтажу віконних конструкцій та утепленню зовнішніх стін не було порушено.

Загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку трансмісією

Загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку трансмісією $H_{tr,adj}$, Вт/К,розраховується за [3]. Результати розрахунків для окремих огороджень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики теплопередачі трансмісією

	Вид огороджувальної конструкції	A_i, м^2	R_Σ, м^2·К/Вт	U, Вт/(м^2·К)	$b_{tr,x,H}$	$b_{tr,x,C}$	$H_{x,H}$, Вт/К	$H_{x,C}$, Вт/К
1	Зовнішні стіни	6623,98	3,11	0,322	1	1	2129,9	2129,9
2	Перекриття мансардне	1389,12	5,72	0,175	1	1	242,9	242,9
3	Суміщене покриття	42,98	7,03	0,142	1	1	6,1	6,1
4	Світлопрозорі конструкції	2530,56	1,14	0,877	1	1	2219,8	2219,8
5	Зовнішні двері	30,36	0,60	1,667	1	1	50,6	50,6
6	Підлога на ґрунті	1030,46	-	-	-	-	559,7	559,7

За даними таблиці загальний коефіцієнт теплопередачі житлової частини будинку для опалювального періоду і періоду охолодження становить:

$$H_{tr,adj,H} = H_{tr,adj,C} = H_D + H_g + H_U + H_A =$$
$$=2129,9 + 242,9 + 6,1 + 2219,8 + 50,6 + 559,7 + 0 + 0 = 5209,0 \text{ Вт/К}.$$

Характеристики теплопередачі вентиляцією

Система вентиляції природня.

Кратність повітрообміну становить $n_{об} = 0,64$ год$^{-1}$ для опалювального періоду та $n_{об} = 0,8$ год$^{-1}$ для періоду охолодження.

Для розрахунку прийнято, що система вентиляції відповідає вимогам [6]ДБН В.2.5-67, величина витрати повітря становить $q_{ve,k,mn} = 16102,15$ м^3/год для періоду опалення та $q_{ve,k,mn} = 20127,69$ м^3/год для періоду охолодження. Значення температурного поправочного коефіцієнта прийнято $b_{ve,}= 1$.

Центрального попереднього підігріву та охолодження вентиляційного повітря не передбачено.

Для житлової частини будинку значення загального коефіцієнту теплопередачі вентиляцією розраховане за [4],становить для опалювального періоду:

$$H_{ve,adj,H} = \rho_a c_a b_{ve,} q_{ve,k,mn} = 0,336 \cdot 16102,15 = 5410,32 \text{ Вт/К};$$

для періоду та охолодження:

$$H_{ve,adj,C} = \rho_a c_a b_{ve,} q_{ve,k,mn} = 0,336 \cdot 20127,69 = 6762,90 \text{ Вт/К}.$$

Клас енергоефективності за енергоспоживанням.

Розраховане за формулою з Методики загальний показник питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні становить:

$$EP = EP_{H,use} + EP_{C,use} + EP_{DHW.use} = 59,33 + 2,56 + 23,39 = 85,28 \text{ кВт·год/м}^2.$$

У відповідності з Методикою нормативне значення загального показника питомого

енергоспоживання при опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні становить для класу «С» повинно становити < 87 кВт·год/м^2.

Таким чином будинок, оскільки *ЕР* 85,28 кВт·год/м^2 < 87 кВт·год/м^2,відноситься до класу енергоефективності «С».

Термін ефективної експлуатації теплоізоляційної оболонкибудинку.

Термін ефективної експлуатації теплоізоляційної оболонки та її елементів складає для газобетонних блоків та для утеплювачів вузлових з'єднань в конструкціях перекриттів 25 років, що відповідає вимогам п. 4.19 [3]ДБН В.2.6-31:2016, п.4.6 і таблиці 1 [7]ДСТУ Б В.2.6-189:2013 та підтверджується протоколами випробувань, проведених ДП НДІБК.

Для мінераловатних теплоізоляційних плит ТМ "Isovat" марки Isovat-100" виробництва ТОВ «ОБІО» м. Житомира згідно Протоколу № 65-17/20 від 23 травня 2017 року, представленого Випробувальним центром будівельних матеріалів та виробів «НДІБМВ» м. Києва, термін ефективної експлуатації становить 50 років.

Висновки

На сьогодні питання енергозабезпечення та енергоефективності швидко набирає оберти. У подальшому розвитку законодавства у цій сфері діяльності, та загалом самої сфери буде потребувати все більш чіткого розуміння проблематики, а також народжуватиме більший попит споживачів до моніторингу об'єктів. У ході обстеження будівлі та проведення розрахунків виявлено,що технологію монтажу віконних конструкцій та утепленню зовнішніх стін не було порушено; є можливість вдосконалення енергетичної системи, а також монтаж сонячних панелей. У ході інтерв'ю з головним інженером була проведена роз'яснювальна бесіда,у результаті чого, була виявлена можливість оновлення доводчиків дверей, системи освітлення і часткового утеплення технічного поверху, герметизації кранів технічної води, утеплення кутів труб.

Список використаних джерел

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність"[Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text
2. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [Електронний ресурс] Режим доступу:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text
3. Теплова ізоляція будівель. [Текст]: ДБН В.2.6-31:2016 – [Чинний від 08.07.2016]. – (*Державні будівельні норми* України).
4. Енергетична ефективність будівлі. [Текст]: ДСТУ Б А.2.2-12:2015 – [Чинний від 27.07.2015]. – (Національні стандарти України).
5. Будівельна кліматологія. [Текст]: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 – [Чинний від 01.02.2017]. – (Національні стандарти України).
6. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Текст]: ДБН В.2.6-31:2016 – [Чинний від28.12.2012]. – (*Державні будівельні норми* України).
7. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу утеплення будівель. [Текст]: ДСТУ Б В.2.6-189:2013 – [Чинний від 20.08.2019]. – (Національні стандарти України).

Науковий керівник к.т.н, доцент Шкляр В.І.

УДК 697.1

Багній Владислав Іванович

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТУДЕНТСЬКОГО ГУРТОЖИТКУ №1 КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ЗА РАХУНОК КОМПЛЕКСНОЇ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ

Анотація. У даній роботі проведено порівняльний аналіз енергоспоживання гуртожитку до та після комплексної термомодернізації. Розглянутий підхід дозволяє досягти умов мікроклімату відповідно до діючої нормативної бази у сфері енергозбереження.

Ключові слова: енергоефективність, енергомоніторинг, енергозбереження.

IMPROVING THE ENERGY PERFORMANCE OF THE STUDENT DORMITORY №1 KPI. IGOR SIKORSKY DUE TO COMPLEX THERMO-MODERNIZATION

Annotation. In this paper a comparative analysis of hostel energy consumption before and after complex th323амец яodernization is conducted. This approach allows to reach microclimate conditions in accordance with the current normative base in the field of energy saving.

Key words: energy efficiency, energy monitoring, energy saving.

Вступ. Зростання тарифів на енергетичні ресурси стимулює до пошуку шляхів скорочення енергоспоживання. Державні установи, одна з енергоємних галузей в Україні, має велику кількість типових проблем, таких як невідповідність огороджувальних конструкцій існуючим нормативним вимогам, поганий стан інженерних мереж, що пов'язаний зі значним терміном їх експлуатації і т.д. Проте для існуючих будівель існує великий потенціал енергозбереження. Тому са32Замец яалузь має значний потенціал енергозбереження і потребує впровадження заходів з енергозбереження.

Мета та завдання дослідження. Завданням та метою даного дослідження є енергетичне обстеження будівлі гуртожитку та аналіз розрахунків енергоспоживання будівлі до та після комплексної термомодернізації за результатами моделювання у програмних продуктах DesignBuilder та RETScreen.

Результати досліджень. В ході роботи виконано детальне енергетичне обстеження будівлі, що включало уточнення геометричних і теплотехнічних показників огороджень, дослідження умов мікроклімату всередині приміщень, обстеження інженерних мереж, виконання необхідних інструментальних вимірювань і розрахунків. Було проведено комплексний енергоаудит гуртожитка №1 «КПІ ім. Ігоря Сікорського», побудований в 1927 році, має 5-поверхів з одним центральним входом, налічує 172 кімнати. Кімнати представляють собою житлове приміщення, а інші приміщення такі як: кухня з електроплитою; сумісний санвузол; технічні приміщення знаходяться окремо. Опалювальна площа 5934 м^2. Площа стін 3688 м^2, площа скління 624 м^2.

Зовнішні стіни будівлі товщиною 0,52 м, виконані з червоної цегли, опір теплопередачі яких не відповідає нормативному [1]. Вікна в будівлі частково дерев'яні, частково замінені на метало-пластикові. Двері центрального входу дерев'яні, дах скатний, знаходиться над будівлею. Наявне технічне приміщення, підлога якого виконана з залізобетонної панелі перекриття, вкрита цементно-піщаною стяжкою та плиткою. Під всією площею будівлі розміщений неопалювальний підвал, в якому знаходиться теплопункт.

Теплопостачання централізоване, теплоносій – вода, температурний графік - –50/70°С. Встановлений індивідуальний тепловий пункт, з автоматичним погодозалежним регулюванням витрати теплоносія. Температурний графік системи опалення 90/70 °С. Опалювальні прилади у кімнатах – чавунні секції, висотою 50 см.

Система освітлення місць загального користування будівлі переважно складається з люмінісцентних ламп.

Розрахунок сумарного енергоспоживання, гуртожитку

Теплотехнічний розрахунок є детальним розрахунком втрат теплоти через зовнішні огородження з врахуванням їх характеристик [2] та втрат теплоти за рахунок інфільтрації. Розподіл втрат теплової енергії через огороджувальні конструкції наведено на рис.1.

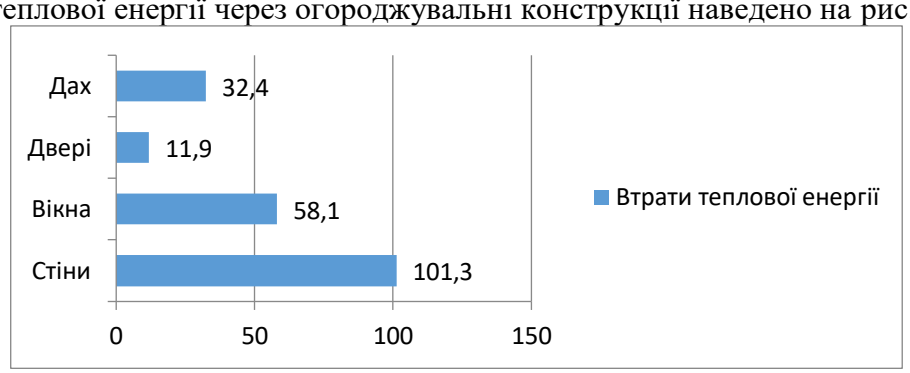


Рисунок 1 – Втрати теплової енергії, %

Для даної будівлі пропонується впровадження наступних заходів з енергозбереження: удосконалення устаткування водопостачання; заміна старих вікон на енергозберігаючі; утеплення даху; очищення теплообмінника; заміна дерев'яних дверей,утеплення стін.

Підвищення вимог до енергоефективності в рамках забезпечення комфортних умов у приміщенні.

Підвищення якості теплового комфорту в будівлях пов'язане із конкретними показниками теплового комфорту, значення яких визначають відповідні стандарти. В основі сучасних стандартів лежить енергетична модель людини. Для оцінки умов комфортності використовують такі типи шкал: PMV (прогнозована середня оцінка тепловідчуттів людини) та PDD (прогнозований процент незадоволених) [5], на базі яких визначаються три зони комфортності (A, B і C) [6]. Індекс PMV визначається на основі виразу теплового балансу людського тіла, враховуючи внутрішню генерацію та теплообмін з навколишнім середовищем, а індекс PDD дає кількісну оцінку – очікуваний відсоток незадоволених людей конкретним температурним середовищем. Такі індекси використовуються в країнах західної Європи, в Америці існує своя шкала комфортності [7]. Параметри мікроклімату у приміщеннях та комфортність умов в Україні визначають на основі таких документів:

Таблиця 1 Приклади рекомендованих категорій для проектування будівель із механічним опаленням та охолодженням [8]

Категорія	Тепловий стан будівлі в цілому	
	PPD %	Очікувана середня оцінка ступеня комфорту (індекс комфортності)
I	< 6	-0,2< *PMV*< +0,2
II	<10	-0,5< *PMV*< +0,5
II	<15	-0,7< *PMV*< +0,7
IV	>15	*PMV* < -0,7; або (or) +0,7 < *PMV*

Отже в умовах зростання вимог до якості мікроклімату важливо оцінити вплив параметрів навколишнього середовища та параметрів, що залежать від людини, на комфортну температуру повітря у приміщенні. Це дозволить її знизити без зниження якості теплового комфорту.

Моделювання в програмному середовищі RETScreen

Програмний продукт RETScreen [3] містить базу погодних умов, враховує графік експлуатації і характеристики інженерних мереж дозволяє комплексно оцінювати технічну й фінансову ефективність проектів. За допомогою програмного продукту RETScreen було проаналізовано базове споживання енергоносіїв та розраховано споживання після впровадження заходів з енергозбереження. Для початку моделювання необхідно задати місце розташування, дані про тип об'єкту, температурний графік, графік присутності, теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій, джерела енергії, характеристики інженерних систем та енергоносіїв. Одним із найбільших недоліків є те, що конструктивні характеристики огороджень (а саме приведені опори теплопередачі) необхідно попередньо розраховувати (табл. 2).

Таблиця 2 – Вихідні дані продукту RETScreen

Оболонка	Базовий випадок	Запропонований	Додаткові витрати
Стіни	0,9	0,3	3800000
Вікна	1,37	0,9	4630050
Двері	1,76	1,6	1500000
Дах	0,98	1,88	3325000
Підлога	0,66	0,15	3575000

За допомогою програми RETScreen проведено фінансовий аналіз з урахуванням капітальних витрат, темпу інфляції, додаткових щорічних витрат на експлуатацію обладнання, вартості енергоресурсів, очікуваної економії у натуральних та грошових одиницях після впровадження заходів з енергозбереження. За результатами моделювання термін окупності комплексного пакету заходів з термомодернізації досліджуваної будівлі становитиме 18 років, що для подібних проектів є прийнятним. Було виконано моделювання енергоспоживання: фактичного (існуючий стан систем та огороджень з урахуванням умов мікроклімату) і базового енергоспоживання. Результати розрахунку енергоспоживання до та після заходів наведено в таблиці 2. Усі розрахунки теплових витрат до модернізації приведені у таблиці 3 та після модернізації у таблиці 4.

Тоді, сумарні втрати тепла через огороджуючи конструкції складають:

$$Q_{\sum} = 167316\text{Вт} = 0.167\text{МВт}.$$

Тоді, сумарні втрати тепла через огороджуючи конструкції складають:

$$Q_{\sum} = 104430\text{Вт} = 0.104\text{МВт}.$$

Розрахуємо витрати теплоти на вентиляцію гуртожитку. Так як висота приміщення не більше 3,5 м, тоді розрахунок ведемо за формулою :

$$Q_{\text{ВВ}} = 0,337 \cdot h \cdot F_n \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}}) = 0,337 \cdot 2,8 \cdot 5934 \cdot (18 + 0,1) = 101347,73\text{Вт} = 0,101\text{МВт},$$

де Fn – опалювальна площа, м^2;

h – висота приміщення, м.

Таблиця 3 - –еплові витрати до модернізації

Тип	Орієнтація ОК	Площа ОК, м^2	K,	Δt,	n	1+Σβ	Q_o, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
Стіни	Пн	409	0,9	18,1	1	1,05	6995,7
	Сх	1569			1	1,1	28114,9
	Пд	409			1	1,15	7662
	Зх	1569			1	1,15	29392,8
Вікна	Пн	168,2	1,37		1	1,05	4379,4
	Сх	230,4			1	1,1	6284,5
	Пд	187,15			1	1,15	5336,8
	Зх	230,4			1	1,15	6570,2
Двері	Пн	1,76	1,76	18,1	1	1,05	58,8
	Сх	19,2			1	1,1	672,8
	Пд	5,25			1	1,15	192,3
	Зх	24,48			1	1,05	818,8
Дах		1772,98	0,98	18,1	0,9	-	28304,2
Підлога		5934	0,66	18,1	0,6	-	42532,5
						Сума	167316

На рисунку 2 відображено в процентному співвідношенні скрізь яку огороджувальну конструкцію найбільші втрати теплової енергію:

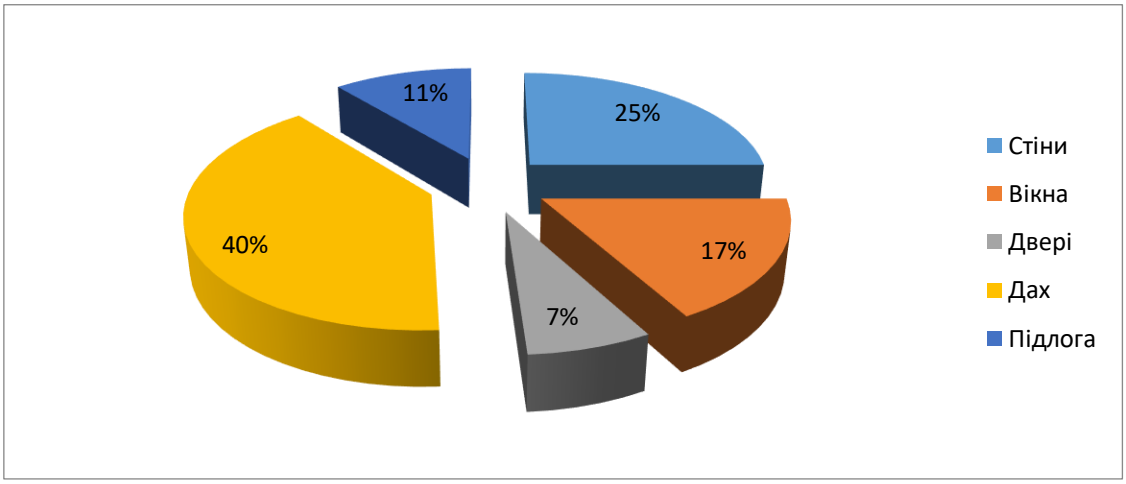


Рисунок 2 – Втрати скрізь огороджувальні конструкції

Таблиця 4 - –еплові витрати після модернізації

Тип	Орієнтація ОК	Площа ОК, м²	K, $Вт/(м^2 \cdot °C)$	Δt, °C	n	1+Σβ	Q_o, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
Стіни	Пн	409	0,3	18,1	1	1,05	2331,9
	Сх	1569			1	1,1	9371,6
	Пд	409			1	1,15	2554
	Зх	1569			1	1,15	9797,6
Вікна	Пн	168,2	0,9		1	1,05	2876,9
	Сх	230,4			1	1,1	4128,5
	Пд	187,15			1	1,15	3505,9
	Зх	230,4			1	1,15	4316,2
Двері	Пн	1,76	1,6	18,1	1	1,05	53,5
	Сх	19,2			1	1,1	611,6
	Пд	5,25			1	1,15	174,8
	Зх	24,48			1	1,05	744,4
Дах		1772,98	1,88	18,1	0,9	-	54297,8
Підлога		5934	0,15	18,1	0,6	-	9666,5
						Сума	104430

Дивлячись на діаграму ми можемо побачити, що особливу увагу потрібно приділити стінам, вікнам, та даху, скрізь ці огороджувальні конструкція втрачається 82% теплової енергію.

$$Q_{\sum рік} = 104430 Вт \cdot 24 \cdot 187 = 468.68 МВт.$$

Які витрати теплової енергії будуть після термомодернізації:

$$Q = 715,9 - (0,08 + 402,9) = 312,92 Гкал.$$

Розрахуємо економію у грошовому еквіваленті, грн, за формулою:

$$Е_{рік} = 1153730,12 - 312,92 \cdot 1611,58 = 649434,52 \text{ грн.}$$

Економія теплоенергії за рік становитеме 649 434,52 грн.

Інтегрована вартість

Результати розрахунків руху грошових потоків для системи до та після термомодернізації представлені на рисунку 3, розрахунки розроблено в програмі Mathcad представлено у додатку Б. Графік руху грошових потоків, як інтегральні дисконтовані

витрати, при застосуванні централізованого теплопостачання до та після комплексної термомодернізації, це дозволить визначити складний термін окупності після впровадження всіх заходів у порівнянні з існуючим варіантом.

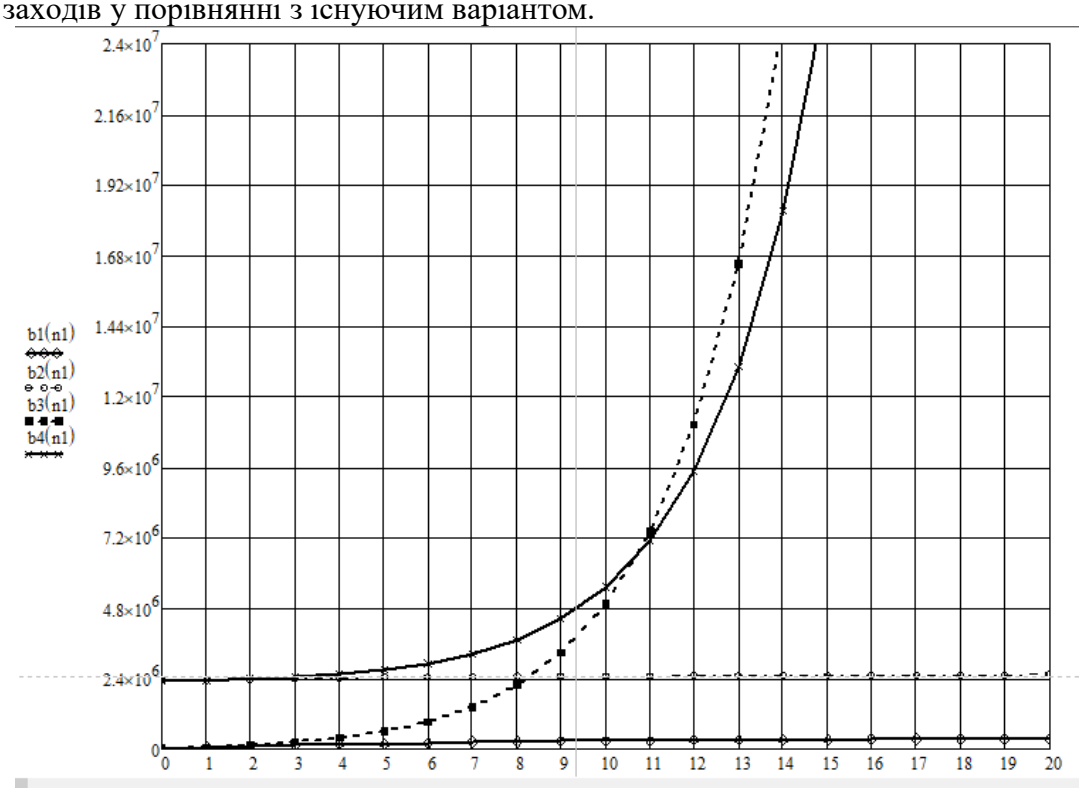


Рисунок 3 – Графік руху грошових потоків до та після термомодернізації

b_1 – вартість яку ми платимо за опалювальний період до термомодернізації та без зміни вартості енергоносіїв у часі;

b_2 – вартість яку ми платимо за опалювальний період після термомодернізації та без зміни вартості енергоносіїв у часі, але з врахуванням капітальних затрат;

b_3 – грошові потоки до термомодернізації з урахуванням приросту цін на енергоносії;

b_4 – грошові потоки після термомодернізації з урахуванням приросту цін на енергоносії та з врахуванням капітальних затрат.

Отже, роблячи порівняння можна прийти до висновку, що зміна вартості енергоносіїв в часі впливає на термін окупності заходів. При врахуванні коефіцієнта приросту цін на енергоносії, дисконтовані терміни окупності зменшується.

Також проводився розрахунок показників теплового комфорту для змінної середньої радіаційної температури на протязі року погодинно до та після термомодернізації для Пн та Пд стіни здійснювався у Mathcad.

Після проведених розрахунків ми можемо побачити показники середньої радіаційної температури до та після термомодернізації в таблиці 5

Таблиця 5 – Розраховані дані середньої радіаційної температури до та після термомодернізації

Середня радіаційна температура до термомодернізації	17
Середня радіаційна температура після термомодернізації	18

Запропонований підхід для розрахунку середньої радіаційної температури є одним із найвпливовіших факторів на відчуття теплового комфорту людиною.

Для розрахунку показників теплового комфорту ми використовували таку інтернет розробку [9], цей продукт обрано за вищу точність розрахунків і можливість оцінити PMV та PPD для сталих параметрів мікроклімату у приміщенні.

Отже з проведених досліджень можна дійти до висновку, що дана будівля має IV категорію комфортності – це є не дуже хороший рівень, але для комфортного перебування, а особливо для проживання студентів цього недостатньо. Тому в даній роботі було запропоновано провести комплексну термомодернізацію гуртожитку, це нам дозволило підвищити рівень комфорту, підвищили PMV від -0.9 до -0.7. Для підвищення категорії комфортності до III, треба підвищити температуру повітря в приміщенні до 20 ℃

Моделювання в програмному середовищі DesignBuilder

Програмний продукт DesignBuilder [4] дозволяє моделювати енергоспоживання нових будівель, що проектуються та виконувати розрахунки для існуючих будівель. Що реконструюються. DesignBuilder враховує умови комфорту, вартість енергоносіїв та дозволяє створити 3D модель будівлі (рис. 4) з існуючими характеристиками огороджувальних конструкцій, інженерних мереж та умов експлуатації. Модель дозволяє враховувати графік роботи, теплонадходження, характеристики інженерних мереж та більш деталізовані дані огороджень будівлі, наприклад різний тип вікон по фасадам.

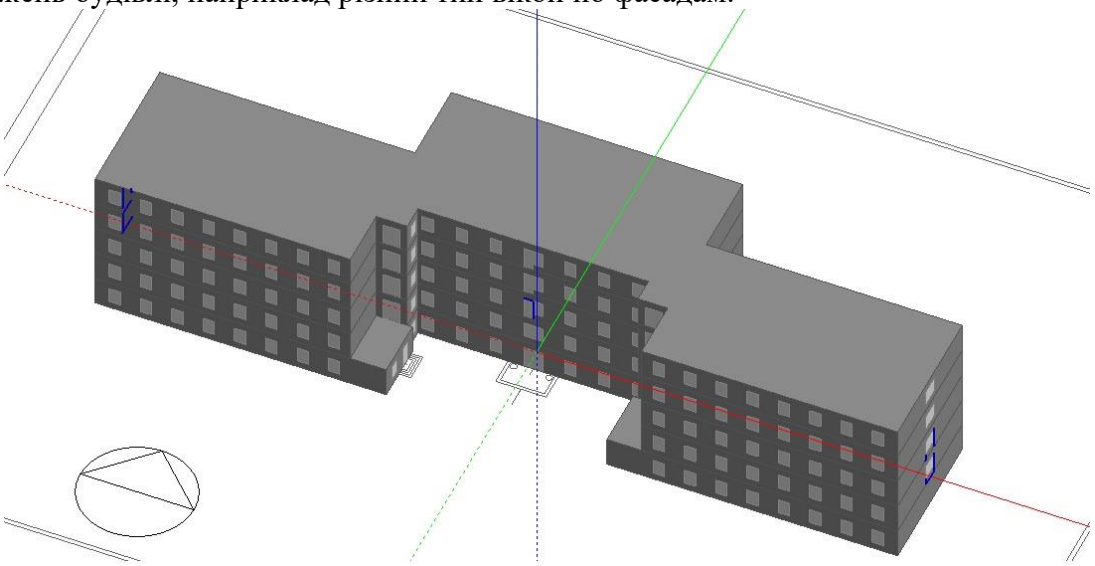


Рисунок 4 – Модель житлової будівлі у програмному середовищі DesignBuilder

Перевагами програми є те, що огороджувальні конструкції будуються в 3D моделі, яким присвоюються шари покриття стін, перекриттів, встановлюються вікна, двері.

В ході моделювання визначено енергоспоживання до та після впровадження запропонованих заходів з енергозбереження, результати наведено у таблиці 6.

Таблиця 6 – Результати розрахунків енергоспоживання на опалення

Енерго-споживання на опалення, кВт·год	Фактичний рівень			Базовий рівень	
	Виміряне (усереднене)	Retscreen	Design Builder	Теплотехнічний розрахунок	Design Builder
	1361023	1282214	1331030	2037168	1776575

Висновки. Досліджувана будівля має досить типові проблеми, та має значний потенціал енергозбереження і потребує термомодернізації. Впровадження комплексу заходів для об’єкту дослідження дозволить покращити внутрішні умови в гуртожитку та значно зменшити витрати на енергоресурси та покращити комфортні умови проживання. Та для підвищення категорії комфортності до III, треба підвищити температуру повітря в приміщенні до 20 ℃.

Виконано порівняльну оцінку розрахунків за допомогою спеціалізованих програмних продуктів DesignBuilder, RETScreen. Базове та фактичне значення відрізняються більш суттєво, що пов'язано в першу чергу з недотриманням температурного графіку теплопостачання та умов мікроклімату у даній будівлі, тому рекомендується провести термомодернізацію гуртожитку.

Перелік використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
3. RETScreen - –lean Energy Management Software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465
4. DesignBuilder - –bout DesignBuilder [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://designbuilder.co.uk/about-us
5. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики будівель.
6. ДСТУ Б EN 15261:2012. Розрахунок параметрів мікроклімату.
7. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 Ергономіка теплового середовища.
8. ДСТУ Б EN 15603:2012 Енергоефективність будівель.

http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/PMV-PPD.html

Науковий керівник к.т.н, асистент Надія Буяк

СЕКЦІЯ 3.
ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

УДК 62-83:621.313.2

Топчу Т.Д.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА НА БАЗІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Анотація. *У статті розглядається система управління рухом електротранспорту, зокрема метрополітену, на базі нейронної мережі.*
Ключові слова: *нейронна мережа, система інтелектуального відеоспостереження, система інтелектуальної диспетчеризації.*

Abstract. *The article considers the traffic control system of electric vehicles, in particular the subway, on the basis of a neural network.*
Keywords: *neural network, intelligent video surveillance system, intelligent scheduling system*

Вступ. Зростання населення у великих містах тягне за собою ріст міських пасажирських перевезень. Як наслідок, зростають і пасажиропотоки кожного району, і необхідно вдосконалювати та оптимізувати рух наземного пасажирського транспорту, метрополітену та приміського залізничного сполучення.

На сьогоднішній день, метрополітен являється перспективним видом міського транспорту. Незалежно від погодних умов метрополітен здатний швидко і вчасно перевозити пасажирів. Але існує ряд проблем, такі як витрати на електроенергію, інтервальний графік руху рухомих складів, застаріла система управління потягами. Розвиток сучасних інформаційних технологій дозволяє реалізувати нові можливості при проектуванні систем автоматичного управління. Такі компанії як Siemens, Thales, Bombardier transportation розробили системи управління рухомим складом метрополітену, що дозволяють вирішити вище вказані проблеми.

Використання складних нейронних мереж для прогнозування кількості пасажирів не є доцільним. Достатньо рахувати пасажирів вже на платформах і подавати потяги в залежності від кількості пасажирів та наповненості потягів, тим самим регулюючи швидкість на перегонах, і як наслідок можливість зменшити витрати на енергію.

Зменшити інтервал руху між потягами є ключовою особливістю запропонованої системи, але це не є доцільним впродовж добового графіка руху потягів. Адже в різний час, на станціях різна кількість людей. Також можливі ситуації, коли люди вимушені користуватися метрополітеном через непередбачені ситуації (аварії на дорогах, і як наслідок зупинка роботи міського транспорту), непогоду і т.д.. Інтелектуальні системи відеоспостереження фіксують кількість людей на платформі, зі зростанням кількості пасажирів, система формує новий графік руху для потягів. Нова тунельна апаратура, дозволяє зменшити інтервали руху між потягами. Радіо мітки розташовані в тунелі впродовж усього шляху, від станції до станції, фіксують положення та швидкість попереднього потягу і передають цю інформацію в диспетчерський пункт і по радіоканалу на бортовий комп’ютер наступного потяга. Розраховуючи відстань прицільного гальмування до наступного потяга, бортова апаратура визначає необхідну максимальну швидкість на перегоні до наступного потяга, досягши її в точці початку прицільного гальмування, потяг починає зменшувати швидкість дотримуючись при цьому безпечної відстані до наступного потяга.

При фіксуванні системою зменшення кількості людей на станції, нейронна мережа будує новий графік руху, з меншою швидкістю, і меншим енергоспоживанням.

Мета та завдання. Розробити структуру, обрати апаратні засоби, синтезувати алгоритми для інтелектуальної системи управління рухом електротранспорту на прикладі метрополітену.

Матеріал і результати досліджень. Систему інтелектуального відеоспостереження за рухом поїздів можна побудувати за допомогою мережі TCP / IP (мережі передачі даних), організовану на базі волоконної-оптичної системи передачі, яка призначається для організації оперативно-технологічного зв'язку і цифрової системи поїзного радіозв'язку стандартів TETRA , DMR, GSM-R. [1]. Загальна функціональна схема інтелектуальної системи диспетчеризації рухом потягів зображена на рисунку 1. Вона побудована як система взаємодії системи інтервального регулювання рухом потягів на базі радіоканалу (СВТС) з системою інтелектуального відеоспостереження. Для управління режимами руху потягів застосовано нейронну мережу.

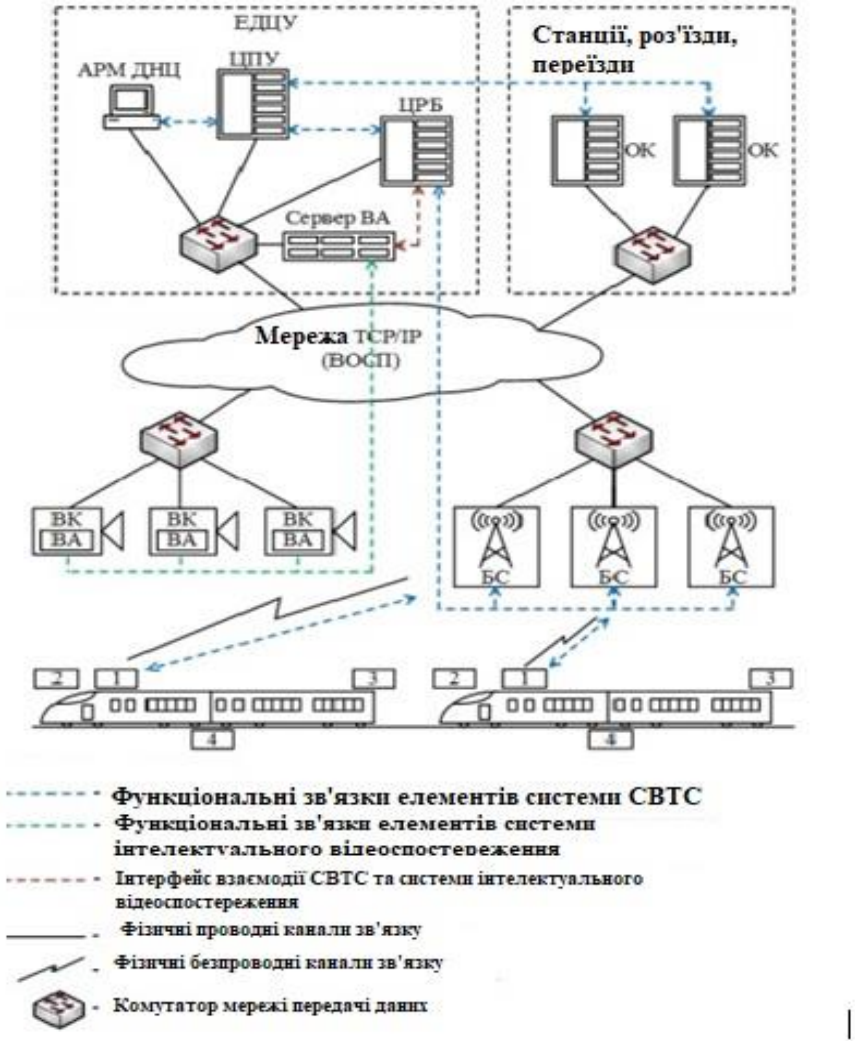


Рисунок 1. Структура зв’язку роботи інтелектуального відеоспостереження та СВТС.
де: Мережа TCP / IP (ВОСП) - мережа передачі даних, організована на базі волоконно-оптичної системи передачі; БС - базова станція; ЦРЛ - центр радіоблокування; ЦПУ - центральний процесорний пристрій управління; АРМ ДНЦ - автоматизоване робоче місце диспетчера; ЕДЦУ - єдиний диспетчерський центр управління; ОК - об'єктний контролер; ВА – відеоаналітика; ВК – відеокамера; Сервер ВА - сервер відеоаналітики; 1 - локомотивна радіостанція; 2 - бортове процесорне обладнання; 3 - система контролю цілісності поїзда; 4 - пасивні реперні датчики.

Запропонована технологія інтелектуального відеоспостереження дозволяє вести облік пасажирів на платформі, та оптимізувати графік руху потягів відповідно до кількості пасажирів на станції. У випадку зростання кількості пасажирів, система будує графік руху при якому управління потягами бере на себе система СВТС. При фіксуванні системою зменшення кількості людей на станції, нейронна мережа будує новий графік руху, з меншою швидкістю але дотримуючись стандартних інтервалів між потягами з економією споживаної електроенергії.

Для інтелектуальної системи диспетчеризації було створено нейронну мережу типу **Feed-Forward backpropagation network**, яка має два шари, які містять 10 і 1 нейрон відповідно. Її структуру, приведену на рисунках 2.16 – 2.21 можна отримати, ввівши команду **gensim(netff)**.

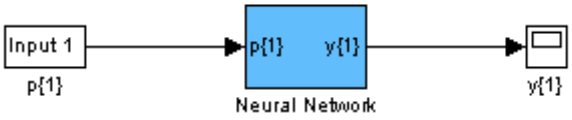


Рисунок 2. Загальний вид створеної нейронної мережі

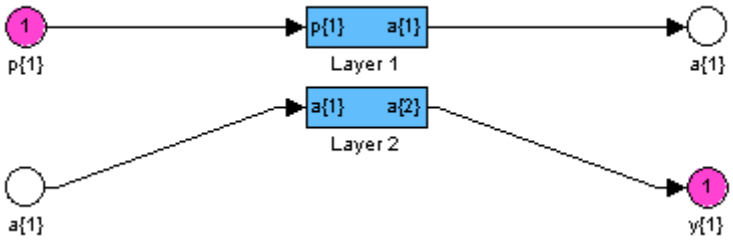


Рисунок 3. Схема нейромережі (видно два шари)

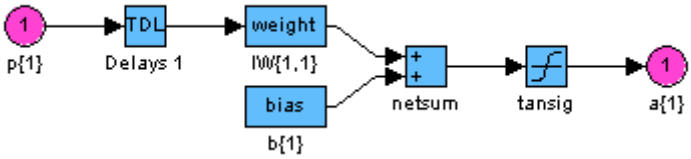


Рисунок 4. Схема першого шару

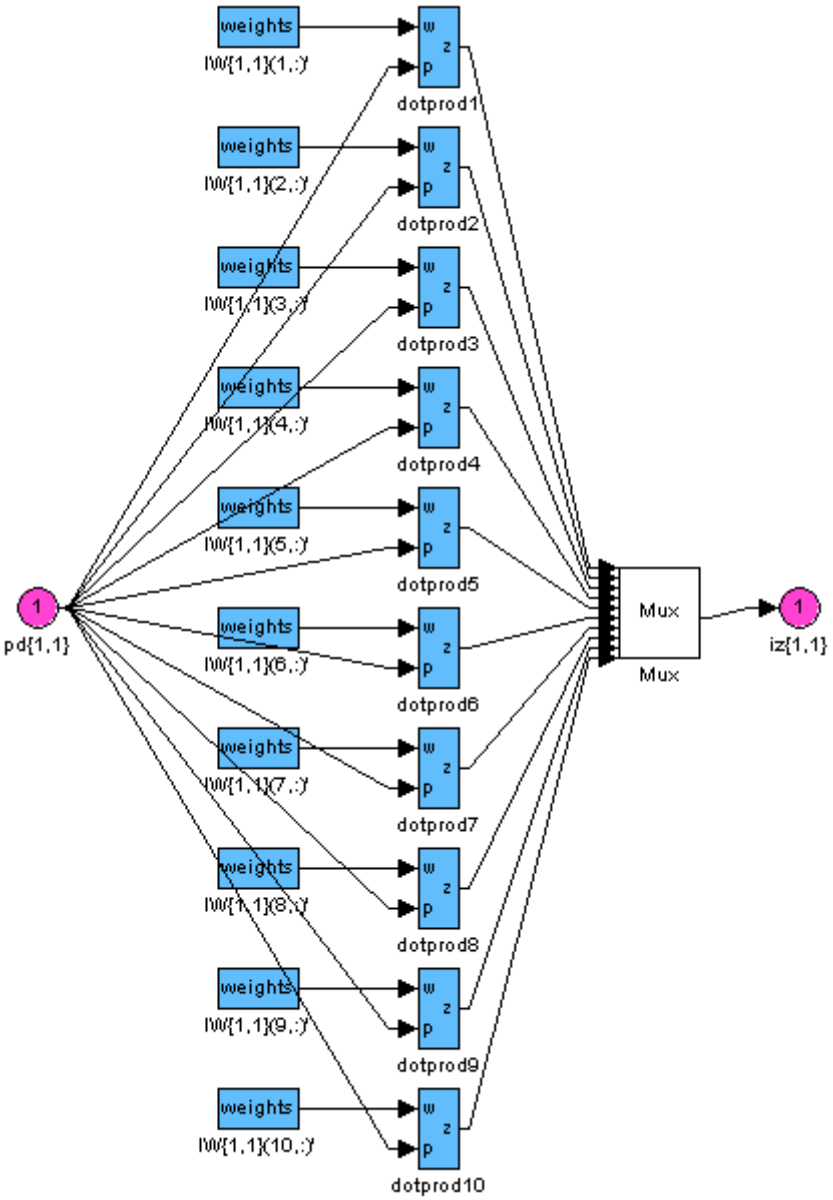


Рисунок 5. Розгорнута схема блоку IW{1,1} для першого шару

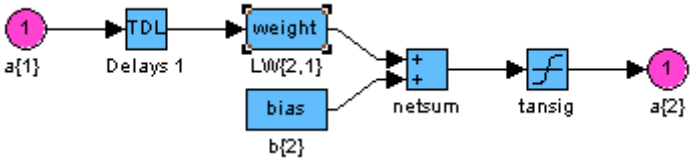


Рисунок 6. Схема другого шару

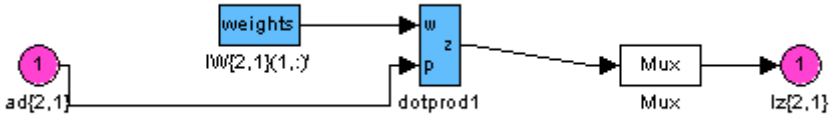


Рисунок 7. Розгорнута схема блоку IW{2,1} для другого шару

Висновки. Запропонована система управління потягами метрополітену з використанням алгоритмів інтелектуальних систем, дозволяє реалізувати графік руху потягів в залежності від пасажиропотоку.

Недоліком запропонованої системи управління потягами з використанням радіоканалу, є відсутність контрою цілісності колій, за час експлуатації колії витримують високі навантаження, в деяких місцях утворюються просадки колій, тріщини, що не є безпечним для потягів які щоденно перевозять до 1,5 млн. людей. Тому запропонована система СВТС з рухомими блоками в поєднанні з розробленою нейронною мережею для оптимізації графіків руху, повинна працювати з існуючою системою АРШ-АЛС, що використовується вже декілька десятиліть метрополітеном. Застосування інтелектуальних систем відео-нагляду, дозволяють проводити облік пасажирів на станціях і фіксувати приріст або спад людей для формування нових графіків рухів потягів.

Перелік посилань

1. Область применения: видеонаблюдение //Информационный проект профессионального сообщества «Техническое зрение». [Электронный ресурс]: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/. Доступ 29.05.2017.
2. Pascoe, R.D.; Eichorn, T. N. What is communication-based train control? Vehicular Technolog y Magazine, IEEE (Volume:4, Issue: 4), 2009. pp. 16–21. DOI: 10.1109/MVT.2009.934665.
3. Cheptsov, M.N., Tsykhmistro, S.I., Boinik, A.B., Bakhal, I. G. Project NEARè – Network of European/Asian Rail Research Capacities (Signalling Systems). Збірник наукових праць ДонІЗТ, 2013, № 36, pp. 106–119.

Науковий керівник доц. Тишевич Б.Л.

УДК 621.313.3

Хомяк А.О.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ U-МОДЕЛІ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ НЕЛІНІЙНИМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Анотація. *У статті розглядається Синтез нейронні мережі-емулятора на основі використання спеціалізованої U-моделі, яка може емулювати властивості електро-механічних систем.*

Ключові слова: *нейронна мережа, U-модель, електро-механічна система методу Ньютона-Рафсона.*

Abstract. *The article considers the synthesis of a neural network-emulator based on the use of a specialized U-model, which can emulate the properties of electro-mechanical systems.*

Keywords: *neural network, U-model, electro-mechanical system of Newton-Rafson method.*

Вступ. Більшість електромеханічних систем (ЕМС) є нелінійними [1], для яких необхідно знайти ефективні алгоритми управління. З іншого боку, в ЕМС, присутня затримка, що змінюється у часі, та є майже невід'ємною особливістю ЕМС, яка часто погіршує характеристики системи і навіть призводить до нестійкості. При цьому затримка що змінюється у часі в нелінійної системі не дозволяє синтезувати точну математичну модель [2].

Мета та завдання. Синтезувати нейронну мережу-емулятор (НМЕ) на основі використання спеціалізованої U-моделі, яка може емулювати властивості ЕМС, є багатошаровою мережею, де подібні функції відгуку комбінуються одна з одною за допомогою послідовного використання їх лінійних комбінацій і застосування нелінійних функцій активації.

На рисунку 1 зображена типова поверхню відгуку для мережі з одним проміжним шаром, що складається з двох елементів, і одним вихідним елементом, для класичної задачі "виключаюче АБО".

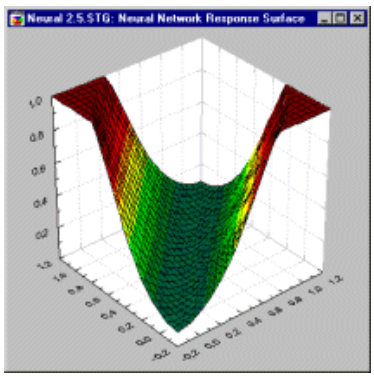


Рисунок 1. Поверхня відгуку для нейронної мережі на основі U-моделі.

Дві різних сігмоідної поверхні об'єднані в одну поверхню, що має форму літери "U". U-модель може апроксимувати великий клас гладких нелінійних систем, зі змінною в часі затримкою з будь-якою точністю [3].

Матеріал і результати досліджень. Для вирішення задачи емуляції та управління ЕМС [4], пропонується нейромережа на базі U-моделі. Така НМЕ дозволяє провести апроксимацію нелінійних моделей зі змінною в часі затримкою, які можна представити у вигляді:

$$y(k) = \sum_{j=0}^{m} \alpha_j \left(k - d_j\right) u^j (k-1) + e(k), \qquad (1)$$

де: m кількість входів моделі $u(k-1)$ та α_j $(k-d_j)$ це функція попереднього значення входів $u(k-d_1), \ldots, u(k-d_j)$ та виходів $y(k-1), \ldots, y(k-n)$, d_j це затримка для α_j $(k-d_j)$, та величина похибки $e(k), \ldots, e(k-n)$.

З (1) видно, що U-подібна модель має просту математична формулу, яка визначає застосування лінійної системи управління для нелінійної моделі, а далі для остаточного переходу до U-моделі, перетворення здійснюється наступним чином:

$$U(k) = y(k), \qquad (2)$$

$$U(k) = \sum_{j=0}^{m} \alpha_j \left(k - d_j\right) u^j (k-1) + e(k). \qquad (3)$$

Вираз (3) остаточний вираз для U-моделі. Для визначення змінної затримки додатково водиться величина затримки $\Theta(k)$:

$$y(k) = U(k) = \Theta(k)\,\Psi(k) + e(k), \qquad (4)$$

де: $\Theta(k) = [\alpha_0 (k-d_0), \ldots, \alpha_j (k-d_j]$ – величина затримки;

$\Psi(k) = [1, u(k-1), .., u_j(k-1)]^T$ – транспонований вектор входів нейромережі.

U-модель може бути точним представленням певного класу нелінійних будь-яких об'єктів з затримкою, яка змінюється у часі.

Наступний етап це ідентифікація властивотей об'єкту, яка может бути виконана дуже точно тому, що нейронна мережа має відомі переваги, перед класичними методами, при апроксимації будь-якої нелінійної системи. При цьому, параметри затримки, що змінюються в часі $\Theta(k)$ можна розглядати як ваги нейронної мережі. Похибка при ідентифікації, буде відповідати системним вимогам точності, отриманим параметрам затримки системи, що змінюється в часі, і ці змінні параметри затримки будуть використовуватися в якості вхідних даних системи. Виходячи з цього, можна створити стукртуру відповідної НМЕ, як зображено на рисунку 2.

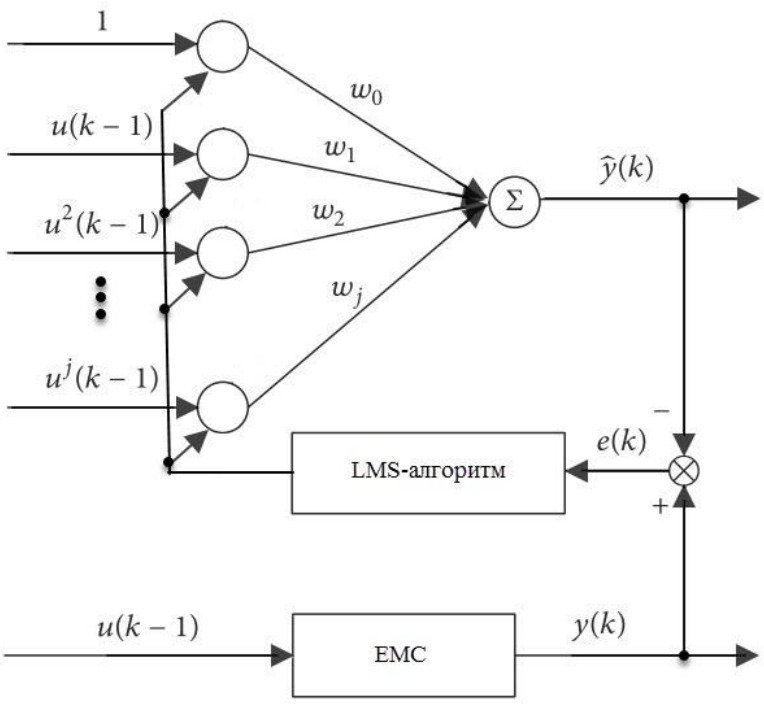


Рисунок 2. Структурна схема нейронної мережі ідентифікації.

При навчанні нейронної мережі використовувався метод Відроу-Хоффа (Widrow-Hoff) який змінює ваги входів за LMS алгоритмом [5].

Транспонований вектор входів $\Psi(k) = [1,u(k-1),..,u_j(k-1)]^T$, та вектор затримки $\Theta(k) = [\alpha_0 (k-d_0),\ldots, \alpha_j (k-d_j]$, та лінійні функції активації на виході нейронів формують вихід НМЕ:

$$y(k) = U(k) = \Theta(k)\,\Psi(k) + e(k), \qquad (5)$$

де: вектор вагів $\Theta(k) = W(k)=[w_0 (k),w_1(k),\ldots,w_j(k)]$.

Додатково у процесі ідентифікації визначається похибка $e(k)$ яка описується:

$$e(k) = y(k) - W(k)\,\Psi(k). \qquad (6)$$

Квадратична похибка:

$$E(w) = \frac{1}{2}e^2(k). \qquad (7)$$

Виходячи із (7) можна визначити частинну похідну $E(w)$:

$$\frac{\partial E}{\partial w} = -\Psi(k)\,e(k). \qquad (8)$$

Тому, згідно з методом градієнтного спуску, правила налаштування ваг, при навчанні НМЕ, наступні:

$$w(n+1) = w(n) + \eta\Psi(k)\,e(k), \qquad (9)$$

де: η - швидкість навчання.

Після визначення структури НМЕ, на основі U-моделі, можна синтезувати загальну структури системи управління нелінійною ЕМС. НМЕ розроблена при застосуванні формули Ньютона-Рафсона [6]. В порівнянні з іншими методами, цей метод має високу швидкість збіжності при навчанні. Загальні математичні опис формули Ньютона-Рафсона виглядає наступним чином:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)}, \qquad (10)$$

де: $f(x_k)$ – нелінійна функція.

Нелінійна функція у поєднанні з формулою Ньютона-Рафсона може бути використана для вирішення нелінійного рівняння (3). Рішення буде мати вигляд:

$$u_{k+1}(k-1) = u_k(k-1) - \frac{\sum_{j=0}^{M}\alpha_j(k-j)\,u_k^j(k-1) - U(k)}{d\left[\sum_{j=0}^{M}\alpha_j(k-j)\,u_k^j(k-1)\right]/du(k-1)}, \qquad (11)$$

де: k – це індекс значення кроку ітераційного алгоритму.

У формулі Ньютона-Рафсона, щоб забезпечити реальне вирішення нелінійних рівнянь, потрібно визначити умови в алгоритмі, наприклад, у (11) відсутність знаменника дорівнює нулю і ітераційний алгоритм має більш високу швидкість збіжності при навчанні.

Структурна схема системи управління для ЕМС, розроблена з використанням методу Ньютона-Рафсона зображена на рисунку 3.

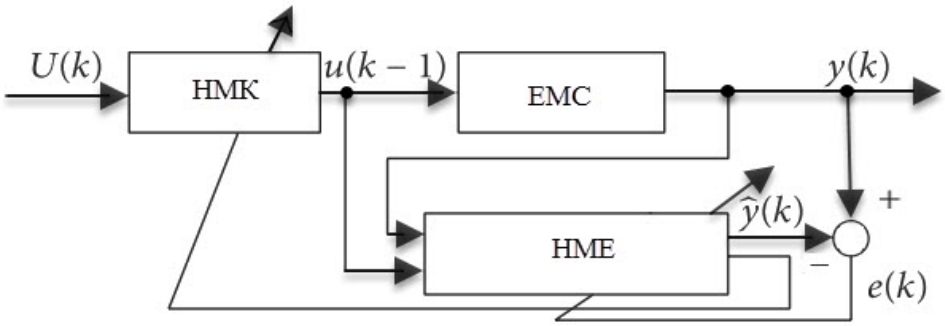


Рисунок 3. Структурна схема нейромережевої системи управління нелінійною ЕМС. НМК – звичайний нейормережевий контролер прямого росповсюдження.

Висновки. Використання адаптивної НМЕ, забезпечує новий напрямок досліджень для ідентифікації та синтезу систем управління нелінійними ЕМС.

Перелік посилань

1. Rao, S. S., 1990, “Mechanical Vibration”, Reading, MA, Addison-Wesley.
2. Soong, T. T., 1990, “Active Strutural Control: Theory and Pratice”, New York, Longman Scientific & Technical.
3. Karnopp, D.C., Margolis, D.L. and Rosenberg, R.C., 2000, “System Dynamics: Modeling and Simulation of Mechatronic Systems”, John Wiley & Sons, Inc., 3rd Edition, New York, USA.
4. Wellstead, P.E., 1979, “Introduction to Physical System Modelling”, Academic Press, London Great Britain.
5. Simon S. Haykin, Bernard Widrow (Editor): Least-Mean-Square Adaptive Filters, Wiley, 2003
6. М.Я.Лященко, М.С.Голованъ. (Ньютон –Рафсон.) Чисельні методи: Підручник. – К.: Либідь, 1996. – 288 с.

Науковий керівник доц. Тишевич Б.Л.

УДК 681.515+62-551.453

Яковлєв Д.А.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ НА БАЗІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З СИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ ДЛЯ ЛІФТОВОЇ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ

Вступ. В останні роки, електропривод на базі синхронного двигуна з постійними магнітами (СДПМ) почав відігравати важливу роль у промисловості, завдяки досягненням у дослідженні магнітних матеріалів, напівпровідникових силових пристроях і теорії управління [1, 2]. СДПМ широко застосовуються у високоефективних електроприводах завдяки компактному розміру, високій потужності, великому повітряному зазору, щільності потоку, високому відношенню крутного моменту до моменту інерції, високої енергоефективності [3]. При використанні векторного управління, момент на валу СДПМ може змінюватись лінійно, а максимальний крутний момент на одиницю струму досягає аналогічного як для двигуна постійного струму з незалежним збудженням. Для підвищення продуктивності і вирішення проблем, пов'язаних з нелінійностями і невизначеностями динамічної моделі СДПМ, було розроблено декілька алгоритмів управління з використанням нейронних мереж [4, 5].

Ціль та завдання. Оскільки для електроприводу з СДПМ дуже складно визначити параметри за якими можна синтезувати систему управління, то потрібно розробити інтелектуальну систему управління швидкістю. В такій системі управління буде використовуватись контролер – нейронна мережа (КНМ) разом з контролером – нейромережевою еталонною моделлю (КНЕМ). Пропонується система управління, яка складається з КНЕМ у зворотному зв'язку, в доповнення до КНМ, які навчаються в режимі "онлайн" для поліпшення динамічних характеристик системи електроприводу. Вихідний сигнал КНЕМ додається до вихідного сигналу КНМ, щоб компенсувати помилку між еталонною моделлю і реальним приводом при наявності збурень навантаження і невизначеності параметрів електропривода. Динамічні характеристики, системи електроприводу з СДПМ і запропонованою інтелектуальною системою управління, були вивчені при зміні навантаження і варіації параметрів.

Результати дослідження. Вхідними сигналами до КНМ є сигнал похибки e_{ω}^{fb}, та похідна від дійсної швидкості обертання ротора ω_r:

$$e_{\omega}^{fb} = (\omega_r^* - \omega_r); \quad (1)$$

$$\dot{\omega}_r^{fb} = k_{\omega}^{fb} \frac{d\omega_r}{dt}; \quad (2)$$

Аналогічно, вхідними сигналами КНМЕ, у зворотному зв'язку, є сигнал похибки e_{ω}^{mf} та похідна від швидкості обертання ротора, яка використовується для навчання вагових коефіцієнтів нейронної мережі в режимі "онлайн":

$$e_{\omega}^{mf} = \left(\omega_r^{mf} - \omega_r\right); \quad (3)$$

$$\dot{\omega}_r^{mf} = k_{\omega}^{mf} \frac{d\omega_r}{dt}. \quad (4)$$

У зворотному зв'язку КНМЕ використовується для підвищення точності при відстеженні заданого сигналу швидкості, а КНМ для регуляції навантаження при зміні збурення.

Нейронні мережі, які застосовані у КНМ і КНМЕ складаються з трьох шарів кожна – вхідного шару i^{th}, прихованого шару j^{th} та вихідного шару k^{th}. Структурна схема системи управління показана на рисунку 1.

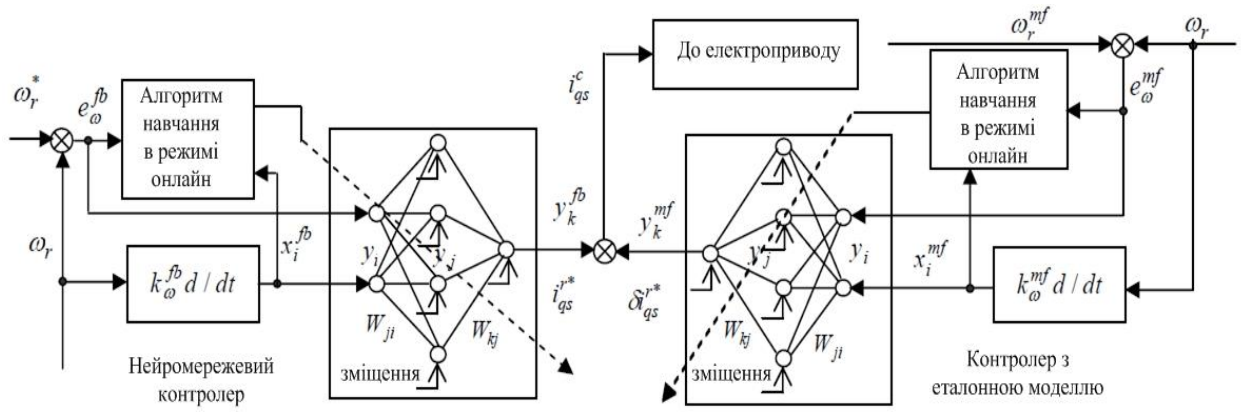


Рис.1. Інтелектуальна система управління електроприводом з СДПМ

Розповсюдження сигналу і функції активації для обох контролерів вводяться наступним чином:

- для кожного вузла i у вхідному шарі, вхідні x_i та вихідні y_i сигнали визначаються:

$$nn_i = x_i; \tag{5}$$

$$y_i = f_i(nn_i), i = 1,2\ ; \tag{6}$$

$$x_1^{mf} = e_\omega^{mf}(t), x_2^{mf} = k_\omega^{mf}\frac{d\omega_r}{dt}; \tag{7}$$

$$x_1^{fb} = e_\omega^{fb}(t), x_2^{fb} = k_\omega^{fb}\frac{d\omega_r}{dt}, \tag{8}$$

- входи та виходи прихованого шару до вузла j вводяться, відповідно, в такий спосіб:

$$nn_j = \sum_i\left(W_{ji}y_i\right) + \varphi_i; \tag{9}$$

$$y_j = f_j\left(nn_j\right), j = 1, m; \tag{10}$$

$$f_j\left(nn_j\right) = \frac{1}{1+e^{-nn_j}}, \tag{11}$$

- вхід та вихід вихідного шару до вузла k визначається за формулою:

$$nn_k = \sum_i\left(W_{kj}y_j\right) + \varphi_k, \tag{12}$$

і відповідний вихід

$$y_k = f_k(nn_k) = \frac{1}{1+e^{-nn_k}}; \tag{13}$$

$$y_k^{fb} = i_{qs}^{r^*}, y_k^{mf} = \delta i_{qs}^{r^*}. \tag{14}$$

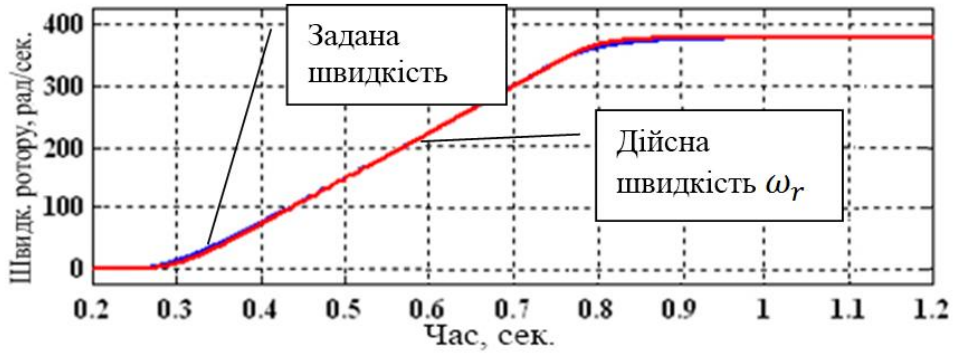
Для навчання КНМ и КНМЕ застосовано алгоритм зворотного розповсюдження помилки, призначений для мінімізації середньоквадратичної помилки між фактичним вихідним сигналом мережі і заданим значенням. Це рекурсивний алгоритм, який змінює вагові коефіцієнти нейронної мережі, починаючи з вихідних нейронів і опрацьовує мережу назад до прихованого і вхідного шару.

Для того, щоб збільшити швидкість навчання в режимі "онлайн" величин вагових коефіцієнтів, пропонується використовувати закон управління, який можна представити, як

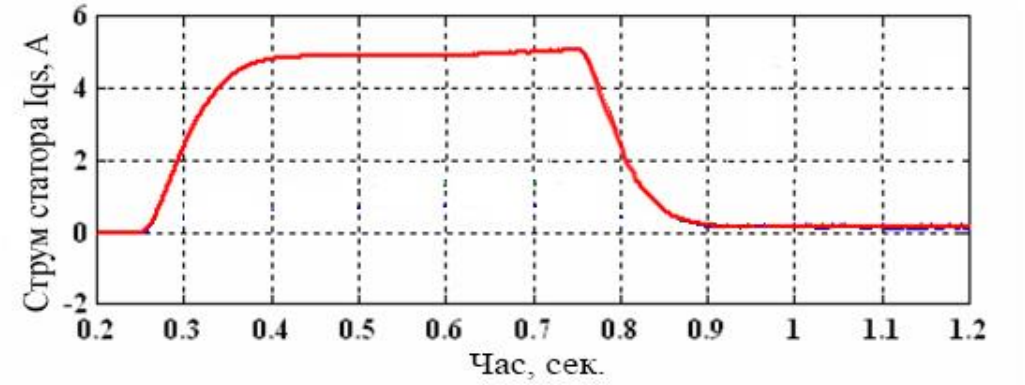
$$\left.\frac{\delta E_\omega}{\delta y_k}\right\}^{fb} = e_\omega^{fb} + k_\omega^{fb}\dot{\omega}_r; \tag{15}$$

$$\left.\frac{\delta E_\omega}{\delta y_k}\right\}^{mf} = e_\omega^{mf} + k_\omega^{mf}\dot{\omega}_r. \tag{16}$$

Результати моделювання інтелектуальної системи управління електроприводом з СДПМ представлені для перевірки якості роботи запропонованої схеми управління. Графіки перехідних процесів для заданій швидкості 377 рад/с і навантаженні 3,6 Н·м показано на рис. 2.



а



б

Рис. 2. Графіки зміни швидкостей (*а*) і струму статора (*б*) для електропривода з СДПМ

Висновки. Запропоновано інтелектуальну систему управління швидкістю, яка складається з нейромережевого контролера на додачу до контролера, що складається з нейронної мережі з еталонною моделлю у зворотному зв'язку. Контролер на базі нейронної мережі з еталонною моделлю забезпечує адаптивний сигнал зворотного зв'язку, який визначається як похибка між вихідними сигналами швидкості еталонної моделі та реального електродвигуна. Ці похибки використовуються для зміни вагових коефіцієнтів та коефіцієнтів опорних сигналів зміщень для забезпечення надійної взаємодії нейронних мереж КНМ та КНМЕ. Таким чином, реальну швидкість ротора можна контролювати для виконання точного відслідковування сигналів еталонної моделі в широкому діапазоні експлуатаційних умов. Результати моделювання показали, що запропонована інтелектуальна система управління, яка складається з КНМ і КНМЕ, забезпечує надійний контроль швидкості і стійкі характеристики регулювання при невизначеності параметрів СДПМ і зовнішнього навантаження.

Перелік посилань

1. Faa-Jeng, A Permanent-Magnet Synchronous Motor Servo Drive Using Self-Constructing Fuzzy Neural Network Controller [Text] / Faa-Jeng, Chih-Hong Lin // *IEEE Trans., Energy Conversion,* EC-19, No. 1, 2004, pp. 66-72.

2. Fayez F. El-Sousy Fuzzy Adaptive Neural-Network Model-Following Speed Control for PMSM Drives [Text] / F. Fayez El-Sousy, N. Maged Nashed // *WSEAS Transactions on Systems,* Issue 4, Vol. 4,April, 2005, pp. 265-261.

3. Fayez F. El-Sousy, Intelligent Model-Following Position Control for PMSM Servo Drives [Text] / F. Fayez El-Sousy, N. Maged Nashed // *6th WSEAS International Conference on Neural Networks*, Lisbon, Portugal, June 16-18, 2005, pp. 230-238.

4. Narenda K. Identification and control of dynamical systems using neural networks [Text] / K. Narenda, K. Parthasarathy // *IEEE Trans.*, *Neural Network*, NN-1, 1990, pp. 4-27.

5. Fukuda T. Theory and applications of neural networks for industrial control systems [Text] / T. Fukuda, T. Shibata // *IEEE Trans.*, *Ind. Electr*., IE-39,1992, pp. 472-491.

Науковий керівник доц. Тишевич Б.Л.

УДК 681.58

Петрусьов М.О.
Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Анотація. *Для багатьох сучасних частотно-регульованих приводів основною вимогою є висока плавність і точність регулювання швидкості за умови забезпечення необхідного запасу стійкості і перехідних процесів. Ефективне глибоке регулювання швидкості синхронного двигуна можливо тільки за допомогою джерела змінної частоти.*

Abstract. *For many modern frequency-controlled drives, the main requirement is high smoothness and accuracy of speed control, provided that the required margin of stability and transients. Effective deep speed control of a synchronous motor is possible only with the help of a variable frequency source.*

Ключові слова: *синхронний двигун, частотно-регульованій привод, регулювання швидкості, змінна частота.*

Keywords: *synchronous motor, frequency-regulated drive, speed control, variable frequency.*

Вступ. В даний час частотний електропривод на основі статичних перетворювачів частоти широко використовується завдяки своїй широкій функціональності, компактності та ефективності. Головним чином, завдання вибору керованого електроприводу зводиться до пошуку системи, яка забезпечує необхідний діапазон, швидкість і точність регулювання найбільш економічним способом. Основною метою є заміна нерегульованого електроприводу головного насоса на регульований частотою. Вказана мета визначила такі завдання:

- провести дослідження режимів роботи електроприводу, відцентрового насоса та експлуатаційної ділянки магістрального нафтопродуктопроводу;
- створити математичну модель автоматизованого електроприводу, вивчити та проаналізувати перехідні процеси частотно-керованого електроприводу в системі з синхронним електродвигуном (СД).

В якості об’єкта для можливої установки регульованого електроприводу був обраний головний насосний агрегат типу НМ 1250-400.

Мета та завдання. Провести економічний аналіз енергетичних показників частотно-регульованого синхронного двигуна.

Основні завдання наступні:

- Оцінка економічної ефективності від впровадження перетворювачі частоти
- Провести аналітичний розрахунок економічної ефективності.

Оцінка економічної ефективності від впровадження перетворювачі частоти.

Аналіз роботи магістральних нафтопроводів показує, що основною причиною, що призводить до нераціонального споживання електроенергії, є неправильний вибір режимів роботи насосів.

Цю проблему можна вирішити за допомогою тиристорного перетворювача частоти для управління швидкістю обертання двигуна типу СТД-1600/2, який має наступні переваги:

- значне підвищення ефективності насосного агрегату;
- внаслідок зменшення споживання енергії синхронними двигунами передається потужність зменшується, внаслідок чого зменшуються втрати електричної енергії в мережі насосних станцій;
- введення регульованого електроприводу дозволяє уникнути частого запуску синхронних двигунів, що призводить до поломки світлодіода;
- пуск СД не є простим технологічним процесом, а частий пуск синхронних двигунів

призводить до зниження надійності насосних агрегатів. Використання регульованого приводу забезпечить плавний запуск СД без перепадів струму та ударних хвиль тиску.

Метою розрахунку є визначення економічного ефекту від введення перетворювача частоти для управління швидкістю обертання синхронного приводу насосної насосної станції та забезпечення стабільної роботи силового двигуна насосного агрегату в умовах пуску - вгору під навантаженням.

Методологія розрахунку економічної ефективності.

Інвестиції - кошти (грошові кошти, цінні папери, інше майно, включаючи майнові права, що мають грошову оцінку), вкладені в об'єкти підприємницької та (або) іншої діяльності з метою отримання прибутку та (або) досягнення іншого корисного ефекту.

Взагалі під економічним ефектом розуміють величину економії витрат у рублях в результаті здійснення будь-якого заходу або їх поєднання. У традиційних техніко-економічних розрахунках найчастіше використовується величина річного економічного ефекту, тобто економія за рік. Економічна ефективність розуміється як відносна величина, отримана шляхом порівняння економічного ефекту з витратами, що спричинили цей ефект. Приплив грошових коштів дорівнює сумі надходження грошових коштів (призводить до вартісних показників) на відповідному кроці. Відбій дорівнює виплатам (витратам) на цьому кроці.

Термін експлуатації проекту (розрахунковий період) повинен охоплювати весь життєвий цикл розробки та реалізації проекту аж до його закінчення. Життя проекту включатиме такі основні етапи (етапи):

- інвестиції;
- оперативні;
- ліквідація.

Для оцінки економічної ефективності інвестиційних проектів можна використовувати такі критерії:

- чиста теперішня вартість (ЧТВ);
- індекс прибутковості (ІП);
- внутрішня норма прибутку (ВНП);
- термін окупності з урахуванням фактора часу (дисконтування).

Чиста теперішня вартість визначається як сума наступного:

$$\text{ЧТВ} = \sum_{t=0}^{\text{Т}} \frac{(P_t - З_t)}{(1+E)^t}, \quad (1)$$

де P_t – кошти витрат на результати реалізації проекту або впровадження нової технології за рік t, включаючи амортизаційні відрахування на оновлення;

$З_t$ – оцінка загальних витрат проекту за рік t, включаючи всі податкові платежі;;

Е – норма зниження (ставка дисконтування в зарубіжній практиці - RD);

Т – період проекту;

$(P_t - З_t)$ - потік реальних грошей для проекту в цілому або для його окремого учасника.

Розрахунок економічної ефективності проекту.

Розрахунковий період Т складається з часу введення об'єкта у виробництво, який приймається рівним одному році, і часу експлуатації об'єкта, який становить десять років. Розрахунок складається з наступних етапів:

- визначення переваг проекту;
- визначення капітальних вкладень;
- визначення експлуатаційних витрат;
- визначення загальних витрат;
- визначення доходу;

- визначення коефіцієнта дисконтування;
- визначення дисконтованого доходу;
- визначення накопиченого доходу;
- визначення чистої теперішньої вартості;
- визначення індексу прибутковості;
- визначення внутрішньої норми прибутку (рис. 1);
- визначення терміну окупності (рис. 1.2).

Розрахуємо економічний ефект для перетворювача частоти ПЧСВ.

Впровадження частотно-регульованого електроприводу для транспортування нафти може значно зменшити споживання електроенергії. Для визначення енергозбереження скористаємось даними звіту керівника ЛПДС «Одеса» за 2008 рік:

Час роботи агрегатів, г	7058
Електроенергія, споживана на перекачування, кВт·г	4160000
Приймали та відкачували нафтопродукти протягом рокув, т:	3220000

Електроенергію, необхідну для щорічної перекачки для даного насосного агрегату, можна знайти за формулою:

$$W_{\text{н}} = \frac{k_{\text{п}} \cdot \text{M} \cdot g \cdot H}{\eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \text{T}_{\text{и}}} = \frac{1{,}01 \cdot 3220000 \cdot 9{,}81 \cdot \cdot 400}{0{,}97 \cdot 0{,}969 \cdot 0{,}81 \cdot 7058} = 2374893 \text{ кВт год}, \quad (2)$$

де М – кількість перекачуваної нафти, тн;

Н – напор насоса, м;

$\text{T}_{\text{и}}$ – час роботи насоса, год;

$\eta_{\text{д}}$ – ККД ЕД;

$\eta_{\text{н}}$ – ККД насоса.;

$\eta_{\text{п}}$ – ККД перетворювача.

Облік втрат електроенергії при запуску електродвигуна, як і інших втрат, досягається введенням поправочного коефіцієнта $k_{\text{п}}$. Запуск ЕД проводиться на початку періоду експлуатації, а також після планових перевірок ЕД (2 рази на рік), таким чином, необхідна кількість пусків становить 3 рази на рік. Беручи до уваги також регульований частотою запуск ЕД, при якому втрати зменшуються в кілька разів, ми $k_{\text{п}}$=1,01.

Економія електроенергії складе:

$$\Delta W = W_{\text{ф}} - W_{\text{н}} = 4160000 - 2374893 = 1785107 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (2.1)$$

Переваги зменшення втрат електроенергії будуть:

$$\text{B}_{\Delta W} = \Delta W \cdot C_{\text{Э}} = 1785107 \cdot 1{,}96 = 3498809{,}72 \text{ грн}., \quad (2.2)$$

де $\text{C}_{\text{Э}}$ – вартість 1 кВт-год електроенергії.

Річний фонд підприємства на ліквідацію аварій в трубопровідній системі становить 1 млн. гривень, запровадження частотно-керованого електроприводу дозволяє вирівняти тиск у трубопроводі та зменшити аварійність на 20-40%, що дозволить заощадити щонайменше 200 тисяч гривень. Таким чином:

$$\text{B} = \text{B}_{\Delta W} + \text{B}_{\text{ЭК}} = 3498808{,}72 + 200000 = 3698809{,}7 \text{ грн}. \quad (2.3)$$

Визначення капітальних вкладень:

$$\text{КВ} = \text{Ц}_{\text{П}} + \text{Тр} + \text{ПН} + \text{М} = 5600400 \cdot (1 + 0{,}05 + 0{,}1 + 0{,}08) = 6720480 \text{ грн}. \quad (2.4)$$

де Цт. = 5600400 грн - ціна з ПДВ високовольтного інвертора;

Tr = 5% - транспортні витрати (від вартості обладнання);

PN = 10% - витрати на введення в експлуатацію (від вартості обладнання);

M = 8% - вартість монтажних робіт (від вартості обладнання).

Загальні витрати ($З_t$) проекту складаються з капітальних вкладень (КВ) та експлуатаційних витрат ($З_{ек}$):

$$З_t = КВ + З_{ЕК}. \quad (2.5)$$

До капітальних вкладень належать витрати на придбання обладнання, транспорт, монтаж, витрати на введення в експлуатацію, які визначаються у відсотках від вартості приладів та обладнання для автоматизації.

Щорічні експлуатаційні витрати, пов'язані з обслуговуванням та експлуатацією пристроїв, інструментів або систем автоматизації, розраховуються за такою формулою:

$$З_{ЕК} = З_{ВДМ.} + З_{РЕМ.} + З_{ОБЛ.} + З_{АМ.} + З_{ІВ.},$$

де $З_{вдп.}$ – вартість допоміжних матеріалів;

$З_{рем.}$ – витрати на ремонт;

$З_{обл.}$ – витрати на обслуговування обладнання, тобто на заробітну плату працівника (службовців), зайнятого на обслуговуванні;

$З_{ам.}$ – амортизаційні відрахування на обладнання, яке впроваджується;

$З_{ів.}$ – інші витрати.

Вартість допоміжних матеріалів становить 10% від вартості капітальних вкладень:

$$З_{ВДМ.} = 0{,}1 \cdot КВ = 0{,}1 \cdot 6720480 = 672048 \text{ грн}.. \quad (2.6)$$

Витрати на ремонт обладнання становлять 15% капітальних вкладень:

$$З_{РЕМ.} = 0{,}15 \cdot КВ = 0{,}15 \cdot 6720480 = 1008072 \text{ грн}. \quad (2.7)$$

Витрати на обслуговування та експлуатацію обладнання становлять 15% капітальних вкладень:

$$З_{ОБЛ.} = 0{,}15 \cdot КВ = 0{,}15 \cdot 6720480 = 1008072 \text{ грн}. \quad (2.8)$$

Витрати на амортизацію складають 10% КВ, оскільки термін експлуатації обладнання 10 років:

$$З_{АМ.} = Н_А \cdot КВ = 0{,}1 \cdot 6720480 = 672048 \text{ грн}., \quad (2.9)$$

де $Н_А$ – норма амортизації.

Сума інших витрат приймається рівною 5% від суми інших витрат:

$$З_{ІВ.} = 0{,}05 \cdot (З_{ВДМ.} + З_{РЕМ.} + З_{ОБЛ.} + З_{АМ.}) . \quad (2.10)$$

$$З_{ІВ.} = 0{,}05 \cdot (672048 + 1008072 + 1008072 + 672048) = 168012 \text{ грн}.$$

Також при розрахунку ми враховуємо залишкову вартість майна на початок та кінець року.

Результати розрахунку представлені в таблиці .

Визначення ВНП та періоду окупності графічно.

Внутрішня норма прибутковості визначається відповідно до рисунка 6.1, який дорівнює ставці дисконтування, при якій ЧТВ дорівнює нулю.



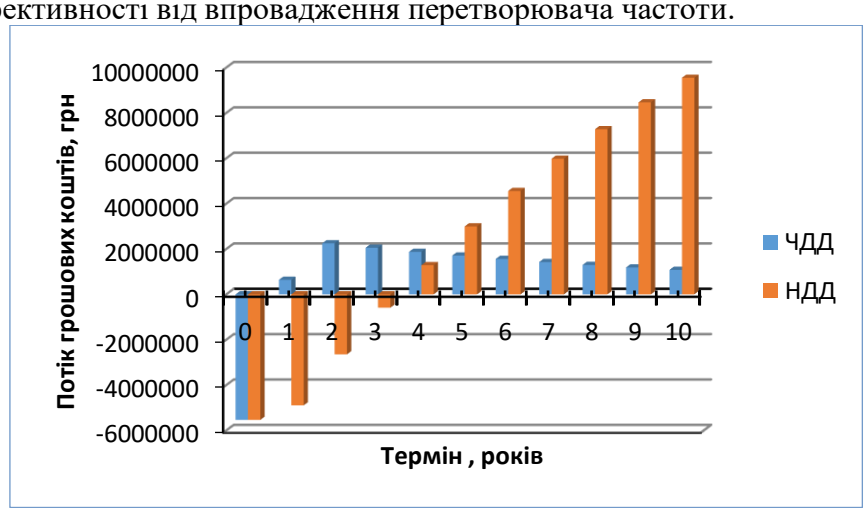
Малюнок 3 - Визначення внутрішньої норми прибутковості

З цього графіка ми бачимо значення ВНП = 36%, що більше, ніж ставка рефінансування (24%) і більше, ніж ставка дисконтування Е = 10% для нафтової та газової промисловості, і в свою чергу ми знаємо, щоКритерієм абсолютної ефективності інвестицій у будівництво об'єкта, що проектується, є умова, що ВНП перевищує величину дисконтної ставки.

$$E_{\text{вн}} > E$$

Далі визначаємо термін окупності згідно з малюнком 6.2

Точка окупності зі знижкою - це найраніший момент часу в розрахунковому періоді, після чого поточна ЧТВ стає і залишається негативною в майбутньому, і, дивлячись на наш графік, ми бачимо, що термін окупності становить 3,3 року. І це ще один позитивний показник економічної ефективності від впровадження перетворювача частоти.



Малюнок 3.1 – Потік грошових коштів

Висновки. В цьому розділі проведені економічне обґрунтування і, безпосередньо, сам розрахунок, згідно стандартизованої методикою, розробленою для умов сучасного українського ринку. Найбільш точно прорахованою частиною розрахунку повинна бути частина, пов'язана з безпосереднім технологічним процесом. В результаті була досягнута поставлена мета, а саме обґрунтування і розрахунок економічної ефективності впровадження частотного перетворювача.

Науковий керівник доц. Данілін О.В.

УДК 621.867.21

Місюк Б.В.
кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОДВИГУНОВИХ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МАГІСТРАЛЬНИХ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

Анотація. *Особливою категорією промислового застосування електроприводу є гірничодобувні машини вугільних шахт. Серед технологічних процесів в гірничодобувній промисловості процес транспортування вугілля на поверхню за допомогою магістральних стрічкових конвеєрів являється одним з найважливіших. Такий конвеєр працює в умовах мінливої нагрузки. Основні резерви економії і раціонального використання електроенергії досягаються як за рахунок зменшення втрат в електроприводі, так і за рахунок застосування автоматизованого електроприводу з перетворювачем частоти. Це підтверджує, що завдання дослідження характеристик і режимів роботи, а також впровадження енергозберігаючого електроприводу для стрічкового конвеєра є актуальними. Стаття пропонує методику підвищення енергоефективності багатодвигунових частотно-регульованих електроприводів магістральних стрічкових конвеєрів, засновану на зміні швидкості конвеєра і управлінні магнітним станом двигуна. Дана оцінка економічної та енергетичної ефективності реалізації даної методики.*

Abstract. *Mining machines of coal mines are a special category of industrial application of the electric drive. Among technological processes in the mining industry, coal transportation to the surface with the help of main belt conveyors is one of the most important processes. Such a conveyor operates under conditions of varying load. The basic reserves of economy and rational use of electric power are achieved both due to reduction of losses in the electric drive, and due to the use of an automated electric drive with a frequency converter. This confirms that the tasks of researching the characteristics and operating modes, as well as the introduction of an energy-saving electric drive for the belt conveyor are relevant. The article suggests a technique for increasing the energy efficiency of multi-motor frequency-controlled electric drives of main belt conveyors, based on changing the speed of the conveyor and controlling the magnetic state of the motor. The estimation of economic and energy efficiency of this method is given.*

Ключові слова: *частотно-регульований електропривод, перетворювач частоти, енергоефективність, магістральний стрічковий конвеєр.*

Keywords: *frequency-controlled electric drive, frequency converter, energy efficiency, main belt conveyor.*

Вступ. В даний час питання ефективного використання енергоресурсів виходять на перший план. Одним з найважливіших серед технологічних процесів в гірничодобувній промисловості є процес транспортування вугілля на поверхню за допомогою магістральних стрічкових конвеєрів. Оптимального використання електроенергії в електроприводі конвеєра можна досягти шляхом застосування електроприводу з перетворювачем частоти.

У фундаментальних дослідженнях по частотно-регульованим перетворювачам [1-4] авторами розроблені способи управління частотно-регульованим електроприводом і методики оцінки енергетичної ефективності електропривода для оптимізації споживання енергії, проте певна методика для стрічкових конвеєрів відсутня.

Є два шляхи підвищення енергоефективності вони є очевидними: регулювання швидкості і зміна стану двигуна. Так, в роботі [5] запропоновано наукове обґрунтування можливості підвищення енергоефективності технологічних процесів засобами електроприводу. Про це ж йдеться в роботах [6, 7, 8, 9]. При недогрузці конвеєра знижується його продуктивність, і при постійній швидкості конвеєра зростає відносна частка потужності

на подолання моменту холостого ходу. Тому для підвищення ефективності роботи необхідно працювати зі змінною швидкістю. Швидкість повинна забезпечувати колишню продуктивність при сталості моменту навантаження. На рис. 1 показані залежності питомої потужності $P^* = \frac{P}{P_{ном}}$ на валі двигуна від окремої продуктивності $Q^* = \frac{Q}{Q_{ном}}$ конвеєра для постійної і змінної швидкості стрічки.

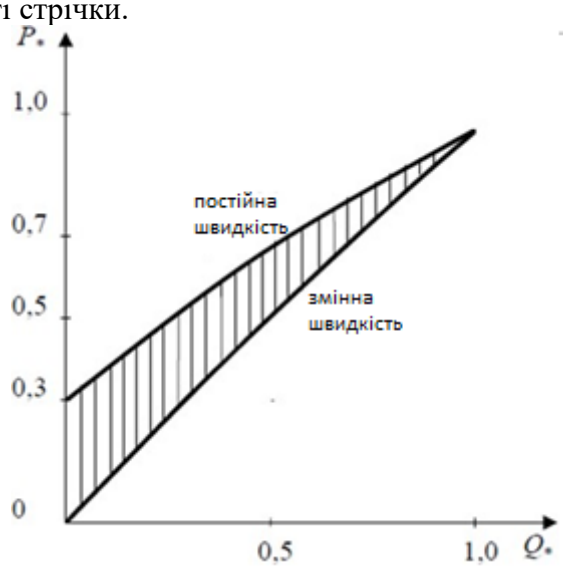


Рис. 1. Залежності питомої потужності P * на валу двигуна від питомої продуктивності Q * конвеєра, mX = 0,3Мном

У публікації [10] підтверджується, що в Польщі на конвеєрах шахти KWK ANNA економія електроенергії при регулюванні склала 39% в розрахунку на одну тонну. Авторами [11] запевняється, що конвеєри шахт Республіки Білорусь споживають на 1 км довжини близько 1 млн. КВт · год на рік. При цьому можна досягти споживання менше 0,3 млн. КВт · год на рік. Щоб забезпечити значну економію енергії необхідно регулювати швидкість конвеєрів.

Оптимізація електропривода стрічкового конвеєра по швидкості

Джерело [12] підтверджує, що при автоматичному управлінні завантаженням стрічки конвеєрів за принципом підтримки на заданому рівні погонної загрузки забезпечується економія електроенергії, яка дорівнює:

$$\Delta Э = \frac{1-k_и}{k_и k_т} 100\%$$

де $k_и = \frac{q_{ср}}{q_{ном}}; k = \frac{q_{ном}}{m}$ - коефіцієнт використання конвеєра і тари, $q_{ср}, q_{ном}$ середня і номінальна погонне завантаження стрічки конвеєра, qл - погонний вага стрічки (вага 1 м стрічки).

Автоматичне управління завантаженням стрічки конвеєра може бути реалізовано застосуванням різних систем автоматичного регулювання. Стабілізуюча система автоматичного регулювання погонного завантаження (рис. 2) підтримує останню на заданому рівні за законом $q = q_{зад} = const$.

У цієї системи є кілька недоліків, таких як велика частота зміни швидкості руху стрічки і підвищений рівень динамічного навантаження, що призводить до зниження терміну служби стрічки. Інші недоліки - наявність запізнення в контурі регулювання і складність забезпечення необхідних показників якості регулювання.

Деяка частина названих недоліків усунена в двоканальній трьохпозиційній системі автоматичного регулювання погонного завантаження (рис. 3) [12]. В системі використовується грузоприйомний пристрій з регульованим по продуктивності живильником і конвеєр з регульованим електроприводом. В якості керуючого пристрою використовується

трьохпозиційний регулятор з двома каналами управління. Вони формують ступіньчату зміна швидкості стрічки ± Δv і продуктивності живильника ± ΔQ в функції рівня матеріалу в бункері h.

При зміні вхідного вантажопотоку змінюється рівень матеріалу в вантажоприймальному пристрої. При цьому система регулює швидкість стрічки і продуктивність живильника згідно прикладу: $\Delta v = v0 \pm \Delta v$, $Q = Q0 \pm \Delta Q$. Така робота системи регулювання підтримує постійну погонну роботу завантаження стрічки конвеєра.

Таким чином, можна зробити висновок: якщо є можливість регулювати швидкість стрічки, то це потрібно робити обов'язково.

Таблиця. Споживання енергії конвеєрами в залежності від типу електроприводу і навантаження

Тип електропривода конвеєра	Споживання енергії при загрузці конвеєра, отн. ед.	
	низький	високий
Нерегульований асинхронний	1,0	1,0
Частотно-регульований асинхронный	0,62	0,74
Двухшвидкісний асинхронний з співвідношенням кутових швидкостей:		
1:2	0,79	0,92
1:3	0,80	0,95

Оптимізація електропривода стрічкового конвеєра по втратах

Вищезазначені системи регулювання розглядають енергоефективність електроприводів з позиції впливу на технологічний процес. Однак здатність впливати на технологічний процес не завжди доступна. Для електроприводів одним з важливих критеріїв якості з енергетичних міркувань є втрати потужності. Їх зниження також є джерелом підвищення енергоефективності.

Розглянемо задачу оптимізації частотно-регульованого електроприводу по втратах потужності в асинхронному двигуні (АД). При виборі метода рішення задачі оптимізації корисно знати аналітичні властивості екстремальних характеристик двигуна, які показують значення параметрів в кожній фіксованій точці зазначеної області функціонування електропривода при зміні абсолютного ковзання β асинхронного двигуна.

У книзі [13] отримані результати розрахунку екстремальних характеристик асинхронного двигуна, представлені на рис. 4. Графіки підтверджують принципову можливість забезпечення функціонування двигуна із заданою швидкістю і заданим навантаженням при різних значеннях абсолютного ковзання β.

Варіювання ковзання при заданих технологічних параметрах дозволяє виявити умови мінімізації втрат двигуна. З графіків на рис. 4 видно, що при номінальному навантаженні мінімум втрат асинхронного двигуна досягається при значеннях абсолютного ковзання значно менше номінального (βопт <βном). При цьому головний магнітний потік (головне потокозчеплення) більше номінального (ψm.опт> ψm.ном). Для цього необхідно деяке підвищення живильної напруги в порівнянні з номінальним (u1.опт> u1.ном). В області номінального ковзання двигун є специфічним елементом електричного ланцюга, так як при збільшенні напруги статора u1 струм статора i1 зменшується.

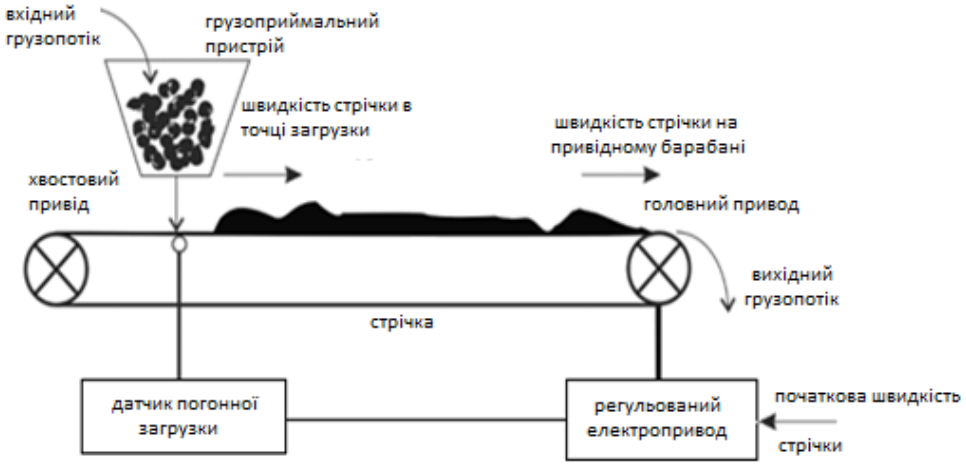


Рис. 2. Структурна схема стабілізуючою системи автоматичного регулювання погонной завантаження стрічки конвеєра

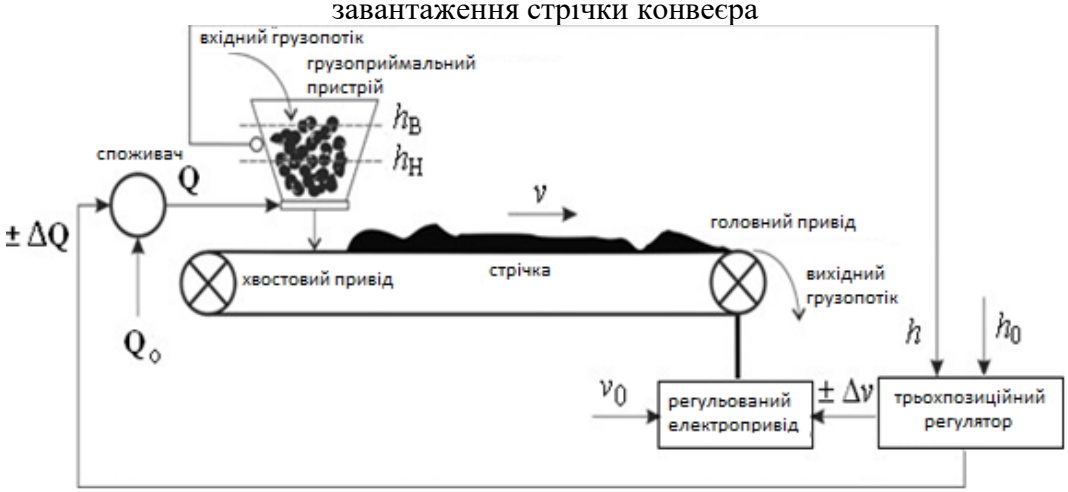


Рис. 3. Структурна схема двоканальної трьохпозиційної системи автоматичного регулювання погонной завантаження стрічки конвеєра

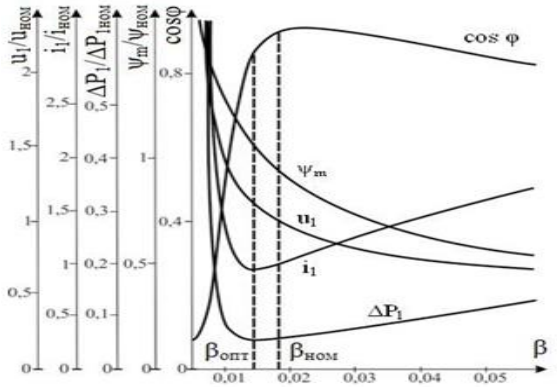


Рис. 4. Характеристики асинхронного двигуна як об'єкта оптимального управління

Чим більше значення моменту і нижче швидкість двигуна, тим критичніше змінюються втрати в функції від абсолютного вираження. Зміна моменту значно впливає на величину оптимального абсолютного ковзання. Таким чином, неприпустимо нехтувати залежністю оптимального абсолютного ковзання від моменту двигуна. При оптимальному управлінні магнітний потік змінюється в широких межах і залежить як від моменту, так і від швидкості. На магнітний потік в більшій мірі впливає момент навантаження. Зі збільшенням моменту вплив швидкості на потік зменшується. Для забезпечення режиму мінімальних втрат потрібно

форсірування магнітного потоку щодо його номінального значення, що досягається за рахунок збільшення напруги обмотки статора. На рис. 5 показані характеристики напруги статора асинхронного двигуна при оптимальному управлінні по мінімуму втрат [14]. Ці характеристики показують, що для забезпечення оптимального режиму до обмотки статора повинна бути додана більш висока напруга.

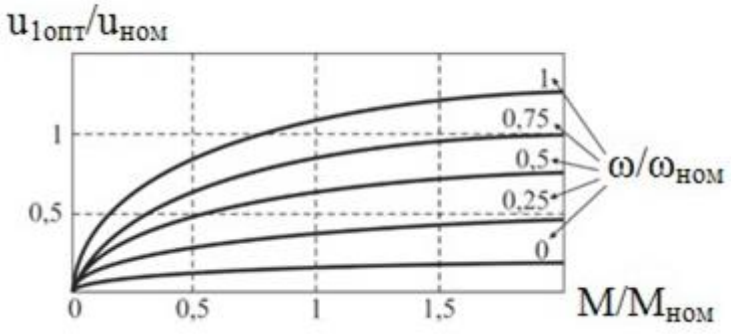


Рис. 5. Напруга статора асинхронного двигуна при оптимальному управлінні по мінімуму втрат

Висновки

Наведений вище аналіз показує, що ефективність створюється в результаті не тільки простої установки перетворювача частоти для здійснення регулювання частоти, а й за рахунок використання правильно обраної та сконструйованої системи управління.

Дослідження показали, що для стрічкового конвеєра фактична економія енергії при впровадженні перетворювачів частоти склала від 1,5 до 10%. При оптимізації магнітного потоку економія може зрости до 40%.

На підставі вищенаведеного аналізу різних способів оптимізації втрат енергії сформована методика вибору оптимального режиму управління для електроприводу магістраль стрічкового конвеєра. Ця методика може бути корисна в інженерній практиці персоналу шахт, де експлуатуються такі конвеєри, а також в проектних і дослідницьких компаніях при розробці нових або модернізації існуючих стрічкових конвеєрів.

Перелік посилань

1. Bose, B.K. Power Electronics and AC Drives, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1986.
2. Kostenko, M.P. and Piotrovsky, L.M. Electrical Machines, Vol. I, Mir, Moscow, 1974.
3. Leonard, W. Control of Electrical Drives, Springer-Verlag, 1985.
4. Ильинский, Н.Ф. Энергосбережение в электроприводе / Н.Ф. Ильинский, Ю.В. Рожанковский, А.О. Горнов. – Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: практ. пособие в 5 кн.
– Кн. 2. – М.: Высш. шк., 1989. – 127 с.
5. Beshta O.S. Electric drives adjustment for improvement of energy efficiency of technological processes, Scientific Bulletin NSU, 2012, Vol. 4, pp. 98-107. The original source of material: http://nv.nmu.org.ua/in- dex.php/ru/component/jdownloads/finish/34-04/530-2012-4-beshta/0.
6. Краснов И.Ю. Методы и средства энергосбережения на промышленных предприятиях: учебное по- собие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 186 с.
7. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средства энергосбережения / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов. – Екатеринбург: Свердловгосэнергонадзор, 2002.
– 28 с.
8. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод как средство энергосбережения / И.А. Авер- бах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов // Энергетика

региона. – Екатеринбург, 2002. – №2(45).
– С. 34–35.

9. Бабокин Г.И. Энергосбережение в электроприводе конвейера // Изв. вузов. Горный журнал. – 2002.
– №1. – С. 122–125.

10. Zaklika M., Kollek M. and Tytko C. Belt conveyors with adjustable speed, BSS BARTEC, plant
«Menden», Germany, CARBO-BARTEC, Poland, mine «ANNA», Poland, 1996. The original source of material: http://www.bartec-sst.ru/images/work/Media/for-conveyance.pdf.

11. Кучерявенко, В.Ф. Регулируемый электропривод конвейеров – основа безопасности и эффектив- ности транспортировки грузов / В.Ф. Кучерявенко, А.А. Семченко, ОАО «Белгорхимпром». – Минск, Рес- публика Беларусь: первоисточник материала: http://tbo.technoshans.com/files/tbo-2007-1-38.pdf.

12. Медведев, А.Е. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие / А.Е. Медведев, А.В. Чупин. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2009. – 325 с.

13. Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупровод- никовыми преобразователями частоты. – Екатеринбург УРО РАН, 2000. – 654 с.

14. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Академия, 2004. – 256 с.

Науковий керівник доц. Пермяков В.М.

УДК62-505

Грищенко Р.В.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ДО СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

Анотація. *Стаття присвячена розробці систем керування, що враховує в собі аварійний режим роботи. Для досягнення даної мети «пожежогасіння» представлена у вигляді однозначної залежності з певними параметрами, що змінюються залежно від вихідних сигналів. Під час аналізу існуючих систем керування вентиляційних установок визначено, що до них задаються високі вимоги до точності спрацювання. В цей же час витрати на модернізацію механізму керування зводяться до мінімуму, що робить можливим застосування високоточних пристроїв.*

Ключові слова: *Вентиляційна установка, керування, перетворювач частоти, пожежний режим.*

Abstract.. *This article is devoted to the development of control systems that take into account the emergency mode. To achieve this goal, «fire extinguishing» is presented in the form of an unambiguous dependence with certain parameters that vary depending on the output signals. During the analysis of the existing control systems of ventilation systems it was determined that they are subject to high requirements for the accuracy of operation. At the same time, the cost of upgrading the control mechanism is minimized, which makes it possible to use high-precision devices.*

Keywords: *ventilation installation, control, frequency converter, fire mode*

Вступ.

В сучасних умовах роботи в умовах розвитку високих технологій зберігається необхідність в забезпеченні комфортних умов життя, як для виробництва, так і для житла, суспільних місць. Забезпечення мікроклімату в приміщенні, зниження шкідливості виробництва, підвищення рівня захисту, і відповідно продуктивності роботи - є основна ціль існуючих технологій та розробок в даній сфері. Однією з них являється – вентиляція та кондиціонування. Фізіологічна необхідність в притоці свіжого повітря, відповідної температури, безпеки при задимленні, це дозволяє зосередитись персоналу виробництва безпосередньо на своїй роботі, підвищуючи їх ефективність.

В рамках даної тенденції з’явилась необхідність в автоматизації систем промислової вентиляції, що дозволяє максимально знизити вплив шкідливих факторів на персонал і робочий процес. Контроль автоматики за роботою системи вентиляції забезпечує чіткий контроль, як за мікрокліматом, так і за безпеку виробництва. Увімкнена в загальну систему пожежна автоматика додатково забезпечуючи пожежозахист приміщення.

Мета роботи.

Розробка системи автоматичного управління та регулювання, здатної забезпечити надійність та якісне функціонування системи вентиляційного пристрою та димовидалення в аварійних режимах

.**Методи дослідження –** цифрові методи вирішення алгебраїчних та диференційних рівнянь при математичному моделюванні відпрацювання аварійних режимів з використанням програмного забезпечення: MATLAB.

Об’єктом дослідження є одноповерхова адміністративна будівля, де використовується припливно-витяжна система вентиляції з якісним способом керування температурою. На поверсі розташована вентиляційна камера, де розташоване все необхідне обладнання.

Установка передбачена з рекуперацією тепла, підігрівом та переохолодженням повітря, переміщення повітря здійснюється за рахунок вентилятора, що живиться від напівпровідникового перетворювача частоти з функцією «пожежний режим». Забір та викид повітря організовано з фасаду споруд.

Дана система управління технологічним процесом складається з таких елементів:

- пульт управління холодильною машиною;
- датчики температури для контролю температури розчину етиленгліколю;
- датчик тиску рідини для контролю тиску в трубопроводі етиленгліколю;
- реле протоку рідини для контролю наявності протоку рідини в трубопроводах;
- реле рівня для контролю рівня розчину етиленгліколю в баці;
- котушка соленоїдного клапану для підживлення контуру;
- лампи на щиті для індикації статусів циркуляційних насосів та роботи (аварії) системи;
- перемикачі 3-х позиційні на щиті для перемикання режимів ручний/вимкнено/автоматичний циркуляційних насосів.

Розглянемо схему автоматизації системи керування вентиляції, представленої на рис.1.

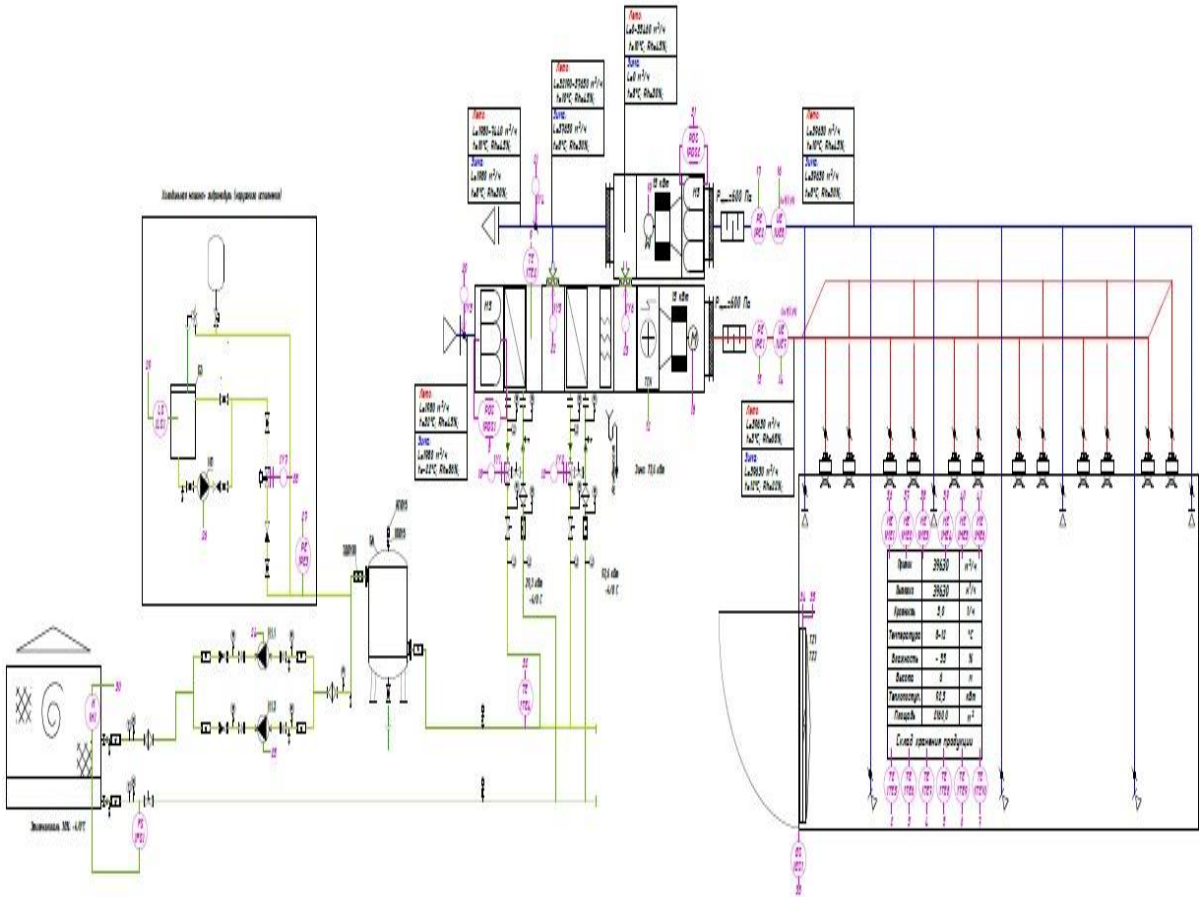


Рисунок.1 – Схема автоматизації систем керування

Холодильна машина працює постійно в теплий період. Вона обслуговує охолоджувачі вентиляційної установки. Разом з холодильною машиною працюють циркуляційні насоси контуру – Н1.1 та Н1.2. Холодильна машина не вмикається, якщо у внутрішньому контурі машини відсутній протоки рідини [1-3].

Підтримка тиску в трубопроводі етиленгліколю відбувається за показниками датчику тиску, встановленому на трубопроводі перед циркуляційними насосами. При зниженні тиску в трубопроводі нижче номінального значення здійснюється включення підживлювального насоса НП і відкриття електромагнітного клапана, а при підвищенні тиску вище - відключення

насоса і закриття електромагнітного клапана. Захист від сухого ходу насоса забезпечуємо датчиком рівня, встановленого в баку розчину етиленгліколю.

Функція «Пожежний режим» в частотному перетворювачі виконується в таких умовах як: підтримка повітря на сходах, димовидалення та ін. При виявленні нестандартного режиму роботи перетворювача частоти (перевантаження по струму, або напруги), частота приводу починає зменшуватись, і процес регулювання починає коректуватися.

В момент спрацювання даної функції, перетворювач частоти продовжує свою роботу, не дивлячись на можливість пошкоджень. Так як пожежний режим може автоматично зупинитися через 10 секунд (якщо це можливо).

Висновок: Система автоматизації вентиляції та кондиціонування повітря забезпечує економію електроенергії так само за рахунок її періодичного режиму роботи. Зниження енергоспоживання системами вентиляції і кондиціонування повітря забезпечується зміною витрати повітря необхідних параметрів, застосуванням спеціалізованих розподільників повітря, використанням досконалих методів регулювання роботи вентилятора, що є частиною складної системи автоматизації. Аналогічно, економію електроенергії дає так само періодичний режим роботи системи холодопостачання. Крім того істотною перевагою цієї системи є те що, вона забезпечує ефективне димовидалення в небезпечний період для життя людини.

Перелік посилань

1. Е.В. Стефанов «Вентиляція і кондиціонування повітря», 2005р.-165с.
2. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Под ред. И.Г. Староверова. В 3 ч. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование.– 2е изд., перераб. – М.: Стройиздат, 1979. -407 с.
3. Р.В. Щекин, С.М.. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Р.В. Щекин, С.М. Кореневский, Ф.И. Скороходько.. В 2 ч. – 4-е изд..

Науковий керівник асистент Торопова Л.В.

УДК 621.867.21

Лановий О.І.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

АНАЛІЗ МЕТОДУ ВЕКТОРНО-СТРУМОВОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Анотація. *Розглянутий один із найкращих видів оптимізації електричної машини які забезпечують можливість формування режиму роботи електричної машини за критерієм безумовного мінімуму енергетичних втрат з автоматичним переходом до умовного мінімуму втрат при заданих обмеженнях струму і напруги.*

Ключові слова: *тяговий привод, електрична машина, двигуна постійного струму.*

Abstract. *One of the best types of electric machine optimization is considered, which provides the possibility of forming the mode of operation of an electric machine by the criterion of unconditional minimum energy losses with automatic transition to conditional minimum losses at given current and voltage limits.*

Keywords: *traction drive, electric machine, DC motor.*

Мета та завдання. Провести аналіз методу вектурно-струмової оптимзації

Основні завдання наступні

-розписати метод математично

-побудувати графік залежностей

Вступ. Диференціальні рівняння машини постійного струму з незалежним збудженням (ДНЗ) має вигляд

$$\begin{cases} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} = -\frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} I_{\text{я}} - \omega \frac{L_m}{I_{\text{я}}} L_{\text{в}} + \frac{U_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} \\ \frac{dI_{\text{в}}}{dt} = -\frac{R_{\text{в}}}{L_{\text{в}}} I_{\text{в}} + \frac{U_{\text{в}}}{L_{\text{в}}} \end{cases} \quad (1.1)$$

де $I_{\text{я}}$, $U_{\text{я}}$ и $I_{\text{в}}$, $U_{\text{в}}$ - відповідно струм і напруга живлення якірної обмотки і обмотки збудження;
$R_{\text{я}}$, $R_{\text{в}}$ – активні опори якірного ланцюга і ланцюга обмотки збудження відповідно;
$L_{\text{я}}$, $L_{\text{в}}$ – індуктивності розсіювання якірного ланцюга і обмотки збудження відповідно;
L_m - взаємна індуктивність обмотки якоря і обмотки збудження.

Електромагнітний момент, що розвивається двигуном, дорівнює

$$M = pL_m I_{\text{я}} I_{\text{в}} \quad (1.2)$$

Як і раніше представимо струм збудження у вигляді

$$I_{\text{в}} = K \cdot I_{\text{я}} \quad (1.3)$$

З рівнянь (1.1), (1.2) і (1.3) можна отримати, що в статичних режимах роботи електромагнітний момент M, втрати P в міді машини і потужність W, що розвивається машиною, рівні

$$M = pL_m \frac{I_в^2}{K} = pL_m K \cdot I_я^2 \quad (1.4)$$

$$P = \frac{M}{pL_m}\left(\frac{R_я}{K} + K \cdot R_в\right) \quad (1.5)$$

$$W = \frac{U_я^2}{\omega L_m K + 2R_я + \frac{R_я^2}{\omega L_m K}} \quad (1.6)$$

Звідси, відповідно до МВСО, отримуємо (як і у випадку з асинхронної машиною) значення коефіцієнта К, при якому момент
максимальний (1.7)

$$K_{опт} = \pm\sqrt{\frac{R_я}{R_в}}$$

$$K_{опт} = \pm\sqrt{\frac{R_я}{R_в}}$$

$$K_I = \pm\frac{I_{в\,max}}{I_{я\,max}} \quad (1.8)$$

$$K_U = \pm\frac{R_я}{\omega L_m} \quad (1.9)$$

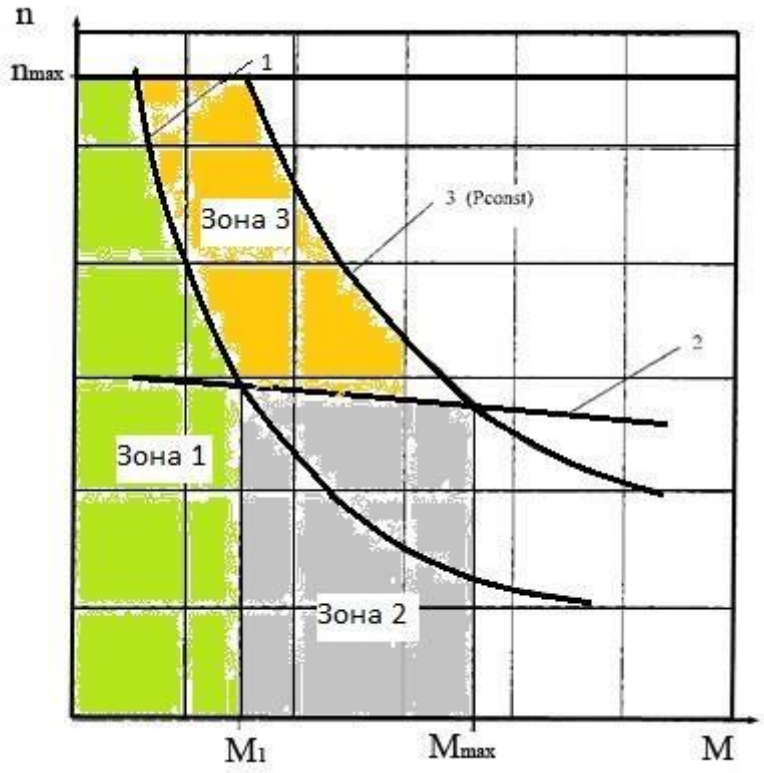
Знак «+» в виразах (1.7), (1.8), (1.9) відповідає руховому

режиму роботи, а «-» генераторному.

Як і раніше, для розрахунку меж механічної характеристики приводу в функції втрат в міді, що визначаються значеннями коефіцієнта зв'язку К, дозволимо рівняння (1.6) щодо частоти обертання:

$$n = -\frac{R_я}{pL_m K} \pm \frac{U_я}{\sqrt{pL_m KM}} \quad (1.10)$$

Характерний вид механічних характеристик, для різних К, наведені на малюнку 1.
З (1.4) визначається величина моменту M_1 при К = $К_{опт}$ и $I_В$ = $I_{Вmax}$. Лінія 2 відповідає режиму роботи машини с $U_я$ = $U_{яmax}$ и $I_в$ =$I_{вmax}$ («Природна» механічна характеристика). Значення коефіцієнта зв'язку
К = K_{UI} , для цього режиму, визначаються також з рівняння (1.4) (тому що в цьому режимі можливі два варіанти управління: при обмеженні струму і напруги, то коефіцієнти для них будемо позначати $K^{В}_{UI}$ и $K^{Я}_{UI}$ для обмеження струму збудження і струму якоря відповідно). при значенні
M = M_{max} величина $K^{В}_{UI}$ досягає величини, що відповідає точці перетину кордонів 2 і 3. При цьому струми обмоток статора і ротора, мають максимальні значення. Гіпербола 3 відповідає роботі машини при $U_{я\,max}$ и $I_я$ = $I_{я\,max}$, т.е. при К = $K^{Я}_{UI}$.



Малюнок 1 - Розташування зон механічних характеристик двигуна постійного струму

Значення $К^{Я}_{UI}$ также можно визначити з (1.4) при $I_я = I_{я\,max}$. Використовуючи (1.4), (1.9), (1.10), неважко переконатися, що при

$$I_{я\,max} = \frac{U_я}{2R_я} \qquad (1.11)$$

потужності, що розвиваються машиною при К = $К_U$ и К = $К^{Я}_{UI}$, рівні.
Однак, як правило,

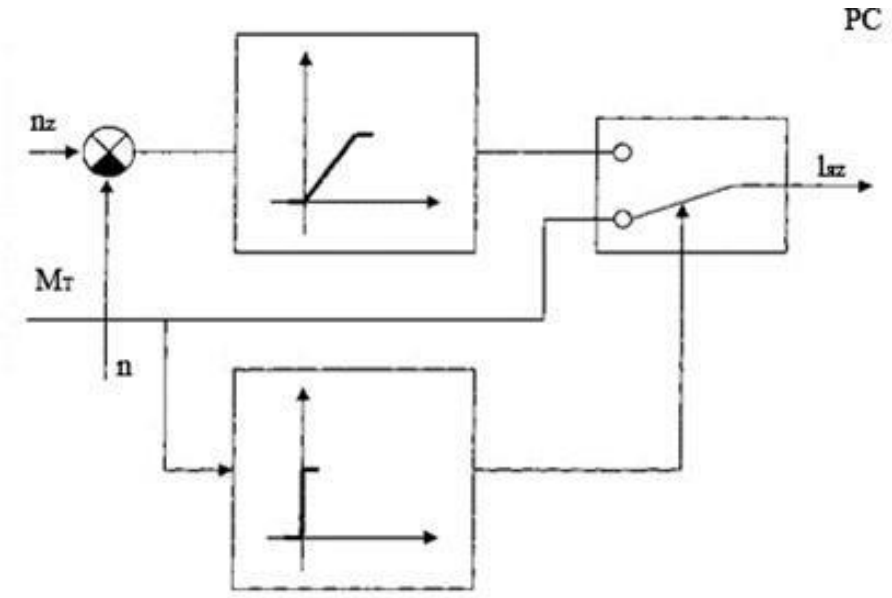
$$I_{я\,max} < \frac{U_я}{2R_я}$$

тому регулювання при максимальній потужності з обмеженням струму якоря відповідає управління з К = $К^{Я}_{UI}$.

З викладеного вище, слід, що безліч механічних характеристик розділяється на три зони за величиною коефіцієнта К:

перша зона обмежена координатним осями частоти обертання n моменту М, максимальною частотою обертання n_{max} , кривої 1 і моментом М1. У цій зоні можливе досягнення мінімального значення електричних втрат. Для цього має виконуватися умова К = $К_{опт}$ =const; друга зона обмежується прямий 2 і лініями моментів $М_1$, $М_{max}$. Тут

при струмі збудження $I_В = I_{В\,max}$ збільшення моменту двигуна повинно відповідати зміна коефіцієнта зв'язку від К = $К_{опт}$ до К = $К_I$; третя зона має межі: крива 1, максимальна частота обертання n_{max} , пряма 2 і гіпербола 3. Для цієї області збільшення моменту навантаження повинно відповідати зміна *К* от К = $К_{опт}$ до К = $К^{Я}_{UI}$ в функції обмеження $U_я$ на рівні $U_{яmax}$. Таким чином, ми бачимо, що і для управління машиною постійного струму можна використовувати структури, зображені на малюнку 2



Малюнок 2 - Структурна схема формування заданих струмів в електроприводі електромобіля з двигуном постійного струму незалежного збудження

Наведені вище висловлювання враховують тільки втрати міді, але сумарні втрати потужності ΔP_Σ в ДНВ складаються з втрат в міді $\Delta P_М$, втрат в стали $\Delta P_С$, додаткових втрат $\Delta P_{доб}$, втрат на колекторе $\Delta P_{код}$ і механічних втрат $\Delta P_{мех}$

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_М + \Delta P_С + \Delta P_{доб} + \Delta P_{код} + \Delta P_{мех} \quad (1.12)$$

Складові сумарних втрат розраховуються за відомими формулами [8], з урахуванням яких (1.12), нехтуючи величинами $\Delta P_{доб}$, $\Delta P_{код}$ і $\Delta P_{мех}$ в діапазоні малих швидкостей ($0 < \omega < \omega_{гр}$), можна представити у вигляді

$$\Delta P_\Sigma = R_я I_я^2 + R_в I_в^2 + R_с \omega^\alpha \Psi^2 \quad (1.13)$$

де $R_я$, $R_В$ – опору обмотки збудження і ланцюги якоря; $R_с$ – питомі магнітні втрати; = 1,2...1,5 - показник ступеня.

З (1.13) випливає, що втрати визначаються керуючими сигналами по току $I_я$, струму збудження $I_в$, магнітному потоку Ψ.

З виразів для електромагнітного моменту М і ЕРС Е двигуна незалежного збудження

$$M = k\Psi I_я = pL_m I_я I_в \quad (1.14)$$

$$E = k\Psi\omega = pL_m \omega I_в \quad (1.15)$$

і рівнянь електричної рівноваги якірного ланцюга маємо:

$$I_я = \frac{1}{R_я} U - \frac{k\omega}{R} \Psi \quad (1.16)$$

$$U = \frac{R_я}{k} \cdot \frac{M}{\Psi} + k\Psi\omega \quad (1.17)$$

Зі співвідношень (1.16, 1.17) струми $I_я$ и $I_в$ підставимо в формулу (1.13) і отримуємо

$$\Delta P_\Sigma = \frac{R_я}{k^2} \cdot \frac{M}{\Psi^2} + \frac{k^2 R_в + k_c (pL_m)^2 \omega^2}{(pL_m)^2} \Psi^2 \quad (1.18)$$

Таким чином, отримана залежність сумарних втрат від магнітного потоку Ψ (Керуючий вплив) і двох параметрів, що визначають режим роботи -моментів М і кутової частоти

обертання ω.

Прирівнюючи похідну виразу (1.18) по потоку нулю, визначимо вираз для магнітного потоку $\Psi_{опт}$, при якому втрати ΔP_{Σ} будуть мінімальні:

$$\Phi_{опт} = \sqrt{\frac{pL_m M}{k}} \sqrt{\frac{R_я}{k^2 R_в + k_c (pL_m)^2 \omega^{\alpha}}} \quad (1.19)$$

Визначивши оптимальне значення $\Psi_{опт}$ магнітного потоку, з виразу (1.14) можна визначити струми в ланцюзі збудження $I_в$ і якоря $I_я$.

Висновки:

Таким чином, запропонований метод векторно-струмової оптимізації, дозволяє синтезувати структури блоків ФСР і ФЗТ, які забезпечують можливість формування режиму роботи електричної машини за критерієм безумовного мінімуму енергетичних втрат з автоматичним переходом до умовного мінімуму втрат при заданих обмеженнях струму і напруги. Показано, що синтезовані структури є універсальними для систем тягового приводу, так як задовольняють різним типам електричних машин.

Слід зазначити, що для застосування запропонованого методу для управління електричними машинами з порушенням від постійних магнітів і вентильной комутацією, які через відомі достоїнств набули широкого поширення в силових приводах ЕМБ і АКЕУ, необхідно враховувати дискретність процесів комутації силових вентилів і деякі інші аспекти їх роботи .

Науковий керівник д.т.н., проф. Юрченко О.М.

УДК 681.58

Блищик О.А.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОВІТРЮВАННЯМ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Анотація. *В статті розглядається система керування на базі програмованого логічного контролера для керування параметрами мікроклімату робочих приміщень адміністративної будівлі. Надається функціональна схема запропонованої системи автоматизації та представлені графіки перехідних процесів за температурою та рівнем вуглекислого газу.*

Ключові слова: *припливна вентиляція, програмований логічний контролер, регулювання рівня вуглекислого газу, перехідний процес за температурою.*

Abstract. *The article considers a control system based on a programmable logic controller for controlling the microclimate parameters of the working premises of an administrative building. The functional scheme of the offered automation system is given and graphs of transients on temperature and level of carbon dioxide are presented.*

Key words: *supply ventilation, programmable logic controller, carbon dioxide level regulation, temperature transition.*

ВСТУП.

На сучасному етапі розвитку систем автоматизації для керування вентиляційними установками стає можливою реалізація складних алгоритмів управління окремими параметрами мікроклімату. У разі використання існуючих програмованих технологічних контролерів найбільша увага приділяється регулюванню температури в приміщенні або температури припливної вентиляції, як функції температур зовнішнього повітря та зворотної води. При цьому у більшості контролерів припливної та припливно-витяжної вентиляції реалізується алгоритм якісного регулювання температурою за рахунок зміни кута закриття засувки, що пропускає гарячий теплоносій через калорифер. У найбільш простих схемах вентиляції, як наприклад при регулюванні температури в промислових приміщеннях такий алгоритм керування може бути реалізований і для кількісного регулювання [1]. При цьому аналоговий вихід мікропроцесорного керуючого пристрою підключається не до засувки, а до перетворювача частоти з аналоговим входом, що призначений для зміни швидкості вентилятора. Проте такий перехід має свої особливості, а саме при зниженні продуктивності вентиляційної установки збільшується вміст CO2 в повітрі. При цьому суттєво погіршуються умови праці для обслуговуючого персоналу. Тому при реалізації вентиляційних систем для адміністративних будівель, де працюють люди, необхідно не тільки регулювати температуру, а й підтримувати рівень CO2 у заданих межах.

Мета та завдання.

Підвищення рівня енергоефективнисті системи керування провітрюванням адміністративної будівлі.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені наступні завдання:

1. Проведення аналізу існуючих методів та засобів підвищення рівня енергоефективності вентиляційних систем будівлі;
2. Аналіз та розрахунок параметрів системи керування провітрюванням адміністративної будівлі;
3. Виконати теплотехнічний розрахунок теплових притоків повітря;

Для забезпечення такого регулювання використовується система автоматизації вентиляційної установки, функціональна схема якої представлена на рис.1.

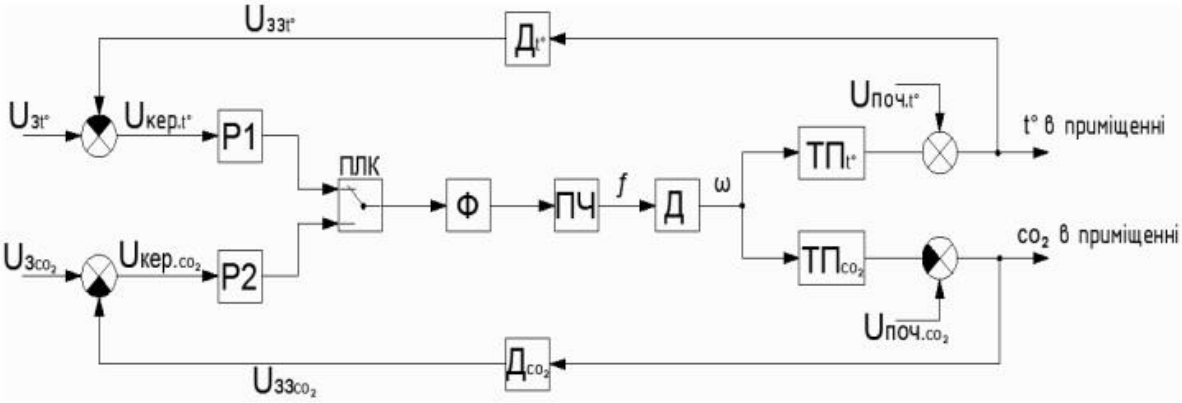
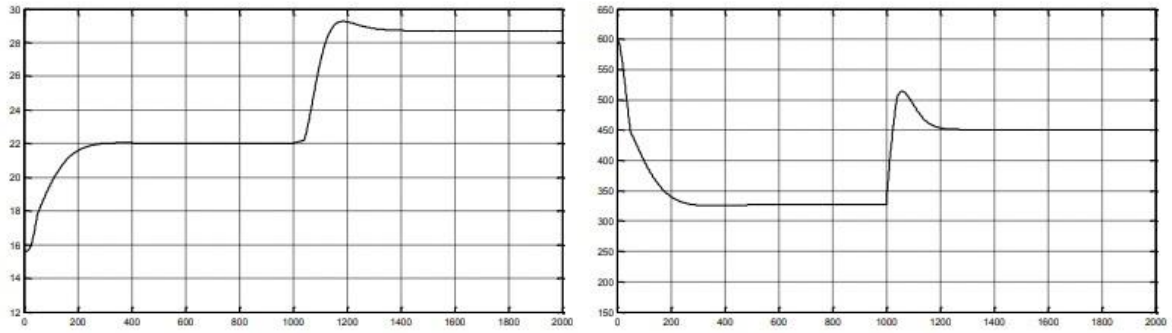


Рисунок 1 - Функціональна схема вентиляційної установки з керуванням температурою та контролем CO2.

На рис.1. введені наступні позначення: Uзco2 – сигнал завдання CO2 у приміщенні; Р1 – регулятор температури; Р2 – регулятор рівня вуглекислого газу; ПЛК – програмований логічний контролер; Ф – фільтр, що обмежує різку зміну швидкості двигуна; ПЧ – перетворювач частоти; Д – асинхронний двигун; ТПt 0 – технологічний процес зміни температури; ТПco2 - технологічний процес зміни вуглекислого газу; Дt 0 – датчик температури; Дco2 – датчик вуглекислого газу в приміщенні; Uззt 0 – сигнал зворотного зв'язку за температурою; Uззco2 – сигнал зворотного зв'язку за CO2.

Основним в системі є контуром регулювання температури припливного повітря. При цьому рівень вуглекислого газу лише контролюється відповідним датчиком, а сигнал з Р2 не впливає на роботу двигуна. Для реалізації високої точності підтримки температури на заданому рівні зі швидкою реакцією на зовнішні збурення у якості регулятора температури використовується ПІД - регулятор. При цьому параметри регулятора вибираються виходячи з вимог до якості перехідного процесу та можуть бути визначені емпіричним шляхом, або за допомогою методів синтезу з використанням систем автоматизованого проектування [2].

У разі перевищення рівня CO2 у приміщенні ПЛК (поява великої кількості людей) вимикає контур регулювання температури і починає стабілізувати рівень вуглекислого газу на заданому значенні. При цьому температура в приміщенні або не контролюється, що буде найбільш дешевим рішенням, або керування температурою починається за рахунок зміни кута повороту засувки та реалізується окремо у ПЛК. Коли рівень CO2 знижується природнім шляхом (кількість людей в приміщенні зменшується) вентилятор починає обертатися повільніше і виходить на свою мінімальні задані обороти. Так, наприклад, для більшості систем вентиляції це значення становить 20..30Гц частоти живлення двигуна. При досягненні мінімальних обертів двигуна та проходження певної витримки часу ПЛК перемикає контури регулювання та починається знову керування температурою припливного повітря. Особливістю та перевагою реалізації запропонованої системи керування на ПЛК є можливість обнуління Іскладової ПІД – регулятора, що сприяє зниженню накопичення похибки при розімкненому контурі. Дослідження працездатності запропонованої системи керування вентиляційною установою було здійснене за допомогою програмного забезпечення MATLAB та його додатку Simulink. При цьому спочатку здійснювалось дослідження якості перехідно процесу за температурою при запуску системи вентиляції, а потім здійснювалось перемикання на контур регулювання вуглекислого газу при перевищенні верхньої границі рівня CO2. Графіки перехідних процесів за температурою та рівнем вуглекислого газу у приміщенні представлені на рис.2



а) б)

Рисунок 2. Графіки перехідних процесів за температурою припливної вентиляції (а) та рівнем CO2 (б).

При виборі будь-якого обладнання системи опалення, вентиляції, кондиціонування дуже важливо правильно виконати розрахунок теплопритоків приміщення. Адже від цього залежить не тільки його мікроклімат. Облік інтенсивних теплопритоків приміщення при розрахунку системи опалення, наприклад, допоможе заощадити на опалювальному обладнанні і енергоносіях, а їх недооцінка при розрахунку системи вентиляції і, особливо кондиціонування, може привести до підвищеного зносу і зменшення ресурсу роботи обладнання.[2]

Розрахунок теплопритоків приміщення можна здійснювати різними способами, - існує кілька методик. Одні більш докладні, і користуються ними частіше при розрахунку систем вентиляції і кондиціонування промислових будівель, іншими, - дуже спрощеними методиками розрахунку теплопритоків, користуються менеджери при продажах кондиціонерів. Для довговічної надійної роботи кондиціонера важливо, щоб його холодопродуктивність була трохи більшою ніж величина реальних теплопритоків приміщення.[2] В першу чергу, враховують зовнішні теплопоступления. Це, сонячна радіація, яка проникає через віконні прорізи. Для будівель з виділенням надлишкового тепла кількість припливного повітря визначається із умови асиміляції цього тепла (формула 1,1):

$$L = \frac{Q_{\text{над}}}{c(t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}})\rho_{\text{пов}}} \quad (1.1)$$

де L – кількість припливного повітря за одиницю часу, яке необхідно ввести в приміщення для поглинання надлишкового тепла, м^3/год.

с- масова питома теплоємність повітря при постійному тиску, причому

$$\text{с} = 1\frac{\text{кДж}}{\text{кг·К}} = 0{,}239\frac{\text{ккал}}{\text{кг·К}}$$

$\rho_{\text{пов}}$ – густина зовнішнього (припливного) повітря, кг/м^3 ;

$t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{зов}}$-температура відповідно внутрішнього і зовнішнього повітря, °С, причому температура припливного повітря приймається на 5 – 10 °С нижчою, ніж температура повітря в приміщенні; $Q_{\text{надл}}$ – надлишкове тепло, яке визначається різницею тепла, що надходить в приміщення ($Q_{\text{надх}}$) та втратами тепла з приміщення ($Q_{\text{відх}}$), ккал/год визначається за формулою 1.2:

$$Q_{\text{надл}} = Q_{\text{надх}} - Q_{\text{відх}} \quad (1.2)$$

де $Q_{\text{надх}}$ визначається за формулою 1.3:

$$Q_{\text{надх}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (1.3)$$

Q_1 – надходження тепла від техніки, ккал/год, причому визначається за формулою 1.4:

$$Q_1 = 860 \cdot k \cdot N_1 \cdot n \quad (1.4)$$

де 860 – тепловий еквівалент, ккал/кВт;

k – коефіцієнт втрат;

N_1 – потужність техніки;

n – кількість одиниць техніки.

Q_2– надходження тепла від світильників, ккал/год, причомусвизначається за формулою 1.5:

$$Q_2 = 860 \cdot k \cdot N_2 \cdot n \quad (1.5)$$

де 860 – тепловий еквівалент, ккал/кВт;

k – коефіцієнт втрат (k = 0,9 для потужних ламп розжарювання, 0,95 – для ламп розжарювання малої та середньої потужності, 0,4 – 0,6 – для люмінісцентних ламп);

n - кількість світильників;

N_2– споживана потужність світильників, кВт, причому визначається за формулою 1.6:

$$N_2 = p_n \cdot S \quad (1.6)$$

де рп – питома потужність освітлення, Вт/м^2 ;

S – площа приміщення, м^2.

Q_3– надходження тепла від людей, ккал/год, причому визначається за формулою 1.7:

$$Q_3 = 860 \cdot n \cdot q_{\text{люд}} \quad (1.7)$$

де 860 – тепловий еквівалент, ккал/кВт;

n – кількість працюючих;

$q_{\text{люд}}$ – надходження тепла від однієї людини.

Q_4– надходження тепла від сонячної радіації через вікна, ккал/год, причому визначається за формулою 1.8:

$$Q_4 = 860 \cdot n \cdot S \cdot q_{\text{скл}} \quad (1.8)$$

де n – число вікон;

S – площа одного вікна, м^2;

k – коефіцієнт, який враховує матеріал віконного переплетення;

$q_{\text{скл}}$ – надходження тепла через 1 м 2 вікна при різній орієнтації вікон відносно сторін світу.

$Q_{\text{відх}}$ – втрати тепла з приміщення через стіни, двері, вікна, ккал/год, причому визначається за формулою 1.9:

$$Q_{\text{відх}} = \frac{\lambda \cdot S \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}})}{\delta} \quad (1.9)$$

де λ – теплопровідність стін, ккал/(год · град · м);

δ – товщина стін, м;

S – площа стін, м^2.

ВИСНОВОК.

Запропонована система керування вентиляційною установкою дозволяє здійснювати стабілізацію температури припливної вентиляції на заданому рівні та підтримці рівня CO2 у відповідних межах. При цьому алгоритм логічного управління може бути реалізований на сучасних ПЛК з використанням стандартних блоків І, АБО, ПІД. Таким чином, з використанням ПЛК може бути реалізоване кількісне регулювання температури припливного повітря, що забезпечує високі енергетичні показники системи в цілому. Подальше поліпшення результатів може бути досягнуте за рахунок врахування впливу зміни кута повороту засувки.

Перелік посилань

1. Руководство по эксплуатации ТРМ133. [Электронный ресурс] : информационный сайт ОВЕН — Электрон. дан.— М., [200-?]. — Режим доступа: http://www.owen.ru/uploads/rie_trm133_707.pdf — Загл. с экрана

2. KAN OZC.- Режим доступу: http://ua.kan-therm.com/download/ programy_do_projektowania/kan_ozc.html

Науковий керівник доц. Шульга Ю.І.

УДК 621.313

Кривуца О.С.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ОСОБЛИВОСТІ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ МОСТОВОГО КРАНА

Анотація. *В роботі сформульовано вимоги до електроприводу мостових кранів, та описано методи прямого регулювання його момента.*
Ключові слова*: електропривод, асинхронний двигун, пряме керування моментом*

Abstract. The paper formulates the requirements for the electric drive of bridge cranes, and describes the methods of direct regulation of its torque.
Keywords: *electric drive, induction motor, direct torque control*

У цехах підприємств електромашинобудування великою популярністю набули мостові крани, за допомогою яких застосовується підйом та опускання важких заготівок, деталей та вузлів машин, а також їх переміщення вздовж і впоперек цеху.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є модернізація морально і фізично застарілого електроустаткування, підвищення коефіцієнта корисної дії мостового крана.

Електропривод підйому крана працює в повторно-короткочасному режимі. Число і тривалість включень впливають на показники надійності і експлуатаційний ресурс роботи крана. Одним з найбільш важких режимів динамічного навантаження крана є підйом вантажу «з підхопленням», коли провисання каната не зникає шляхом попереднього натягу, а привід підйому розганяється до певної швидкості, і після усунення провисання каната відбувається відрив вантажу від поверхні опори.

Мостовий кран забезпечує дві основні роботи: переміщення вантажного візка і пересування моста крана. На рис. 1 приведені графіки зміни швидкості та моменту навантаження двигуна.

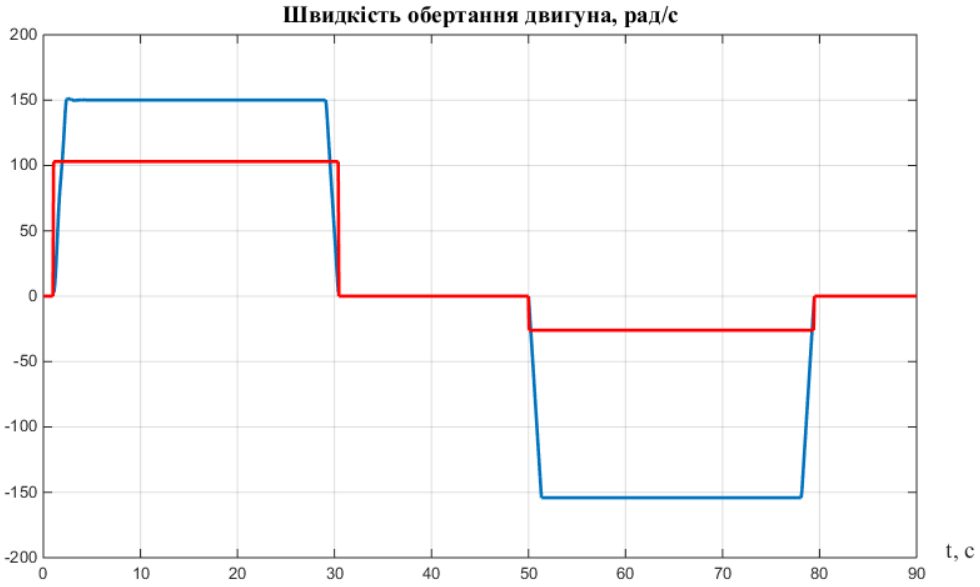


Рисунок 1 – Графіки зміни швидкості та моменту навантаження двигуна

У сучасних умовах розвитку техніки і технології, найбільш перспективним з можливих варіантів побудови автоматизованого електроприводу кранового механізму є електропривод по системі перетворювач частоти - асинхронний двигун з короткозамкненим ротором

Оскільки основним способом управління для електроприводів механізмів підйому є векторний, очевидно, що значення перевантажувальної здатності і пускового моменту двигуна на природній характеристиці можуть не нормуватись - вони формуються системою управління ПЧ.

Крановий частотно-регульований електродвигун для застосування в електроприводі механізмів підйому повинен мати перевантажувальну здатність як у загальнопромислових електродвигунів, а конструкцію як у кранових.

Для механізмів кранів відносна тривалість включення визначається для відрізка часу 600 с за формулою ПВ% = Σtp / 6, де Σtp- загальний час включення за відрізок часу 600 с.

Для аналізу динамічних властивостей було використано пакет моделювання Simulink, середовища MATLAB.

Моделі складені з окремих блоків. Модель містить і інші компоненти, призначені для забезпечення працездатності й візуалізації результатів моделювання.

Модель керуванням моменту в АД приведена на рис. 2.

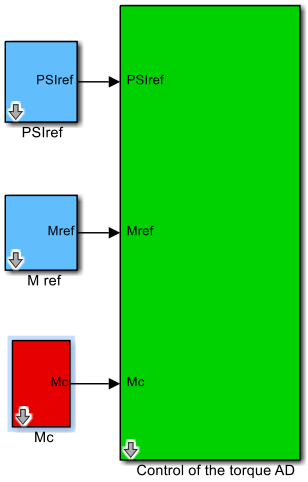


Рисунок 2 – Структурна схема керування моментом АД

Блок PSIref – блок завдання потоку. За допомогою нього здійснюється збудження двигуна. Структура блоку зображена на рис. 3.

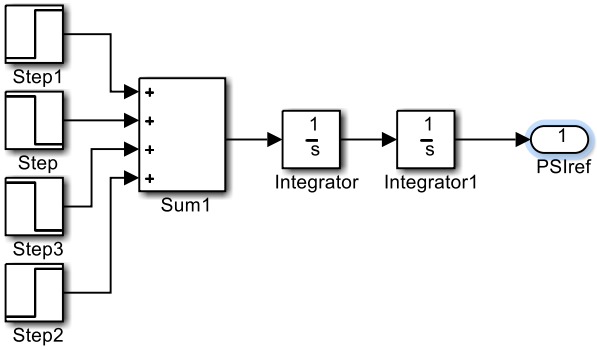


Рисунок 3 – Структурна схема блоку завдання потоку

Блок Mref – блок завдання моменту. Він задає профіль моменту завдання, що надходить від системи керування. Структура блоку зображена на рис. 4.

Електропривод вантажопідіймальних кранів має ряд особливостей, що відрізняють його від електроприводів інших загальнопромислових і спеціальних механізмів:

• механічні характеристики електроприводу розташовані у всіх чотирьох квадрантах; бажано забезпечити плавний перехід приводний електричної машини з рухового режиму роботи в генераторний режим при спуску;

• відносно невисокий діапазон регулювання швидкості (в більшості випадків не вище

10: 1 при однозоннрму регулюванні швидкості);

- відсутність високих вимог до жорсткості механічних характеристик;
- відсутність високих вимог до швидкодії;

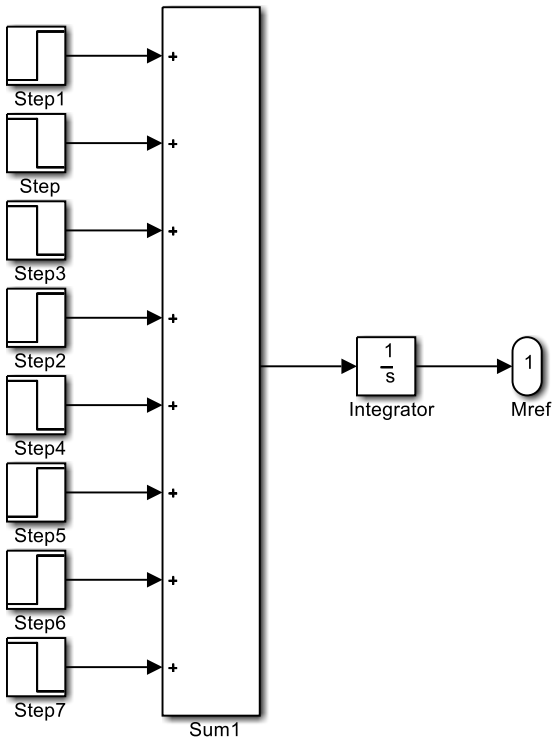


Рисунок 4 – Структурна схема блоку завдання моменту

Блок Mc – блок завдання моменту навантаження. Момент, що постійно присутній під час робочого циклу. А саме: пасажири які знаходяться в автобусі, тертя коліс об дорожнє покриття, тертя які виникають в редукторі і т.д. Структура блоку зображена на рис. 5.

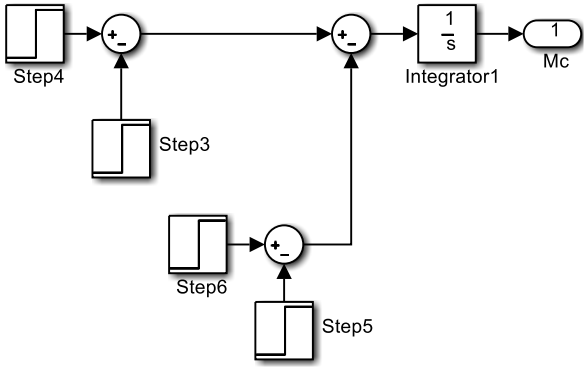


Рисунок 5 –Блок завдання моменту навантаження

Блок Control of the torque AD – блок, що представляє електромеханічну систему. Його структура зображена на рис. 6.

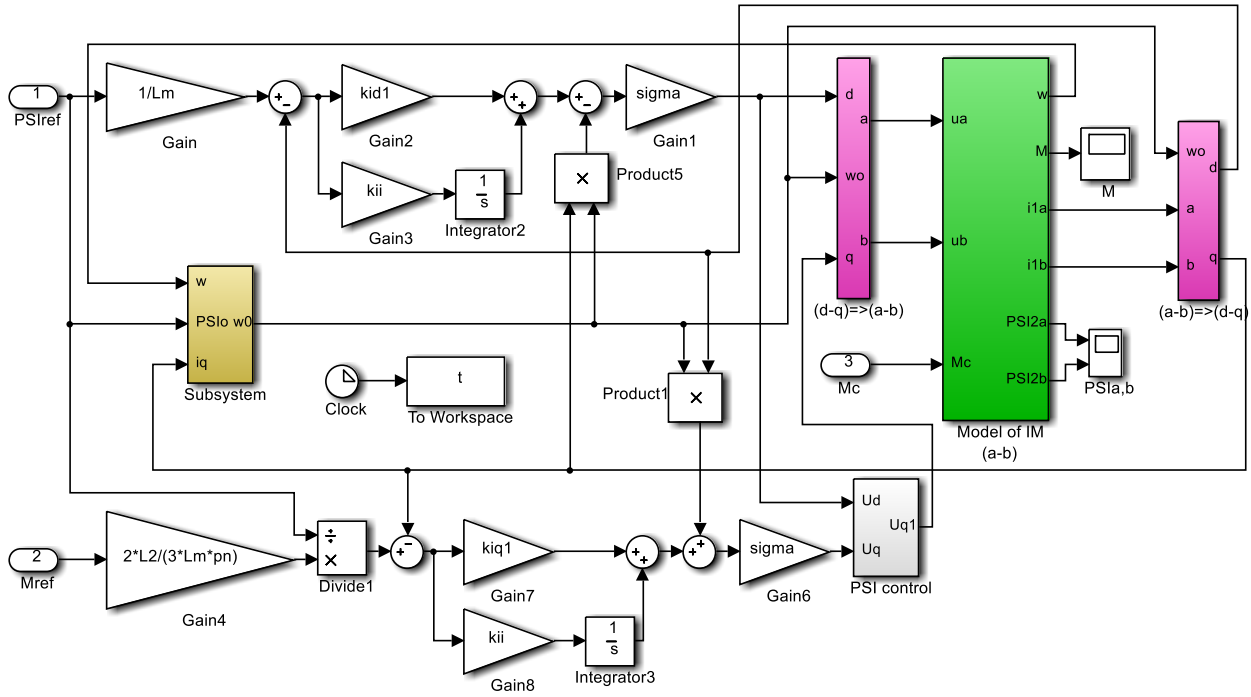


Рисунок 6 – Структурна схема блоку Control of the torque AD

Блок Model of IM (a – b) представляє собою модель асинхронного двигуна в координатах (a – b).

Блок PSI control виконує функцію обмеження напруги u_q, тим самим здійснює зниження потоку магнітного поля. За рахунок цього електродвигун розганяється вище номінальної швидкості. Структура блоку зображена на рис. 7.

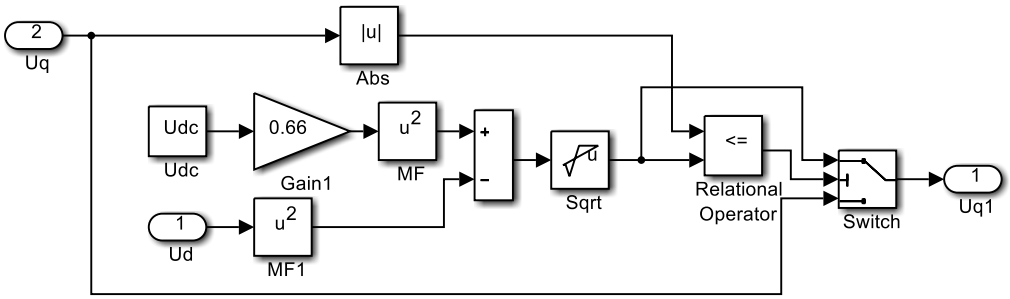


Рисунок 7 – Структурна схема блоку PSI control

Дослідження динамічної поведінки тягового асинхроного двигуна, виконано за наступною послідовності операцій. В перший момент часу відбувається збудження двигуна. Після чого відбувається розгін до робочої швидкості, з вантажем. Далі робота із постійною швидкістю, та наступне уповільнення до повної зупинки, після цього відбувається рух в протилежному напрямку без вантажу (рис. 7, рис. 8).

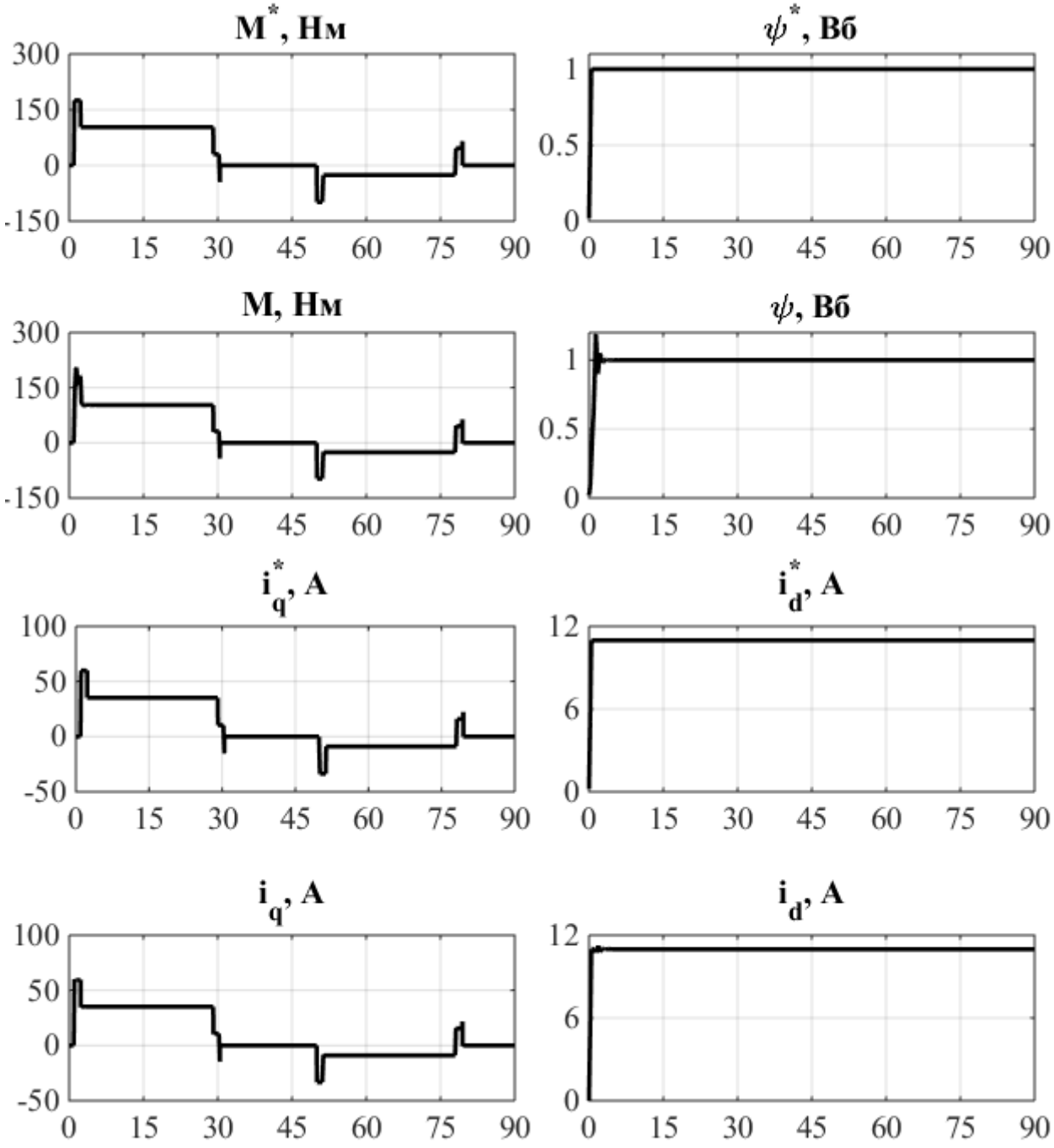
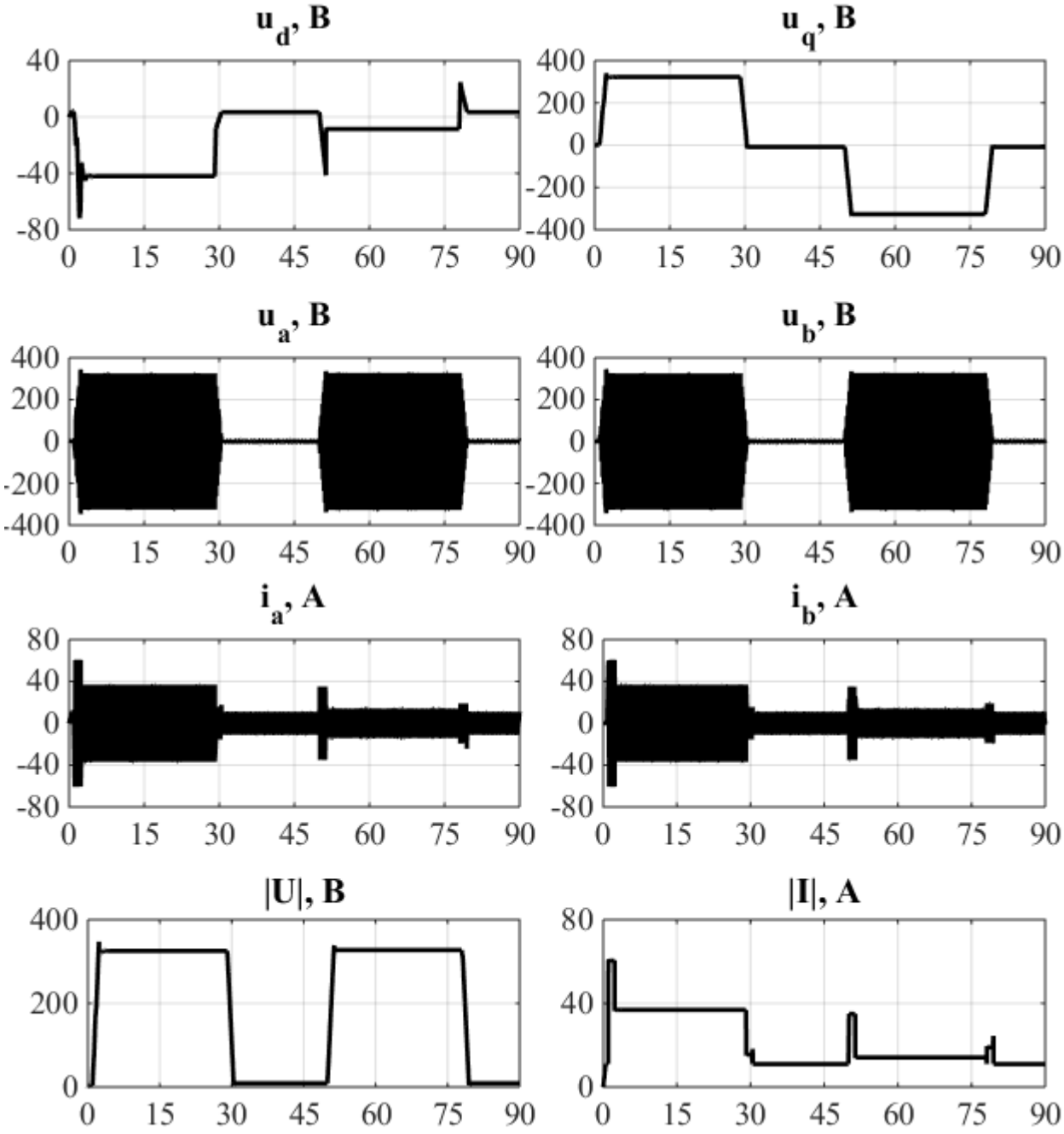


Рисунок 7 – Графіки перехідних процесів при відпрацюванні заданої траєкторії моменту двигуна

Алгоритм прямого керування моментом забезпечує високі показники якості керування кутовою швидкістю. Стандартна послідовність операцій керування двигуном, яка використовується при дослідженні динамічних характеристик включає:

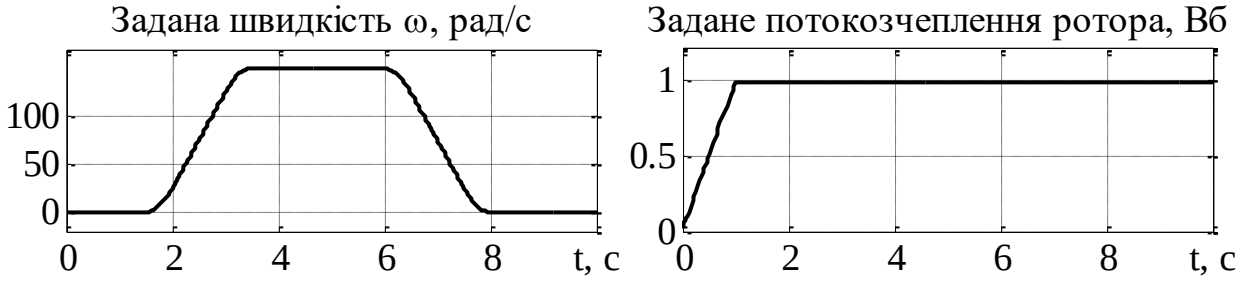
- збудження двигуна з використанням заданої траєкторії магнітного потоку першого порядку, траєкторія якого показана на рис. 9. Збудження здійснюється за 1 секунду ;
- розгін двигуна до заданої швидкості 150 рад/с здійснюється за 2 сек.;
- робота під навантаженням;
- гальмування до нульової швидкості за 2 сек.

Рисунок 8 – Графіки перехідних процесів при відпрацюванні заданої траєкторії моменту



двигуна

Рисунок 9 – Траєкторії зміни кутової швидкості та потозчеплення



Застосування частотного керування забезпечує «м'який» запуск двигуна без великих електричних та механічних ударів, в той же час як при виконанні прямого пуску наявні великі перевантаження по струму та моменту. При роботі двигуна з номінальною напругою та частотою в режимі частотного керування, відпрацювання постійного моменту навантаження відбувається однаково в обох випадках.

В ході моделювання протестоване два режими роботи, які описують два найбільш критичні випадки режим руху з завантаженим візком (рис. 10) та режим руху без навантаження (рис. 11).

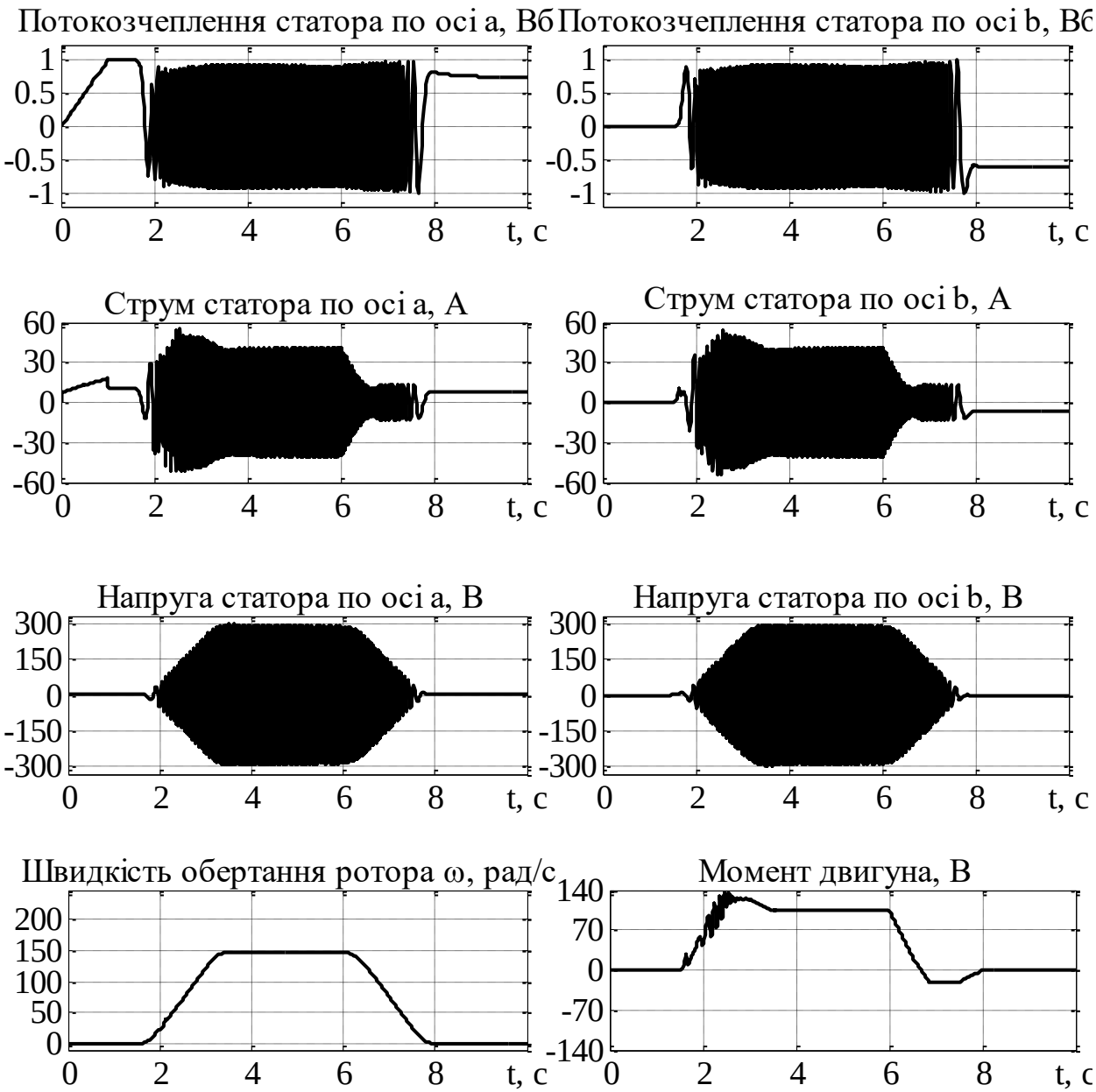


Рисунок 10 – Динамічна поведінка електромеханічної системи в режимі роботи з повністю завантаженим візком

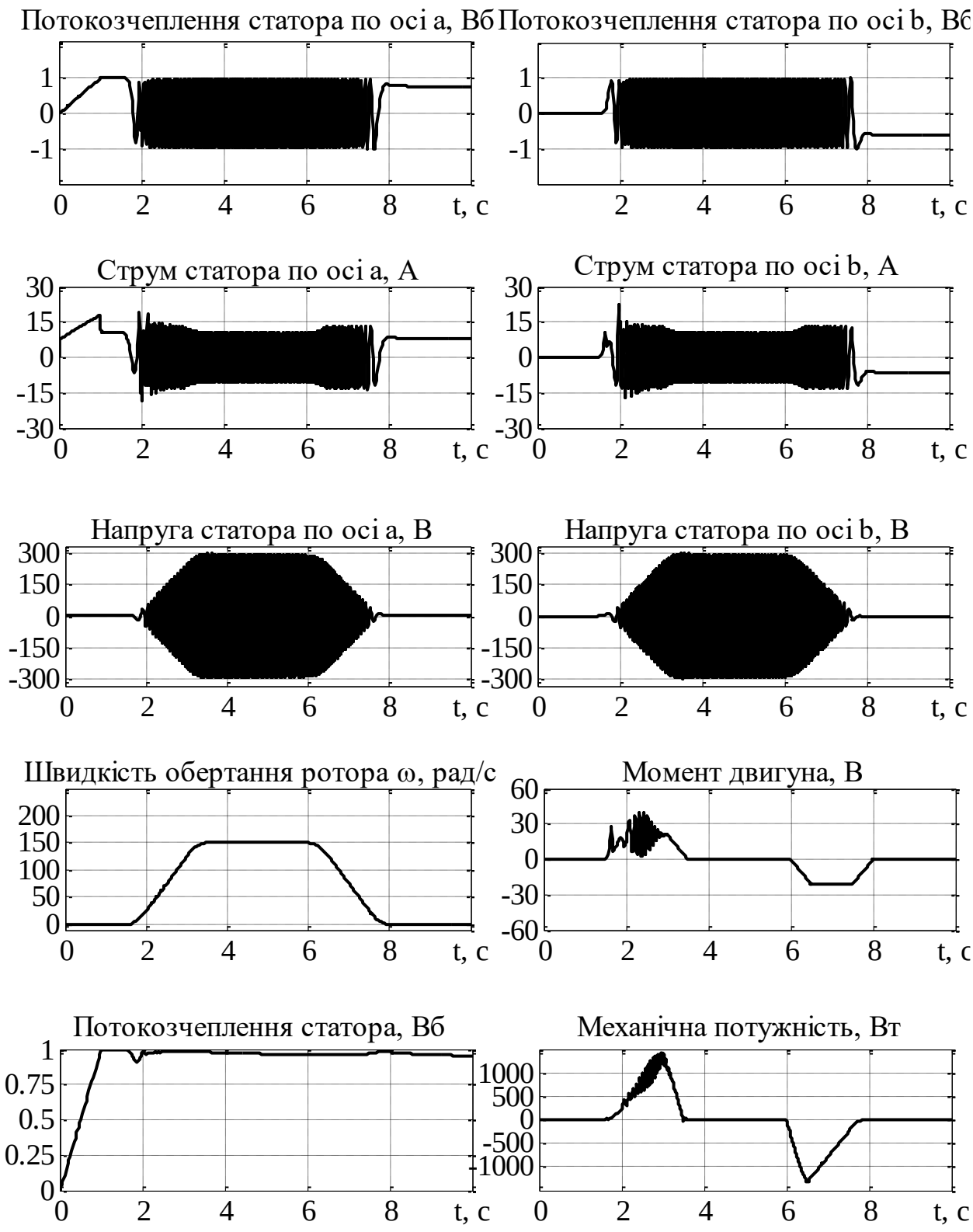


Рисунок 11 – Динамічна поведінка електромеханічної системи
при русі незавантаженого візка

Висновок. Застосування прямого керування моментом забезпечує підвищення точності регулювання швидкості і обертального моменту та скорочує час реакції приводу на зміну навантаження на валу двигуна, забезпечує «м'який» запуск двигуна без значних електричних та механічних ударів.

Перелік посилань

1. Колесніченко С.П. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод , 2013. – 37 с.
2. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: -Энергия, 1977. - 432 с
3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. - М.: Энергоиздат, 1981. - 576 с.
4. Частотно-регулируемый электропривод грузоподъемных кранов. Попов Е.В., канд. тех. наук, Онищенко Г.Б., д-р тех. наук. Россия, г. Москва. «МГОУ».
5. Попович М.Г. , Борисюк М.Г. , Гаврилюк В.А. та ін.; За ред. М.Г.Поповича, Теорія електроприв, Вища школа, 1993. – 494 с.

Науковий керівник ст. викл. Володимир ДУБОВИК

УДК 681.58

Євграфова В.В.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ВХІДНОГО ГРУЗОПОТОКУДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНОГО ЗАВОДУ

Анотація. *Стаття присвячена розробці метода полішення техніко-економічних показників процесів дроблення та зниження електроспоживання завдяки побудові систем управління.*

Ключові слова: *дробарка, керування, властивості матеріалу, технологічна лінія.*

The article is devoted to the development of a method of increasing the technical and economic indicators of the crushing processes and reducing the power consumption of the complex by building control systems.

Keywords: *crusher, control, material properties, production line.*

Вступ. Велика кількість збурюючи впливів і обмежені можливості їх обліку в оперативному управлінні процесом дроблення змушують до відбору найбільш істотних.

До основних збурюючих впливів, по відношенню до продуктивності процесу дроблення, відносяться коливання ФМВ (фізико-механічних властивостей) дробленого матеріалу, які визначаються гірничо-геологічними і гірничо-технічними умовами підприємства. Гірничо-технічні умови включають систему розробки родовища, спосіб ведення буро-вибухових робіт, типи застосовуваних машин і механізмів, спосіб доставки корисних копалин.

На роботу першої та наступних стадій дроблення впливають такі ФМВ: міцність, крупність, твердість, щільність, пружність, в'язкість, пластичність, крихкість, тріщинуватість, зернистість, шаруватість, пористість, рихлість, водоносність, вологість, водопоглинання, водонасичення, водовіддача, зношуваність, абразивність, і інші.

Мета та завдання. Аналіз особливостей технології дроблення гірських порід на ДСЗ (дробильно-сортувальному заводу) з виробництва щебеню і систем управління їх продуктивністю підтверджує актуальність пошуку «індустріальних методів» управління процесом дроблення орієнтованих на використання сучасної обчислювальної техніки.

Для досягнення мети - підвищення продуктивності процесу і зниження питомих енерговитрат в умовах мінливості ФМВ подрібнюваністю гірської маси необхідно вирішити такі завдання:

- оцінити ступінь впливу змінюються в процесі роботи складових факторного поля фізико-механічних властивостей / ФМВ / вихідного матеріалу на продуктивність процесу дроблення;
- дослідити структуру технологічної лінії дроблення, інформативні властивості датчиків первинної інформації, характер процесів, що протікають;
- виявити способи обліку нестаціонарності і нелінійності ланок, що лімітують продуктивність процесу дроблення;
- вивчити можливість випереджального керування електроприводом завантаження технологічної лінії дроблення з нестаціонарним лімітуючим ланкою;
- дослідити можливість поліпшення енергетичних і експлуатаційних характеристик перетворювачів електроприводів за допомогою нових схемних рішень.

На рис. 1 приведена схема двохстадійного дроблення за замкнутою схемою з регулюванням завантаження дробарок за показниками питомої споживаної потужності і ступеня заповнення камери дроблення [4].

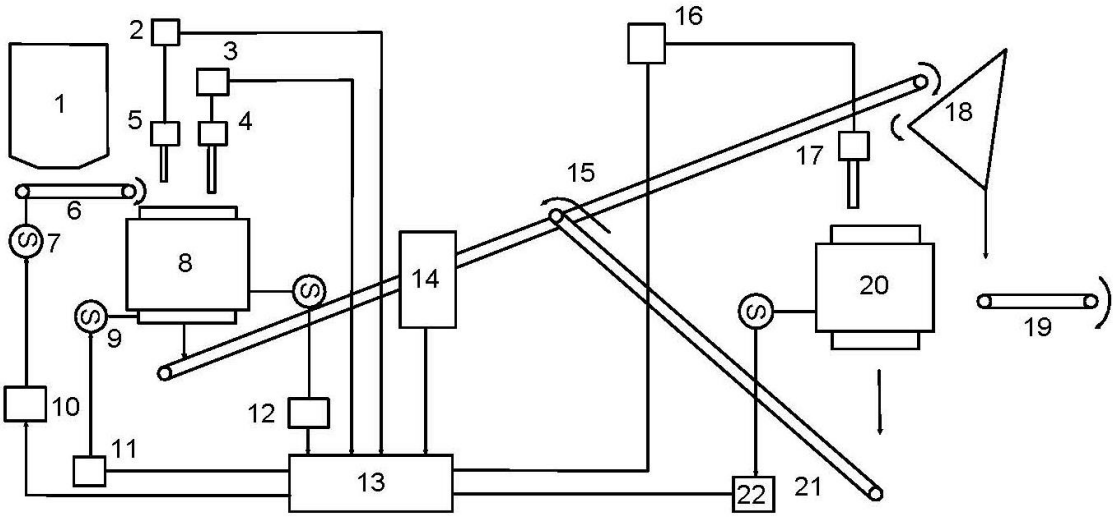


Рисунок 1 - Схема двохстадійного дроблення за замкнутою схемою

З бункера 1 живильник 6 завантажує дробарку першій стадії 8, звідки через конвеєр 15 і гуркіт 18 продукт дроблення надходить в дробарку 20 другій стадії, далі надходить на конвеєр 19. З дробарки 20 продукт дроблення пропускається через гуркіт 18. У схемі використовуються датчики потужності 12 і 22, сигналізатори рівня 16 і 17 заповнення дробарки 20, конвеєрні ваги 14, датчики рівня 4 і 5 в воронках 2 і 3, електропривод 7 і варіатор 10, виконавчий механізм 9 зміни щілини дробарки першої стадії з перетворювачем 11 і логічний пристрій 13, що управляє схемою. Конвеєр 21 є проміжним між дробаркою вторинного дроблення і конвеєром 15. Шляхом відповідних налаштувань систем регулювання значень живлення, питомої потужності і розміру щілини дробарки першого ступеня досягається максимальна продуктивність всього комплексу.

Якщо дробарка 20 починає перевантажуватися, що фіксується датчиком потужності 22 або сигналізатором рівня 16 формуються сигнали, за якими логічний пристрій 13 починає зменшувати щілину дробарки 8, то підвищиться питома потужність дробарки 8 і скоротиться потік надходить в неї матеріалу. При зменшенні навантаження дробарки 20 система прагне збільшити вхідний потік матеріалу в дробарку. В системі передбачена контрольно-вимірювальна апаратура. При температурі масла в 60 ° С включається вентиль, що подає воду в холодильник маслосистеми. Якщо вентиль не відкрився, то на пульт диспетчера подається звуковий сигнал і загоряється червона лампа, що сигналізує про аварію. Вентиль знову закривається при температурі масла нижче 55 ° С. Контроль температури підшипників здійснюється за допомогою апаратури вбудованої температурного захисту та сигналізації типу АТВ-29.

В якості температурних датчиків використовуються термометри опору, які встановлені на втулках приводного вала і втулки вала ексцентрика. При підвищенні температури підшипника вище допустимої (80°С) електричний опір термоопору зменшується і спрацьовує реле РПТ. При цьому на пульт диспетчера подаються звуковий і світловий сигнали аварії.

Для кількісної оцінки продуктивності Q (м^3/год) дробильних агрегатів згідно ГОСТ 7084-80 рекомендується розраховувати, як середньозважене значення при дробленні чотирьох класів крупності її за формулою [1]:

$$Q = k\frac{\sum_{i=1}^{4} D_{\text{cp}i}\cdot\gamma_i\cdot Q_i}{\sum_{i=1}^{4} D_{\text{cp}i}\cdot\gamma_i}$$

Де k - коефіцієнт, що залежить від типу подрібнюваністю породи / для вулканічних порід $k = 1$, для валунів $k = 0{,}8$, для карбонатних порід $k = 0{,}84$ /; $D_{cp\text{i}}$ - середній розмір зернового складу і-го класу крупності, мм; γ_i - розмір і-го класу крупності в подрібнюваному матеріалі; Q_i - продуктивність при дробленні одного і-го класу крупності, т/год.

Продуктивність дробильного агрегату, в залежності від межі міцності на розрив визначається за формулою [2]:

$$Q_i = \frac{Q_1(1+\log\frac{G_{p1}}{2})}{1+\log\frac{G_{p1}}{2}}$$

Де Q_1 – відома продуктивність при дробленні матеріалу з межею міцності на розтягнення G_{p1}.

Для визначення показників міцності, що враховують в розрахунках, використовують десятки методик. Значення показників, отриманих різними методами важко порівняти, а їх коливання досить істотні [3].

Найбільший вплив на продуктивність ДСЗ надають в порядку убування поєднання наступних ФМВ: кусковатості, міцності, водонасиченості, абразивності та інших. Це означає, що керування електроприводом завантаження технологічної лінії дроблення має вестися з урахуванням факторного поля ФМВ.

За допомогою процедур навчання призначаються значення вагових коефіцієнтів і зсувів, які мінімізують помилку рішення. Шляхом аналізу наявних вхідних і вихідних даних ваги і зміщення мережі автоматично налаштовуються так, щоб мінімізувати різницю між бажаним сигналом і отриманим на виході в результаті моделювання. Помилка навчання для конкретної конфігурації нейронної мережі визначається шляхом прогону через мережу всіх наявних спостережень і порівняння вихідних значень з бажаними, цільовими значеннями. Ці різниці дозволяють формувати так звану функцію помилок (критерій якості навчання). В якості такої функції найчастіше береться сума квадратів помилок. При моделюванні нейронних мереж з лінійними функціями активації нейронів можна побудувати алгоритм, який гарантує досягнення абсолютного мінімуму помилки навчання. Для нейронних мереж з нелінійними функціями активації в загальному випадку не можна гарантувати досягнення глобального мінімуму функції помилки.

При такому підході до процедури навчання може виявитися корисним геометричний аналіз поверхні функції помилок. При визначенні ваг і зміщень як вільних параметрів моделі і позначенні їх загального числа через N кожного набору таких параметрів можна поставити у відповідність один вимір у вигляді помилки мережі. Тоді для різних поєднань ваг і зміщень відповідну помилку можна зобразити у вигляді точки в N + 1 у вимірному просторі, а всі точки утворюють деяку поверхню помилок. При такому підході мета навчання нейронної мережі полягає в тому, щоб знайти на цій багатовимірної поверхні глобальний мінімум. У разі лінійної моделі мережі і функції помилок у вигляді суми квадратів така поверхня буде являти собою параболоїд, який має єдиний мінімум і це дозволяє відшукати такий мінімум досить просто. У разі нелінійності поверхні помилки має набагато більш складну будову і може містити локальні мінімуми, плоскі ділянки, сідлові точки і яри.

Визначити глобальний мінімум багатовимірної поверхні аналітично неможливо і тому навчання нейронної мережі є процедурою вивчення поверхні функції помилок. Відштовхуючись від випадково обраної точки на поверхні помилок, алгоритм навчання поступово відшукує глобальний мінімум. Як правило, для цього обчислюється градієнт функції помилок в даній точці, а потім ця інформація використовується для просування вниз по схилу. Алгоритм зупиняється при досягненні деякого мінімуму, який може виявитися локальним. З урахуванням специфіки нейронних мереж для них розроблені спеціальні алгоритми навчання, серед яких слід виділити алгоритм зворотного поширення помилки.

При використанні алгоритму зворотного поширення помилки мережа розраховує її в вихідному шарі і обчислює вектор градієнта як функцію ваг і зміщень. Цей вектор вказує напрямок найкоротшого спуску по поверхні для даної точки. Послідовне просування відповідно до напряму задання таким чином, призводить до мінімуму того чи іншого типу. Певну складність викликає вибір величини кроку. На практиці величина кроку вибирається

пропорційно крутизні схилу поверхні помилки (градієнту функції помилок). Такий коефіцієн тпропорційності називається параметром швидкості налаштування. Правильний вибір параметра швидкості налаштування залежить від конкретного завдання і зазвичай визначається дослідним шляхом. Цей параметр може також залежати від часу навчання, зазвичай, зменшуючись у міру виконання алгоритму.

Процедура алгоритму - інтерактивна. На кожному циклі на вхід мережі послідовно подаються всі навчальні спостереження, вихідні значення порівнюються з цільовими і обчислюється функція помилки. Значення функції помилки, а також її градієнт використовуються для коригування ваг і зміщень, після чого всі дії повторюються. Початкові значення ваг і зміщень мережі вибираються випадковим чином. Процес навчання припиняється по реалізації певної кількості циклів, або коли помилка досягає деякого мінімального значення або перестає зменшуватися.

Алгоритм градієнтного спуску (GD), використовується для такого коригування ваг і зміщень, щоб мінімізувати функціонал помилки, тобто забезпечити рух по поверхні функціоналу в напрямку, протилежному градієнту функціоналу по параметрам. Поточний приріст ваг і зміщень визначається множенням параметра налаштування I_r на вектор градієнта. Якщо параметр налаштування обраний занадто великим, алгоритм може стати нестійким. При дуже малому значенні параметра потрібен тривалий час розрахунку.

Алгоритм градієнтного спуску з обуренням (GDM), призначений для налаштування і навчання мереж прямої передачі. Цей алгоритм дозволяє долати локальні нерівності поверхні помилки і не зупинятися в локальних мінімумах. З урахуванням обурення метод зворотного поширення реалізує наступне співвідношення для збільшення вектора параметрів для налаштування:

$$\Delta w_k = mc\Delta w_{k-1} + (1 - mc)lrg_k,$$

де Δw_k - приріст вектора ваг;

mc - параметр обурення; lr - параметр швидкості навчання;

g_k- вектор градієнта функціоналу помилки на k-й ітерації.

При параметрі збурення рівному нулю зміна вектора параметрів налаштування визначається тільки градієнтом.

Алгоритм градієнтного спуску з вибором параметрів швидкості налаштування (GDA) використовує евристичну стратегію зміни параметра в процесі навчання. Обчислюються вхід і похибка ініціалізованої мережі. Потім на кожному циклі виконується навчання нових значень параметрів налаштування і одержують нові значення виходів. Якщо відношення нового значення похибки до колишнього перевищує встановлене значення, то нові значення параметрів налаштування до уваги не приймаються. При цьому швидкість налаштування зменшується із заданим коефіцієнтом. Якщо нова похибка менша за попередню, то параметр швидкості збільшується з заданим коефіцієнтом. Така стратегія сприяє збільшенню швидкості навчання.

Алгоритм GD реалізується навчальною функцією traingd, алгоритм GDA - traingda, алгоритм GDM - traingdm, поєднання алгоритмів GDA і GDM - traingdx.

Алгоритм формування факторного поля ФМВ по енергетичним інформативним сигналам включає запам'ятовування сигналів активної потужності (струму) на початку робочого ходу щоки, визначення максимального за робочий хід значення амплітуди сигналу, знаходження різниці між максимальним і початковим значеннями амплітуд в циклі, вимір часу, протягом якого наростання сигналів потужності (струму) в циклі відбувається, ділення різниці амплітуд на час наростання сигналів в циклі, визначення кута нахилу прямої, що проходить від початку та максимальне значення амплітуд струму в циклі.

Час безперервного наростання амплітуд потужності в циклі дроблення, в якому по черзі відбуваються два одиничних акти руйнування матеріалу визначається:

$$t_p = t_1 + (t_3 - t_2)$$

Приріст амплітуд в циклі:

$$\Delta P = (P_4 - P_1)$$

Відношення різниці до часу безперервного наростання:

$$\frac{\Delta P}{t_p} = \frac{P_4 - P_1}{t_1 + (t_3 - t_2)}$$

Приклад аппаратурної реалізації алгоритмів формування факторного поля ФМВ показаний на рис. 2. Для вимірювання $\frac{\Delta P}{t_p}$ ($\frac{\Delta I}{t_p}$) використовується блок диференціювання 13, блок інтегрування з ключовим управлінням 14, блок ділення 15.

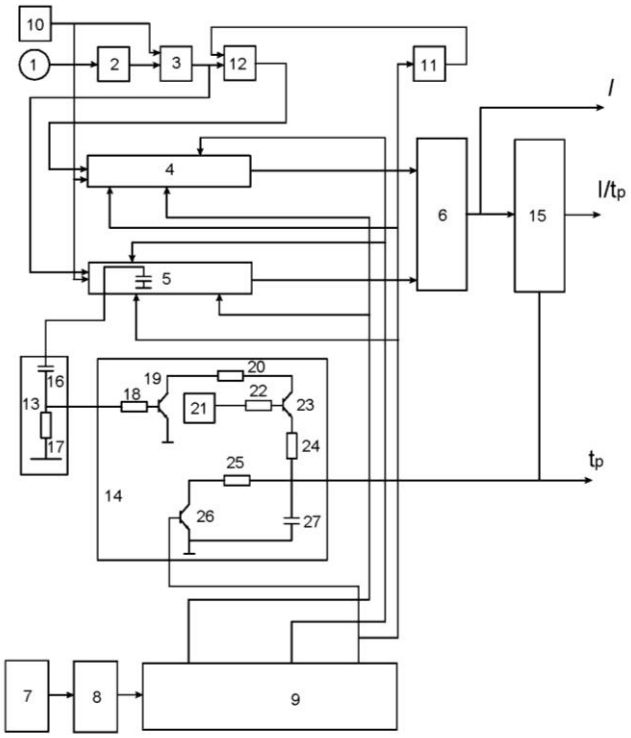


Рисунок 2 – Функціональна схема пристрою для формування факторного поля ФМВ

У блоці інтегрування з ключовим управлінням формується напруга пропорційне часу наростання амплітуд в циклі дроблення. При збільшенні потужності (струму), споживаних двигуном агрегату, в порівнянні з потужністю в попередніх періодах $T_г = {}^{1}/_{f_г}$, напруга на проміжному конденсаторі блоку виділення максимального сигналу зростає. Перша похідна вхідного сигналу блоку диференціювання 13 позитивна під час збільшення напруги на проміжному конденсаторі блоку виділення максимального сигналу. Позитивний сигнал відкриває транзистор 19, який формує запуск одновібратора 21, що виробляє імпульс постійної тривалості 2-5 градусів $T_г = {}^{1}/_{f_г}$, та відкриває транзистор 23. При відкриванні транзистора 23 на постійне в часі значення, напруга конденсатора 27 збільшується на фіксовану величину. У моменти часу, в перебігу яких потужність (струм) менше максимального значення за попередні періоди в циклі, напруга на конденсаторі 27 залишається незмінною.

ВИСНОВОК. Алгоритми формування факторного поля ФМВ матеріалу в потоці можуть бути реалізовані за допомогою як жорсткої, так і програмованої логіки. При їх використанні з безпосереднім вимірюванням міцності і крупності матеріалу в потоці вимагає обліку пропускної здатності окремих агрегатів в залежності від властивостей матеріалу і тарировки датчиків, що пов'язано з проведенням трудомістких експериментальних робіт, що

забезпечує поліпшення енергетичних і експлуатаційних характеристик перетворювачів електроприводів.

Перелік посилань

1. ГОСТ 7084-80. Дробилки щековые. Технические условия.

2. Родин Р.А., Логак А.И., Западинская Л.К. Метод корректировки производительности щековых дробилок в зависимости от свойств дробимого материала// Повышение надежности и производительности дробильно-обогатительного оборудования. – М.: ВНИИстройдормаш, 1984. – Вып.99. – С.20-24.

3. Докукин А.В., Красников Ю.Д., Хургин З.Я. Статистическая динамика горных машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.

4. Hornik K., Stinchcombe M., White. H. Multy-layer feed-forvard networks are universal approximators. Discussion paper, Deparment of Economics, University of California, San Diego, La Jolla, CA, 1988.

5. Остроух А.В. Автоматизированная система мониторинга производственно-технологической и организационно экономической деятельности промышленного предприятия / А.В. Остроух, Юань Тянь // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2014. –№ 3. – С. 14-21.

Науковий керівник ст. викл. Дубовик В.Г

УДК 681.58

Моранець А.В.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЙОРНОЇ ЛІНІЇ ВИДОБУВНОГО КОМПЛЕКСУ

Анотація

Стаття присвячена вирішенню проблемі енергозабезпечення та енергоспоживання електроприводів конвеєрної лінії, за допомогою створення математичної моделі для регулювання та знаходження оптимальних вхідних параметрів електропривода.

В статті розглянуто приклад створення математичного аналізу з результатів розрахунків параметрів електропривода АД с фазним ротором, та знаходження оптимальних показників за допомогою програмного середовища MATLAB і Simulink, що забезпечує нам можливість визначення підходящих вхідних параметрів електропривода, корегуючи їх є можливість зменшити енергозатрати, створюючи алгоритм управління регулюючого електропривода так як відомо що значна кількість енергії при видобудку матеріалів чи копалин в роботі електропривода уходить в втраті в магнітопроводі і сталі.

***Ключові слова**: Математична модель, втрати, магнітопровід, регулювання електропривода, алгоритм.*

***Abstract.** The article is devoted to solving the problem of power supply and power consumption of electric drives of the conveyor line, by creating a mathematical model for regulating and finding the optimal input parameters of the electric drive. The article considers an example of creating a mathematical analysis of the results of calculations of the parameters of the electric drive with a phase rotor, and finding optimal performance using the software environment MATLAB and Simulink, which allows us to determine suitable input parameters of the electric drive. electric drive because it is known that a significant amount of energy in the extraction of materials or minerals in the operation of the electric drive is lost in the magnetic circuit and steel.*

***Keywords:** Mathematical model, losses, magnetic circuit, electric drive regulation, algorithm.*

Вступ. На сучасному етапі розвитку науки і техніки системи електроприводу міцно займають лідируюче положення серед приводних пристроїв таких як конвеєрні лінії, конвеєрний транспорт і забезпечують безперебійну і надійну роботу технологічних механізмів у багатьох галузях промисловості і спеціальної техніки. Як приводного двигуна найбільшого поширення знаходить асинхронний двигун (АД) з короткозамкненим ротором.

Сучасний асинхронний електропривод реалізується на базі силової напівпровідникової техніки із застосуванням мікропроцесорного управління. Його можливості дозволяють організувати регулювання вихідних координат електроприводу в широкому діапазоні, з високою точністю і швидкодією.

Сучасні перетворювачі частоти з мікропроцесорним управлінням дозволяють реалізовувати традиційні або створювати нові програмні алгоритми і синтезувати асинхронні електроприводи з широким набором експлуатаційних характеристик, що в свою чергу дозволяє задовольнити вимоги, що накладаються з боку самих різних технологічних об'єктів. Однак навіть в складі частотно-регульованого електроприводу не завжди забезпечуються режими роботи з максимальними енергетичними показниками.

Для побудови високоефективних з точки зору енергозбереження частотно-регульованих асинхронних електроприводів необхідно використовувати теорію оптимального управління струмами АД за критерієм мінімуму потужності втрат або максимуму ККД.

Для ефективного управління асинхронним двигуном, що працює в складі частотно-

регульованого електроприводу, необхідно знати поточні значення його параметрів -таких як активні опори фаз обмоток статора і ротора, індуктивності фаз обмоток статора і ротора, взаємна індуктивність, сумарний момент інерції рухомих частин і статичний момент.

Перераховані параметри в процесі функціонування електроприводу можуть змінюватися в силу багатьох причин, наприклад, таких, як нагрівання та охолодження обмоток, зміна стану магнітного ланцюга і ін. Таким чином, для реалізації більш точних алгоритмів управління, що забезпечують ефективне енерго- і ресурсозбереження, необхідна оцінка (ідентифікація) перерахованих параметрів в режимі нормального функціонування електроприводу.

Асинхронний електропривод з векторним керуванням є більш досконалим, однак алгоритми векторного керування в більшості випадків не враховують насичення магнітопровода і втрати в сталі і не забезпечують оптимальних режимів роботи.

1. Математична модель.

Математичні моделі АД є основою для дослідження процесів електромеханічного перетворення енергії. Особливу значущість математичні моделі АД набувають при розробці енергозберігаючих алгоритмів управління автоматизованого асинхронного електроприводу.
У математичної теорії електричних машин існують два принципово різних підходи до опису процесів електромеханічного перетворення енергії:
1) з позицій теорії поля, що базується на рівняннях Максвелла;
2) з позицій теорії електричних ланцюгів, що базується на рівняннях Кірхгофа.

Математична модель використовується для визначення втрат на магнітопроводі та в сталі, та завдяки неї можливо скласти схему з розрахунками так щоб збільшити ефективність використання електропривод, це можливо зробити в програмних забезпеченнях таких як MATLAB, Simulink тощо.

Наведемо приклад :
на рис 1. зображено модель АД з короткозамкненим ротором, що живиться від джерела напруги у фазних координатах в середовищі Simulink.

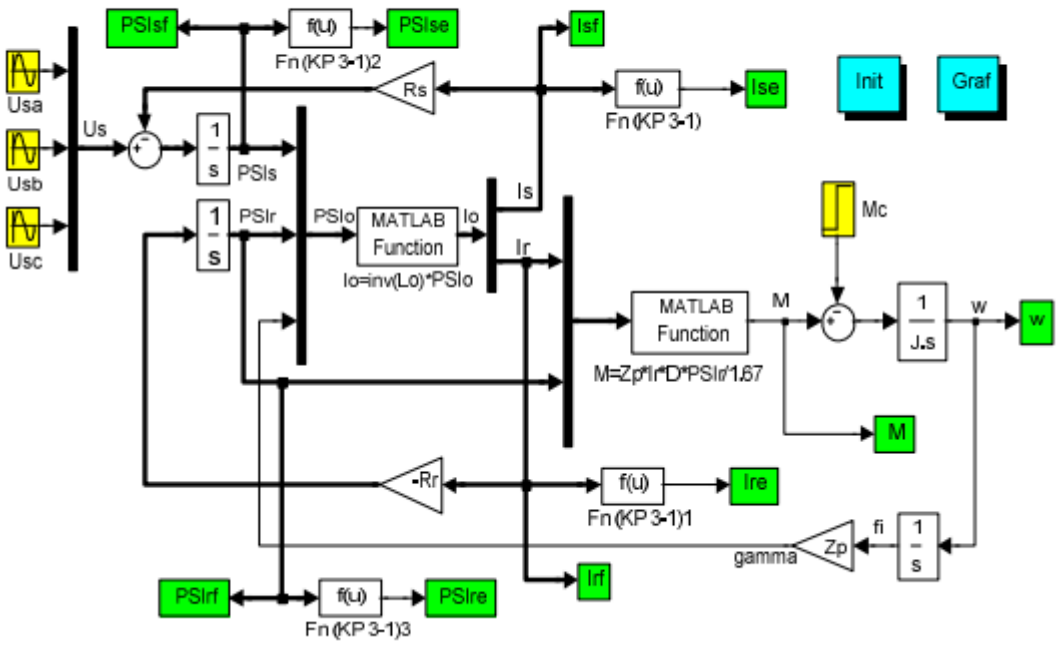


Рис 1. модель АД з короткозамкненим ротором, що живиться від джерела напруги у фазних координатах

Задаючи параметри векторних сигналів, можна створити модель АД у трифазній системі координат для цього користувач повинен написати такі власні функції :

```
function Io = matrix_L(u) % заголовок функції
global Lm ls lr; % опис глобальних змінних
% формули (2.16):
lss=[ ls -1/2 -1/2; -1/2 ls -1/2; -1/2 -1/2 ls ];
lrr= [ lr -1/2 -1/2; -1/2 lr -1/2; -1/2 -1/2 lr ];
% розподіл векторного вхідного сигналу блоку MATLAB Fn:
PSIo=u(1:6); gamma=u(7);
% формули (2.14):
c1=cos(gamma); c2=cos(gamma+2*pi/3); c3=cos(gamma+4*pi/3);
C=[c1 c2 c3; c3 c1 c2; c2 c3 c1]; % формула (2.15)
% формули (2.17):
Lsr=2/3*Lm*C; Lrs=Lsr';
Lo=2/3*Lm*[lss C; C' lrr]; % формули (2.19)
PSIo=PSIo(:); % витягування вектора в стовпець
Io=Lo\PSIo; %рішення системи рівнянь, формула (2.22)
function Mem=Moment(u)
global Zp Lm
u=u(:)'; % витягування вектора вхідних сигналів у рядок
Ir=u(1:3); % формування вектора-рядка струмів
PSIr=u(4:6)' % формування вектора-стовпця потокозчеплень
 % ротора
% формули (2.30):
D=[0 1 -1; -1 0 1; 1 -1 0];
Mem=Zp*Ir*D*PSIr/sqrt(3);
```

Аргументи функцій відповідають вхідним сигналам ланки, а результати – вихідним.

Також після проведення певного аналізу а саме розрахунків параметрів двигуна у програмі в середовищі MATLAB, застосовуючи, формули

$$Y_t = \sqrt{Y_A^2 + Y_B^2 + Y_C^2} \qquad \psi_{s0} = \frac{U_{sfn}}{\omega_s} \qquad L_m = \frac{\psi_{s0}}{I_{s0}} - I_{s0} \qquad \psi_{r0} = L_m I_{s0}$$

де– ψ_{s0} L_m ψ_{r0} ефективні значення струму статора, потокозчеплення статора та потокозчеплення ротора у режимі холостого ходу, можна побачити такі графіки перехідних процесів отримані за допомогою моделі на рис 1.

Із графіків видно, що перехідні процеси електромагнітного моменту та діючих величин струмів статора і ротора (а, б) в режимі прямого пуску мають коливальний характер та максимальні значення, значно вищі за номінальні.

Маючи таку математичну модель складену та введену в середовища програмного забезпечення моделювання, можемо підбирати оптимальні параметри для регулювання енергопотреби та енергозабезпечення електроприводу так як ми можемо контролювати кожен процес і підібрати оптимальний для нас.

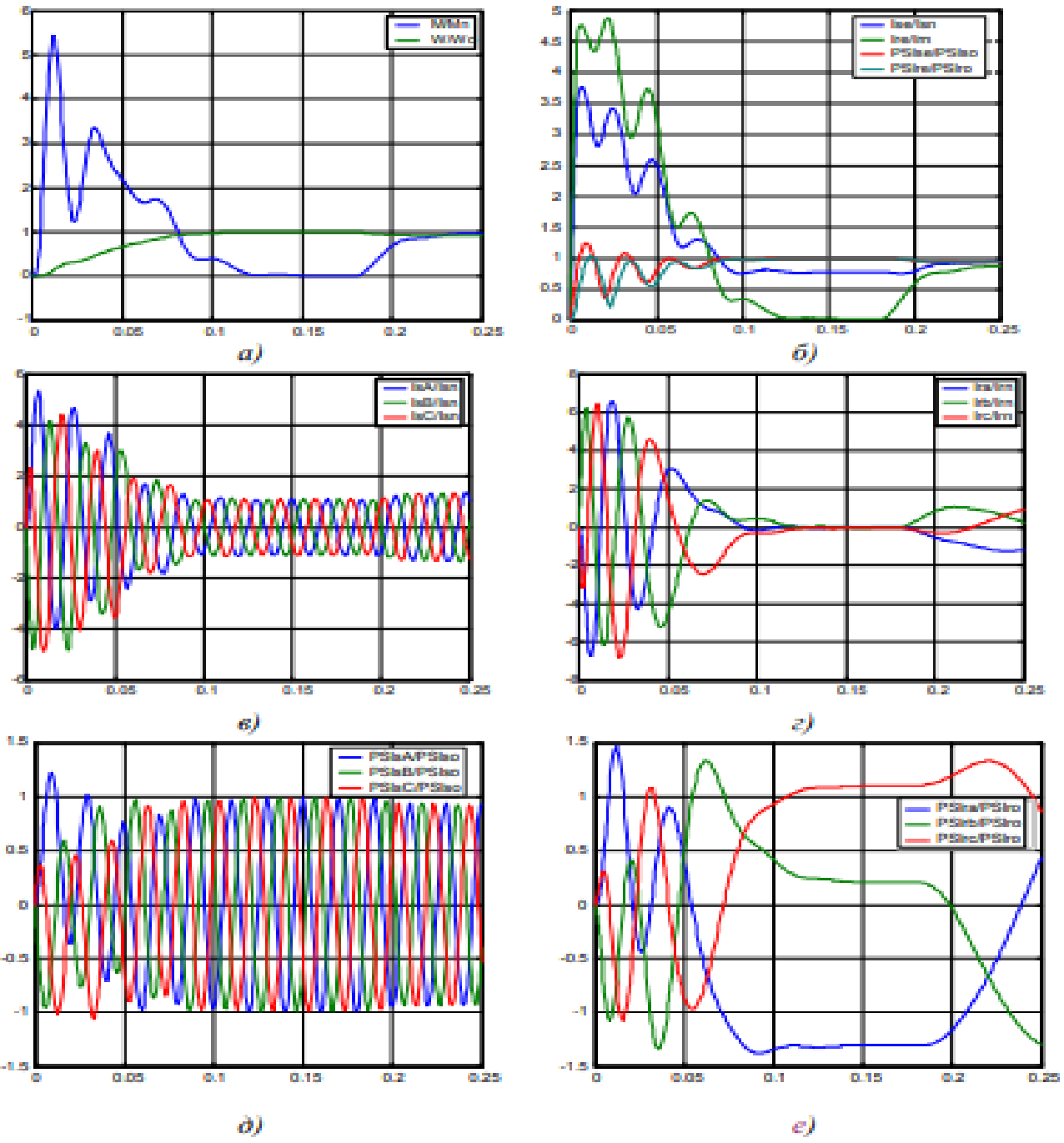


Рис. 2 – Перехідні процеси, отримані при використанні математичної моделі рис. 2.2 у природній трифазній системі координат

Висновок:

Актуальним рішення для забезпечення енергозбереження електроприводу є побудова математичної моделі асинхронного двигуна з урахуванням насичення і втрат в сталі, що дозволить підвищити точність розрахунків при моделюванні, а також розробляти енергозберігаючі алгоритми управління частотно-регульованого асинхронного електроприводу.

Перелік посилань

1.MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения / Дьяконов В.П.

2. MATLAB User Guide. – The MathWorks, Inc., 2014

3. Лазарев Ю.Ф. Моделирование процессов и систем в MATLAB. – СПб: Питер, 2005.– 512 с.

4. MATLAB und SIMULINK. Beispielorientierte Einführung in die Simulation dynamischer Systeme / Josef Hoffman – Bonn Addison-Wesley-Longman. –
1998.

5. Емельянов А.А., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Чернов М.В., Киряков Г.А., Габзалилов Э.Ф., Фуртиков К.А., Реутов А.Я., Королев О.А. Пространственные векторы в асинхронном двигателе в относительной системе единиц // Молодой ученый. - 2015. - №11. - С. 133-156.

6. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты.

Науковий керівник доц. Лебедєв Л.М.

УДК62-505

Іваненко В.І.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КАСКАДНОЮ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ ВОДОПОСТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Анотація.*У даній статті розглядається питання побудови енергоефективної станції управління насосами. Запропоновано систему керування електроприводом насосної станції на основі програмуючого логічного контролера. Розроблено алгоритм керування насосної станції.*

Ключові слова: *насосна станція, ПЛК, перетворювач частоти, автоматизація, алгоритм*

Annotation.*This article discusses the construction of an energy-efficient pump control station. The control system of the electric drive of the pump station on the basis of the programmable logic controller is offered. A pumping station control algorithm has been developed.*

Keywords: *pump station, PLC, frequency converter, automation, algorithm.*

Вступ. Автоматизація машин, установок і виробничих процесів це є на сьогодні одним з найважливіших напрямів технічного прогресу в усіх галузях народного господарства. Устаткування насосних станцій та режими його роботи дозволяють порівняно легко автоматизувати ці споруди. Автоматизація забезпечує управління насосними агрегатами без постійної присутності обслуговуючого персоналу, підвищує надійність роботи станції, збереження її обладнання та забезпечує найбільш економічні режими роботи насосних агрегатів і станції в цілому. За ступенем автоматизації розрізняють повністю автоматизовані і напівавтоматизованого станції, а також станції, керовані з диспетчерського пункту. В електричних насосних станціях з декількома насосами застосовується два основних типи регулювання продуктивності - каскадне і частотне регулювання декількох насосів від одного перетворювача. Каскадне регулювання продуктивністю забезпечується включенням і вимиканням паралельно встановлених насосів (зазвичай від 2 до 4). При використанні даного типу регулювання насосна станція чим більша кількість насосів вона містить , тим гнучка і економічна, вона буде.

Мета та завдання. Розробити алгоритм для управління насосної станції з керуванням на базі програмованого логічного контролера (ПЛК). Основними завданням є зниження капітальних витрат та трудомісткості при налаштуванні системи керування.

Матеріал і результати досліджень. З багатьох рішень, які пропонують провідні виробники насосних станцій, була вибрана наступна система керування. Один з насосів в станції має вбудований децентралізований перетворювач частоти. Контур регулювання виконаний на базі зовнішнього ПЛК із вбудованим функціональним блоком ПІД-регулятора, який змінює продуктивність головного насоса по шині промислового інтерфейсу. При збільшенні необхідної витрати системи регулятор за допомогою вбудованих реле контролера комутує котушки пускачів додаткових насосів. Схема даної системи наведена на Рис.1.

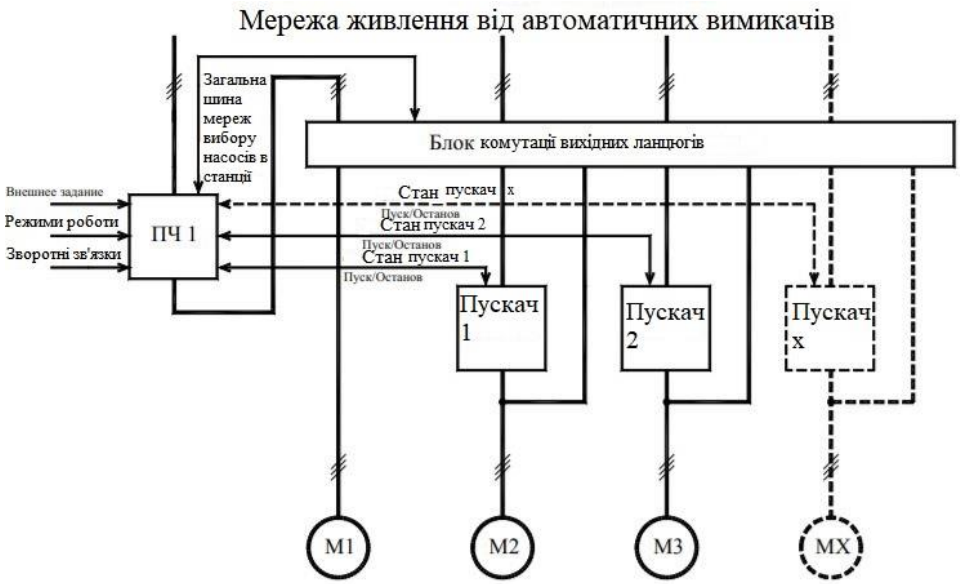


Рис. 1. Схема керування насосною станцією.

В основі запропонованої системи управління лежить ПЛК із сенсорною панеллю, що значно підвищує простоту налаштування. На сенсорній панелі відображається процес виконання технологічного процесу і здійснюється робота оператора для організації автоматичної і дистанційної роботи в разі виникнення аварії та відмови визначених елементів. За допомогою методу графів був розроблена алгоритмів програми управління. Схема графів представлена на Рис.2

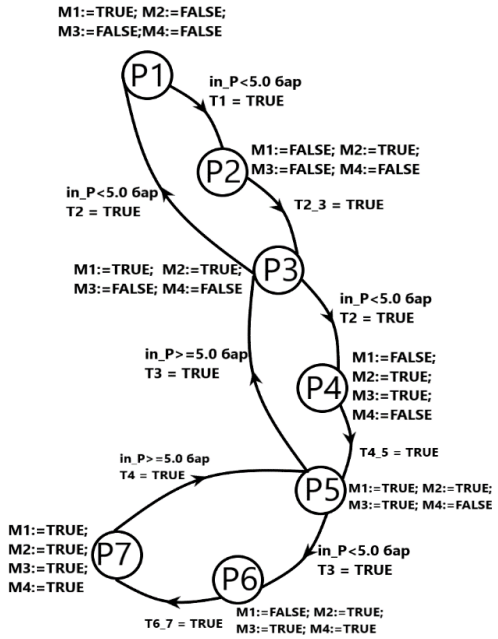


Рис. 2. Схема графів для управління насосної станції.

1. Работа основного насоса з ПІД-регулятором (M1:=TRUE)
2. Тиск падає нижче заданого значення, після чого вмикається таймер (in_P < 5.0, T1 = TRUE)
3. Вимикається перший насос, вмикається другий насос та таймер на вмикання першого насоса.(M1:=FALSE; M2:=TRUE; T2_3 = TRUE)
4. Працює перший насос та другий насос. (M1:= TRUE; M2:=TRUE)

5. Вмикається таймер.(T2 = TRUE)

a) Якщо тиск продовжує знаходитися нижче заданого значення, то вимикається перший насос, працює другий насос, вмикається третій насос та таймер на вмикання першого насоса. (in_P < 5.0, T4_5 = TRUE, M1:=FALSE; M2:=TRUE; M3:=TRUE)

b) Якщо тиск зростає більше заданого значення, працює перший насос, вимикається другий насос (in_P >=5.0 M1:=TRUE; M2:=FALSE)

6. Працює перший насос, другий насос та третій насос. (M1:= TRUE; M2:=TRUE; M3:=TRUE)

7. Вмикається таймер.(T3 = TRUE)

a) Якщо тиск продовжує знаходитися нижче заданого значення, то вимикається перший насос, працює другий та третій насос, вмикається четвертий насос та таймер на вмикання першого насоса. (in_P < 5.0, T4_5 = TRUE, M1:=FALSE; M2:=TRUE; M3:=TRUE; M4:=TRUE)

b) Якщо тиск зростає більше заданого значення, працює перший та другий насос, вимикається третій насос (in_P >=5.0 M1:=TRUE; M2:= TRUE M3:= FALSE)

8. Працює перший насос, другий насос, третій насос та четвертий насос. (M1:= TRUE; M2:=TRUE; M3:=TRUE; M4:=TRUE)

9. Вмикається таймер, якщо тиск зростає більше заданого значення, працює перший та другий насос, третій насос та вимикається четвертий насос (in_P >=5.0 M1:=TRUE; M2:= TRUE M3:= TRUE; M4:=FALSE)

Головним мінусом схеми керування зображеному на Рис. 1 є те, що вони створюють значні скачки тиску, тобто гідроудари в системі. У програмі даний недолік усунений, за допомогою того, що при включені кожного наступного додаткового насосу, основний насос відмикаєтеся на деякий час.

Висновки. Використання розробленої системи керування насосної станції дозволить здійснювати:

• пуск і зупинка агрегатів з витримкою за часом як перед пуском після отримання імпульсу управління, так і між окремими операціями;

• включення одного або декількох насосних агрегатів у встановленій послідовності, причому включення виробляється або на повне напруга (прямий пуск), або на знижений з подальшим включенням на повну напругу після встановленої витримки (ступінчастий пуск).

Перелік посилань

1. Автоматизація насосів і насосних станцій [Електронний ресурс] – Електронні дані. - Режим доступу: http://electricalschool.info/main/electroshemy/741-avtomatizacija-nasosov-i-nasosnykh.html (дата звернення 04.06.2019 р.). – Назва з екрана.

2. Петров І.В. Програмовані контролери. Стандартні мови та прийоми прикладного проектування / Під ред. проф. В. П. Дьяконова. - М .: СОЛОН-Пресс, 2004. - 256 с .: іл. - (Серія «Бібліотека інженера»)

3. Ковальчук О.В. Логічний синтез дискретних схем автоматики: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. -168 с. ISBN 978-966-622-294-0.

Науковий керівник доц. Торопов А.В.

УДК 621.3

Лазоренко А.В.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖЕВОГО НАСОСУ ТЕЦ

Анотація. *В результаті проведених досліджень було змодельовано систему автоматичного керування мережевим насосом ТЕЦ з адаптивним регулятором тиску для підвищення енергоефективності, що в свою чергу, дозволяє збільшити економію води за рахунок зниження непродуктивних витрат води в разі використанні частотно-регульованого приводу.*

Abstract. *As a result of the research, a system of automatic control of the CHP network pump with an adaptive pressure regulator to increase energy efficiency was modeled, which in turn allows to increase water savings by reducing unproductive water consumption when using a frequency-controlled drive.*

Вступ. З огляду на явні переваги, частотно-регульований електропривод отримує досить широке поширення в насосних установках. В даний час склалися умови, що дозволяють використовувати його повсюдно. Розвиток напівпровідникової техніки дав можливість створити на базі статичних перетворювачів надійні і порівняно недорогі частотно-регульовані електроприводи. В результаті цього розширилися роботи з дослідження, розробки і створення насосних установок, оснащених автоматизованим частотно-регульованим електроприводом.

Енергетичні показники насосних установок залежать від режиму роботи. Параметрами, що визначають режим роботи насоса, є напір і подача. Ці величини також повністю визначають частоту обертання і момент навантаження на валу електродвигуна, тобто режим роботи електроприводу. Відповідно, регулювання основних параметрів робочого режиму насоса вплине на енергетичні показники і дозволить визначити ефективність роботи насосної установки. Найбільш ефективно регулювати основні параметри режиму роботи відцентрових насосів методом зміни частоти обертання робочих коліс [1]. Зміна частоти обертання робочих коліс насоса можливо, коли в якості приводного двигуна використовуються газові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння або регульований електропривод

Мета та завдання. Розробка систему автоматичного керування мережевим насосом ТЕЦ з адаптивним регулятором тиску для підвищення енергоефективності та оцінки енергоефективності роботи насосних установок для регульованого електроприводу на об'єктах ТЕЦ.

Матеріал та результати дослідження. Для значної групи насосних установок економічний режим забезпечується стабілізацією тиску (напору) в системі подачі рідини. До таких установок відносяться насосні станції другого і третього підйомів промислових і міських водопроводів, насосні станції підкачки, станції закритих систем зрошення і їм подібні.

Необхідність стабілізації напору в мережі цих станцій обумовлена змінним характером режиму одопотребленія. Імовірнісний характер водоспоживання вимагає безперервних змін в режимі роботи насосної установки. Зміни повинні бути встановлені таким чином, щоб підтримувалися необхідні значення технологічних параметрів (подач, напорів) в системі в цілому і одночасно забезпечувалося мінімально можливе енергоспоживання насосної установки.

Це завдання вирішується системою автоматичного управління (САУ) насосної установки, стабілізуючою натиск в мережі по заданому значенню.

У роботі моделюється електромеханічна система керування напором насосного агрегату потужністю 1600 кВт з асинхронним двигуном та перетворювачем частоти.

Регулювання напору здійснюється за рахунок зміни частоти обертання приводного АД.

Частотне керування є найбільш ефективним способом регулювання швидкості.

Досліджувана система являє собою триконтурну систему керування. Система містить основний контур регулювання тиску і підлеглі йому контури регулювання швидкості і струму двигуна (рис.1):

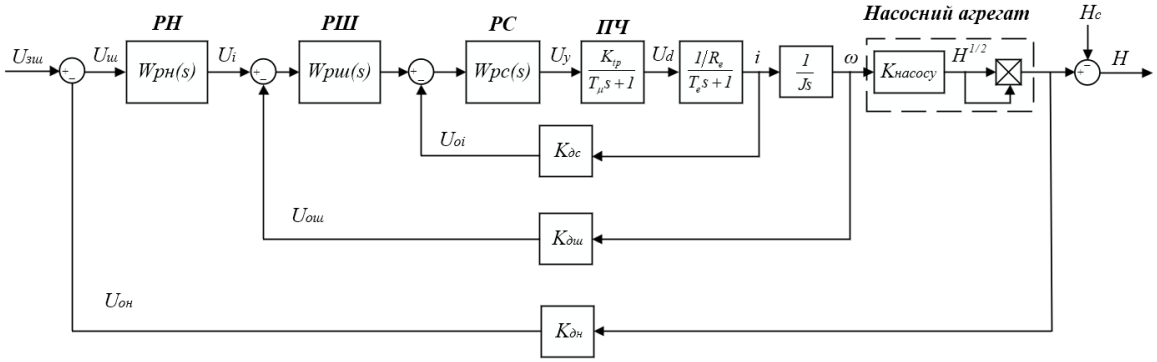


Рисунок 1 – Структурна схема САУ насосного агрегату

В якості об’єкта регулювання вибраний мережевий насос СЕН 4Г ІІп (табл. 1), з приводним електродвигуном 2АЗМ-1600/6000 (табл. 2), який керується високовольтним перетворювачем частоти ABB ACS 2060 (табл. 3.).

Таблиця 1. Параметри мережевого насосу

Тип насосу	Номінальна подачаQ, м^3/год /Р напір кг/см^2	Р на вході, кг/см^2	Частота обертання, об/хв	ККД, %	Температура води, ^{o}С
СЕ 2500х180	2500/17,7	4	2975	87	120

Таблиця 2. Параметри приводного електродвигуна

Потужність P, КВт	Напруга живлення, U, В	Струм статора, А	Частота обертання, об/хв	ККД, %	$cos\varphi$	З’єднання обмоток
1600	6000	177	2980	96,5	0,9	зірка

Таблиця 3. Параметри перетворювача частоти

Тип	Повна потужність, КВА	Напруга живлення, КВ	Вхідна частота, Гц	$cos\varphi$	Топологія
ACS 2060	2063	6	50	Контролюється до1.0	5-ти рівневий інвертор напруги

В якості регулятора напору обрано адаптивний регулятор, структура якого представлена на рис. 2.

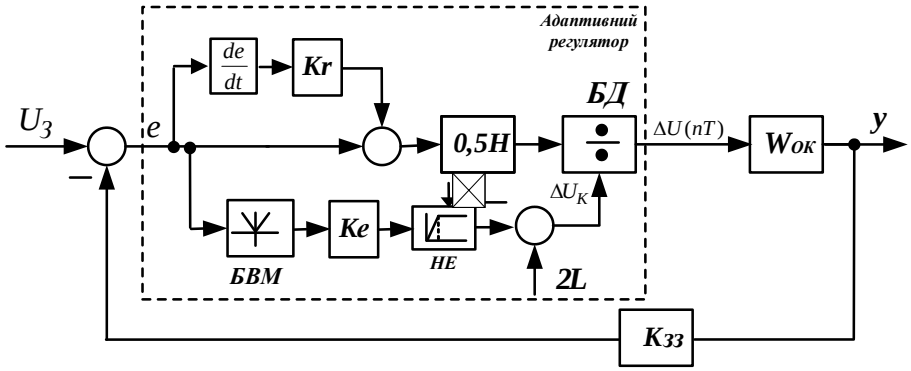


Рисунок 2 – Структурна схема САУ насосного агрегату

На рис. 2. наведено такі позначення: сигнал e є помилкою регулювання, БД – блок ділення, БВМ – блок виділення модулю сигналу e, $K_{зз}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку, $U_з$ - задане значення вхідної напруги, W_{OK} - передавальна функція об'єкта керування, y - вихідний сигнал.

Для того щоб коефіцієнт пропорційності регулятора K_e не залежав від знаку помилки e в паралельній передачі використовується її абсолютне значення (БВМ), оскільки коефіцієнт K_e може приймати значення $K_e|e| < 2L$, $2L = 1$.

Нелінійний елемент НЕ введений для того, щоб при будь яких значеннях помилки e сигнал ΔU_K був більше нуля. Чим менше сигнал ΔU_K, тим більший коефіцієнт пропорційності K_e і тим швидше буде зменшуватися помилка. Обмеження вхідного сигналу НЕ U_m повинне бути менше $2L$, щоб уникнути можливого ділення управляючого сигналу на 0.

Так як керування АД у пропонованій моделі реалізовано за принципом підлеглого керування, кожний контур містить свій регулятор і зворотний зв'язок за контрольованою змінною. На вхід системи подається сигнал із задатчика інтенсивності. На рис. 3 представлено модель в системі MATLAB.

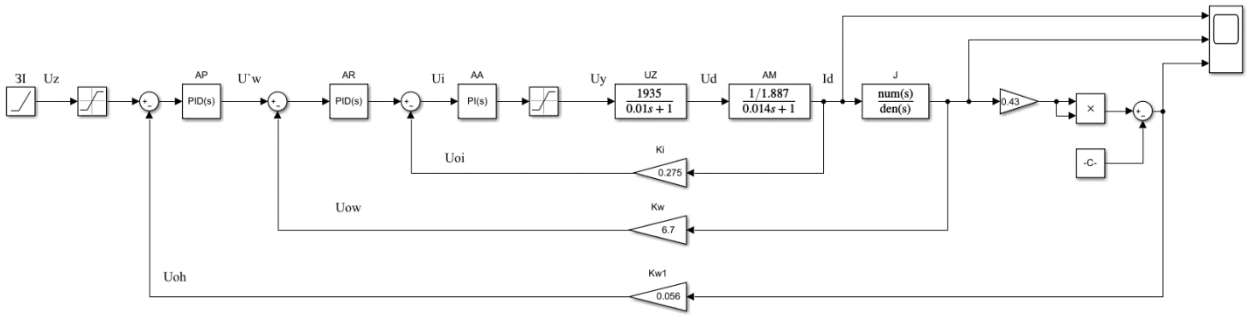
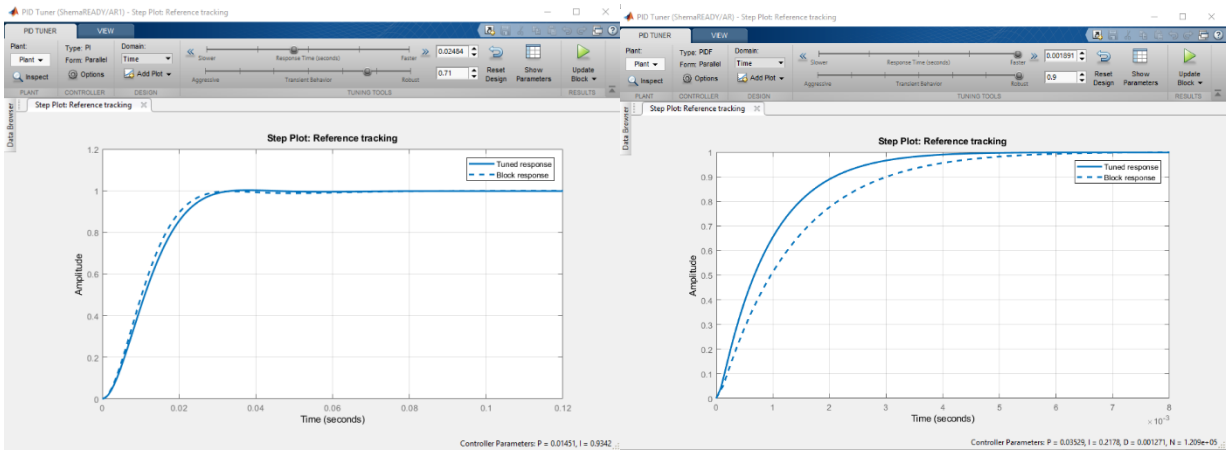


Рисунок 3 – Модель частотного електроприводу насосного агрегату

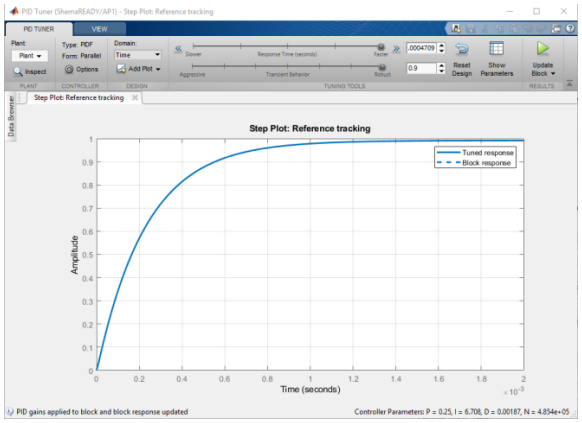
Оскільки в реальній системі важливим питанням є наявність гідроудару, то в якості задатчика інтенсивності використаний елемент з бібліотеки Simulink «Ramp» (Джерело лінійно змінюємого впливу).

Налаштування регуляторів виконується в середовищі Matlab. Змінюючи вигляд та час перехідного процесу на виході регулятора, система розраховує оптимальніпараметри регуляторів.

На рис.4 показані результати налаштування регуляторів, а на рис.5, 6 – перехідні процеси.

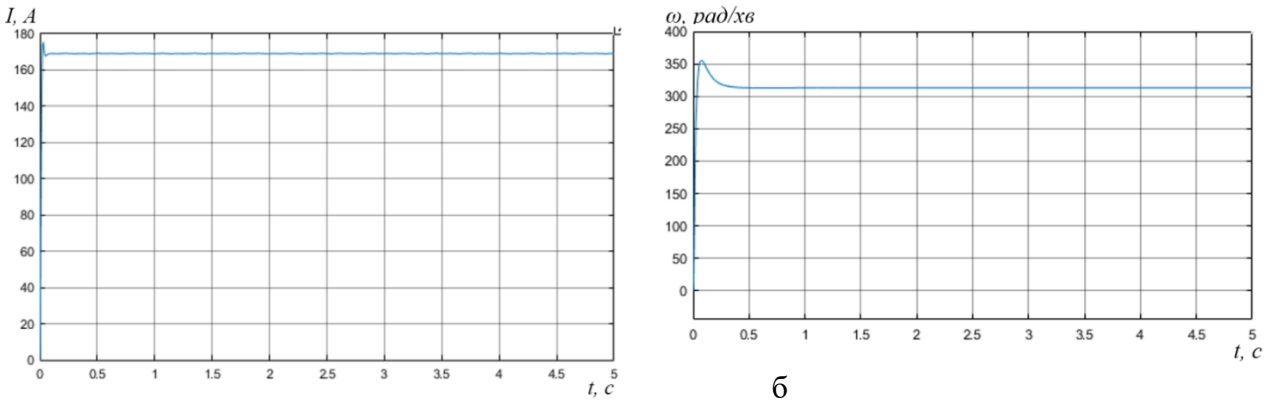


а б



в

Рисунок 4 – Результати налаштування регуляторів а – ПІ – регуляторструму; б, в – ПІД – регулятори швидкості та тиску



а б

Рисунок 5 – Перехідні процеси за струмом (а) та швидкістю (б)

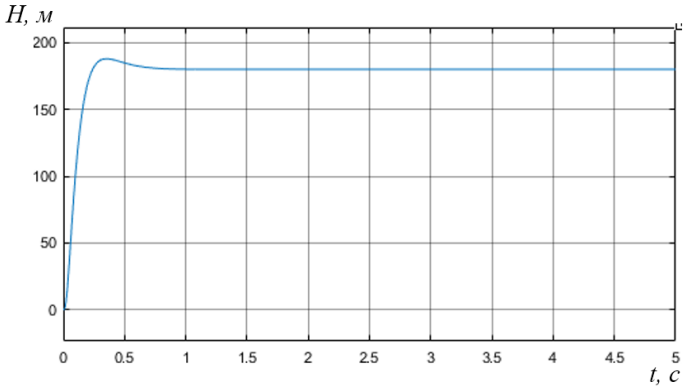


Рисунок 6 – Перехідний процес при зміні напору

В основу запропонованої моделі поставлена задача підвищення енергоефективності насосної установки, шляхом введення адаптивного регулятора тиску, що забезпечить високу енергоефективність насосних установок за встановленими показниками для регульованих електроприводів на об'єктах водопостачання та проводити їх уточнення при необхідності, що підвищить надійність насосної установки в цілому.

Висновки. 1. На основі структурної схеми досліджена система керування мережевим насосом з адаптивним регулятором тиску. Отримані в результаті комп'ютерного моделювання графіки підтвердили ефективність застосованого регулятора.

Перелік посилань

1. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с..

2. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник // О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей – К: Кондор, 2005. – 408 с.

3. Муравлева О.О. Оценка влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата / О.О. Муравлева, Е.В. Вехтер, Т.В. Жарикова // Известия Томского политехнического университета/. – Т.308. № 1. – Томск: ТПУ, 2005. - С. 174-178.

4. Pumps life cycle cost: a guide to LCC analysis for pumping systems. executive summary / [Hydraulic institute and Europump]. - Washington, DC, USA, 2001. - 16 c

Науковий керівник, к.т.н., доц. Босак А.В.

УДК 621.3.078.3

Борщ А.О.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

РОЗРОБЛЕННИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРОХІДНИЦЬКОГО ЩИТА

Анотація. *Проведено аналіз методів зниження енергоспоживання обертального приводу прохідницького щита тунелепрохідницького комплексу, запропонована система регулювання швидкості обертання виконавчого органу прохідницького щита на базі системи регульованого електропривода за схемою «широтно-імпульсний перетворювач- двигун постійного струму».*

Ключові слова: *Енергозбереження, прохідницький щит, регулювання частоти, двигун постійного струму, система керування.*

Abstract. *The analysis of methods for reducing the power consumption of the rotary drive of the tunnel tunnel complex is carried out, the system of speed control of the executive body of the tunnel shield is proposed on the basis of the regulated electric drive system according to the scheme "pulse-width converter-DC motor".*

Key words: *Energy saving, tunnel shield, frequency regulation, DC motor, control system*.

Вступ

Прискорення темпів зростання обсягів будівництва і освоєння підземного простору обумовлюють необхідність підвищення точності проходження тунелів і інженерних комунікацій в умовах щільної міської забудови. Значною мірою цим вимогам задовольняють щитові тунелепрохідницькі комплекси (ТПК) з виконавчим органом роторного типу, що дозволяють безпечно прокладати тунелі на великі відстані під міськими масивами, річками, будівлями і спорудами, а високотехнологічні високоточні прилади дозволяють здійснювати ведення прохідницького щита до мети по заданій траєкторії. Однак відсутність високоточних систем управління рухом виконавчих органів таких машин не дозволяє забезпечити високу точність дотримання траєкторії руху з урахуванням особливостей гірничо-геологічних умов при проходженні виробки тунелю, що призводить до низької ефективності роботи тунелепрохідницького комплексу.

Основні завдання Основними завданнями роботи для покращення роботи ТПК є:

- визначення основних причин низької енергоефективності устаткування ТПК;
- аналіз методів підвищення енергоефективності ТПК;
- вибір способу регулювання обертання та осьового зусилля;
- розроблення модернізованої структурної схеми електроприводу обертання робочого органу прохідницького щита.

Мета і постановка задачі

Метою дослідження є обґрунтування раціональної схеми електроприводу на базі двигуна постійного струму, параметрів системи управління рухом роторного виконавчого органу щитового тунелепрохідницького комплексу, що забезпечує високу точність проходження тунелю по заданій трасі в породах з різними характеристиками міцності та властивостями. Ідея роботи полягає в тому, що точність проходження тунелю по заданій трасі щитовим тунелепрохідницьким комплексом досягається реалізацією енергозберігаючої системи електропривода та системою управління прохідницьким щитом. Одним з основних параметрів обертального способу буріння, що впливає на продуктивність і економічну доцільність бурильних робіт, є швидкість буріння. Вона, в свою чергу, може значною мірою змінюватися залежно від величини осьового зусилля притиснення (подавання) робочого

органу до вибою, та числа обертів робочого органу за одиницю часу, фізико-механічних властивостей гірських порід. Значний вплив на процес обертального буріння мають фізико-механічні властивості масиву, через які проводиться проходка тунелю[1]. Для оцінки їх впливу запроваджено такі поняття, як крихкість, пластичність, твердість, контактна міцність, абразивність, вологість і т.ін. У більшості випадків дослідники характеризують опір руйнування гірських порід при бурінні або міцністю на стискання, або твердістю (міцністю на вдавлювання) і абразивністю. Між величиною кута $\propto$ ріжучого інструменту і твердістю гірської породи або коефіцієнтом міцності за шкалою проф. М. М. Протод'яконова існує залежність виду

або

$$k = b * tg\alpha = \frac{a_1}{p_{вд}}$$

$$\kappa = b \cdot \mathrm{tg}\,\alpha = \frac{a_2}{f},$$

де a_1 і a_2— коефіцієнти, що залежать від числа обертів бура і ступеня зношеності різця; f-твердість гірської породи; $p_{вд}$ - тиск подаючого органу. Максимальне значення a_1 і a_2 відповідає оптимальному числу обертів робочого органу щита $n_{опт}$, тобто такого, при якому досягається максимальна швидкість буріння і мінімальна енергоємність процесу руйнування $A_{об}$. Мінімальна питома об'ємна робота $A_{об}$ руйнування для всіх випадків може бути підрахована за формулою:

$$A = 6{,}12\frac{N}{V * S_ш}, кгм/см^3$$

де N — потужність, яка витрачається на буріння, Вт;
$S_ш$ — площа перерізу свердловини $см^2$;
V — швидкість буріння, см/хв.
Потужності машин, необхідні для буріння гірських порід різної міцності, можна визначити за формулою, якщо відомі величини енергоємності процесу руйнування:

$$2{,}8f = 6{,}12\frac{N}{S_ш * V}$$

або

$$N = 0{,}465 \cdot S_ш \cdot V \cdot f.$$

При визначенні потужності двигуна $N_{дв}$ необхідно враховувати коефіцієнт його корисної дії η тоді

$$N_{дв} = \frac{0{,}465 \cdot S_ш \cdot V \cdot f}{\eta}.$$

Переваги обертального буріння: безперервність процесу, що забезпечує високу продуктивність; руйнування породи великим зрізом, яке зменшує пилоутворення та питомі енерговитрати; відсутність вібрації машин під час роботи. До недоліків слід віднести обмежену область застосування по міцності гірських порід. На даний час досягнення в галузі керованого привода і мікропроцесорної техніки дозволяють на якісно новому рівні підійти до вирішення поставленого завдання і створювати гірниче обладнання нового технологічного рівня, що підвищить продуктивність праці при проведенні прохідницьких робіт.

Дослідження електроприводу прохідницького щита

Механізований щит представляє собою прохідницьке рухоме кріплення, під захистом якого розміщені механізми для руйнування породи, видачі її за межі щита і керування рухом щита.Розробка забою виконується робочим органом роторного типу, забезпечений ножами і різцями для руйнування і відбору породи. Вибір схеми встановлення ножів і різців на ротор виконується в залежності від певних геологічних умов.Обертання ротора здійснюється від двохдвигунного привода постійного струму. Привод постійного струму дає змогу

безступінчатого регулювання обертів ротора, що дозволяє вибрати найбільш раціональний режим руйнування забою. Так, наприклад, при роботі щита в міцних породах з малою подачею на оберт робочого органу можна зберегти високу продуктивність механізму, збільшуючи число обертів ротора. І, навпаки, при роботі в ґрунтах, схильних до частинного відшаровування породи, можна зберегти високу продуктивність, зменшуючи число обертів ротора. Передача моменту на ротор здійснюється через головний силовий редуктор від дводвигунового привода постійного струму. Кожен з двох приводів складається з електродвигуна постійного струму і редуктора. Для привода механізованого щита вибрані двигуни постійного струму з умови необхідності безступінчатого регулювання швидкості обертання ротора. Це дає змогу більш глибшого вибору режиму різання породи в залежності від її гірничо-геологічних властивостей Кінематичну схему привода робочого органа прохідницького щита ЩМР-1 наведено на рис. 1, де: 1,2 – електродвигуни; 3 – редуктор Ц2-1000; 4 – головний редуктор; 5 – робочий орган.

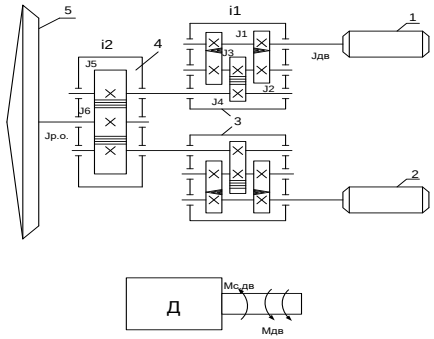


Рисунок 1– Кінематична схема привода робочого органа прохідницького щита ЩМР-1

Система керування приводом прохідницького щита повинна відповідати наступним вимогам:
- автоматична підтримка заданих режимів роботи електропривода в залежності від умов проходки;
- наявність автоматичних блокувань при недопустимих режимах роботи механізмів прохідницького щита (заклинювання робочого органа, вивали і т.д.).

Виходячи із вище сказаного, запропоновано систему підлеглого керування за системою ШІП-Д (діодний випрямляч – мостовий транзисторний перетворювач – двигун). На рис. 2 представлена замкнута система автоматичного керування електропривода.

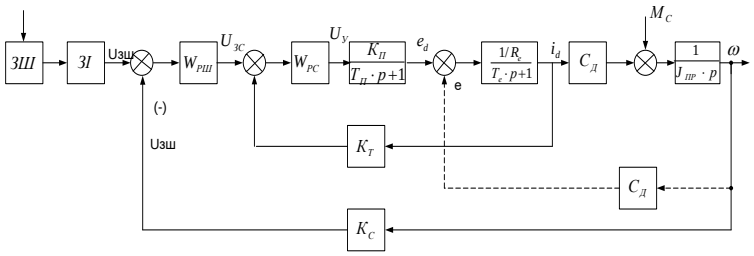


Рисунок 2– Замкнута система автоматичного керування електропривода

Для дослідження динаміки системи в додатку Simulink розроблена модель, що дозволяє проводити моделювання електроприводу робочого органу прохідницького щита тунеле-прохідницького комплексу по схемі ШИП-Д. наведено на рис.3 Результати моделювання наведено на рис.4.

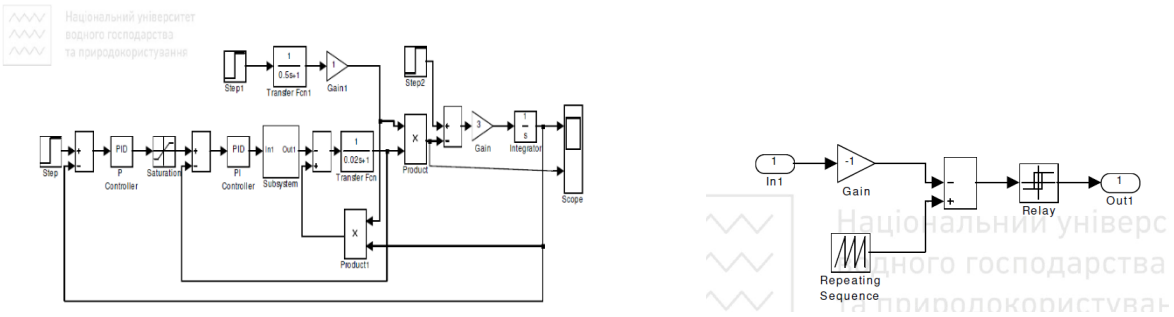


Рисунок 3 – Модель електроприводу по схемі ШИП-Д

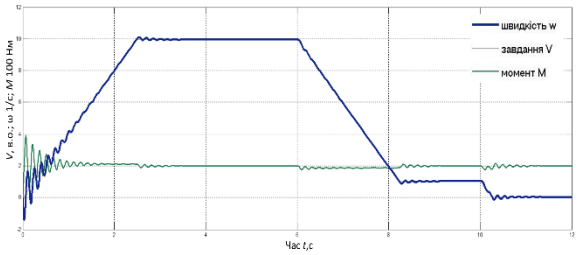


Рисунок 4 – Результати комп'ютерного моделювання режимів вентильного двигуна

Висновки

Збільшення продуктивності прохідницького щита тунелепрохідницького комплексу може бути досягнуто застосуванням раціональних режимів роботи регульованого електроприводу, удосконаленням бурового інструменту і конструкції самого комплексу. Виходячи з результатів аналізу методів зниження енергоспоживання, вибрано метод регулювання частоти обертання робочого органу прохідницького щита. Наведена система з підпорядкованим регулюванням є достатньо ефективною та забезпечує необхідну якість регулювання. Застосування регульованого електропривода за схемою ШИП-Д дозволяє значно підвищити енергоефективність роботи прохідницького щита тунелепрохідницького комплексу, зменшити витрати бурового інструменту та поліпшити умови праці прохідників.

Перелік посилань

1. Будников В.Б. Система управлення щитом тоннелепроходческого комплекса// Материалы шестой всероссийской научно-практической конференции «Системи управлення злектротехническими обьектами». - Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. - С. 216-220.
2. В.Б. Терехин Моделирование систем электропривода в SIMULINK (MATLAB 7.0.1) Томский политехнический университет 2008
3. Сидорчук Б.П., Гудь В.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Моделювання систем автоматизації»- Рівне НУВГП, 2013-50с
4. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Mathlab 6.0. М., Коронапринт, 2001. 320 с.

Науковий керівник ст. викладач Прядко С.Л.

УДК62-505

Загорський Д.І.

Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗАЦІЯ ГАЗОВОГО СХОВИЩА СЕРЕДНЬОГО ОБ'ЄМУ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ДАНИХ У ЄДИНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС

Анотація. *Аналітичне дослідження автоматизованої системи, призначеної для здійснення контролю що дозволяє з метрологічною атестованою точністю проводити вимірювання рівня і температури, а за калібрувальними таблицями обчислювати обсяг, масу і щільність газу в окремих резервуарах та у парку в цілому. Інформація, яка зберігається в базі даних, у подальшому є ресурсом для формування звітів, автоматичного відправлення облікових даних, проведення комплексної аналітики.*

Ключові слова: *перетворювач, автоматизація ,рівнемір, ультразвук*

Abstract. *Analytical study of an automated system designed for control that allows metrologically certified accuracy to measure the level and temperature, and the calibration tables to calculate the volume, mass and density of gas in individual tanks and in the park as a whole. The information stored in the database, in the future is a resource for generating reports, automatically sending credentials, conducting comprehensive analytics.*

Keywords: *converter, automation, level meter, ultrasound*

Вступ. В умовах ринкової конкуренції значно зросли вимоги що пред'являються до пристроїв вимірювання рівня, обсягу, маси і щільності газу.

Так, на сьогоднішній день, створення ринку газу передбачає собою введення нової системи контролю та обліку. Нововведеннями в законодавстві передбачено обов'язок встановлення вимірювального обладнання (рівнемірів та витратомірів) та подальша передача даних з них до державної фіскальної служби, за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення. Таке положення речей тісно пов'язано з так званою «Системою електронного адміністрування газу», адже його показники мають порівнюватися з акцизними накладними і перевірятись податківцями. Такі системи АСУ все частіше використовуються різними підприємствами та забезпечують все більш високе зростання доходів підприємства в цілому.

Мета та завдання. Покращення споживчої якості системи автоматизованого обліку газу, його рівня, температури, обсягу, маси і щільності.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити методику розрахунку рівня та температури газу ультразвуковим методом;
- провести аналітичний розрахунок технологічних даних газу.

Матеріал і результати досліджень.

Газове сховище являє собою комплекс будівель, споруд та інженерних комунікацій, які призначені для прийому газу, їх зберігання і видачі на потреби споживачів.

В роботі передбачається налаштування автоматизованої системи контролю та обліку газу до складу якої входить:

– Джерела первинної інформації (П25)

– Прилади іскробезпечного живлення (ПИП2)

– Шафа УУС-01 у складі Диспетчера зондів (ДЗ), Панелі оператора (ПО) і мережевого концентратора Ethernet.

– Шафа силова (ШС) з автоматичними вимикачами

На існуючому АСН, що підлягає автоматизації, вже встановлено:

– Датчик (передавач) імпульсів

– Клапан запірний електрокерований

Передбачається встановити за даним проектом:

– Контролер АСН НД2017КИ з інформаційним табло.

– Пульт аварійної зупинки

– Пристрій контролю заземлення автоцистерни.

УУС-01 - центральний блок із занурювальними перетворювачами/зондами П25. Застосовується для вимірювання параметрів всіх видів палива та газу в резервуарах, які мають технічний отвір (штуцер з фланцем) для монтажу занурювального зонда.

Тип (занурювальний або накладний) використовуваних рівнемірів і їх параметри (розміри і технічні характеристики) визначаються виходячи з типів, габаритів і способу встановлення резервуарів для зберігання газу.

Точність вимірювання не залежить від типу виконання датчиків.Для забезпечення віддаленого інформування персоналу щодо стану і рівня газу у резервуарному парку, в комплексі із рівнеміром використовується програмне забезпечення «ICCND».

На рисунку 1 представлений сигнал (синій колір) з відношенням с / ш = -5дБ тривалість 30мкс, частота зондування 600 кГц.

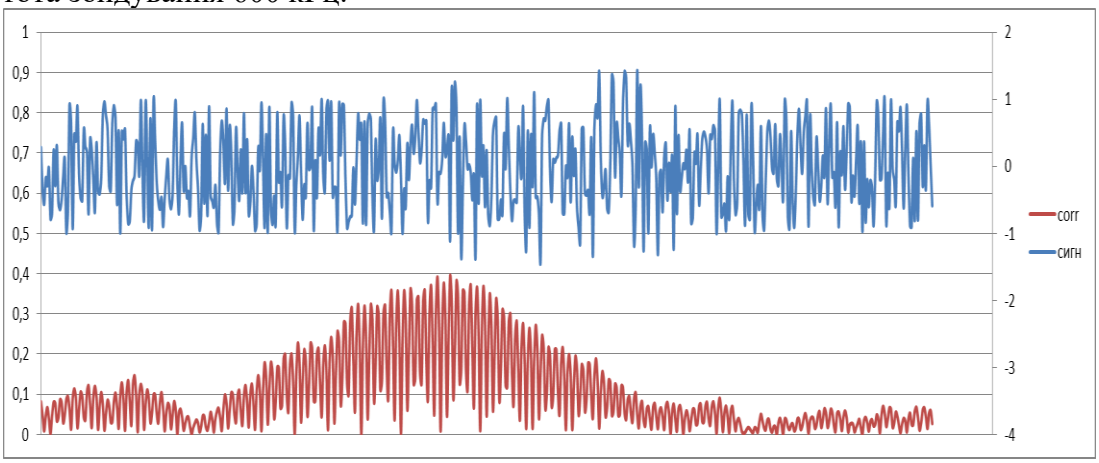


Рисунок 1 - Оцифровування сигналу і детектування

Імпеданс звуководом залежить від температури і він описується унікальним сімейством константних параметрів. А імпеданс рідини це Z=ρ*c твір щільності на швидкість.

Виходячи з проведених досліджень на стенді визначена империческая залежність наведеної щільності газу від енергії відбитого сигналу, швидкості і температури.

$$\rho(кг/м^3) = A^t\chi+B^t \text{ ,где } \chi=\sqrt{E}c. \quad (1)$$

Або, в розгорнутому вигляді:

$$\rho(t,E,c)=(a_1t+a_2)\ \chi+b_1t+b_2 \quad (2)$$

На рисунку 2 показані частоти вікон прозорості в залежності від товщини стінки м1, м2, м3. та експериментальні дані робочих частот декількох датчиків.

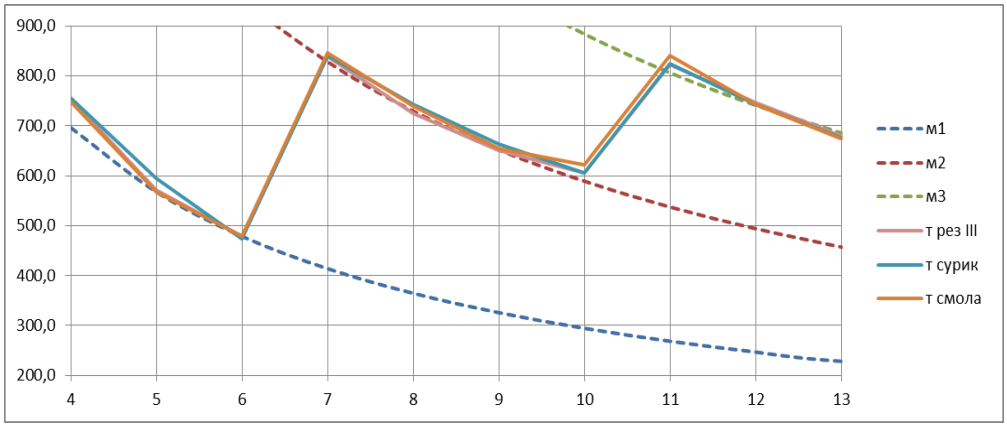


Рисунок 2 - Частоти вікон прозорості

Всі використовувані в складі системи зонди використовують однотипні електронні пристрої з мікроконтролерним управлінням, з єдиною робочою програмою, з єдиним протоколом зв'язку і єдиним принципом роботи - ультразвуковий локацією об'єктів.

Робота заснована на порівнянні часу приходу луна від поверхні з часом приходу луна від фіксованих відбивачів. Для накладної конструкції фіксованим відбивачем є протилежна стінка резервуара (відстань - внутрішній діаметр).

На рисунку 3 показана температура термодатчика (жовтий графік), і температура пройшла через адаптивний фільтр (червоний графік), ця температура дзеркально відображає швидкість звуку (синій графік), що відповідає однаковому значенню співвідношення пропан / бутан (зелений графік).



Рисунок 3 - Графік температури термодатчика

Блок ДЗ забезпечує прийом і обробку сигналів від перетворювачів П25 і приладів ПИ-…, обчислення рівня, швидкості звуку, густини, об'єму і маси продукту в контрольованому резервуарі, контроль стану рівнеміра, а також формування і видачу результатів вимірювань і обчислень і контролю стану рівнеміра в АСУ об'єкту.

На рисунку 4 показана електрична, принципова схема підключення на 6 зовнішніх силових пристроїв.

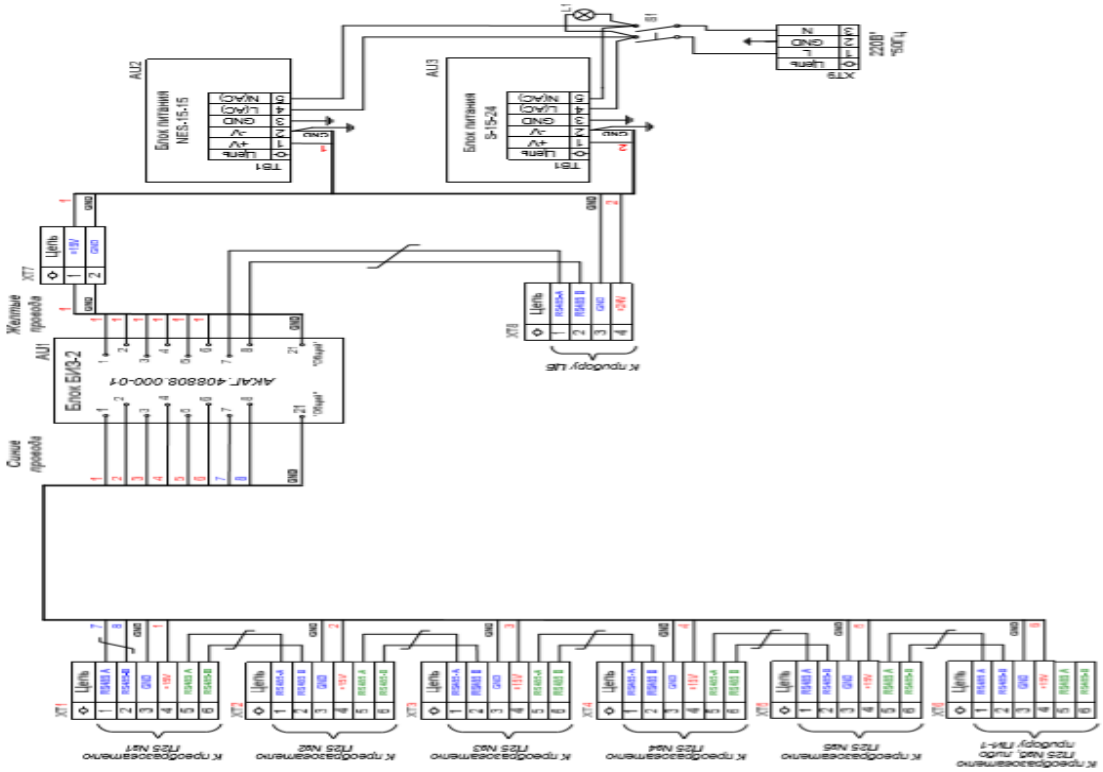


Рисунок 4 - Принципова схема підключення

Використовуваний диспетчер зондів є універсальним контроллером для керування пристроями автоматичної системи вимірювання газу в резервуарах. Результати вимірювань і інформація про стан рівнеміра, отримувана за результатами його самоконтролю, відображаються на РКІ блоку ЦБ (при його наявності) і по інтерфейсу RS 232 передаються в інші пристрої АСУ об'єкта (згідно із замовленням). Протокол обміну: «MODBUS» або визначається замовленням. Склад масиву інформації визначається замовленням. Драйвери всіх доступних для управління пристроїв і протоколи інтерфейсів прошиті в контролері і призначаються на фізичні порти введення-виведення в процесі конфігурації контролера.

Висновки. Використання системи автоматизації дозволяє інтегрувати дані з роботи газового сховища середнього об'єму у єдиний програмний комплекс. При цьому забепечується некомерційний облік параметрів роботи системи, виключення аварійних ситуацій, контроль найважливіших параметрів. Також, використання системи автоматизації дозволяє сформувати готові файли з даними для передачі їх у інші об’єкти АСУ за одним із стандартних промислових інтерфейсів.

Перелік посилань

Кулагин, А. В. «Особенности расчета течения газа с большой скоростью в ступенчатых газопроводах», Universum: технические науки, 2016. - № 10. 7universum.com›ru/tech/archive/item/3815

1. Г. Иоилев , А. С. Кучеров , В. Ю. Мельцас , Г. Ф. Портнягина , А. Г. Прохоров , И. Е. Теличев , В. Г.Шахов «оценка изменения параметров газа в сосуде при пробивании его стенки высокоскоростными механическими частицами» ,Российский Федеральный Ядерный Центр
2. Шорников Е. А. «Расходомеры и счетчики газа, узлы учета. Справочник» , Политехника, 2003 г.
3. Белов Д.Б. «Анализ влияния температуры природного газа в трубопроводе на его объем», Известия Тульского государственного университета. Технические науки , 2013

Науковий керівник доц. Торопов А.В.

УДК 620.92

Чоудхурі Антон-Мохаммед
Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ СТЕЖЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ СТАНЦІЙ

Анотація. *В системах стеження за сонцем в сонячних станція вористовують двигуни, які є теж соживачами енергії. Незважаючи на не малу потужність двигунів і додаткові капіталовладення сонячні станції з використаням систем стеження ефективні ніж станції з жорсткою системою кріплення панелей. В результаті дослідження були наведені докази ефективності застосування систем стеження.*

Ключові слова: *сонячні батареї, трекери, автоматична система стеження за сонцем.*

Abstrakt. *In solar tracking systems, solar stations use motors, which are also co-drivers of energy. Despite the considerable power of the engines and additional capital, solar stations using tracking systems are more efficient than stations with a rigid panel mounting system. The study provided evidence of the effectiveness of surveillance systems.*

Keywords: *solar panels, trackers, automatic sun tracking system.*

Вступ. Стрімкий розвиток сонячної енергетики в світі, це переконливий доказ того що сонячна енергетика одна із самих переспективних. Сонячна енергія це безкоштоний ресурс, який треба використивувати по максимуму. Приклад розвитку енергетики інших країн таких як Германія, Японія, Китай. Які набагато років попереду від України, які розробляють не тільки станції для видобутку електроенергії, а й станції акумулювання її. З кожним роком підвищується якість сонячних панелей і вдосконалюється система управління сонячними станціями.

Потенційна енергія основних відновлювальних і невідновлювальних джерел в трільйонах тонн умовного палива в рік:

-сонячна енергія -131;
-вітрова енергія-2;
-гідроенергія-7;
-енергія біомасси 0,1;
-вугілля-11;
-уран-8;
-світове споживання 0,01. [1]

Ресурси будь-якого з цих джерел енергії достатні для потреб людства в теперішній час і на майбутнє. Найбільше застосування якого саме джерела енергії залежить від багатьох показників.

Питомі потужності різних типів електростанцій в МВт/км2:

-Сонячні станції-50-100;
-Вітрові станції до 15;
-Енергія біомаси до 5;
-Гідроелектростанції-10;
-Теплові станції до 30;
-Атомні станції 60-120.

При розрахунках для теплових і атомних станцій враховувались тереторії, зосереджені під видобуток вугілля і руди. Очікується зменьшення питомої потужності атомних станцій за рахунок тереторій, занятих під захоронення відходів. Для сонячних станцій даний показник повинен збільшуватись за рахунок збільшення ККД і більшого використання можливості розташування їх на дахах будівель.

Енерговіддача - відношення енергії, виробленої системою за строк служби, до кількості енергії затраченної на виробництво самої системи:
-Сонячні станції 20-100;
-Вітрові станції більше 20;
-Енергія біомасси більше 20;
-Теплові станції більше 15;
-Атомні станції 6-13.

Наведені цифрові показники наочно показують переваги і високий потенціал використання сонячної енергіїї в порівння з іншими джерелами енергії. [1]

Основними недоліками СБ, які перешкоджають широке практичне застосування є низький КПД (КПД сонячних панелей на основі монокристалічного кремнію близько 15 %) і висока вартість.

Однак треба відмітити, що за останні 20 років питома вартість СБ знилась майже в 10 разів: На сьогоднішній день затрати на 1Вт встановленої потужності сонячних модулів оцінюється в 0,7-1,5 долл. США. (Станція потужністю 500кВ коштує 7341000грн, ціна проекта в еквіваленті гривни відповідає курсу 02.03.2020).

Сучасна енергетика для ефективнішого використання відновлювальних джерел енергії, велику увагу приділяє такому напрямку як зберігання енергії. Тому сучасні станції з ВДЕ включають в себе системи акумуляції енергії не тільки з метою резервування, а й накопичення енергії для використання енергії в цілодобовому циклі.

Модель сонячної (рис.1 електростанції збудована на основі наступного рівняння [2]

$$Ppv = n f \cdot v \cdot Pstc \cdot GGstc \cdot [1+ k p \cdot (Temp - Tstc)], \quad (1)$$

де f_v – коефіцієнт зношеності (близько 0.9),

що відображає деякі втрати у системі, такі як затінення, старіння або втрати при передачі виробленої енергії;

P_{stc} – номінальна потужність при стандартних умовах;

G – поточний рівень сонячної іррадіації;

G_{stc} – рівень сонячної радіації при стандартних умовах;

K_p – температурний коефіцієнт;

T_{emp} – поточний рівень температури;

$Tstc$ – рівень температури при стандартних умовах;

n – кількість фотоелектричних панелей.

Реалізація рівняння у середовищі simulink відображена на рис. 1. [2]

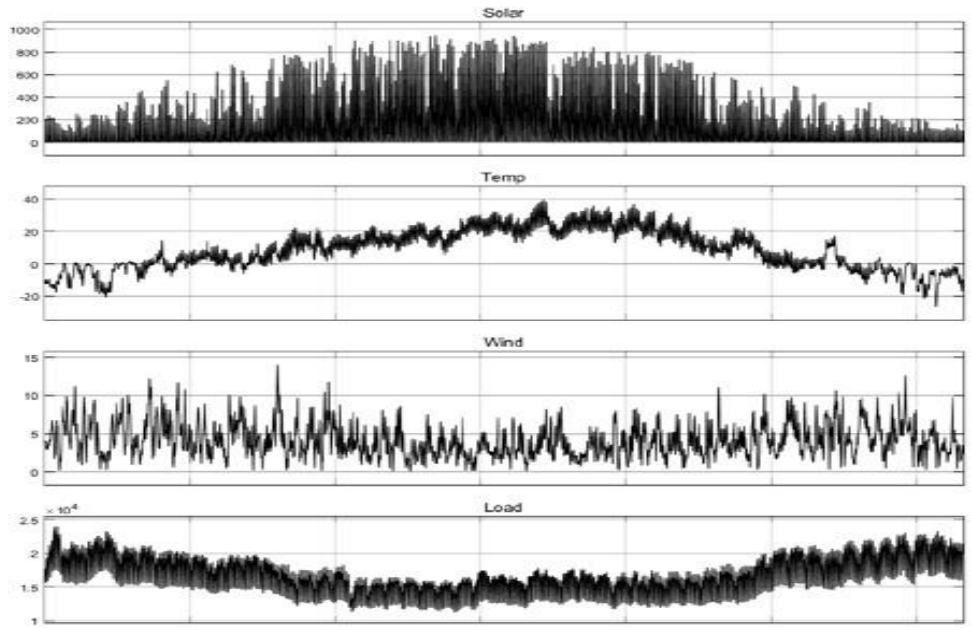


Рисунок 1, – Вхідні дані до моделі

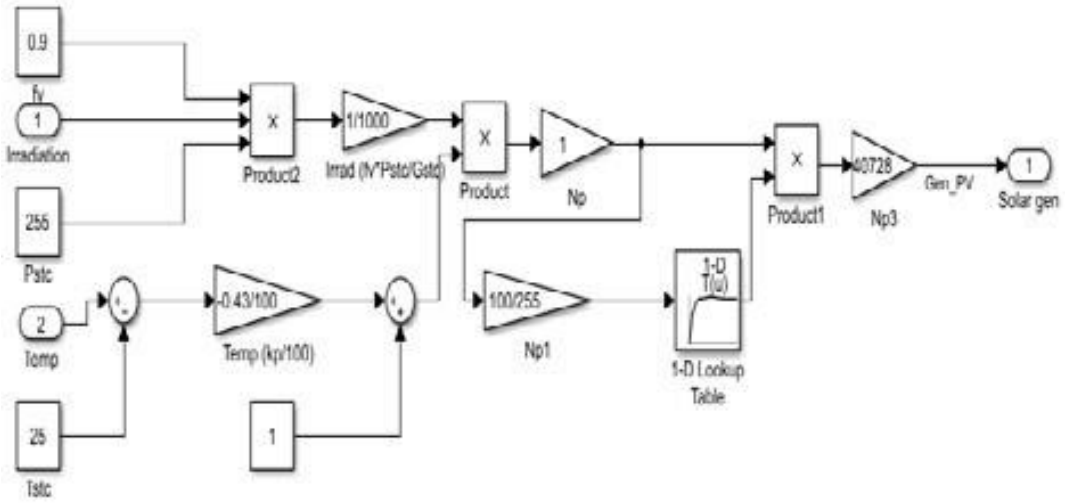


Рисунок 2.– Модель сонячної електростанції.

Для визначення поточного рівня заряду в системі акумуляції енергії використовується наступне рівняння:

$$SOC = 100*(1-1/Q \int_{t} i(t)dt,$$

де Q – ємність батареї.

Для умовного подовження строку служби акумуляторів в моделі присутня імітація контролера на логічних елементах, що не дозволяє розряджати їх нижче певного рівня. Частину моделі, що відповідає за симуляцію системи акумуляції відображено на рис. 3. [2]

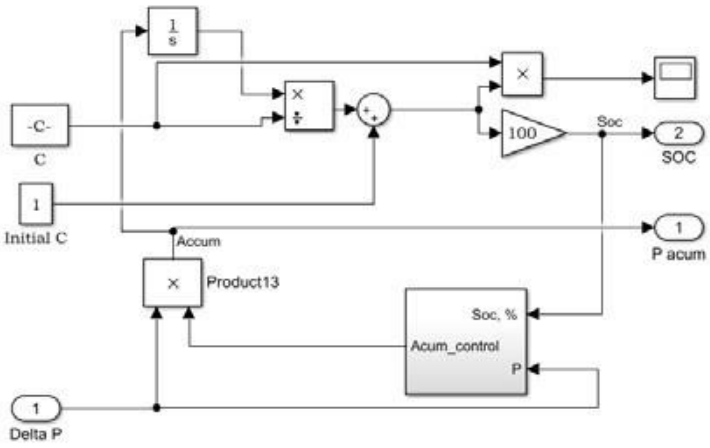


Рисунок 3. – Модель системи акумуляції енергії.

Головний елемент сонячної станції , це сонячні батареї.

Екперементально було досліджена вольт- амерна характеристика (ВАХ) сонячної батереї (СБ) при різній освітленості. Для експеремунту було обрано чотири варіанти положення сонячної батареї (Рис. 4) [3] :

1 -площина сонячної батареї перпедикулярна сонячним променям;

2-площина сонячної батареї перпедикулярна сонячним променям в похмуру погоду;

3-площина сонячної батареї розташована під кутом 60 градусів сонячних променів;

4-площина сонячної батареї розташована під кутом 60 градусів сонячних променів похмуру погоду.

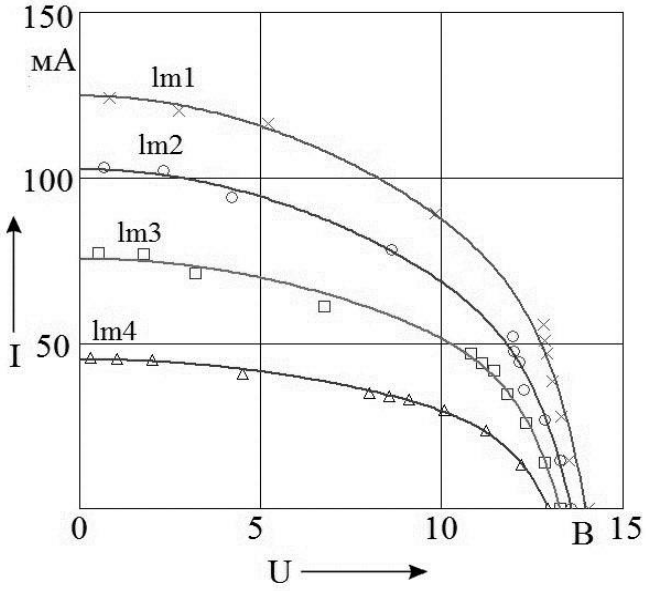


Рис. 4 . ВАХ сонячної батареї при різній освітленості

В результаті інтерполяції була знайдена формула, яка визначає функції ВАХ сонячної батареї:

$$f(u, K) = K_0 + K_1 e^u + K_2 u^2,$$

де u - напруга СБ;

K_0-K_2 - коефіцієнти інтерполяції.

Були підібрані коефіцієнти для кожного випадку освітленості lm1-lm4, які представлені на рисунку 5. [3]

$$K_{lm1} = \begin{pmatrix} 124.699 \\ -4.623 \times 10^{-5} \\ -0.363 \end{pmatrix} \quad K_{lm3} = \begin{pmatrix} 75.297 \\ -5.99 \times 10^{-5} \\ -0.224 \end{pmatrix}$$

$$K_{lm2} = \begin{pmatrix} 102.505 \\ -5.371 \times 10^{-5} \\ -0.329 \end{pmatrix} \quad K_{lm4} = \begin{pmatrix} 44.926 \\ -4.832 \times 10^{-5} \\ -0.147 \end{pmatrix}$$

Рисунок 5. - інтерполяційні коефіцієнти ВАХ сонячної батареї при різної освітленості

Наприклад, в разі освітленості lm1 отримаємо формулу:

$$I = 124{,}699 - 4{,}623 \cdot 10^{-5} e^{U} - 0{,}363 \cdot U^2 \quad (3.2)$$

Сонячна батарея втрачає в похмуру погоду до 25% потужності. Ще приблизно 20-25% енергії втрачається, якщо СБ розташована під кутом 60°. І найнижчі енергетичні показники в 4 варіанті .

В результаті дослідів з навантаженням соняної батареї (Рис.6) найкращі показники при яскаравому світлі з застосуванням трекера при навантаженні 110 Ом. За данними навантаження трекер видає не погану потужність навіть в похмуру погоду. Але при більшому навантажені робоча точка може бути зрушена сторону мінімальної генерації або навіть нульової генерації.

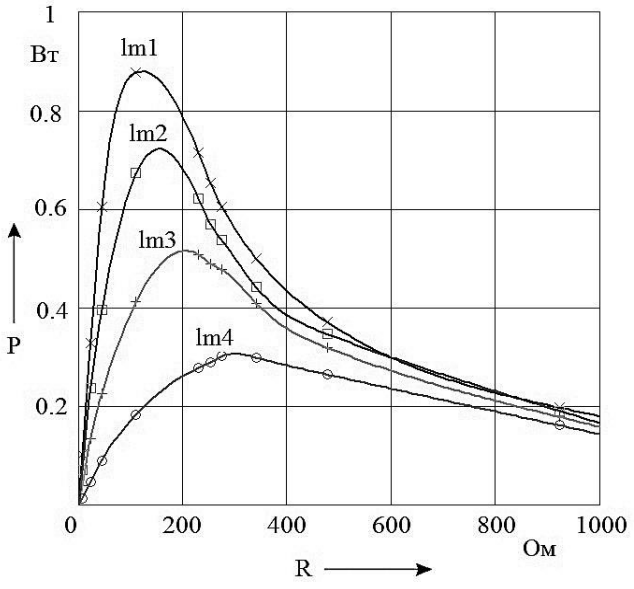


Рисунок 6 - Графік залежності потужності СБ від опору навантаження P(R) [3].

КПД сонячної електростанції залежить від багатьох факторів:
-основним із них є орієнтація елементів батареї відносно джерела випромінення (Сонця);
-перегрів панелей в спекотну погоду;
-забруднення панелей (необхідне технічне обслуговування).

Система стеження за сонцем - це пристрій для орієнтації панелі сонячних батарей або для утримання сонячного відбиття повернутим до Сонця.

Для досягнення маскимальної продуктивності робочих поверхонь системи, необхідна їх точна орієнтація на Сонце. При цьому задачею пристрою стеження (трекера) є зменшення кута падіння сонця на робочу поверхню сонячних панелей. Положення рухомої частини частини трекера може змінюватись за допомогою ручного приводу або за допомогою актуаторів - пристрій на електродвигунах.

Таким чином, трекер встановлює кути наклону робочої поверхні приладів, зорієнтувавши її чітко на сонце, так щоб сонячні промені падали перендикулярно на поверхню сонячної батареї.

Трекери можуть бути реалізовані на основі різних принципів. Основні з них :
1. Управління актуаторами за допомогою декількох фотоприймачів.

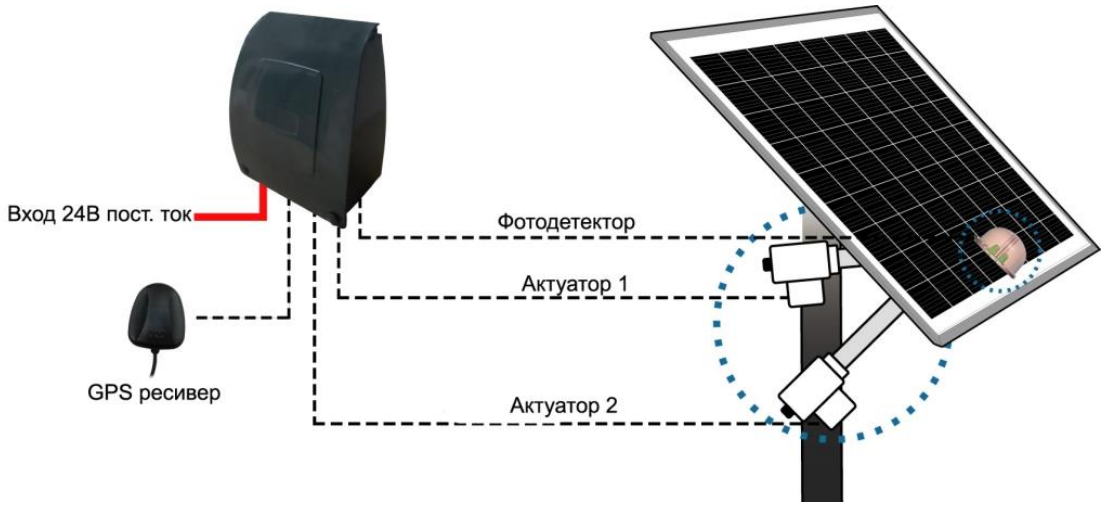


Рис. 7. Трекер на фотоелементах.

Такий пристрій має дві або більше фотодіодів. При русі відносно до сонця освітленість фотодіодів стає різною, пристрій аналізує освітленість і передає керуючі сигнали на актуатори до моменту, коли потік світла на всіх фотоелементах буде однаковий. І електродвигун повертає сончную батарею зі сходу на захід. (рис.7). Протягом доби платформа буде рухатись за сонцем. З настанням сутінок, система перейде в режим очікування.

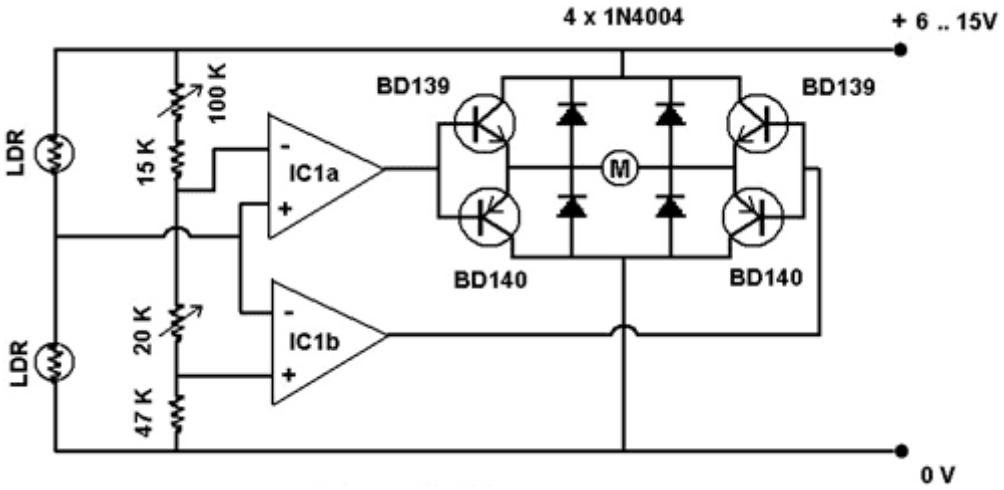


Рис. 8. Схема пристрою стеження на фоторезисторах [5].

Принципова схема живлення нескладна, недорога. Недолік цих пристороїв: в похмуру погоду і в разі забрудненості має слабку чутливість фотоприймачів, що впливає на працездатність системи.

2. Керування рухом трекера за азимутальним і зинітними кутами [4].

Ці пристрої позиціонують блок сонячних панелей так, щоб скомпесувать добове переміщення і годове переміщення Землі. В склад такого пристрою входить таймер. Актуатори починають свою роботу по добовій програмі таймера (При необхідності, по годовій). Але погрішність такого пристрою велика, і потребує коригування, так як протягом року положення Сонця міняється.

3. Спосіб управління актуаторами по програмі, яка в певні проміжки часу розраховує місцеположення сонця (найбільшефективний). По внутрішньму годиннику пристрою программа видає інформацію про значення азимуту і зетитного кута на блок управління. При цьому обовязково буде враховуватись місце положення трекера, тобто такі параметри як широта довгота і висота на рівнем моря. Після чого розраховується нове необхідне положення трекера і виконується його переорінтація.

Трекери бувають з одною вісю обертання:Трекери з однією вісю обертання мають одну степінь свободи, яка є вісю обертання. В свою чергу такі трекери поділяються на : горизонтальні і вертикальні і нахилені - одноосьові.

Двоосьові трекери мають дві вісі обертання, які як правило не повязані один з одним, але працюють узгоджено. Одна вісь основна фіксує нахил до горизонту, по дгугій осі АФЕУ стежить за сонце зі сходу на захід.

Повотор трекерів виконунь за допомогою крокових двигунів. Для повороту СБ потужнісью 500Вт використовують двигуни потужнітью 120Вт. Оберт панелі на 15° двигун виконує за 3с. При виконанні сумарного оберту на 180° за добу двигун буде працювати 36с при цьому використає 4,8Вт.год, при відновленні початкового положення вранці, ще двигун витратить 1,5Вт.год. Затрати енергіїї на власні потреби блоком автоматичного управління не більше 4кВт. Тобто сумані витрати енергії на управління трекером за добу 10,3 Вт*год. Середня продуктивність блоку сонячних батарей 500Вт за добу 1000Вт. Тобто витрати енергії на власні потреби трекера становлять близько 1%. (для двоосьвого візьмемо ці показники 2%). Із попереднього досліду видно двоосьвий трекер додає сонячній батареї до 50% енергетичної ефективності.

Висновок: Один із о сновних напрямків підвищення енергетичної ефективності АСУ вироблення електричної енергії АФЕУ − це створення і використання двокоординатної системи стеження АФЕУ за Сонцем, яка забезпечує підвищення енергетичної ефективності не менше ніж на 30 − 50% в порівнянні з енергетичними установками, які не мають систем

стеження за Сонцем.

Перелік посилань

1https://www.dissercat.com/content/elektroprivody-gelioustanovok-nazemnogo-i-kosmicheskogo-bazirovaniya-teoriya-i-praktika

2 Овсянников Е.М. Электроприводы гелиоустановок наземного и космического базирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора техническ наук. Москва 2003. Ф

3 Федорчук С. О., Немировський І. А. Моделювання гібридної системи генерації на відновлюваних джерелах енергії для аналізу енергопостачання споживачів.

4 https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/71282/1/Shutko_2018.pdf

5. http://greenchip.com.ua/26-0-0-0.html

6. https://cxem.net/greentech/greentech16.php

Науковий керівник доц. Лебедєв Л.М.

УДК 681.5

Березюк В.Р.
Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СВЕРДЛОВИННОГО НАСОСУ

Аннотація. *Розроблено автоматичну систему керування електроприводом свердловинного насосу. Грунтуючись на технічних даних і вимоги, що пред'являються до електроприводу насосів, був обраний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором з керуванням від перетворювача частоти. З урахуванням обраного обладнання була складена функціональна схема.*

Abstract.*. An automatic control system for the electric drive of the downhole pump has been developed. Based on the technical data and the requirements for the electric drive of the pumps, an induction motor with a short-circuited rotor controlled by a frequency converter was selected. Taking into account the selected equipment, a functional diagram was drawn up.*

Вступ. Зростання водоспоживання в промисловості та повсякденні вимагає підвищення інтенсивності використання існуючих і будівництва нових систем водопостачання. З економічної точки зору швидко і ефективно ця проблема

вирішується за рахунок використання підземних джерел, вода яких найчастіше

не вимагає очищення. При цьому виключається будівництво складних і дорогих очисних станцій, що займають великі площі, використання реагентів. Робота насосної станції є безперервною і забезпечує необхідні технологічні умови для роботи підприємства. Спираючись на умови технологічного процесу роботи насосної станції і умов її експлуатації обслуговуючим персоналом, були обрані: структура системи, електроприводи, силове і комунікаційне електрообладнання, програмне забезпечення. Були розроблені функціональні схеми і принципова схема.

Мета та завдання.

Метою автоматизації є підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, усунення людини від роботи в умовах небезпечних для здоров'я. Завданням роботи є розробка та вибір силової частини електроприводу, вибір системи керування електроприводом, розробка системи автоматизації насосної станції.

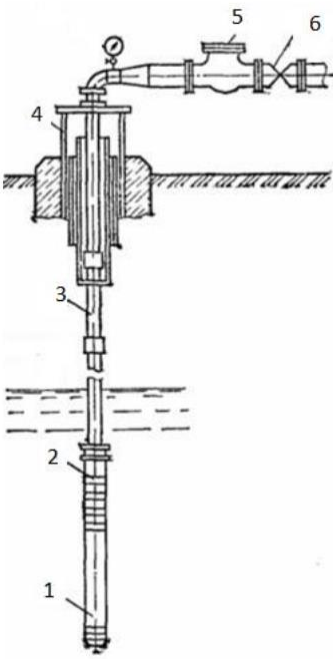
Завданнями даного проекту є:

- розрахунок і вибір насосів за вихідними даними;
- розрахунок і вибір електродвигунів насосів;
- вибір системи керування силовою частини електроприводу;
- розробка автоматизації насосної станції;
- вибір пристроїв управління і зв'язків між ними;
- визначення функцій оператора при роботі з даною системою.

Цілями автоматизації насосної станції є:

- підвищення її енергоефективності, завдяки використанню правильно підібраною системи управління, яка враховує вимоги технологічного процесу, характеристики насосної станції та об'єкти водопостачання;
- зменшення кількості обслуговуючого персоналу насосної станції;
- підвищення надійності роботи за рахунок зменшення ризику виникнення аварійних ситуацій, викликаних людським фактором;
- збільшення терміну служби обладнання за рахунок раціонального його використання.

Насосна станція - комплексна система для перекачування рідин з одного місця в інше, включає в себе будівлю і обладнання: насосні агрегати - насоси, трубопроводи та допоміжні пристрої Насосна станція призначена для автоматичного бесступенчатого підтримки заданого тиску води в заводській колектор. Поряд із забезпеченням напору і подачі, передбачених графіком водоспоживання, при спорудженні та обладнанні насосних станцій необхідно при найменших витратах на їх будівництво і експлуатацію забезпечувати необхідний ступінь надійності і, отже, певний ступінь безперебійності роботи; довговічність, достатні зручності експлуатації і широке застосування автоматики і телемеханіки.



Малюнок 1. Конструкція свердловини насосної станції

Конструкція свердловини насосної станції

На даному малюнку позначені:

1 - насос;

2 - електродвигун;

3 - водопідйомна труба;

4 - оголовок свердловини;

5 - зворотний клапан;

6 - засувка.

При виборі двигуна необхідно враховувати в якому режимі він працює на підприємстві виходячи з вихідних даних і механізму, в якому він використовується.

Уданій роботі розглядається система з трьох насосів (2 основних та 1 резервний) для подачі води до заводського колектору води

Так як насосна станція працює безперервно, то в даному проекті розглядаються насоси, що працюють в тривалому режимі (S1) з постійним навантаженням. Підтримують постійний натиск води.

Розрахунок потужності двигуна насоса

Для визначення потужності двигуна необхідно знати натиск і подачу в робочій точці системи і ККД гідроагрегат. Крім того, для випадків непередбачені збільшення навантаження необхідно врахувати коефіцієнт запасу по потужності двигуна.

Для двигуна відцентрового насоса справедлива формула:

$$Р_{дв} = К_з \frac{p \cdot Q}{\eta_{га}};$$

$$\eta_{га} = \eta_{насос} \cdot \eta_{дв},$$

$$Р_{дв} = К_з \frac{p*g*Q*H}{\eta_{га}};$$

$$\eta_{га} = 0{,}74 \cdot 0{,}82 = 0{,}61;$$

$$Р_{дв} = \frac{1000*9{,}81*0{,}008*90}{0{,}61} = 12{,}96 \text{ кВт}$$

де p - щільність рідини, що перекачується - 1000 кг / м3; g - прискорення вільного падіння - 9,81 м / с;

Q - подача насоса (таблиця 2.3) - 0,008 м3 / с;

ηнасос - ККД насоса - 74%;

ηдв - ККД двигуна - 82%;

ηга - ККД гідроагрегату - 61%;

Н-напір, (таблиця 2.3) - 70 м;

Кз - коефіцієнт запасу - 1,12.

Вибір виду електродвигуна

Для електроприводів будь-якої потужності рекомендується використовувати двигуни синхронні або асинхронні з короткозамкненим ротором.

Розглянемо переваги асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором:

-дешевизна виготовлення двигуна, обумовлена відсутністю колектора в порівнянні з двигунами постійного струму;

- простота конструкції, наприклад, лита обмотка ротора;

- простота в обслуговуванні, відсутність колектора.

недоліки:

- квадратична залежність моменту від напруги мережі, як наслідок чутливість до змін мережі;

- перегрів статора при підвищеній напрузі мережі; перегрів ротора при зниженій напрузі мережі;

- малий повітряний зазор приводить до зменшую надійності.

Найбільш підходящий двигун для електроприводу в даному проекті є двигун асинхронний короткозамкнений.

На двох свердловинах були обрані насоси фірми Grundfos SP 30 – 12

Даний насос укомплектований асинхронним двигуном MS6000

На третій свердловині був встановлений насос ЕЦВ 6 - 10 - 80, потужністю 4 кВт, призначений для підтримки тиску в системі в непередбачені пікові моменти споживання води підприємством, а також для запобігання зупинки роботи насосної станції під час проведення планових ремонтів.

Регулювання швидкості електроприводу

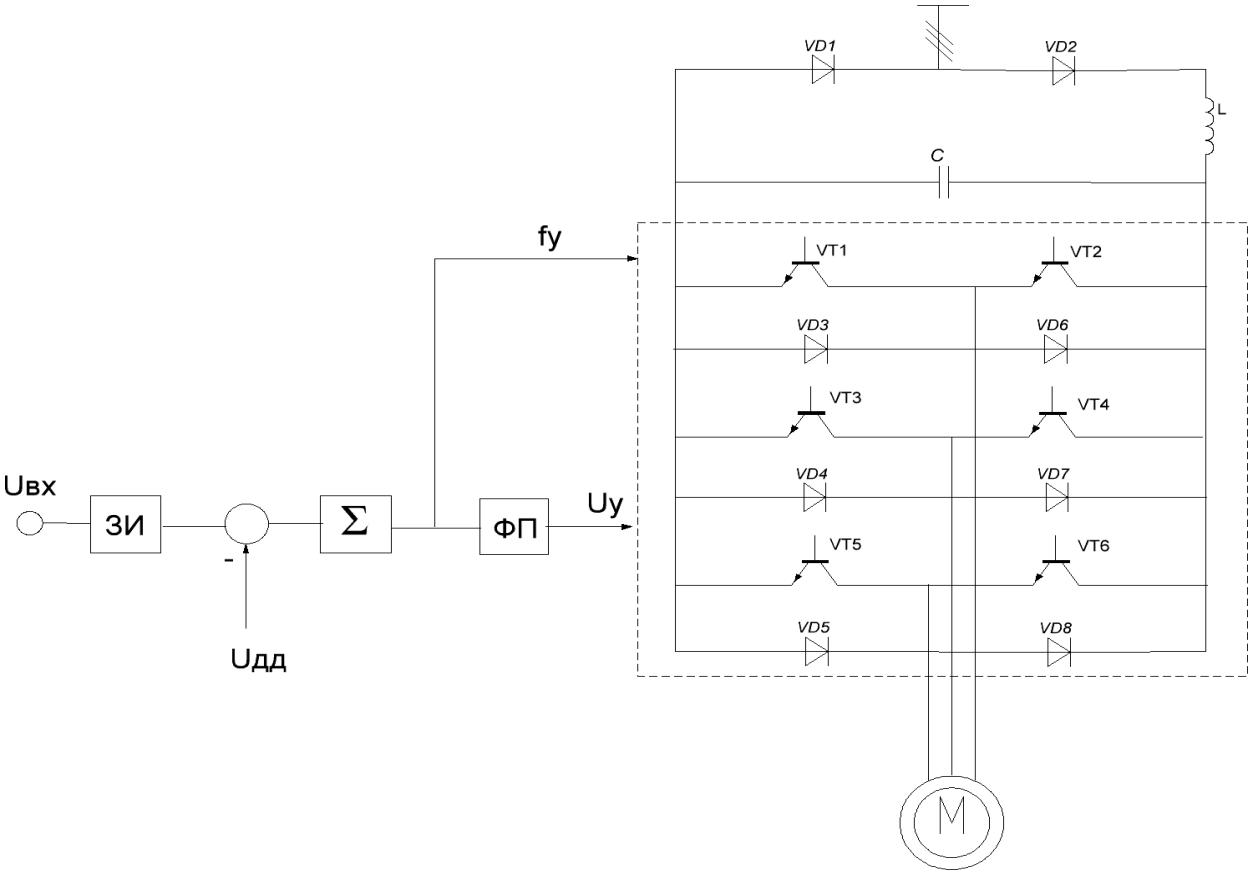
Найчастіше насоси оснащуються нерегульованим електроприводом. У цьому випадку використовується дросселювання, тобто регулювання системи засувкою на стороні нагнітання. В цьому випадку засувка на напірному трубопроводі відкрита в повному обсязі, це призводить до збільшення опору мережі.

Цей спосіб простий в реалізації, а також вимагаємо мінімум витрат на установку і наладку. Однак з енергетичної точки зору вкрай невигідний, так як при цьому істотно знижується ККД гідроагрегату.

Управління швидкістю обертання за допомогою перетворювача частоти веде до меншого енергоспоживання. За допомогою ПЧ можна змінювати швидкість обертання паралельно працюючих насосів, тим самим підвищивши ККД системи. Але також в цьому випадку

присутні такі недоліки як капітальні витрати на оснащення всіх агрегатів регульованим електроприводом.

У зв'язку з тим, що діапазон регулювання швидкості малий (1,25), до системи управління не пред'являється високих вимог по глибині регулювання і точності підтримки моменту, крім того електропривод насоса не працює при малих швидкостях. Все це дає можливість вибору простої системи управління асинхронними двигунами. Регулювання електроприводу буде здійснюється частотним способом управління, зокрема скалярним керуванням.



Малюнок 2. Функціональна схема електроприводу з використанням ПЧ
Функціональна схема електроприводу

Алгоритм автоматизації

Система забезпечує роботу в трьох режимах - ручному, автоматичному і дистанційному. Для того щоб переключитися з одного режиму на інший передбачений трьохпозиційний перемикач. Для запуску будь-якого режиму необхідно, щоб був включений контактор і автоматичний вимикач .

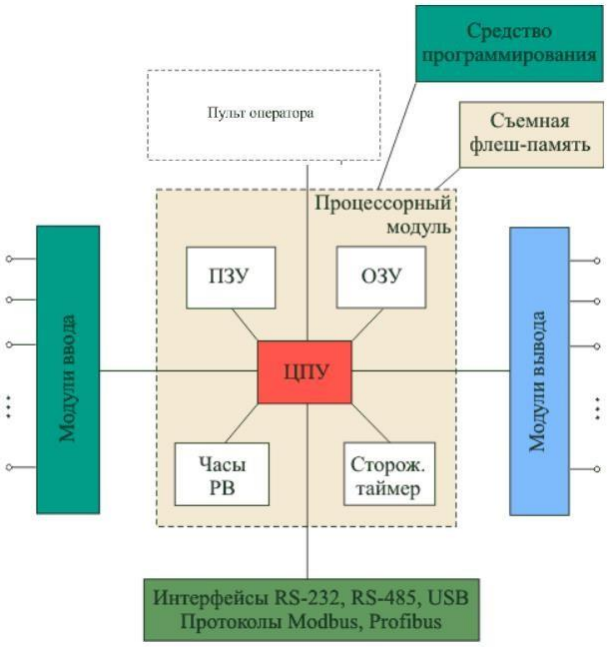
В якості керуючого елемента системи застосовуються програмовані контролери систем циклового програмного керування. Вони бувають наступних видів:

- реле - таймер з регулятором;
- інтелектуальне реле;
- програмований логічний контролер (ПЛК);
- програмовані контролери автоматизації (ПКА);
- індустріальні комп'ютери (IPC)

За даним вимогам, найбільш підходящим є контролер ПЛК.

ПЛК є мікроконтролер з вбудованою периферією, універсальним інтерфейсом і узгодженням

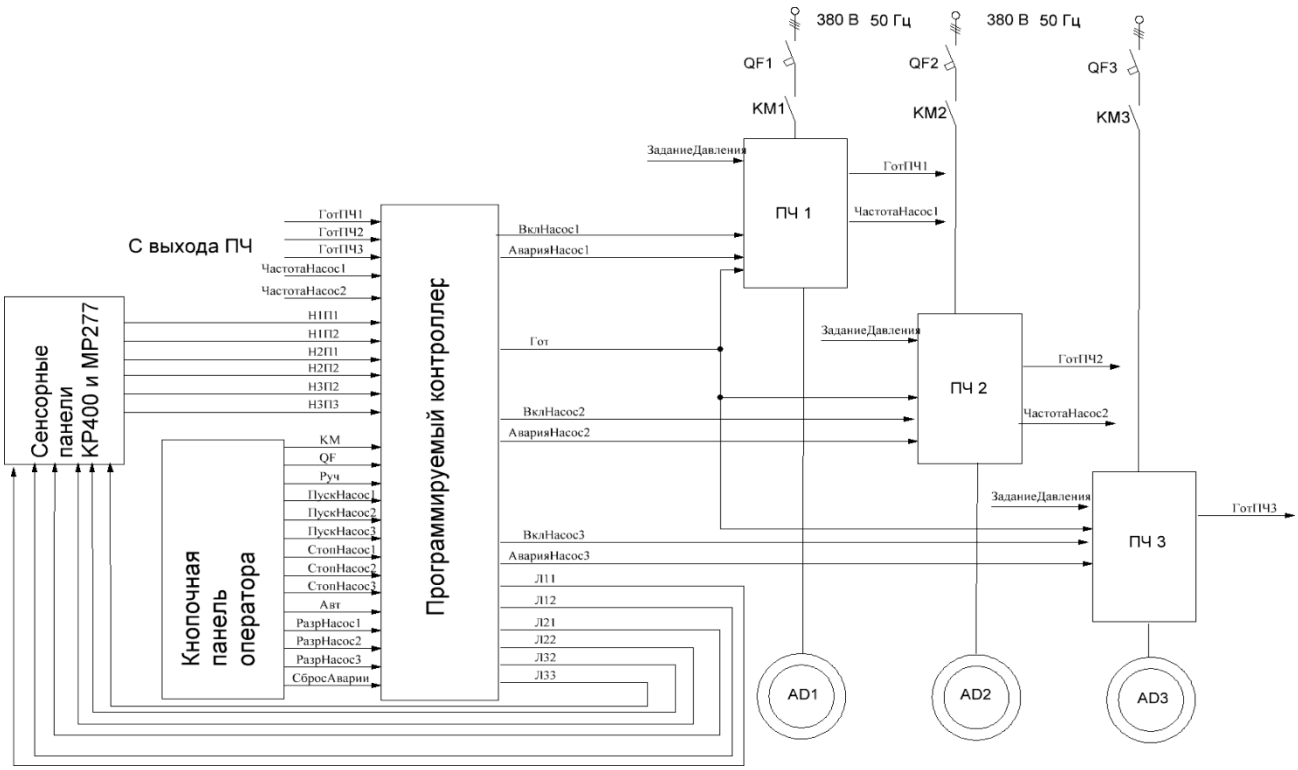
цих компонентів.
Особливості контролера ПЛК в порівнянні з ПК:
- менший обсяг пам'яті;
- менша швидкодія процесора;
- прості мови програмування.



Малюнок 3.Типова архітектура ПЛК

ПЛК повинен працювати в режимі реального часу, тобто виконувати операцію за певний час незалежно від завантаження. Час, за яке ПЛК повинен виконувати операцію називається Deadline.
Система реалізована в такий спосіб:
- Встановлений ПЛК модульного типу Simatic S7 - 300. Він включає в себе наступні модулі:
- Модуль центрального процесора (CPU) CPU S7 - 300 1 екземпляр. Призначений для виконання операцій.
- Модуль блоку живлення (PS) SITOP PSU100S 1 екземпляр. Забезпечує харчування контролера.
- Система розподіленого вводу - виводу SIMATIC ET 200S 1 екземпляр.
Використовується для побудови системи управління.
- Інтерфейсні модулі (IM) IM151 - 8 PN / DP CPU 1 екземпляр. Забезпечує можливість підключення до базового блоку (стійка з CPU) однієї або декількох стійок розширення введення - виведення. Від даного модуля здійснюється управління ПЧ.
- Модулі дискретного введення SIMATIC DP, 1 ELECTR. MODULE FOR ET 200S, 8 DI DC 24V. Модулі призначені для введення дискретних сигналів тільки з кнопкової панелі оператора, так як інші сигнали передаються по Profinet.
- Модулі дискретного виводу SIMATIC DP, 1 ELECTRON. MODULE FOR ET 200S, 8 DO DC24V / 0,5A. Модулі призначені для виведення дискретних сигналів на кнопкову панелі оператора.

Вибір перетворювача частоти
Для зручності налагодження системи управління був обраний ПЧ фірми Siemens. перетворювач має модульну структуру.



Малюнок 4. Схема автоматичного керування
Функціональна схема автоматичного керування

Висновок. В даному проекті було складено опис технологічного процесу роботи системи насосів насосної станції, наведена структурна схема підприємства, на якому знаходиться насосна станція

За вихідними даними насосної станції був проведений розрахунок і вибір устаткування силової частини електроприводу, було проведено порівняння систем керування електроприводом і, був зроблений вибір системи керування електроприводом. Була розроблена функціональна схема електроприводу, система автоматизації насосів насосної станції на основі висунутих до неї вимог, складена структурна схема автоматизації. На основі опису технологічного процесу був розроблений алгоритм роботи системи автоматизації у вигляді логічних рівнянь. Також була розроблена кнопкова панель управління оператора системою автоматизації системи насосів.

Перелік посилань

1 Карелін, В.Я, Насоси і насосні станції: Підручник для вузів. / В.Я. Карелін, А.В. Мінаєв. 1986. - 320 с.

2. Насосні станції та установки.
http://www.aquaexpert.com.ua/pumps/p-stations/grundfosmq.html

3 Фірма виробник насосів. Онлайн побудова графіків - https://product-selection.grundfos.com.

4. Шінянскій, А.В, Довідник з автоматизованого електроприводу: довідник. / А.В. Шінянскій, В.А. Алісеева. - Москва: Вища школа, 1983. - 616 с

5. Критерії вибору промислових контролерів. - http://www.controlengrussia.com/kontrollery/kriterii-vy-bora-promy-shlenny-h- kontrollerov.

6. Техніка для автоматизації Siemens. - http://simatic-market.ru/catalog/Siemens- CA01.

7. Вибір силових перетворювачів, апаратів управління, комутації і захистів. - https://studref.com/354821/stroitelstvo/vybor _zaschit.

8. Техніка для автоматизації Siemens. - http://simatic-market.ru/catalog/Siemens- CA01.

Науковий керівник доц. Пермяков В.М.

УДК 621.671:621.313

Канкулов М.С.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗАЦІЯ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ СТАНЦІЇ ПІДКАЧУВАННЯ ВОДИ В БУДИНКУ КОТЕДЖНОГО МІСТЕЧКА

Анотація. *В приміських зонах навколо великих міст поширюються котеджні містечка. Часто нові котеджні містечка будують на територіях без централізованого водопостачання. Тому актуальною є задача водопостачання окремих житлових будинків за допомогою автоматизованих насосних станцій. За контрольованою величиною розрізняють насосні станції з регулюванням натиску і станції з регулюванням подачі. В даній роботі розглянуто автоматизовану насосну станцію із регулюванням натиску. Метою даної роботи є створення імітаційної моделі такої станції, налаштування регулятора натиску, дослідження синтезованої моделі і отримання графіків перехідних процесів в системі. Моделювання проводилося в програмному пакеті Matlab/Simulink. Налаштований регулятор за методом Зіглера-Нікольса ПІД регулятор показав прийнятний перехідний процес, проте присутнє перерегулювання. В подальшому для отримання аперіодичного процесу необхідно дещо знизити коефіцієнт пропорційності ПІД регулятора.*

Ключові слова: *автоматизація, електропривод, насос, котедж.*

Abstract. *In suburban areas around large cities, cottage towns are spread. Often new cottage towns are built in areas without centralized water supply. Therefore, the task of water supply of individual houses with the help of automated pumping stations is urgent. According to the controlled value, there are pumping stations with pressure control and stations with flow control. In this paper we consider an automated pumping station with pressure regulation. The purpose of this work is to create a simulation model of such a station, adjust the pressure regulator, study the synthesized model and obtain graphs of transients in the system. The simulation was performed in the Matlab / Simulink software package. The adjusted regulator according to the Ziegler-Nichols method PID regulator showed an acceptable transient process, but there is an overregulation. In the future, to obtain an aperiodic process, it is necessary to slightly reduce the coefficient of proportionality under the regulator.*

Key words: *automation, electric drive, pump, cottage.*

Вступ. На сьогоднішній день набувають популярності котеджні містечка. Побудова нових котеджних містечок на невпорядкованих територіях, окрім інших, тягне за собою задачу водопостачання. Актуальною є задача забезпечення споживача безперебійним водопостачанням, яка б забезпечувала заданий тиск в системі. Схема має бути гнучкою, надійною, захищеною та недорогою.

Мета та завдання: Провести імітаційне моделювання системи управління частотно-регульованим електроприводом насосної установки станції підкачування води в будинку котеджного містечка. Налаштувати регулятор натиску, отримати графіки перехідних процесів при різних завданнях натиску в системі.

Матеріал та результати досліджень. Водопостачання окремого житлового будинку може здійснюватись від напірно-регулюючої ємності. До них відносяться водонапірні башти, водонапірні колони, напірні резервуари та пневматичні ємності (гідробаки), вони служать для підтримки стабільного напору насосних агрегатів. Водонапірна вежа складається з резервуара для води, стовбура вежі, укриття і трубопроводів, які подають і відводять воду. Водонапірні баки встановлюються на спеціальні несучі конструкції, що дозволяють витримувати розрахункові навантаження. Незважаючи на свою простоту, таке технічне рішення дещо застаріле, оскільки накопичення води в ємностях передбачає періодичну їх чистку і

знезараження. Крім того, наявність на горищі будинку накопичувальної ємності збільшує навантаження на конструктивні елементи. Будівництво водонапірної вежі для індивідуального будинку економічно недоцільно.

Сучасні технології передбачають дещо інший варіант, коли система водопостачання індивідуальних будинків комплектується автоматичною насосною станцією. Основне призначення автоматичної насосної станції – водопостачання індивідуального будинку. А також, така станція може використовуватися скрізь, де необхідно перекачувати воду з допомогою компактної установки, яка легко монтується. Автоматична насосна станція підходить для створення додаткового тиску при перекачуванні води з накопичувальних ємностей або водопровідної мережі. Вона включає в себе все необхідне для автоматичної роботи, тому немає необхідності в підборі окремих комплектуючих (гідроакумулятора, пристроїв захисту та управління і т.п.). При відкритті крану автоматично вмикається насос. При цьому підтримується постійний тиск в напірній магістралі. Вбудований зворотний клапан перешкоджає відтоку води.

Насосні станції (НС) знаходять широке застосування в промисловості і житлово-комунальному господарстві. Вони характеризуються великою різноманітністю функцій, схем з'єднання насосів при спільній роботі, регульованих параметрів, категорії надійності і іншими показниками.

За способом об'єднання насосів можна виділити НС з індивідуальною роботою насосів і НС зі спільною роботою насосів. Перший випадок характерний для НС з невисокими одиничними потужностями насосів і низькими вимогами до надійності роботи. Спільно працюють насоси знаходять широке застосування на всіх видах НС. При цьому для забезпечення необхідних технологічних показників використовується паралельне, послідовне і комбіноване з'єднання установок. В автоматичній насосній станції окремого котеджного будинку застосовується схема із індивідуальною роботою насосів. Часто в системі використовується один насос, що пов’язано із невеликими значеннями потужності, викликаними малими величинами необхідного натиску і подачі.

По головним регульованим параметром НС можна розділити на станції з регулюванням тиску і станції з регулюванням подачі.

Серед насосів широкого розповсюдження набули турбомеханізми завдяки властивим їм перевагам над насосами об’ємної дії. Найпоширенішим насосом промислового призначення є відцентровий насос. Його перевагами є компактність, зручність монтажу та демонтажу, відсутність гідроударів, невелика ціна. Але є мінус – це низький ККД.

Електропривод за системою перетворювач частоти – асинхронний двигун з короткозамненим ротором є доцільним для застосування в НС, тому що дозволяє плавно і в широкому діапазоні регулювати швидкість обертання. Регулювання швидкості обертання, в свою чергу забезпечує: плавний пуск агрегату і обмеження навантажень механічної частини, двигуна та системи електропостачання; усунення гідравлічного удару і підвищення надійності роботи елементів системи; запобігання резонансних явищ в механізмі в процесі пуску; зниження споживання реактивної потужності; зниження шуму при пуску і роботі.

Перетворювачі частоти зазвичай застосовують для плавного регулювання швидкості асинхронного електродвигуна або синхронного двигуна за рахунок створення на виході перетворювача електричної напруги заданої частоти. У найпростіших випадках регулювання частоти і напруги відбувається відповідно до заданої характеристики U/f=const, в більш досконалих перетворювачах реалізовано так зване векторне управління. Перетворювач частоти складається із випрямляча (моста постійного струму), що перетворює змінний струм в постійний, ланки постійного струму із фільтром і інвертора, який працює за принципом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Інвертор перетворює постійний струм в змінний необхідної частоти і амплітуди. Вихідні силові тиристори, що замикаються (Gate Turn Off – GTO) або біполярні транзистори з ізольованим затвором (Insulated-Gate Bipolar Transistor –

IGBT) забезпечують необхідний струм для живлення електродвигуна.

На рис. 1 представлено структурну схему системи керування приводом підкачки води окремого житлового будинку.

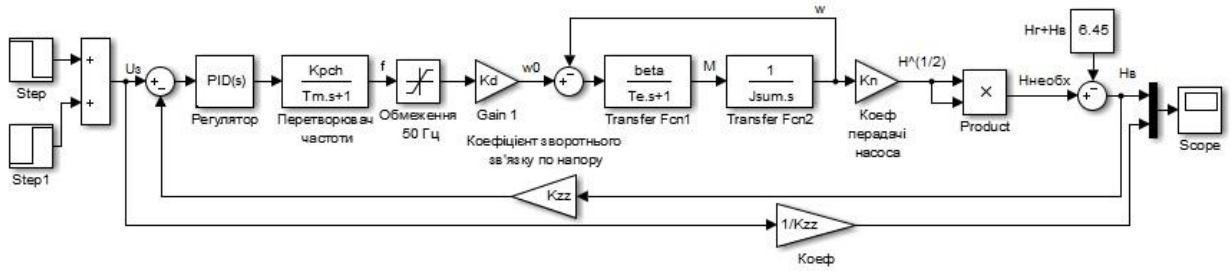


Рис. 1. Структурна схема системи керування приводом підкачки води.

На вхід системи подається сигнал завдання натиску, який змінюється східчасто. Система одноконтурна, регульований параметр – натиск, за ним застосований від'ємний зворотній зв'язок. В якості регулятора натиску застосовано пропорціонально-інтегрально-диференційний (ПІД) регулятор, налаштований методом Зіглера-Нікольса. Система складається з блоку завдання, ПІД регулятора, моделей перетворювача частоти, асинхронного двигуна і відцентрового насоса. В моделі враховані втрати в трубопроводі і ті, що викликані різницею висот знаходження насосного обладнання і найвищого елемента системи для двоповерхового будинку. На вихідний осцилограф подається вихідний сигнал системи (натиск) і масштабований сигнал завдання (помножений на обернений коефіцієнт зворотного зв'язку). Вихід перетворювача обмежений в діапазоні від 0 до 50 Гц.

На рис. 2 показано реакцію системи на східчастий вхідний сигнал.

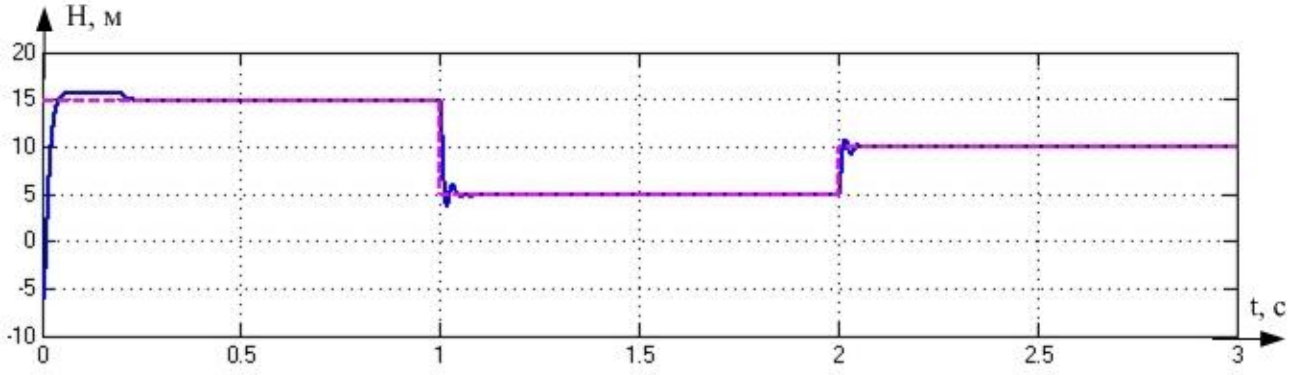


Рис. 2. Динамічний відповідь системи на ступінчасті вхідні сигнали

На отриманому в результаті моделювання графіку перехідного процесу видно, що спочатку натиск має деяке від'ємне значення. Ця помилка моделювання пов'язана з урахуванням втрат напору в системі. Оскільки в реальності перший пуск насоса здійснюється з залитою в нього водою через заливний отвір, а в подальшому залишок води в трубопроводі забезпечує зворотній клапан, на практиці подібного перехідного процесу не відбудеться. Він матиме вигляд перехідних процесів, представлених на рис. 2 на першій і другій секундах.

Перехідний процес на другій секунді крупно продемонстрований на рис. 3.

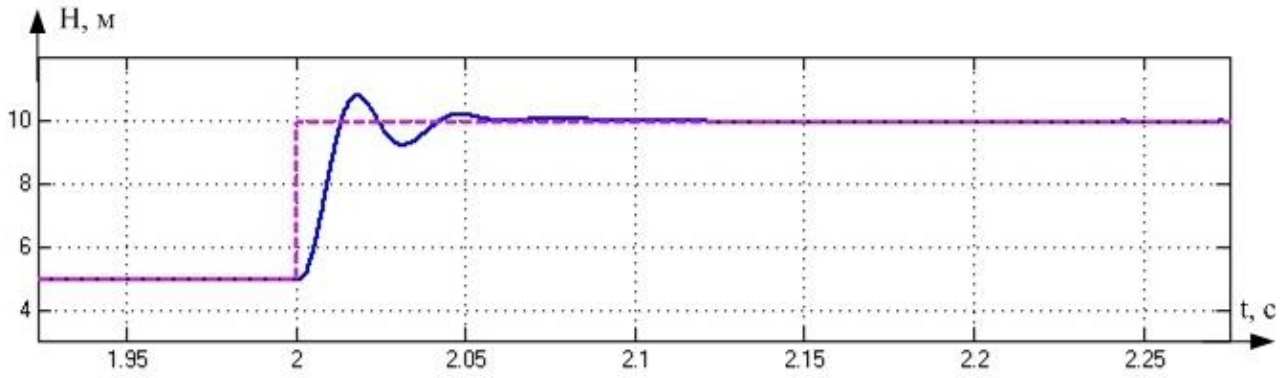


Рис. 3. Перехідний процес – реакція на ступінчатий вплив

У перехідному процесі присутні затухаючі коливання, перерегулювання склало 14%, час регулювання – 0.05 с. Налаштування ПІД регулятора проводилося методом Зіглера-Нікольса. Оскільки в системі водопостачання важливим є уникнення гідравлічного удару, а отже і різких сплесків натиску, то величиною часу перехідного процесу можна пожертвувати задля отримання аперіодичного перехідного процесу. Для цього необхідно дещо знизити коефіцієнт пропорційності ПІД регулятора.

Висновки

Розглянуто способи водопостачання житлових будинків котеджного містечка, систему частотно-регульованого електроприводу автоматичної насосної станції. Проведено імітаційне моделювання системи управління частотно-регульованим електроприводом насосної установки станції підкачування води в будинку котеджного містечка. Налаштовано ПІД регулятор натиску за методом Зіглера-Нікольса. Отримано графіки перехідних процесів при різних завданнях натиску в системі. Пораховано значення параметрів перехідного процесу – перерегулювання і час регулювання. Можна зробити висновок, що для системи управління насосною установкою важливим є підтримання заданого натиску і уникнення гідравлічного удару, а отже і різких сплесків натиску. Тому прийнятним є аперіодичний перехідний процес, а не коливальний. В подальшому для отримання аперіодичного процесу необхідно дещо знизити коефіцієнт пропорційності ПІД регулятора.

Література

1. Автоматизированный электропривод / под ред. Н.Ф. Ильинского и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

2. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., доп. – М.: Высш. шк., 2000. – 255с.

3. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. - Л.:

4. Энергоиздат, Ленингр. Отд-ние, 1982.
Браславский И.Я. Электросберегающий асинхронный двигатель. – М.: Энергоатомиздат, 2004.

5. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Высш. шк., Логос, 2000.

Науковий керівник асистент Мугенов Д.Д.

УДК 621.671:621.313

Салій О.Є.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ПІДКАЧКИ НА БАЗІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Аннотація: *Використання частотно-регульованого асинхронного електроприводу в насосних установках станції підкачки житлового комплексу. Підвищення енергоефективності асинхронного електроприводу в насосних станціях за рахунок встановлення ЧП. Теоретичне обґрунтування вибору насосної станції підкачки житлового комплексу із застосуванням енергоефективних насосів та ЧРП, який дозволяє підвищити енергетичну і економічну ефективність всієї системи.*

Annotation: *The use of frequency-controlled asynchronous electric drive in the pumping stations of the pumping station of a residential complex. Improving the energy efficiency of asynchronous electric drive in pumping stations by installing emergency. Theoretical substantiation of the choice of pumping station of pumping of a residential complex with the use of energy efficient pumps and Frequency controlled drive (FCD), which allows to increase the energy and economic efficiency of the whole system.*

Ключові слова: *електропривід, насосна установка, асинхронний електродвигун, датчик тиску, частотне регулювання, регулювання тиску, пропорційно-інтегральна-диференціація, (під) регулятор.*

Keywords: *electric drive, pumping unit, asynchronous electric motor, pressure sensor, frequency regulation, pressure regulator, proportional-integral-differentiable, (sub) regulator.*

Метою роботи є підвищення енергетичної та економічної ефективності насосних станцій підкачки на базі асинхронного електроприводу, за рахунок вдосконалення системного підходу до побудови систем водопостачання житлових комплексів

Об'єктом дослідження є існуючі системи водопостачання житлових комплексів

Предметом дослідження є вибір оптимального варіанту системи водопостачання та підбору насосів з оптимізацією їх роботи.

Поставлена в роботі мета досягається вирішенням наступних основних завдань дослідження:

1. Проаналізувати проблеми енергоефективності насосних станцій підкачки для водопостачання на прикладі насосної станції підкачки житлового комплексу.

2. Розробити заходи щодо підвищення енергоефективності насосної станції підкачки житлового комплексу.

3. Провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів і розробити заходи щодо забезпечення безпеки насосної станції підкачки.

Наукова новизна дослідження полягає в:

- теоретичному обґрунтуванні вибору оптимального варіанту насосної станції підкачки житлового комплексу із застосуванням енергоефективних насосів та ЧРП, який дозволяє підвищити енергетичну і економічну ефективність всієї системи.

- запропонуванні використання регуляторів частоти асинхронних приводів зі зворотним зв'язком, його адаптація до специфічних особливостей об'єкта управління, який забезпечує суттєве покращення енергетичних показників і показників надійності роботи насосної станції.

- запропонуванні комплексу апаратного забезпечення системи управління насосами станції підкачки забезпечує необхідні показники точності і швидкодії.

Методи дослідження:

У процесі дослідження використовувалися такі загальнонаукові методи як аналіз і синтез, методи класифікації, порівняння.

Практична новизна дослідження полягає в тому, що:

- система частотного управління насосами станції підкачки забезпечить постійне підтримання номінального тиску і напору на виході з контуру, насосних агрегатів;
- впровадження частотно-регульованого електроприводу насосів станції підкачки який забезпечуватиме стійку роботу у всьому діапазоні регулювання без погіршення його динамічних характеристик.

Практична значимість дослідження полягає в тому, що пропоновані технологічні рішення дадуть можливість економити електроенергію підприємству і забезпечить безперебійну подачу води жителям житлового комплексу.

ВСТУП

В даний час розподіл всієї електроенергії, виробленої в промислово розвинених країнах, здійснюється приблизно в такій пропорції: 69% - електропривід; - 6% - освітлення; - 25% - інші.

У свою чергу, на частку електроенергії, спрямованої на роботу електроприводів, насосів та вентиляторів, припадає близько 60%. Таким чином, більше 40% (і, за деякими оцінками, понад 50%) всієї електроенергії, що виробляється у світі, спрямовується на потреби електроприводів.

Відцентрові вентилятори, насоси та компресори об'єднані в один клас навантажувальних механізмів для електроприводу, оскільки їх характеристики з точки зору вимог та умов роботи електроприводу мають багато спільного. Більшість електроприводів цих механізмів нерегульовані.

Традиційні методи регулювання подачі насосних установок на станціях підкачки полягають у дроселюванні напірних ліній та зміні загальної кількості працюючих агрегатів відповідно до одного з технологічних параметрів - тиску в трубопроводі або в точці мережі де проводиться вимір, рівня в прийомній або регулюючій ємності тощо. Ці методи управління спрямовані на вирішення поставлених технологічних завдань (підтримка заданого тиску) і практично не враховують енергетичні аспекти транспортування води.

При цьому гідравлічне та електрообладнання насосних станцій зазвичай підбирається відповідно до максимальних технічних параметрів (витрата, тиск тощо) системи водопостачання та водовідведення. Однак у реальному житті виявляється, що недавно введені в експлуатацію насосні агрегати досягають режимів проектування протягом багатьох років або взагалі згасають. Тому існуючі станції підкачки, як правило, працюють у режимах, які суттєво відрізняються від розрахункових. Крім того, існують добові, тижневі та сезонні коливання витрати та тиску внаслідок змінного споживання води, внаслідок чого режими роботи насосів далекі від робочих зон своїх характеристик (як правило, в меншу сторону).

ОСНОВНА ЧАСТИНА

З появою надійного керованого електроприводу були створені передумови для розробки принципово нової технології транспортування води з плавним регулюванням робочих параметрів насосного агрегату без непродуктивного споживання енергії та з широкими можливостями для підвищення точності та ефективності технологічних критеріїв роботи систем постачання. У цьому випадку місце розташування робочих точок насосного агрегату стає характеристиками трубопроводів, а не характеристиками насосів, як у випадку регулювання витрат насосних агрегатів з постійною швидкістю.

Регулюючи швидкість, щоб змінювати споживання енергії в порівнянні з дросилюванням, досягається значний потенціал економії енергії.

На рис.1 відображені результати роботи станції підкачки в режимі включеного і вимкненого перетворювача, що підтверджують економію води.

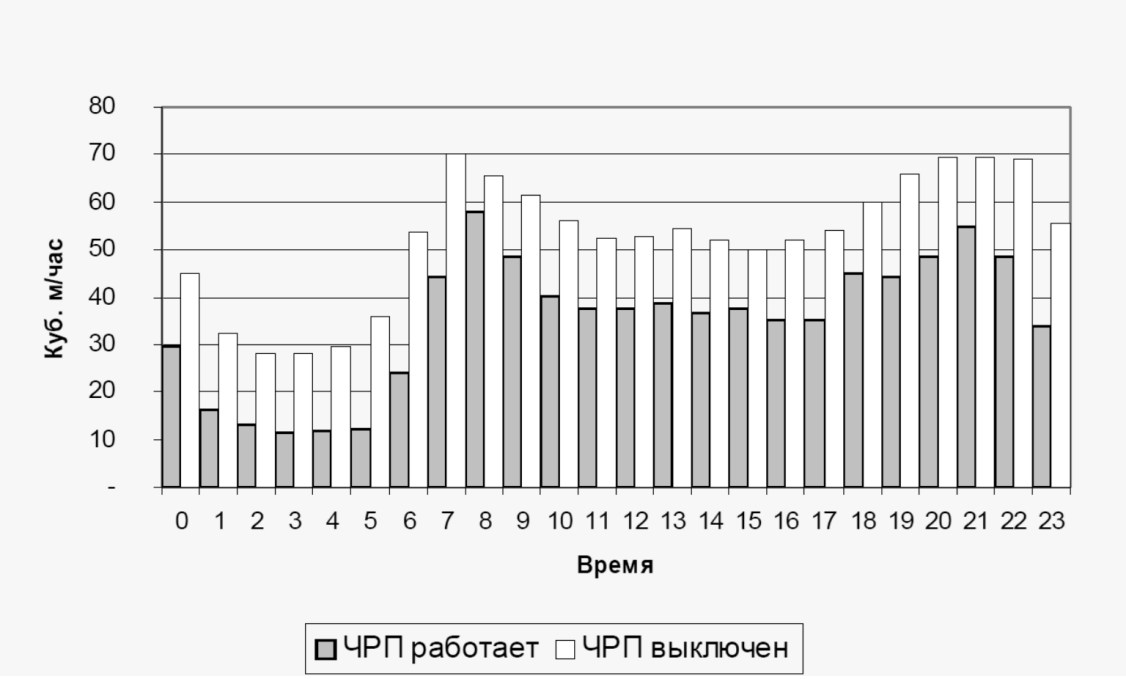


Рис. 1 - Погодинна витрата води при включеному ЧРП і без нього.

Економія електроенергії склала 51%, а економія води - 24%. Вартість зекономленої води в 1,6 раз більше, ніж вартість зекономленої електроенергії. Додаткова економія і води і електроенергії можлива за рахунок зниження тиску в магістралі до реально допустимого в нічні години. Подібні цифри економії не є винятком. Як правило, економія енергії при такому використанні перетворювачів становить 25-60% і вище.

Вагомий аргумент у виборі приводу змінної частоти стали перевагами асинхронного двигуна: висока надійність, простота експлуатації, високий ступінь захисту від зовнішнього середовища, відносно низька вартість і низькі експлуатаційні витрати.

При використанні перетворювачів частоти можна визначити прямі та непрямі джерела економії.

До прямих джерел економії належать:

- економія електроенергії за рахунок роботи електроприводу в залежності від реального споживання води і з цієї причини зменшення споживаної електроенергії у разі зменшення реального споживання води в системі кінцевими споживачами;

Непрямими джерелами заощаджень є такі:

- зменшення споживання води у системі водопостачання станції підкачки за рахунок зменшення втрат, пов'язаних із надлишковим тиском (збільшення тиску в трубопроводі на 1 атмосферу забезпечує збільшення втрат води на 2-7%);
- зменшення витрат на профілактичний та капітальний ремонт конструкцій та обладнання (як електроприводів, насосів, так і трубопроводів)

Поряд із заявленими складовими енергозбереження, які в кінцевому рахунку враховані та оцінені, використання ЧРП забезпечує ряд додаткових переваг:

- економія тепла в системах гарячого водопостачання за рахунок зменшення втрат води, що несе тепло;
- здатність створювати при необхідності напір більший за основний;
- зменшення зносу основного обладнання за рахунок плавного пуску, усунення гідравлічних ударів, зниження тиску (у державному секторі кількість дрібних ремонтів основного обладнання зменшується вдвічі);

- можливість комплексної автоматизації систем водопостачання.

За оцінками експертів з Науково-дослідного інституту електроенергетики США (Electric Power Research Institute EPRI), ефективність економії ресурсів при використанні ЧРП порівняння з економічним ефектом енергозбереження. У вітчизняній практиці рекомендується використовувати коефіцієнт збільшення економічного ефекту К = 1,3.

Підключення перетворювача частоти до одного електроприводу доцільно на тих об'єктах, де є єдиний електропривід і його робота не має складних взаємозв'язків з іншими перетворювачами.

За допомогою цього варіанту використання перетворювача частоти виходить максимальна питома вартість перетворювача на 1 кВт потужності двигуна, оскільки, якщо необхідно переобладнати кожен новий електропривід перетворювачем, вартість нового перетворювача враховуватиметься в повному обсязі.

Враховуючи тенденцію до зниження вартості електронних перетворювачів частоти та зростання вартості активних матеріалів, з яких виготовлені електродвигуни, ці системи будуть інтенсивно розвиватися.

Показником найкращого варіанту, який визначається на основі порівняльної економічної ефективності, є мінімум приведених витрат. Приведені витрати для кожного варіанту представляють собою суму річних виробничих витрат та капітальних вкладень, зменшених до одного розміру відповідно до стандарту ефективності для кожного варіанту.

Знижені витрати визначаються за такою формулою: $З_i = E_н \cdot K_i + И_i$,

де Зі - зменшені витрати на варіант технічного рішення, що розглядається, грн / рік; $E_н$ - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень, 1 / рік; K_i - капітальні витрати на кожен варіант, грн; $И_i$ - річні експлуатаційні витрати після того самого варіанту, грн / рік.

Як частина витрат K і $И$ слід враховувати лише витрати на відмінні предмети.

Світовий досвід показує, що більш економічне та раціональне споживання електроенергії реалізується шляхом оптимізації її використання.

Економія електроенергії без втрати інтересів споживачів може бути досягнута лише шляхом впровадження енергозберігаючих технологій та методів, що оптимізують фактичне споживання електричної енергії.

Поряд з вибором найкращих технологічних рішень, при розробці нових систем велика увага приділяється врахуванню економічного ефекту, який отримується в результаті цих розробок.

Річний економічний ефект визначається за формулою: $Э = (З_б - З_н) \cdot A_г$, де

$З_б$ - щорічні зменшені витрати на основний продукт; $З_н$ - щорічні зменшені витрати на новий товар; $A_г$ - річний обсяг виробництва в розрахунковому році впровадження нової технології в натуральних одиницях: $A_г = 5$.

Економічний ефект від впровадження управляючих станцій, обладнаних перетворювачами частоти, плавних пускачів, а також інтеграції контрольних станцій в єдину систему АСУ ТП, базується на таких факторах:

1. Пряма економія від зменшення споживання електроенергії при регулюванні показників роботи агрегатів (для різних об'єктів від 25 до 50%).

2. Збереження фонду оплати праці зменшеного штату персоналу.

3. Різке зниження рівня аварійності на мережах (принаймні в 5 - 10 разів).

4. Збільшення принаймні в 3 рази ресурсу і часу експлуатації насосів, електродвигунів, комутаційного обладнання.

5. Зниження вартості електричного опалення на об'єктах, побутових послуг для чергового персоналу.

6. Різке підвищення надійності системи в цілому, за рахунок усунення «людського фактору» та автоматичної діагностики системою всіх її елементів та своєчасного усунення можливих надзвичайних ситуацій.

Висновки

Дослідження, проведені рядом різних організацій щодо використання змінного електричного приводу турбомеханізмів, використані при написанні цієї роботи, дозволяють сформулювати такі основні висновки:

1. Найефективнішим способом регулювання асинхронних двигунів з білковою кліткою є частотний метод, який дозволяє найбільш економічно доцільні режими роботи у всьому діапазоні регулювання роботи турбомеханізмів.

2. Модернізація існуючих нерегульованих електроприводів з метою енергозбереження дозволяє отримати максимально можливий економічний ефект за рахунок мінімальних капітальних витрат.

3. Регулювання частоти є основним способом досягнення максимальної продуктивності асинхронного приводу в статичних умовах.

4. Технологічні особливості електроприводів турбомеханізмів дозволяють розглядати їх як об’єктно-орієнтовані електроприводи, що працюють переважно в статичному режимі.

Перелік посилань

1. Фащиленко В. Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляционных установок. М.: «ГОРНАЯ КНИГА». 2011.

2. Зуев К.И. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. Владимир: «ВлГУ». 2016.

3. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М.: ООО «Бастет», 2010.

4. Лезнов Б.С.Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006.

5. Коренькова Т.В., Михайличенко Д.А., и др. Исследование системы ПЧ-АД-Насос-Гидросеть. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Випуск 2/2003(19), с. 377.

6. Клепиков В. Б., Розов В. Ю. О роли электропривода в решении проблемы энергоресурсосбережения в Украине // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт», № 30, 2008,–С.18–21.

7. Регулируемый электропривод в насосных установках. // **www.privod.ru**

8. Каталог продукции ОАО «ВЛАДИМИРСКИЙ ЭЛЕКТРОМОТОРНЫЙ ЗАВОД». // www.электродвигатель.net**.**

Науковий керівник д.т.н., проф. Юрченко О.М.

УДК 621.671

Руденко Я.І.
Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЛІФТОВОЮ УСТАНОВКОЮ АДМІНІСТРАТИВНОГО БУДИНКУ

Анотація. *Проведено дослідження та модернізація діючої системи управління ліфта "Euroformat", зроблено силовий розрахунок електроприводу, запропонований комплект обладнання для автоматизації системи керування відповідаючи доцільним критеріям відношення ціни та якості.*

Abstract*. Research and modernization of the existing control system of the Euroformat elevator is carried out, the power calculation of the electric drive is made, the set of the equipment for modernization corresponding to expedient criteria of the relation of the price and quality is offered.*

Ключові слова: *перетворювач частоти, асинхронний двигун, електропривод, енергоефективність, пасажирський ліфт, система керування.*

Key words: *frequency converter, induction motor, electric drive, energy efficiency, passenger elevator, control system.*

Вступ. Тема автоматизації керування ліфта в теперішній час являється актуальною. Метою модернізації вантажопідйомного механізму являється виконання вимог по підвищенню безпеки і технічного рівня пасажирського ліфта. При вдосконаленні необхідно зберегти його основні технічні параметри, такі як вантажопідйомність та швидкість. На сьогоднішній день існує декілька систем управління. Такі як: релейні станції управління, станції управління на логічних елементах та мікропроцесорні станції управління. Станції управління на мікропроцесорній системі збільшують функціональні можливості, тому вони мають найбільший попит. Основним завданням, було підвищення технічного рівня ліфта, за рахунок часткової заміни обладнання. У даній роботі була виконана модернізація системи управління основі ліфта "Euroformat".

Матеріал та результати дослідження. В ході роботи необхідно: проаналізувати принципові електричні схеми ліфта, провести силовий розрахунок електроприводів, підібрати обладнання для модернізації за критерієм ціна / якість, зробити алгоритми всіх режимів роботи ліфта, вибрати обладнання та розробити алгоритм для виявлення неполадок. Призначення блоків на функціональній схемі: кнопка виклику - служить для виклику ліфта пасажиром на поверх, де він знаходиться; кнопка наказу - служить для відправки пасажиром кабіни ліфта на потрібний поверх; клемна коробка - призначена для збору сигналів з елементів, розташованих на кабіні ліфта. Встановлюється на даху кабін. Лебідка - виконує підйом і спуск кабіни; індикатор - показує розташування кабіни і напрямок її руху для отримання інформації яку очікує пасажир; віддалена станція - застосовується для обробки сигналів виклику; контролер KLSM - основний елемент системи управління пасажирського ліфта. Підвісний кабель - необхідний для управління пересувними елементами підйомника і з'єднання клемної коробки і контролера. Прилад сервісного обслуговування - призначений для програмування установчих параметрів системи управління, діагностики стану ліфта і пошуку несправностей;

На рисунку 1.1 зображена схема, яка відображає дані елементи.

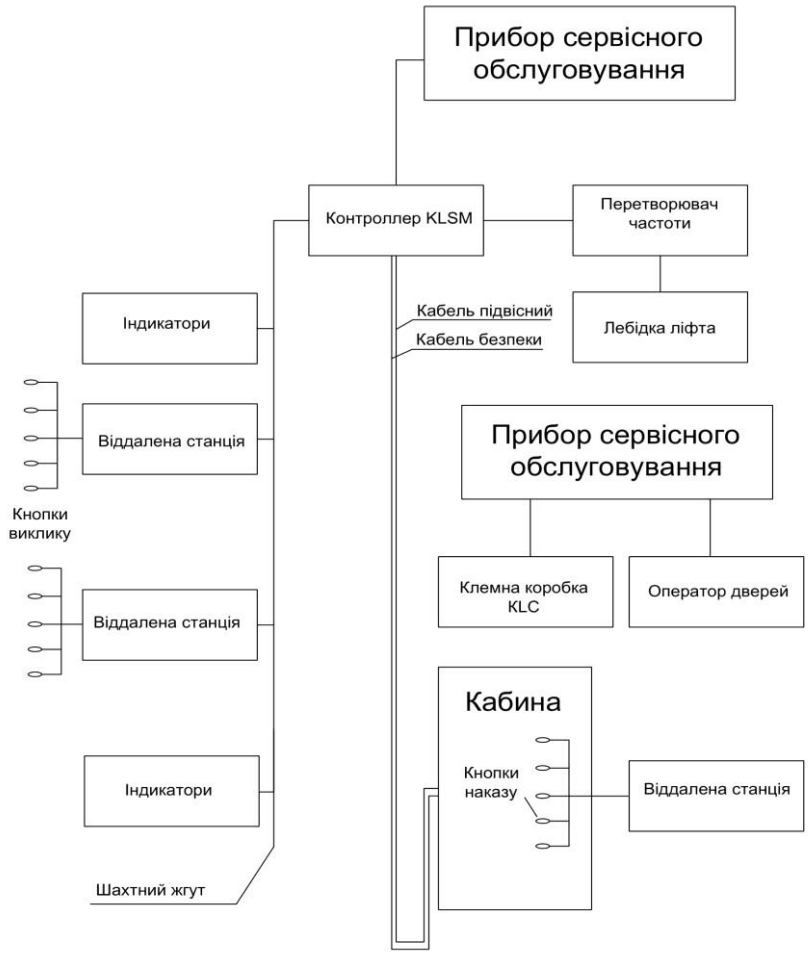


Рис.1. – Функціональна схема ліфта.

Для коректної роботи необхідні наступні кабелі по шахті, які в системі називаються шахтний джгут, в який входять кабель розетки, кабель заземлення, кабель замків і протоколу, так само кабель виклику постів.

Для більш плавної роботи ліфта, для скорочення витрат електроенергії при роботі та захисту електродвигуна був підібраний перетворювач частоти. Для керування всією системою підібраний програмований контролер. В основу принципу роботи покладено метод тактового опитування всіх датчиків, контролюючих положення кабіни ліфта в шахті, а також всіх кнопок виклику та наказу. До датчиків, контролюючих положення кабіни в шахті, відносяться датчики верхнього і нижнього поверхів, датчик точної зупинки і датчики зупинки. Датчики точної зупинки розташовуються на кабіні ліфта і взаємодіють з шунтами розташованими в шахті ліфта в зонах уповільнення і точної зупинки у кожної поверхової площадки. Рахунок поверхів здійснюється мікропроцесором при русі кабіни вниз по сигналам від датчика уповільнення вниз, а при русі кабіни знизу вгору - за сигналами від датчика уповільнення вгору. Послідовність опитування пристроїв - строго визначена. Мікропроцесор чітко фіксує номер імпульсу, який він посилає. За кожним номером імпульсу закріплений певний датчик, внаслідок чого мікропроцесор знає, який датчик в даний момент опитується. Також у процесі використання ліфта виникають неполадки, для більш швидкого їх виявлення, пропонується зробити контроль скреготу і коливань. Для цього підібрані датчики для даного контролю та

описані алгоритми визначення несправностей. В якості датчика заміру амплітуди коливання кабіни вибраний акселерометр.

Основні вимоги, якім повинні відповідати електропривод для ліфтової установки:

1) забезпечення мінімального часу руху кабіни від початкового поверху положення кабіни до поверху призначення за викликом або наказом;

2) швидкість і прискорення не повинні залежати від завантаження ліфта;

3) крім основної швидкості руху кабіни електропривод і система управління ліфтом з номінальною швидкістю більше 0,71 м/с повинні забезпечувати можливість руху кабіни зі швидкістю не більше 0,4 м/с, що необхідно для контрольного обстеження шахти (режим ревізії);

4) обмеження прискорень і уповільнень кабіни;

5) повинна бути забезпечена певна точність зупинки кабіни на заданій відмітці;

6) для забезпечення безпеки обслуговування напруга силових електричних ланцюгів в машинних приміщеннях не повинна перевищувати 660 В, в кабіні, шахті і на поверхових майданчиках - 380В змінного струму і 220В постійного струму;

7) напруга в ланцюгах управління, освітлення і сигналізації у всіх приміщеннях повинне бути не вище 220В;

8) напруга аварійного освітлення і переносних ламп не повинна перевищувати 36В;

9) зупинка кабіни супроводжується накладенням механічного гальма. Відключення електродвигуна при зупинці кабіни повинно відбуватися після накладення гальма. У разі несправності механічного гальма під час перебування кабіни на рівні поверхового майданчика електродвигун і живлячий його перетворювач повинні залишатися включеними і забезпечувати утримання кабіни на рівні майданчика;

10) у разі перевантаження електродвигуна, а також при короткому замиканні в силовому ланцюзі або в ланцюгах керування електроприводом, має бути забезпечено зняття напруги з приводного електродвигуна ліфта і накладення механічного гальма;

11) можливість його реверсування для забезпечення підйому і опускання кабіни.

Для визначення результату модернізації використаємо таблицю переліку показників технічного рівня і якості виробів.

Таблиця 1.1 - Перелік показників технічного рівня і якості виробів

Показники	Одиниця виміру	Попереднє технічне рішення	Запропоноване технічне рішення
1.Потужність двигуна	кВт	9,5	11
2.КПД лебідки	%	80	89
3.Надійність	Несправність/рік	12	6
4.Срок служби	Рік	10	20

Оцінка вагомості показників ліфта здійснюється на основі експертних показників. Найбільш простим методом індивідуальної експертизи, яка використовується для оцінки показників, є метод попарних порівнянь.

Результати експертизи представлені у вигляді матриці, в таблиці 1.2 В якої на перетині рядка і стовпця зафіксовані індекси тих показників, які є більш важливими в оцінці якості виробу, при їх попарному порівнянні.

Таблиця 1.2 – Матриця попарного порівняння показників.

J / i		Індекси показників				a_i	B_i
		1	2	3	4		
Індекси показників	1	1	<0.5	<0.5	<0.5	2.5	0.147
	2	>1.5	1	>1.5	1	5	0.294
	3	>1.5	<0.5	<0.5	<0.5	4.5	0.265
	4	>1.5	1	1	1	5	0.294
∑						17	1

Кількісне уявлення вагомості (значимості) показників може бути отримано за формулою:

$$B_i = \frac{a_i}{\sum a_i} \quad (1.1)$$

Де B_i – відносна вагомість параметрів, a_i – абсолютна вагомість параметрів.

Відносні показники розраховуються по формулі:

$$q_i = \frac{Р\text{б}_i}{P_{\text{н}_i}} \quad (1.2)$$

Де $Р\text{б}_i$, $P_{\text{н}_i}$ – абсолютні показники i-го показника якості, відповідно попередньої і нової моделі.

Таблиця 1.3 - Оцінка технічної доцільності конструкції

Найменування показників по групам	B_i	q_i	$q_i \times B_i$
1.Потужність двигуна	0,147	1,158	0,170
2.КПД лебідки	0,294	1,106	0,325
3.Надійність	0,294	2,0	0,588
4.Срок служби	0,265	2,0	0,53
КПТР			1,613

Так як комплексний показник технічного рівня перевищує значення одиниці, то запропоноване обладнання відповідає високому рівню і є більш вигідним по відношенню до наявного по показником якості.

Висновки:

Розроблений комплекс із запропонованих технічних рішень є автоматизованою системою, яка дозволяє підвищити якісні, економічні та фізичні показники ліфтової установки в цілому. При порівнянні попередніх показників системи і запропонованих можна зробити висновок, що мета удосконалення установки виконана успішно. Основні проблеми експлуатації які пов’язані із стабільністю роботи двигуна були вирішені за допомогою частотного перетворювача, керування системою за допомогою програмованого контролера, та наявність несправностей та більш точне управління ліфтом досягнуто за допомогою спеціалізованих датчиків. Термін окупності даної модернізації складає півтора роки, що є досить непоганим результатом.

Перелік посилань

1. Динамическое торможение асинхронного двигателя [Электронный ресурс]. https://h4e.ru/elektricheskie-mashini

2. Петелин Д.П. Автоматическое управление синхронными электроприводами. М.: Энергия, 1968. 193 с.

3. Системы автоматизации и диспетчеризации высотных жилых комплексов/В.В. Панкратов, С.В. Марфин, А.Н. Колубков//Авок:-2005, №5.

4. Сандлер, А.С. Частотное управление асинхронными двигателями [Текст] / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов,- М.: Энергия, 1974,- С. 328.

Науковий керівник доц. Данілін А.В.

УДК 628.440.22

Кірзенко О.В.
кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА НАСИПНИХ ВАНТАЖІВ

Анотація. *Розглянуто підхід та методика визначення критеріїв оптимальності для системи керування режимів роботи стрічкового конвеєра в функції вантажопотоку. Для підвищення енергоефективності функціонування конвеєрної установки розглянуто принцип стабілізації погонного навантаження на стрічці. Для отримання діаграм контрольованих перемінних й кількісних показників запропонована імітаційна структурна модель системи частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра із зміною швидкості пропорційно заданого характеру зміни погонного навантаження.*

Ключові слова: *стрічковий конвеєр, електропривод, частотне регулювання, погонне навантаження, імітаційна модель.*

Abstract. *The approach and method of determining the optimality criteria for the control system of the belt conveyor operating modes as a function of freight flow are considered. To increase the energy efficiency of the conveyor installation, the principle of stabilization of the running load on the belt is considered. To obtain diagrams of controlled variables and quantitative indicators, a simulation structural model of a system of frequency-regulated electric drive of a belt conveyor with a change in speed proportional to a given nature of the change in running load is proposed.*

Keywords: *belt conveyor, electric drive, frequency control, running load, simulation model.*

Вступ. Транспортні установки на базі стрічкових конвеєрів застосовуються в багатьох галузях промисловості. Режими роботи таких установок в більшості випадків характеризуються тривалою роботою протягом значного проміжку часу внаслідок завантаження, транспортування й розвантаження в безперервному режимі. Ця обставина безпосередньо впливає на вибір електродвигуна та системи електроприводу. В більшості випадків для конвеєрів має місце нерівномірність вантажопотоку, що впливає на статичне навантаження електропривода. Такі особливості роботи стрічкових конвеєрів піднімають на перший план питання енергоефективності, економії електроенергії тощо. При цьому, застосування регульованого електроприводу є джерелом не тільки раціонального використання електроенергії, а також і ресурсу обладнання конвеєра.

На сьогодні частотно-регульований електропривод вважається стандартом для стрічкових конвеєрів. Він відносно простий, має непогані характеристики управління і дозволяє отримати оптимальне використання електроенергії приводом конвеєра [1].

Таким чином, э можливість підвищення енергоефективності технологічних процесів стрічкових конвеєрів засобами електроприводу. В разі недовантаження конвеєра й при усталеній швидкості знижується його продуктивність і збільшується відносна доля потужності на подолання моменту холостого ходу. Тому для підвищення ефективності роботи стрічкового конвеєра необхідно змінювати швидкість.

Управління завантаженням стрічки конвеєра може бути реалізовано застосуванням різних систем автоматичного регулювання.

Коли основною технологічною вимогою є забезпечення максимально можливої продуктивності конвеєра, то застосовують регулювання швидкості в бік її збільшення в разі зменшення вантажопотоку. При цьому погіршуються енергетичні показники й потрібно мати можливість регулювання швидкості вгору.

Більшість фахівців вважає доцільним застосовувати для стрічкових конвеєрів системи

стабілізації погонного навантаження на стрічку, підтримуючи його на заданому рівні. В разі зменшення вантажопотоку швидкість пропорційно потрібно зменшувати, що підвищує енергоефективність, та забезпечує ресурсозбереження за рахунок підтримання практично постійним статичного навантаження і тому механічне обладнання конвеєра (роликоопори, стрічка й т.п.) працює весь час в номінальному розрахунковому режимі. Однак, такий режим має й деякі недоліки. При різко змінному вантажопотоці має місце значна частота зміни швидкості руху стрічки й підвищений рівень динамічних навантажень, що призводить до зниження терміну служби стрічки, яка є найбільш дорогим елементом конвеєрної установки.

Мета та завдання. Мета роботи полягає в підвищенні енергоефективності роботи стрічкового конвеєра за рахунок застосування системи оптимального управління частотно-регульованим електроприводом за критерієм стабілізації погонного навантаження на стрічці.

Основні завдання наступні:

- визначити основні підходи до побудови оптимальних систем управління електроприводом стрічкового конвеєра;
- розробити імітаційну модель для дослідження технологічних режимів роботи конвеєра при змінному вантажопотоці;
- оцінити ефективність роботи системи з точки зору споживання електроенергії.

Матеріал і результати досліджень. Частка витрат на транспортування вантажу стрічковими конвеєрами в його собівартості досить значна й може досягати 20%. Тому дана проблема досить актуальна і для транспортних машин в цілому. Можливим напрямом вирішення вищеназваної проблеми є застосування регульованих електроприводів стрічкових конвеєрів, зокрема з частотним регулюванням швидкості. В цьому випадку забезпечується оптимізація технологічних режимів роботи конвеєра та вирішується питання енергозбереження [2].

З використанням системи *MATLAB* на базі пакету *Simulink* синтезована імітаційна модель для дослідження системи оптимального управління стрічковим конвеєром за вантажопотоком, яка представлена на рис.1.

Позначення, функції й розрахунок параметрів основних блоків моделі.

E_q – блок ступеневого завдання довільних значень вантажопотоку;

AJ-1 – пристрій формування лінійного характеру зміни погонного навантаження на стрічці (містить нелінійний елемент *AH* з релейною характеристикою та інтегратор *INT* з коефіцієнтом передачі K_1, котрий відповідає за темп зміни вантажопотоку);

AR – цифровий ПІД-регулятор швидкості на вході системи, що відповідає сучасній тенденції побудови частотно-регульованих електроприводів. Складові регулятора обчислюються за виразами:

- пропорційна $K_p = \dfrac{J \cdot R_e}{2 \cdot T_{uz} \cdot K_{uz} \cdot 1{,}5 \cdot p \cdot K_m \cdot K_{ow}}$;
- інтегруюча $K_i = \dfrac{K_e}{2 \cdot T_{uz} \cdot K_{uz} \cdot K_{ow}}$;
- диференційна $K_d = \dfrac{T_e \cdot J \cdot R_e}{2 \cdot T_{uz} \cdot K_{uz} \cdot 1{,}5 \cdot p \cdot K_m \cdot K_{ow}}$;

UZ – перетворювач частоти у вигляді аперіодичної ланки першого порядку з коефіцієнтом передачі $K_{uz} = U_{1nom} / U_{ymax}$ та сталої часу $T_{uz} = 0{,}005$ с (приймається);

UEI – блок моделювання електромагнітних процесів в системі ПЧ-АД, враховує еквівалентні активний опір R_e та сталу часу T_e статорного кола;

KM – блок прив'язки електромагнітного моменту двигуна M із струмом статора I з урахуванням кількості пар полюсів p та коефіцієнту передачі за моментом K_m;

J – повний момент інерції системи з врахуванням моменту інерції механізму, приведеного до валу двигуна;

KE, KV, Kq, UR – блоки, що забезпечують зв'язок перемінних та сигналів за формулами

$$K_e = \frac{U_{1nom} - I_{nom} \cdot R_e}{w_{nom}}, \quad \frac{R}{i_r} = \frac{v_{nom}}{w_{nom}}, \quad q_n = \frac{Q_{nom}}{v_{nom}}, \quad K_{ow} = \frac{10}{w_o};$$

AX – блок перемноження, формує сигнал активної потужності на валу двигуна згідно виразу $P = M \cdot w$;

AD – блок ділення, обчислює поточне значення погонного навантаження за формулою $q = Q / v$.

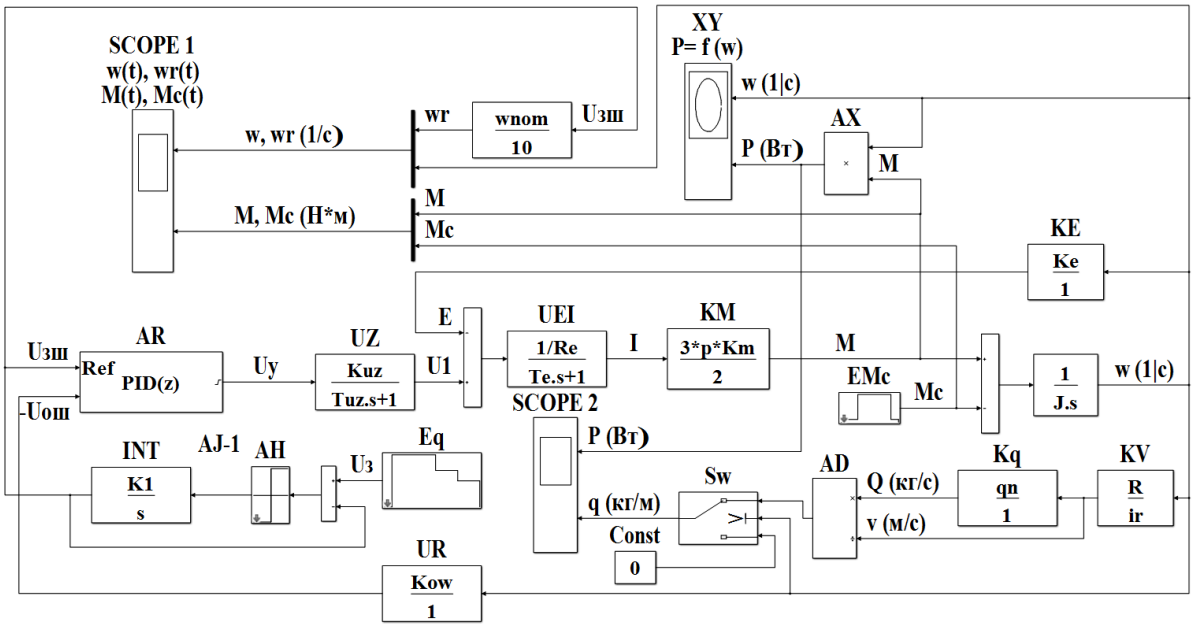


Рисунок 1 – Модель системи стабілізації погонного навантаження на стрічці

Алгоритм функціонування моделі наступний:

$0 \le t < 1$ с – конвеєр нерухомий;

$1 \le t < 4$ с – розгін конвеєра на холостому ході до номінальної швидкості;

$4 \le t < 7$ с – усталений рух під номінальним навантаженням;

$7 \le t < 10$ с – зменшення вантажопотоку на 20 %;

$10 \le t < 12$ с – зниження погонного навантаження на 50 %;

$12 \le t < 14$ с – гальмування конвеєра на холостому ході до повної зупинки;

$14 \le t < 15$ с – конвеєр нерухомий після зупинки;

$t = 15$ с – закінчення процесу моделювання.

Осцилограф *Scope*1 дозволяє відстежити динаміку поведінки системи регулювання швидкості конвеєра в залежності від вантажопотоку. Відповідні швидкісні $w(t)$, $w_r(t)$ та навантажувальні $M(t)$, $M_c(t)$ діаграми зображені на рис. 2,а.

Графіки зміни активної потужності на валу двигуна $P(t)$ та погонного навантаження $q(t)$ для конвеєра з частотно-регульованим електроприводом отримані за допомогою осцилографа *Scope*2 і наведені на рис.2, б.

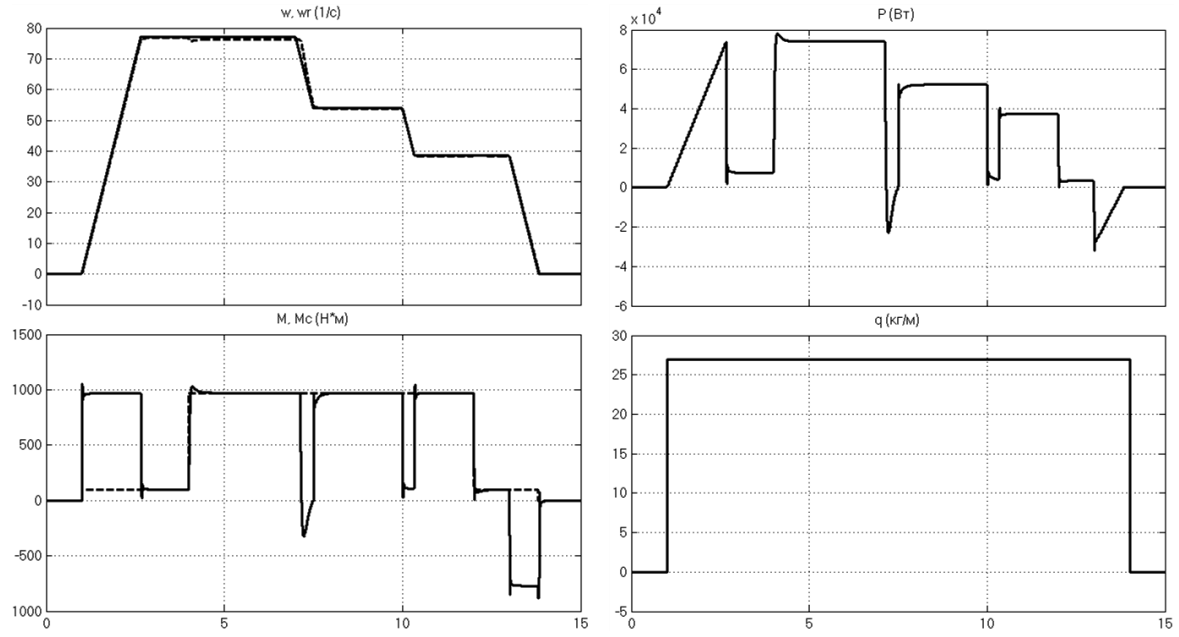


Рисунок 2 – Графіки зміни перемінних каналу регулювання в часі:

а – технологічних, б – енергетичних

Графічні залежності показують суттєву економію споживання активної потужності двигуном при регулюванні кутової швидкості конвеєра в функції вантажопотоку.

Висновки

1. Система частотно-регульованого електроприводу забезпечує досить точне відпрацювання потрібного пропорційного закону зміни кутової швидкості валу двигуна від сформованого заданого характеру зміни погонного навантаження на стрічці.

2. Графік зміни активної потужності двигуна наочно ілюструє коливання в перехідних процесах й сталість в усталених режимах. При цьому значення потужності змінюються пропорційно швидкості та становлять відповідно до завдання 80 й 50 % від номінального значення.

3. Результати моделювання доводять можливість підтримання сталості погонного навантаження на стрічці у всіх режимах роботи стрічкового конвеєра.

Перелік посилань

1. Семыкина И.Ю. Методика повышения энергоэффективности многодвигательных частотно-регулируемых электроприводов магистральных ленточных конвейеров [Текст] / И.Ю.Семыкина, В.А.Негадаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – №3. – С. 134-142.

2. Семенченко А.К. Математическая модель целевой функции оптимизации режимов работы привода ленточного конвейера [Текст] / А.К.Семенченко, Н.И.Стадник, П.В.Белицкий, Д.А.Семенченко // Геотехнічна механіка. – 2017. – №134. – С. 163-178.

Науковий керівник доц. Чермалих О.В.

УДК 681.58

Чередарик М. І.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КРАНІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ПРИВОДУ

Наведено результати дослідження характеру витрат енергії в частотно-регульованому приводі механізму пересування візка мостового крану. Визначено закономірність зміни співвідношення витрат енергії за робочий цикл механізму пересування при частотно-регульованому приводі і двигуні з фазним ротором в залежності від тривалості пуско-гальмівних режимів і етапу рівномірного ходу при різних способах гальмування.

Ключові слова: економія енергії, механізм пересування, частотне регулювання.

The research results of the energy consumption type in the variable-frequency drive of the traveling mechanism of the bridge crane trolley are presented. The regularities of changes in the ratio of energy consumption per working cycle of the traveling mechanism in variable-frequency drive and motor with wound rotor, depending of the start-up and brake modes duration and of the uniform progress stage with varions braking methods, are defined.

Keywords: energy saving, traveling mechanism, frequency regulation.

Постановка проблеми. Вантажопідйомні крани, які обладнані асинхронними двигунами з фазним ротором є не економічними з точки зору споживання енергії. Рішенням цієї проблеми може стати заміна в кранових механізмах асинхронних двигунів з фазним ротором на короткозамкнені з живленням від частотного перетворювача (частотно-регульований) привід. Однак застосування частотно-регульованого приводу пов’язане з відносно великими капітальними витратами, що може бути виправдано зменшенням витрат енергії. Тому є актуальною оцінка витрат енергії частотно-регульованого приводу в механізмах вантажопідйомних машин і порівняння їх з витратами асинхронного привода з фазним ротором.

Аналіз останніх досліджень. Енергетична ефективність частотно-регульованого приводу докладно досліджена і доведена в загальній теорії електроприводу[1]. Дослідження економії енергії в частотно-регульованому приводі механізмів вантажопідйомних машин можна знайти в роботах[2]. Ці дослідження проведені переважно для ліфтів і механізмів підйому, оскільки ці механізми мають можливість рекуперативного гальмування при спуску. Застосування частотно-регульованого приводу в механізмах горизонтального переміщення і повороту також можуть зменшити витрати енергії за рахунок тривалих пуско-гальмівних процесів і використання рекуперативного гальмування[3].

Мета досліджень. Метою дослідження є зменшення витрат енергії в механізмах пересування шляхом застосування частотно-регульованого приводу.

Виклад основного матеріалу. Дослідження енергетичних характеристик руху частотно-регульованого приводу кранового механізму проводилося на стенді механізму пересування візка мостового крану в/п 32/5 т прогоном 22,5 м (рис. 1).

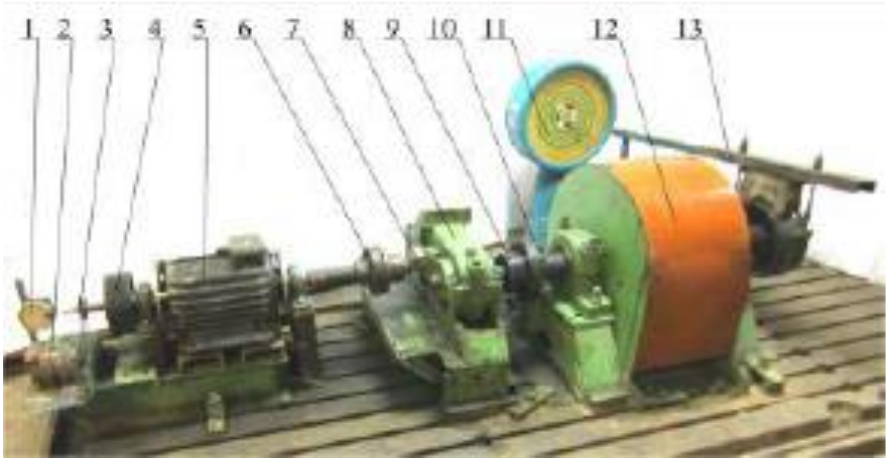


Рис. 1. Стенд для випробування механізму пересування візка мостового крану з частотно- регульованим приводом:

1 – стрілковий тахометр; 2 – тахогенератор; 3 – пасова передача; 4 – шків гальмівний; 5 – електродвигун; 6 – з'єднувальна муфта; 7 – тензодатчики та блок живлення тензодатчиків і підсилення сигналу; 8 – редуктор; 9 – з'єднувальна муфта; 10 – струмознімач; 11 – ваги; 12 – махові маси; 13 – важіль.

На рис. 2 приведено графіки зміни споживаної і рекуперованої потужності частоти струму живлення, швидкості двигуна і крутного моменту впродовж робочого циклу, при якому візок переміщується на відстань характерного робочого ходу з максимальним вантажем.

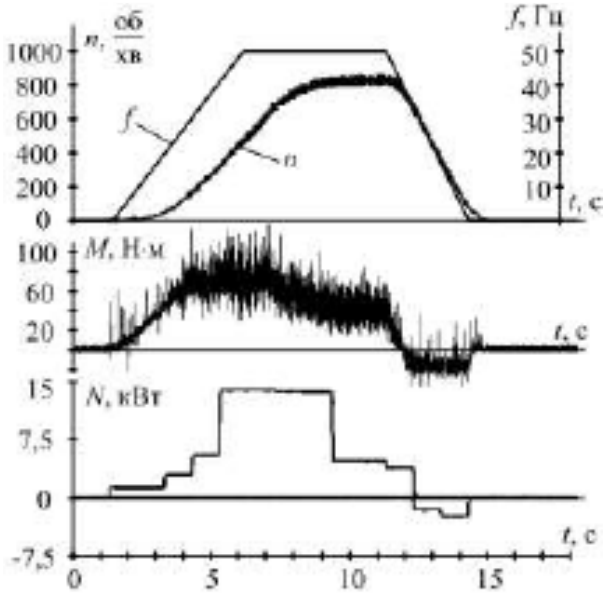


Рис. 2. Графіки зміни частоти струму, швидкості обертання валу двигуна, крутного моменту і споживаної енергії при стендових випробуваннях механізму пересування візка мостового крану з частотно-регульованим приводом при повному завантаженні.

За осцилограмою рис. 2 побудована наближена схема зміни потужності, що споживається і рекуперується двигуном впродовж робочого циклу механізму за частотно-регульованого приводу (рис. 3,а). Нижче побудована теоретична схема зміни потужності, що споживається для того ж самого механізму, обладнаного асинхронним приводом з фазним ротором (рис. 3,б). Для зручності проведення порівняльного аналізу, контури схем рис. 3,а і 3,б накладені один на одного на рис. 3,в.

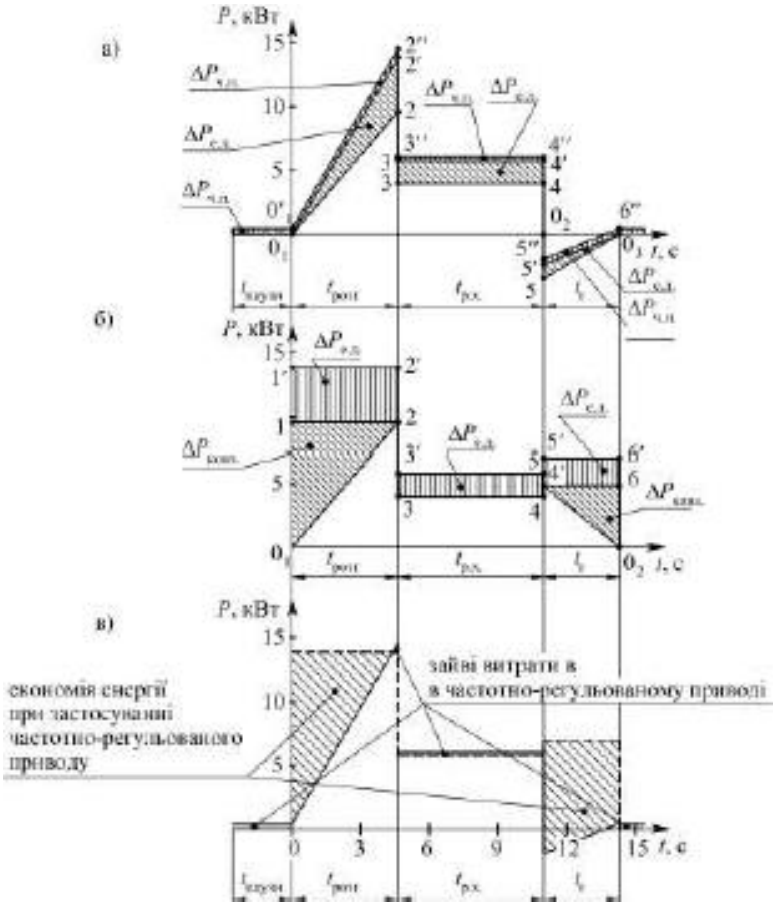


Рис. 3. Схема зміни потужності, що споживається з мережі і рекуперується під час гальмування в механізмі пересування візка мостового крану 32/5 т

З рис. 3 видно, що частотно-регульований привід має перевагу на етапі розгону і гальмування і програє приводу з фазним ротором під час рівномірного ходу, через витрати в частотному перетворювачі. Тому зменшення витрат енергії при застосуванні частотно-регульованого приводу буде варіюватись в широкому діапазоні і залежить від частки пуско-гальмівних етапів в загальному часі робочого циклу механізму. Тому оцінка енергетичної ефективності застосування частотно-регульованого приводу повинна проводитися, беручи до уваги весь робочий цикл механізму з етапами розгону, рівномірного ходу і гальмування.

Провести таку оцінку можна скориставшись методом розрахунку еквівалентної потужності. Для порівняння витрат енергії в обох приводах введемо величину e:

$$e = \frac{N_{фазн.рот.}}{N_{част.}} = \frac{P_{e\ фазн.рот.} \cdot t_ц}{P_{e\ част.} \cdot t_ц}$$

зміст якої буде відображати співвідношення споживання енергії асинхронним приводом з фазним ротором і частотно-регульованим за однокового робочого циклу.

Відношення e розраховано для випадку транспортування максимального вантажу за різних режимів гальмування. Характер зміни відношення e від часу рівномірного ходу представлений на рис. 4.

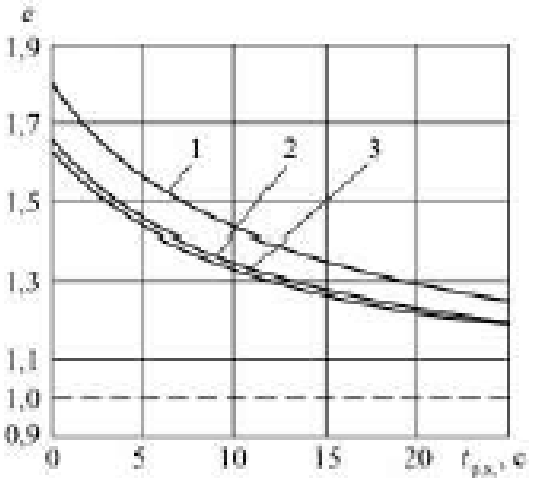


Рис. 4. Графіки співвідношення витрат енергії в механізмі пересування візка мостового крану: 1 – гальмування противключенням; 2 – гальмування механічним гальмом; 3 – гальмування обох приводів механічним гальмом.

Графіки показують, що для розглядуваного випадку відношення витрат енергії $e \leq 1$ наступає за такої тривалості рівномірного ходу $t_{р.х.}$, яка рідко зустрічається в практиці експлуатації кранів. Наприклад, для досліджуваного візка тривалість рівномірного ходу при пересуванні на відстань характерного робочого циклу становить $t_{р.х.} = 6{,}5\ с$.

ВИСНОВКИ.

Проведені дослідження дали змогу оцінити зменшення витрат енергії в механізмах пересування з частотно-регульованим приводом порівняно з асинхронним приводом з фазним ротором і визначити закономірності зміни співвідношення витрат енергії обох типів приводів для різних робочих циклів.

Перелік посилань

1. Ключев, В.І. Теория електропривода / В.І. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 2001.
2. Певзнер, Є.М. Электрооборудование грузоподъёмных кранов / Є.М. Певзнер, Є.В. Попов, М.І. Аксьонов и др. – М.: Россельхозакадемия, 2009.
3. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода: учебник для вузов / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981.

Науковий керівник ст. викл. Майданський І. Я.

УДК 62-503.5

Такташов Р.Р.
Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

РОЗРОБКА СЦЕНАРІЮ КЕРУВАННЯ ПРИЛАДАМИ В СИСТЕМІ РОЗУМНИЙ БУДИНОК

Анотація. *У статті розглядається необхідність впровадження систем «розумний будинок» та використання шин KNX в них. Було запропоновано сценарії контролю електричних приладів та механізмів, а зокрема керування мікрокліматом будинку, що дозволить зменшити споживання електроенергії та підтримувати комфортні умови приміщення.*

Abstract. The article considers the "smart home" system, KNX tire. On the basis of which the scenarios of control of electrical devices and mechanisms will be considered, and in particular the control of the microclimate of the house to obtain lower electricity consumption.

Ключові слова: розумний будинок, сценарії, KNX.

Вступ. Створення систем автоматизованого управління інженерним обладнанням будівель і споруд є новітнім напрямком в області промислової автоматизації, яку називають Smart House – «розумний будинок» і визначають як комплексний набір технічних засобів і програмного забезпечення для побудови інтегрованої системи автоматизації інженерних підсистем. Розумний будинок – це інтеграція технологій і послуг за допомогою домашніх мереж для кращої якості життя. Ця система використовує різні технології, щоб обладнати частини будинку для більш інтелектуального моніторингу, дистанційного керування. Вона надає можливість автоматизувати роботу обладнання без втручання користувача, або з дистанційним управлінням в більш зручному, ефективному, безпечному, і менш витратному варіанті.

У деяких випадках інтеграція домашніх служб дозволяє користувачеві взаємодіяти з ними через домашній контролер, тим самим дозволяючи єдиною кнопкою управляти різними домашніми системами відповідно з попередньо запрограмованими сценаріями або режимами роботи. Управління роботою домашніх приборів та систем клімат-контролю за рахунок системи розумний будинок дозволить не тільки створити комфортні умови в житловому приміщені, а й економити витрати енергії. Зокрема, коли електроприймачі підключені, але не використовуються, вони споживають електроенергію. Це призводить до її втрат приблизно на 5-10% від регулярного використання, що є причиною безпідставної витрати грошей. Більш того, неконтрольована робота електроприладів може бути причиною багатьох нещасних випадків, таких як пожежа від електричного короткого замикання ланцюга.

Саме тому **метою роботи** є розробка сценарію керування пристроями житлового приміщення для регулювання клімату в системі розумний будинок.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити **наступні задачі:**

- побудова сценарію для досягнення економічного споживання електроенергії та підвищення комфортності приміщення;
- побудова структурної схеми регулювання системи розумного будинку.

Матеріали та результати досліджень. Проектування системи розумного будинку слід розпочинати із аналізу можливих мереж для передачі сигналу. Технологія інтелектуальної домашньої мережі може бути розділена на два основних типи: дротову і безпровідну. При необхідності високого ступеня надійності роботи і керованості всіх вузлів і агрегатів, нарощування комплексу керованого устаткування при збереженні всіх діючих систем і параметрів - найефективніший засіб - прокладка кабельної системи. Провідна система має безліч типів проводів (кручена пара, оптичне волокно, Powerline і т.д.), які встановлюються в

стінах будинку. Прикладом провідний технології є електрична мережа X10, яка є відкритим стандартом для домашньої автоматизації [2]. X10 передає двійкові дані, використовуючи метод амплітудної модуляції. Контролери X10 посилають сигнали по існуючій проводці змінного струму на приймач модулів. Ще одним прикладом є KNX – відкритий міжнародний стандарт для систем управління будинком і будівлею. Гнучкість мережі KNX заснована на зміні і розширенні будь-яких функцій в будь-який час. Двухпроводная шина, прокладена паралельно з мережею електроживлення 220 В, об'єднує електроприймачі і всі системи будівлі. Передача сигналів здійснюється по цій же шині. Це можливо завдяки високим швидкостям передачі та виключної стійкості до перешкод. Саме тому, сьогодні KNX - найпоширеніший протокол мереж автоматики в Європі. На ньому ґрунтуються системи управління інженерними мережами і мультимедіа в житлових будинках. Окрім того, KNX – це стандарт зв’язку для систем автоматизації, завдяки якому можливо об’єднати в одній схемі smart-home пристрої різних виробників. KNX перед усім це шина по котрій підключені до мережі пристрої обмінюються інформацією.

Слід зауважити, що система розумного будинку повинна бути децентралізована, що дозволяє за необхідності провести заміну будь-якого компоненту не впливаючи на інші частини системи.

Одним з головних завдань при побудові розумного дому є розробка сценаріїв. Сценарії в системі «розумний будинок» це певний заздалегідь порядок дій, які повинні бути здійснені автоматично при виконанні заданих умов. Керування розумним будинком можливе завдяки датчикам та за рахунок програмуванням режимів функціювання.

Умови повинні бути наступними:

- Реакція системи керування на зміну навколишнього середовища в будівлі (температура, вологість, освітлення, тиск, рух та ін.) за межі встановлених норм, що надходить від датчиків.
- Режими функціонування, внесені в розклад по часу доби (включення / вимикання освітлення, відключення побутової техніки, запуск пристроїв мультимедіа та ін.).

Сценарій керування мікрокліматом житлового приміщення наведений на рис. 1.

Розробляємий сценарій буде запрограмований по часу та зміні факторів, такими як температура в приміщеннях, присутність людини і т.д. Також необхідно врахувати і вплив зовнішніх факторів: погоди на вулиці, вітру, хмарності, нагріву будинку з зовні. На рис.1 показано розробляємий сценарій, що запрограмований за часом. Одним з головних логічних пристроїв в системі є метеостанція. Даний пристрій збирає інформацію з системи власних сенсорів. Частина з них встановлюється в будинку, інші – зовні, на вулиці. Підключення до інтернету дозволяє завантажувати актуальні прогнози погоди від метеорологів і «підглядати», що твориться в світі недалеко від будинку.

Треба сказати, що метеостанція містить вбудовану пам'ять, в якій зберігаються значення за певний інтервал часу. За замовчуванням показники датчиків зберігаються в пам'ять кожні 30 хвилин, але цей інтервал можна змінювати за допомогою pywws. Pywws – це колекція модулів Python для зчитування, зберігання та обробки даних з популярних бездротових метеостанцій [4]. З іншого боку pywws можна запускати, наприклад, раз на добу для зчитування всіх значень, збережених в пам'яті метеостанції. Pywws має власну файлову структуру для зберігання прочитаної інформації. Використання в системі «розумний дім» власної метеостанції дозволяє не тільки забезпечити коректну роботу всіх її компонентів. З її допомогою можна добитися значної економії електроенергії, завдяки своєчасному відключення систем опалення, вентиляції, освітлення. Датчики домашньої метеосистеми, зв'язані з центральним хабом, дозволяють забезпечити максимальний затишок в домі.

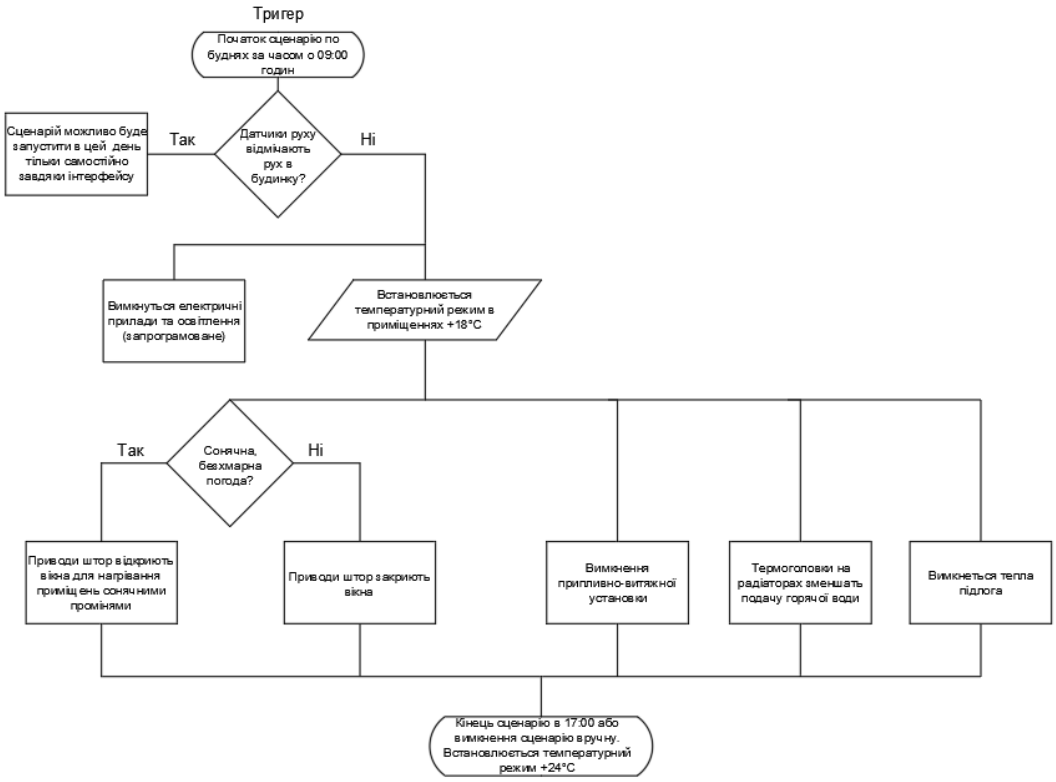


Рисунок 1 – Блок схема сценарію

Інтеграція метеостанції з системою Smart Home дозволяє налаштувати роботу різних розумних приладів: кліматичного обладнання – систем опалення, кондиціювання та вентиляції. Для правильної роботи кліматичного обладнання в автоматизованих домашніх системах потрібна установка різних датчиків, що точно відображають стан навколишнього середовища – температуру і вологість повітря, силу і напрям вітру, наявність опадів.

Структура апаратної реалізації даного сценарію буде наступною (див. рис. 2): логічний модуль HDL-MCLog.431 запрограмований за часом почне перевіряти умову відсутності людини в будинку завдяки датчикам руху. Якщо умова виконується по шині KNX логічний модуль почне сценарій. Буде встановлений і підтримуватись температурний режим +18℃. Буде отримана інформація від метеостанції про погоду навколо будинку. Якщо буде сонячна погода, то метеостанція подає керуючий сигнал на модуль контролю штор M/W04.10.1, який в свою чергу приводить в рух привід штор. Також логічний модуль подає сигнал на модуль контролю клімату HDL-M/FCU01.10.1 для відключення припливно-витяжної установки.

Модуль керування опаленням HDL-MFH06.432 зменшить подачу тепла на радіатори та вимкне теплу підлогу. Сценарій буде закінчено в 17:00 що означає повернення системи до звичайного температурного режиму +24℃ та включення пристроїв та освітлення до стану перед включенням сценарію.

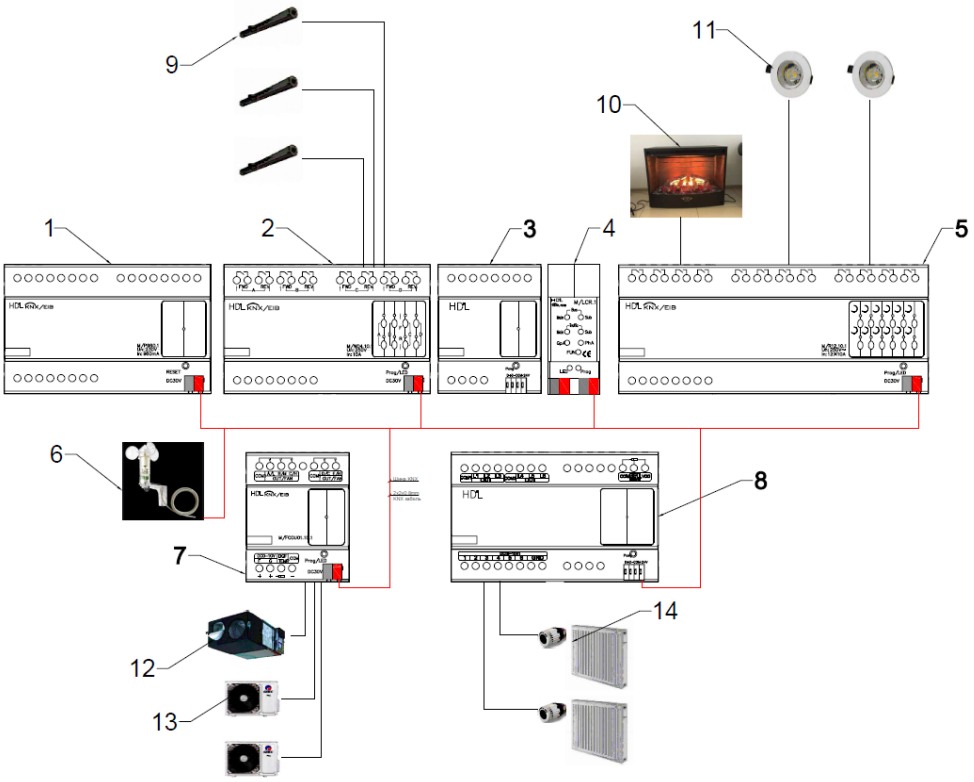


Рисунок 2 – Структурна схема системи розумного будинку: 1 - блок живлення +24В; 2 - модуль контролю штор; 3- логічний модуль; 4- ір-роутер; 5 - 12-канальне реле; 6 – метеостанція; 7 - модуль керування кліматом ; 8 - модуль керування опаленням; 9 - привід автоматичних штор; 10 – електричний камін; 11 – світильник; 12 – припливно-витяжна установка; 13 – блок кондиціонерів; 14 – радіатор з керуючую термоголовкою.

Висновок. Завдяки використанню розробленого сценарію заощаджується велика кількість електроенергії. Якщо налаштувати систему розумного будинку правильно, то можливо досягти економії електроенергії до 50% . Та в майбутньому розширювати або вдосконалювати систему новими модулями та технологіями розумного будинку.

Завдяки системі «розумний будинок» підвищується простота в керуванні будинком, безпека, енергоефективність та комфорт в відстеженні витрат енергії в будинку. Впровадження основних елементів «розумного будинку» вже на етапі будівництва будинку дає можливість згодом ці «розумні будинки» з'єднувати між собою. У найближчому майбутньому це явище, безумовно, буде набирати обертів уже на рівні районів і міст, тобто будівництво «розумних будинків» в перспективі перетвориться в створення одного великого «розумного міста».

Перелік посилань

1. М.Э. Сопер. Практические советы и решения по созданию « Умного дома » / Сопер М. Э. — М.: НТ Пресс, 2007. — 432 с.
2. . Е.А. Тесля. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире / Тесля Е.А. — Санкт Петербург, 2008. — 224с.
3. https://www.smarthouse.ua
4. https://pywws.readthedocs.io/en/latest/

Науковий керівник к.т.н., ст. викл. Кулаковський Л.Я.

УДК 62-503.5

Такташов Р.Р.
Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ТА МІКРОКЛІМАТУ ПІДВАЛЬНИХ ПРИМІЩЕНЬ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Анотація. *У статті розглядається система автоматизації контролю стану обладнання та мікроклімату підвальних приміщень житлового будинку за допомогою системи автоматичного керування. Система автоматичного керування виконана за технологією мікропроцесорного управління і регулювання на базі програмованих контролерів. Контролери системи автоматизації повинні забезпечувати безперервне управління технологічним обладнанням, підтримку параметрів технологічних систем в заданих межах, передачу інформації на комп'ютери системи диспетчеризації. Розроблена система дозволяє в реальному часі відслідковувати всі показники інженерних систем які контролюються.*

Ключові слова: *мікроклімат, шина керування, модулі керування, диспетчеризація.*

Abstract. *The article considers the system of automation of control of a condition of the equipment and a microclimate by means of system of automatic control. The automatic control system is made according to the technology, without the participation of computers of the dispatching system, microprocessor control and regulation on the basis of programmable controllers. Automation system controllers must provide continuous control of technological equipment, support the parameters of technological systems within the specified limits, the transfer of information to the computers of the dispatching system. The developed system allows to track in real time all indicators of the monitored engineering systems.*

Keywords: *microclimate, control bus, control modules, scheduling.*

Вступ. В даний час будується багато жилих комплексів, в яких застосовується інженерне обладнання, що забезпечує опалення будинку, водопостачання, електроживлення будинку і т.д. В даний час є можливість контролювати та відслідковувати показники обладнання без участі людини за допомогою систем автоматичного керування. Їх попит значно зріс в останні роки. Програмне забезпечення контролерів має забезпечувати прийом і обробку інформації з датчиків, видачу, відповідно до заданих алгоритмів керування роботою на виконавчі механізми, формування сигналів аварій, попереджень і тривог при відхиленні від нормального функціонування, обмін інформацією між контролерами системи автоматизації, а також між контролерами і комп'ютерами системи диспетчеризації.

Мета та завдання. Розробити систему автоматичного керування інженерним устаткуванням, що дозволить керувати обладнанням в реальному часі. Показати енергоефективність системи та порівняти зі звичайними способами регулювання.

Матеріал і результати досліджень. В даний час зросла необхідність в більш точному вимірювані показників та регулюванні обладнання в сфері обслуговування жилих комплексів. Необхідним рішенням є встановлення системи автоматичного керування інженерними системами. Це дозволить заощаджувати кошти на ремонт обладнання, додаткове утримання інженерного персоналу та витрат на електроенергію. Завдяки цій системі можливо віддалено отримувати всі показники регульованих пристроїв, керувати цими приладами, отримувати інформації по витраченій електричній та теплової енергії. Також ця система дозволяє керувати мікрокліматом контрольованих приміщень завдяки датчикам та використанням припливно-витяжної установки.

Для зручного керування та отримання показників інженерного обладнання пропонується застосовувати обладнання німецького виробника Larnitech. В умовах ринкової конкуренції виросли вимоги до функцій та вартості систем автоматичного керування. Larnitech зарекомендував себе на ринку як ефективне та не дороге обладнання. За допомогою

обладнання системи автоматичного керування Larnitech здійснюється керування за всіма інженерними системами: система опалення, система господарсько-питного водопостачання, система загального і зовнішнього електроосвітлення, система аварійного і евакуаційного електроосвітлення, система захисту від затоплень, система контролю клімату.

Розроблена схема диспетчерського керування станом систем підвальних приміщень наведена на рис. 1.

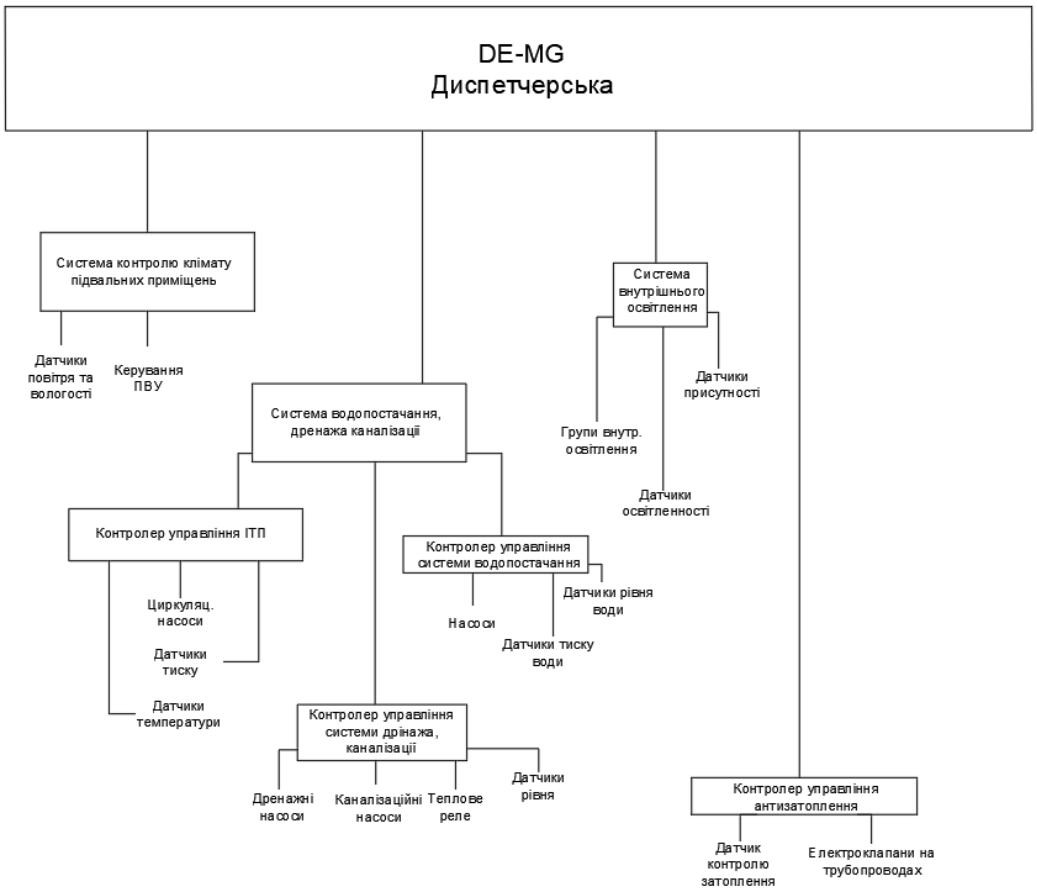


Рисунок 1 – Схема керування систем підвальних приміщень

Обладнання системи автоматизованого керування розташовується в диспетчерській. Все обладнання автоматизації знаходиться в розподільчому щиту і встановлюється на DIN-рейку. До цього щита зводяться всі кабельні траси від датчиків та обладнання, роботу якого необхідно регулювати. Також в диспетчерській встановлюється АРМ (автоматизоване робоче місце), що оснащується персональним ПК. ПК служить сервером накопичення даних, де зберігається інформація про стан обладнання та інші показники.

Пристрій системи Larnitech – це шинна розподілена система. Це означає, що модулі системи з'єднуються один з одним шинним кабелем. Використовується шина CAN, що не дуже поширена в подібних системах, але набагато більш зручна і швидка, ніж Modbus. Модулі з'єднуються кручений парою або спеціальним кабелем. Необхідно всього 4 жили: 2 для шини (перевиті між собою) і 2 для живлення 24 вольта DC.

У контролера є порти для підключення двох шин CAN. Довжина кожної шини обмежена 800 метрами, до 50 пристроїв на одну шину. Тобто, до контролера можна підключити до 100 пристроїв. Зручно на одну шину підключати щитові елементи, на іншу елементи, розподілені по приміщеннях. Є модуль DE-GW, який є шлюзом між шиною CAN і Ethernet, що дозволяє нам розширювати систему на будь-яку кількість пристроїв і будь-які відстані.

До цього контролера підключаються всі модулі керування обладнанням. Ця система керує кліматом, освітленням, системою антизатоплення, системою подачі води та системою опалення підвальних приміщень.

Кожний модуль з'єднаний CAN-шиною по якій передаються сигнали алгоритму роботи системи автоматичного керування (рис. 2). Освітлення в підвальних приміщеннях працює завдяки датчикам руху. Задля економії електроенергії, освітлення включається тільки коли в приміщенні знаходиться людина. Для керування системою опалення підвальних приміщень використовуються модулі DW-HC10. До цих модулів підключається датчики температури прохідних зон які вимірюють температуру в приміщенні. Керуємо подачею тепла до радіаторів або конвекторів за допомогою модуля DW-LC, який регулює ступінь відкриття електричних кранів на подачі тепла. Для керування системою антизатоплення приміщень використовується модуль DW-WL02. До цього модуля підключається датчик затоплення EW-WL. Розташовуються ці датчики в інженерних приміщеннях. Також до модуля підключається запірна арматура, яка при потраплянні води на датчик перекриває водопостачання в приміщенні де розташовується датчик затоплення. Мікроклімат приміщення контролюється за допомогою датчиків вологості, стану повітря. Датчики контролюють стан повітря та передають сигнали на Intesisbox. Цей модуль керує ПВУ, задаючи їй задачі та скорості циклювання повітря в підвальних приміщеннях. В системі водопостачання встановлюються датчики рівня та датчики нагнітання і напору. Системою також регулюється швидкість подачі води через насоси та рівень води в баках.

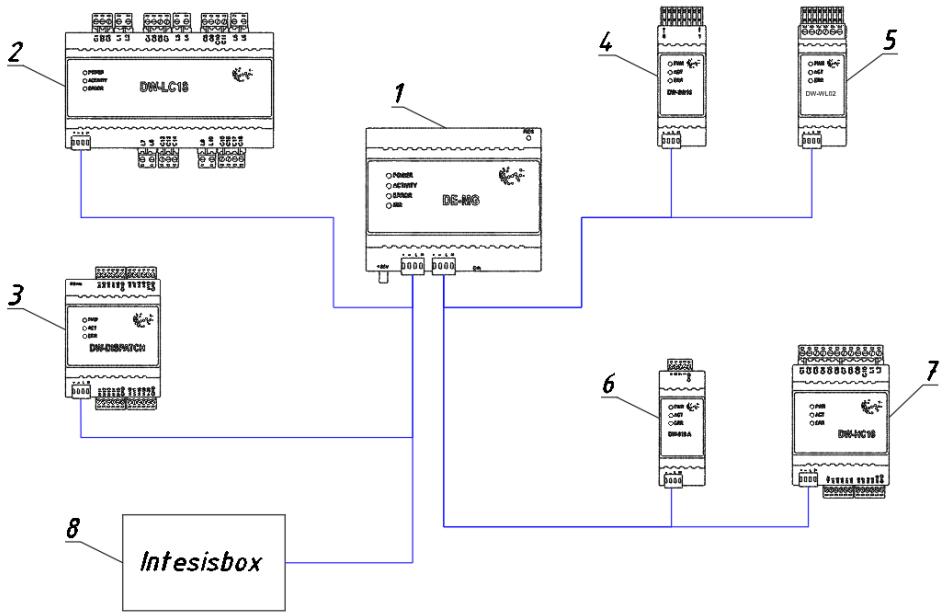


Рисунок 2 – Структурна схема підключення модулів керування, де 1 – головний контролер; 2 – модуль керування освітленням; 3 – модуль диспетчерської системи; 4 – модуль сухих контактів; 5 – модуль керування системи антизатоплення; 6 – Модуль керування 0-10 В; 7 – Модуль керування опаленням; 8 – Модуль керування ПВУ.

Як видно з рис.2, все обладнання з'єднане між собою завдяки CAN-шині. Також ця система може отримувати сигнали та інформації з різних протоколів по типу Modbus, KNX, RS-485 і тд., що дає змогу застосовувати це обладнання при побудові нових споруд та модернізацію існуючих.

Особливістю системи є можливість автоматичного виявлення місця неполадки. При виходу з ладу будь-якої інженерної системи наприклад насосу або системи електропостачання – не потрібна бригада інженерів для перевірки місця аварії та виявлення проблеми, оскільки

система передає сигнал до диспетчера та виводить на інтерфейс місце неполадки. Також керувати усіма системами можна віддалено за допомогою Ethernet. Запропонована система дозволяє швидко отримувати дані про стан приладів та регулювати ними на будь-якій відстані, заощаджуючи кошти на перевірку цих систем в ручному режимі. Система сповіщає при збої в роботі або аварійних ситуаціях, та автоматично вимикає полагоджені лінії або пристрої.

Висновок: В роботі розроблена система автоматизованого керування підвальних приміщень та встановлено, що система автоматичного керування підвальних приміщень є дуже надійною та економічною. Ефективний контроль роботи обладнання на базі системи Larnitech дає змогу зменшити ризики виникнення аварійних ситуацій, які тягнуть за собою витрати на ремонт обладнання.

Перелік посилань

1. http://wiki.larnitech.com/ru/
2. https://www.larnitech.com/ru/
3. М.Э. Сопер. Практические советы и решения по созданию « Умного дома » / Сопер М. Э. — М.: НТ Пресс, 2007. — 432 с.

Науковий керівник к.т.н., ст. викл. Кулаковський Л.Я.

УДК 62-503.5

Соловйов Д.С.
Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МОСТОВИМ КРАНОМ МАШИНОБУДІВНОГО ЗАВОДУ

Анотація. *У даному проекті з урахуванням необхідності модернізації виробництва в умовах ЗАТ «СТАКС» на підставі аналізу продукції провідних виробників мостових кранів і обгрунтований вибір мостового крана фірми Konecrans. Наведено результати розробки ефективної, з точки зору економіки та технічних характеристик, системи охолодження шаф з електрообладнанням. Спроектована система електропостачання цеху. Вирішено питання техніки безпеки, монтажу і технічного обслуговування електрообладнання мостового крана.*
Техніко-економічним аналізом підтверджено ефективність прiянть в дипломному проекті технічних рішень.

Abstract. *In the diploma project, taking into account the need to modernize production in the conditions of JSC "Stax" on the basis of an analysis of the products of leading manufacturers of bridge cranes, the choice of an overhead crane from Konecrans was justified. The results of the development of an efficient, in terms of economics and technical characteristics, cooling system for cabinets with electrical equipment are presented.The workshop's power supply system was designed.The issues of safety, installation and maintenance of electrical equipment of the overhead crane have been resolved.*
The technical and economic analysis confirmed the effectiveness of the technical solutions adopted in the diploma project.

Вступ. Швидкий розвиток силової електроніки і перетворювальної техніки дозволяють широко впроваджувати засоби автоматизації у виробництво.

Першорядне значення для автоматизації виробництва мають багатодвигунний електропривод і засоби електричного управління. Розвиток електроприводу йде по шляху спрощення механічних передач і приводу йде по шляху спрощення механічних передач та наближення електродвигунів до робочих органів машин і механізмів, а також зростаючого застосування електричного регулювання швидкості приводів. Широко впроваджуються частотні перетворювачі. Застосування частотних перетворювачів не тільки дозволило створити високоекономічні регульовані електроприводи постійного струму, а й відкрило великі можливості для використання частотного регулювання двигунів змінного струму, в першу чергу найбільш простих і надійних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.

Дедалі більшого поширення набувають новітні засоби електричного автоматизації технологічних установок, машин і механізмів на базі напівпровідникової техніки, високочутливих контрольно-вимірювальної і логічних елементів.

В сучасних умовах експлуатація електроустаткування вимагає глибоких і різнобічних знань, а завдання створення нового або модернізованих знань, а завдання створення нового або модернізації існуючого електрифікованого агрегату, механізму або пристрою вирішують спільними зусиллями технологи, механіки та електрики.

Мета та завдання. Проведення даного проекту є вибір мостового крана, оснащеного автоматизованим електроприводом.

- спроектувати систему електропостачання, для вибраного мостовго крана;
- розробити систему підтримки температурного режиму в шафах з електрообладнанням, для стабільної та безперебійної роботи крана;

- дати техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень;
- вирішити питання техніки безпеки, монтажу і технічного обслуговування.

Технологія виробництва

Технологія виробництва здійснюється в три етапи:

а) на першому етапі відбувається підготовка шихтового матеріалу. Метал вантажиться в кошики мостовими кранами, оснащеними електромагнітами. Відповідно ця ділянка цеху отримав назву шихтовий ділянку або шихтовий проліт.

б) на другому етапі виробництва відбувається безпосередньо переплавлення металу. З шихтового прольоту кошика з металом доставляються в пічної проліт на шіхтовозе (візок, призначена для перевезення кошиків з підготовленим до переплавки металом). Мостовий кран знімає кошик з шіхтовоза і завантажує в електросталеплавильну піч. Відбувається переплавлення металу. Ця ділянка цеху отримав назву пічної ділянку або пічної проліт.

в) на третьому етапі відбувається розливання металу, тобто отримання готової продукції. Після переплавки, метал зливається в сталь-ківш, який транспортується на сталевоза. З сталевоза, сталь-ківш мостовим краном транспортується на машину безперервного лиття заготовки (МБЛЗ), де і відбувається розливання металу. Ця ділянка цеху отримав назву розливної ділянку або розливний проліт.

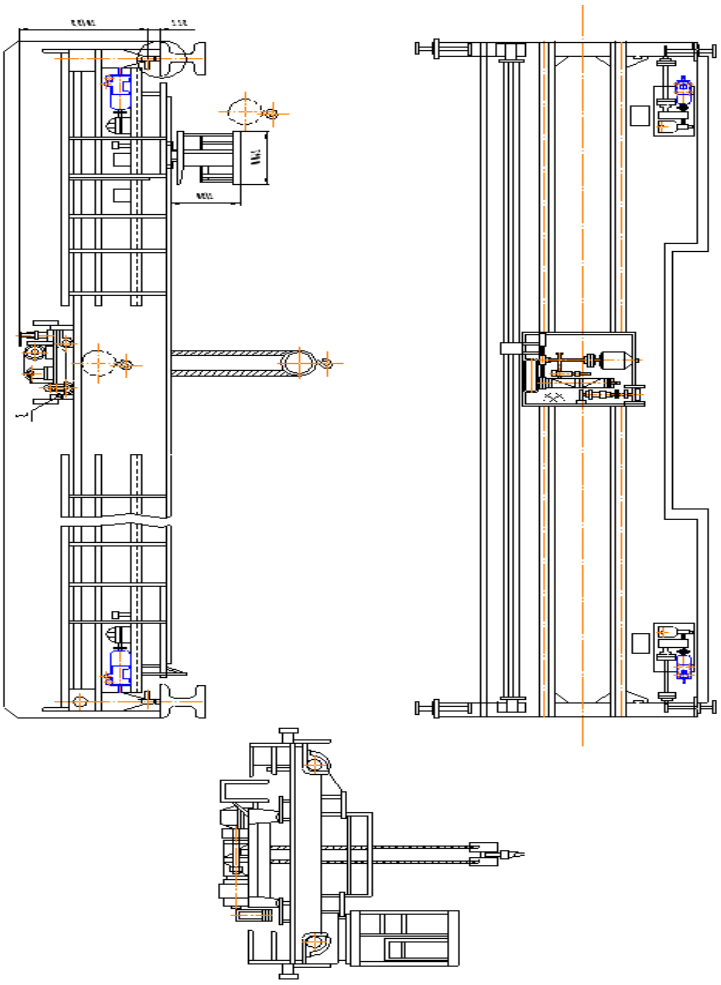
Електрообладнання мостових кранів

На промислових підприємствах експлуатується велика кількість електричних кранів, що розрізняються за призначенням і конструктивним виконанням. На рудних дворах і вугільних складах використовують грейферні мостові перевантажувачі; на шихтових дворах - магнітно-грейферні крани, призначені для підготовки і транспортування шихти. Найбільш великими і відповідальними є заливальні і розливні крани сучасних конверторних цехів, а також міксерних кран. Вантажопідйомність цих кранів досягає 550 т. Вони відносяться до групи ливарних. У відділенні изложниц використовують крани для вилучення зливків з виливниць (стриперних крани), для заміни фурм, транспортування ковшів зі шлаком і т. П. У прокатних цехах і в цехах безперервного розливання сталі використовуються кліщів крани. Крім основних, металургійні крани виконують багато допоміжних операцій, пов'язаних з ремонтом і обслуговуванням устаткування, прибиранням, заміною футерування. Найбільше застосування в металургійних цехах знаходять мостові крани.

Мостові крани (малюнок 1) мають механізми підйому, пересування моста і пересування вантажного візка. Підйомний механізм заливальних кранів забезпечений двома гаками, які за допомогою траверси і канатів підвішені до двох барабанів головною вантажного візка. Кожен з барабанів приводиться в обертання через редуктор від окремого електродвигуна. Зубчасті вінці вантажних барабанів знаходяться в зачепленні, завдяки чому забезпечується їх синхронне обертання. Окрім головної вантажного візка, заливний кран має допоміжну візок з одним або двома підйомними механізмами для кантування ковша при виливання рідкого металу і виконання різних допоміжних операцій.

Для приводу кранів характерним є повторно-короткочасний режим роботи, регулювання швидкості, значні перевантаження, часте реверсування, електричне гальмування, значні вібрації, поштовхи, часті пуски, в тому числі пуски під навантаженням і т.д. Все це пред'являє до електроустаткування основних кранів металургійних цехів ряд специфічних вимог основними з яких є: висока надійність, безперебійність роботи, висока механічна міцність, безпеку обслуговування, простота експлуатації і ремонту, забезпечення плавного пуску і регулювання швидкості (в діапазоні до 30: 1).

Потрібна підтримка заданої швидкості і заданого прискорення і уповільнення незалежно від швидкості перемикання контактів командоконтроллера. Допустиме прискорення моста і візка при транспортуванні ковшів з рідким металом повинно бути не більше 0,1-0,2 м / с2; прискорення механізму підйому не більше 0,5 м / с2.

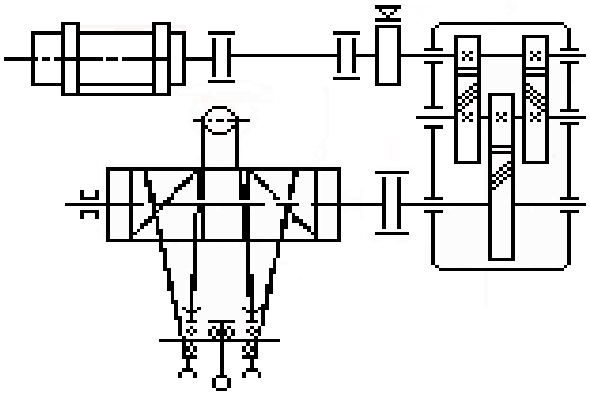


Малюнок 1 - Загальний вид мостового крана

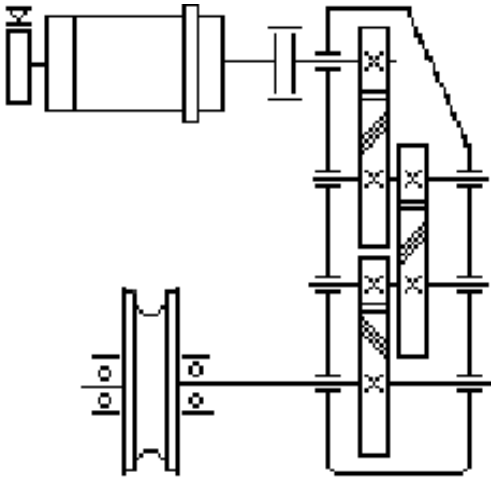
У приводах кранів використовують електродвигуни кранового та металургійної серій з теплостійкою ізоляцією, з підвищеною механічною міцністю. Апаратуру монтують в щільно закритих шафах. Електрообладнання має надійний захист від аварійних режимів.

Напруга електродвигунів, трансформаторів і перетворювачів, що встановлюються на кранах, має бути не вище 10 кВ, причому застосування напруги понад 1000 В слід обгрунтувати розрахунками, а напруга ланцюгів управління і автоматики не вище 380 В змінного струму і 440 В постійного струму.

Будь-який сучасний вантажопідйомний кран відповідно до вимог безпеки, може мати для кожного робочого руху в трьох площинах наступні самостійні механізми: механізм підйому - опускання вантажу (малюнок 2), механізм пересування крана в горизонтальній площині (рисунок 3) і механізми обслуговування зони роботи крана (пересування візка).



Малюнок 2 - Кінематична схема механізму підйому головного гака: 1 - двигун; 2 - муфта; 3 - гальмо; 4 - редуктор; 5 - барабан;6 - поліспаст; 7 - нерухомий блок поліспаста.



Малюнок 3 - Кінематична схема пересування

Вантажопідйомні машини виготовляють для різних умов використання за ступенем завантаження, часу роботи, інтенсивності ведення операцій, ступеня відповідальності вантажопідйомних операцій і кліматичних факторів експлуатації. Ці умови забезпечуються основними параметрами вантажопідіймальних машин. До основних параметрів механізму підйому відносяться: вантажопідйомність, швидкість підйому гака, режим роботи, висота підйому вантажозахоплювального пристрою.

Електропривод більшості вантажопідйомних машин характеризується повторно - короткочасному режимом роботи при великій частоті включення, широкому діапазоні регулювання швидкості і постійно виникаючих значних перевантаженнях при розгоні і гальмуванні механізмів. Особливі умови використання електроприводу у вантажопідйомних машинах стали основою для створення спеціальних серій електричних двигунів і апаратів кранового виконання. В даний час кранове електрообладнання має в своєму складі серії кранових електродвигунів змінного і постійного струму, серії силових і магнітних контролерів, командоконтролерів, кнопкових постів, кінцевих вимикачів, гальмових електромагнітів і електрогідравлічних штовхачів, пускотормозних резисторів і ряд інших апаратів, комплектуючих різні кранові електроприводи.

Матеріал і результати досліджень.

В основі стратегії компанії Konecranes - поєднання двох видів бізнесу: постачання вантажопідіймальних кранів і їх технічне обслуговування. Konecranes працює в наступних стратегічних напрямках: зростання, утримання лідируючих позицій в галузі досліджень і конструкторських розробок і ефективність використання ресурсів.

Компанія Konecranes застосовує модульний принцип і стандартизацію у виробництві компонентів і кранів. Створення уніфікованої компонентної бази оптимізує використання виробничих потужностей і дає можливість швидкого перерозподілу ресурсів. З метою регулювання витрат постійно здійснюється вкладення коштів в розвиток методології виробництва і обладнання. Автоматизація процесів підвищує ефективність діючої виробничої схеми. Так як всі компанії Групи зайняті в одній і тій же галузі промисловості, існують сприятливі умови для успішної передачі знань і атестації у всіх підрозділах Групи.

Konecranes пропонує широкий вибір вибухобезпечних кранів (малюнок 4) і компонентів до них. Всі основні компоненти, такі як канатні, ланцюгові і ремінні тельфери, пересувне обладнання, кінцеві балки і засоби управління кранами спроектовані і виготовлені для забезпечення найвищого рівня безпеки, необхідного в небезпечних середовищах, наприклад, на хімічних і нафтохімічних підприємствах, нафтоочисних заводах, газових енергоустановках, установках для очищення стічних вод і в фарбувальних цехах.

Крани і компоненти кранів компанії Konecranes розроблені з урахуванням вимог директив ATEX, прийнятих Європейським союзом. Виконання цих директив стало обов'язковим в Європі з 1 липня 2003 року. Продукція Konecranes також відповідає стандартам EN50014 - EN50020. Електричні апарати для потенційно вибухонебезпечних середовищ.

Продукція Konecranes для небезпечних середовищ проходить типові випробування, затверджені сертифікують органами, всі вироби забезпечені CE маркуванням і документацією.



Малюнок 4 - Кран Konecranes в роботі

У сталеливарної промисловості перевага дає технологія. Тому технології Konecranes поєднують інтелектуальне підйомне устаткування з сучасними технологіями, рятують від традиційних проблем технічного обслуговування. Крім того, гнучкі сервісні програми покращують загальну продуктивність.

Режими управління двигуном електроприводу крана Konecranes

Розімкнута система керування електроприводом мостового крана. На даному об'єкті використовується частотне регулювання кутової швидкості. У частотних перетворювачів, застосовуваних у даному випадку, використовується векторне управління (рисунок 5). Векторне управління вимагає вимірювання величини і просторового положення вектора потокозчеплення статора або ротора, безпосередньо, за допомогою відповідних датчиків, або

побічно з використанням математичної моделі АД.

Частотні перетворювачі, що використовуються на даному крані, мають вбудовану модель (схему) двигуна, яка тисячу разів на хвилину розраховує значення параметрів двигуна. Вхідні дані, необхідні для розрахунку, являють собою миттєве значення напруги двигуна від спеціалізованої інтегральної схеми ASIC і виміряне значення струму двигуна. Магнітний потік двигуна і крутний момент вала розраховуються в схемі двигуна на основі даних, які вказані в табличці двигуна



Малюнок 5 - Векторне управління в розімкнутому системі

Дані для регулювання параметрів надходять на ПЛК по шині даних, структурна схема якої показана на малюнку 6.

Регулювання частоти в розімкнутої системі (режим 0). В режимі регулювання частоти в розімкнутої системі частота двигуна відповідає сигналу заданої частоти. Фактична частота обертання двигуна залежить від навантаження. Навіть в режимі регулювання частоти використовується векторний розрахунок для підтримки намагнічування на належному рівні.

Засоби автоматизації, що використовуються на даному об'єкті.

Щоб уникнути швидкого зносу канатів, який може привести до аварійної ситуації, використовується кінцевий вимикач балансування канатів. У разі, якщо канат виходить зі свого паза, спрацьовує кінцевий і подається сигнал на цифровий вхід ПЛК (програмований логічний контролер) - «Канат не в струмку», а ПЛК в свою чергу не дає дозвіл на включення IGBT транзисторів.

Щоб Крюкова підвіска не піднімалася занадто високо, і не виникало аварійних ситуацій, використовуються обмежувачі підйому. При спрацьовуванні кінцевого вимикача надходить сигнал на цифровий вхід ПЛК, і інвертор припиняє свою роботу.

Щоб уникнути швидкого зносу механічних частин механізму підйому передбачено наступне: чим вище буде підніматися Крюкова підвіска, тим повільніше буде швидкість підйому. Реалізовано це за допомогою датчика швидкості «Encoder». Інвертор зчитує кількість імпульсів, що надходять з датчика швидкості, і регулює швидкість відповідно до заданої програми.

Висновки:

Вантажопідйомні машини виготовляють для різних умов використання за ступенем завантаження, часу роботи, інтенсивності ведення операцій, ступеня відповідальності вантажопідйомних операцій і кліматичних факторів експлуатації. Ці умови забезпечуються основними параметрами вантажопідіймальних машин. До основних параметрів механізму підйому відносяться: вантажопідйомність, швидкість підйому гака, режим роботи, висота підйому вантажозахоплювального пристрою.

Науковий керівник ст. викл. Майданський І.Я.

УДК 621.3.078.3

Зацерковний А.В.
Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Анотація. *Розроблено автоматизовану систему управління мікрокліматом теплиці. На основі аналізу умов та технологічних параметрів вирощування сільськогосподарських культур в теплиці, проаналізовано контури регулювання, розроблена та синтезована схема автоматизації на базі програмованого мікроконтролера та програмне забезпечення.*

Abstrakt. *The automated control system of the greenhouse microclimate is developed in the work. Based on the analysis of conditions and technological parameters of growing crops in the greenhouse, the control circuits are analyzed, the automation scheme based on a programmable microcontroller and software are developed and synthesized.*

Вступ

Проектування і розробка системи автоматизації для теплиці включає в себе різні етапи, в тому числі вивчення факторів навколишнього середовища, алгоритмів управління, апаратури і програмно-апаратного інтерфейсу.

В цілому автоматизація теплиці включає автоматизацію клімат-контролю (контроль температури, циркуляції, вологості повітря), контроль рівня світла і управління зашторюванням, контроль рівня двоокису вуглецю (CO2), зрошення, хімічна обробка і управління поживними речовинами.

Алгоритм управління мікрокліматом теплиці зводиться до постійного спостереження за фактичними параметрами і порівняно їх із заданими. Керовані параметри навколишнього середовища задаються або змінюються за допомогою попередньо визначеного алгоритму управління, запрограмованих приводів, таких як вентилятори, система туманоутворення, система освітлення та розпилювачі CO2. Це повинно бути зроблено інтегрованим способом, так, наприклад, CO2 не вводиться, коли система вентиляції включена. Аналогічним чином, охолодження і вентиляція повинні бути ретельно синхронізовані для контролю температури і вологості.

Мета та постановка задачі

Дане дослідження присвячене питанням підвищення рівня енергоефективності устаткування теплиці шляхом впровадження раціональної системи електроприводу та автоматизованої системи керування на базі мікропроцесорного контролера.

Температура повітря в теплиці повинна становити від 18 до 28 C^o в денний час. У нічний час температура повітря повинна бути на 5 - 7 градусів нижче.

Основні завдання дослідження:

1. Аналіз способів управління кліматом і існуючих концепцій в цьому напрямку
2. Аналіз відомих технічних рішень по автоматизації
3. Розробка концепції системи управління
4. Розробка математичної моделі об'єкта управління
5. Моделювання системи управління

Основним завданням теплиці є збереження колекцій рідкісних тропічних і субтропічних рослин, а відповідно забезпечення необхідного для їх життєдіяльності клімату. Основними параметрами клімат-контролю теплиці є: температура повітря, вологість повітря, вологість ґрунту.

Для досягнення необхідного рівня вологості повітря в теплиці доцільно застосовувати системи зволоження повітря. Серед систем, які отримали широке застосування, можна

виділити два методи зволоження повітря: ізотермічний і адіабатичний. Що стосується зволоження ґрунту, то існує кілька видів поливу. Серед них можна виділити крапельне зрошення, дощування, аерозольний зрошення, підґрунтове зрошення. Найбільш поширеним способом вентиляції в теплиці є витяжна вентиляція.

Основним негативним впливом на об'єкт управління (ОУ) є температура навколишнього середовища. На рис. 1 представлена схема аналізу теплиці як об'єкта управління

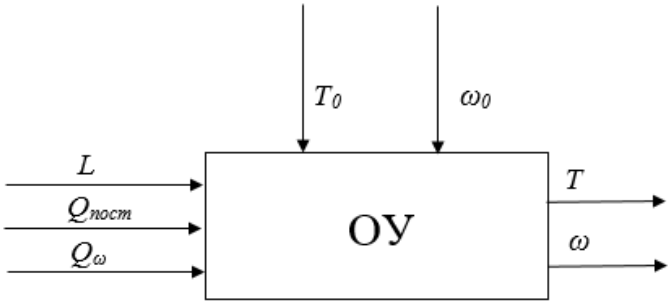


Рисунок 1 – Теплиця як об'єкт управління

L - надходження свіжого повітря від системи вентиляції;

Qпост - енергія від системи обігріву;

Qw - енергія від системи зволоження;

T - температура всередині оранжереї;

w - вологість всередині оранжереї;

T0 - температура навколишнього середовища;

w0 - вологість навколишнього середовища.

Таким чином, для досягнення необхідних параметрів мікроклімату в теплиці необхідно підібрати вимірювальну систему, яка буде включати в себе:

1. Вимірювання температури повітря в приміщенні;
2. Вимірювання температури зовнішнього повітря;
3. Вологість повітря в приміщенні;
4. Вологість ґрунту;

Повинен бути реалізований збір інформації про параметри мікроклімату теплиці. Також необхідно спроектувати систему автоматичного управління клімат-контролем, яка включає в себе:

1. Управління поливом і зволоженням ґрунту;
2. Управління температурою повітря;
3. Управління вентиляцією;
4. Управління зволоженням повітря.

Розробка математичної моделі ОУ

Математична модель ОУ відображає процеси, що відбуваються в об'єкті. Модель повинна враховувати багато параметрів технологічного режиму. Виходячи з цього слід скористатися формалізованим методом опису, який полягає в побудові балансних рівнянь відповідних параметрів, де кожен параметр має фізичну інтерпретацію.

Модель інтерпретує теплицю як заданий обсяг повітря в межах огороджувальних конструкцій. Просторовий розподіл змінних, що описують мікроклімат, не враховується. Дане припущення виправдовується при постійній конвекції повітря і примусової вентиляції.

Зміни параметрів моделі в часі відбуваються настільки повільно, що при описі циклу динамічних процесів в системі управління їх можна вважати постійними

$$p \cdot V \cdot c \cdot \frac{dT(t)}{dt} = Q_{\text{пост}} - k_{\text{н}} \cdot \sum Q_{\text{о}}$$

де ρ - щільність повітря;

V - об'єм повітря;

c - питома теплоємність;

T (t) - температура повітря всередині оранжереї;

Qпост - теплові надходження від системи обігріву;

k н - коефіцієнт насичення повітря.

Дане рівняння показує, що зміна температури повітря всередині оранжереї залежить, в першу чергу, від потужності системи опалення, а також від теплозахисних властивостей зовнішніх огороджень, інтенсивності інших джерел надходження і втрат теплоти.

Для опису системи клімат-контролю досить двох рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dT(t)}{dt} = \frac{1}{\rho_в \cdot V \cdot c} Q_{пост} - k_н \cdot \sum Q_о \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{1}{\rho_в \cdot V} \cdot (L_н \cdot \omega_н + E(t) + Q_\omega(t)) \end{cases}$$

Система для управління мікрокліматом в оранжереї містить датчиків температури і вологості. Показання датчиків передаються в ПЛК, який є керуючим пристроєм, і обробляє отримані значення. Залежно від отриманих параметрів ПЛК розраховує необхідне керуючий вплив на виконавчі механізми, в разі, якщо показники якості не задовольняють заданим. Нормальний режим роботи системи передбачає, що температурний режим в оранжереї становить від 18 до 28 ℃ в денний час. У нічний час температура повітря повинна бути на 5 - 7 градусів нижче. Рівень вологості в теплиці необхідно підтримувати протягом усього року від 70 до 100%.

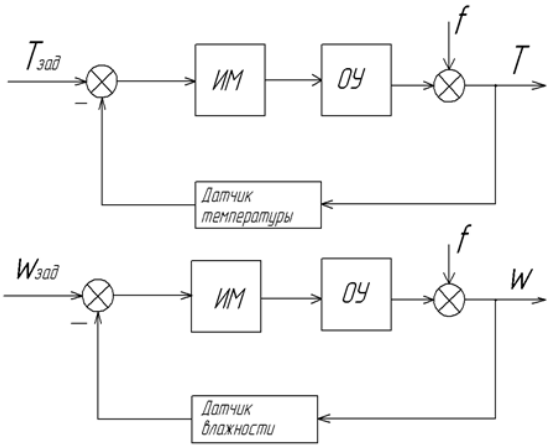


Рисунок 2 – Математична модель ОУ

де Тзад - задані параметри температури;

Т - значення температури в оранжереї;

Wзад - задані параметри вологості;

w - значення вологості в оранжереї;

f - обурення від системи вентиляції та системи зволоження, а також обурення обумовлені недосконалістю конструкції будівлі;

f1 - обурення від системи вентиляції та системи опалення, а також обурення обумовлені недосконалістю конструкції будівлі.

Як видно з структурної схеми, на вхід подаються значення температури і вологості, які повинні підтримуватися. Необхідні значення порівнюються з поточними, для того щоб правильно розрахувати управляючі дії. В якості виконавчого механізму в системі опалення виступає двигун і керуючий триходовий клапан, який закачує гарячу воду для опалювальної системи з котельні. Гаряча вода з теплової мережі надходить в змішувальний клапан. При подачі керуючого сигналу з вимірювального датчика температури, що знаходиться в середній

точці теплиці, двигун відкриває заслонку клапана і гаряча вода надходить в теплицю.

При зниженні вологості в теплиці з датчика вологості надходить сигнал ПЛК. ПЛК формує керуючий сигнал, який надходить на компресор і регулюючий клапан. Клапан відкривається і компресор виштовхує воду з резервуара через форсунки під високим тиском, здійснюючи таким чином зволоження повітря. Витрата води в резервуарі контролюється за допомогою фільтрувальної станції.

Висновки

Був проведений аналіз об'єкта автоматизації, а також аналіз технологічного процесу ОУ, межа його характеристики і вимоги, структура і склад системи управління, а також приведена постановка загальної задачі проектування. Виходячи з аналізу було виявлено, що основними параметрами мікроклімату, необхідними для життєзабезпечення рослин, є температура і вологість. Для регулювання вищевказаних параметрів необхідна наявність трьох керуючих впливів, що реалізуються за допомогою системи вентиляції, системи адіабатичного зволоження і системи опалення.

Список літератури

1. Семенов В.Г, Крушель Е.Г. Математическая модель микроклимата теплицы. / Семенов В.Г, Крушель Е.Г. // Волгоград.: Известия ВолГТУ, 2009. – с. 32–35.
2. Бандар, А. С. Гордієнко, В. А. Михайлов, Г. В. Німич. Автоматизація систем кондиціювання і вентиляціїповітря / Е. С. Бандар, А. С. Гордієнко, В. А. Михайлов, Г. В. Німич. - М .:Київ .: ТОВ «Видавничийбудинок« Аванпост-Прим ", 2005. - 560 с.
3. Кепко О.І., Виноградов-Салтиков В.А. Теплотехнологійзамкнутоїсистемиопаленнятеплиць / О.І.Кепко, Виноградов-Салтиков В.А. –Комунальна та промисловатеплоенергетика, 2008.
4. Кошкін Д. Дослідження динамічних характеристик системи управління мікрокліматом теплиці / Д. Кошкін. - Миколаїв .: Motrol, 2011. - 189 с.

Науковий керівник Прядко С.Л.

УДК 621.3.078.3

Попов В.Д.
Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ БУДІВЛІ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. *Проведено аналіз методів зниження енергоспоживання автоматизованої системи вентиляції будівлі цивільного призначення, запропоновано систему регулювання швидкості обертання робочого органу вентиляційної системи зміною частоти електричного струму виконану на базі частотного перетворювача.*

Ключові слова: *Енергозбереження, вентиляційна система, регулювання частоти, автоматизована система керування.*

Abstrakt.*The analysis of methods of reduction of energy consumption of the automated ventilation system of the building of civil purpose is carried out, the system of regulation of speed of rotation of a working body of ventilation system due to change of frequency of an electric current is executed on the basis of the frequency converter.*

Key words: Energy saving, ventilation system, frequency control, automated control system.

Вступ

Основними нормованими параметрами повітря в приміщенні є температура, вологість, швидкість руху, та пило-газовий вміст. Створення оптимального складу повітряного середовища в приміщенні може здійснюється шляхом видалення шкідливого вмісту шляхом додавання необхідної кількості свіжого повітря з попередньою його підготовкою (охолодження або нагрівання, осушення або зволоження, фільтрація тощо). Оптимальні параметри повітря являють собою сукупність умов, найбільш сприятливих для самопочуття людей (область комфортного кондиціонування повітря), або правильного протікання технологічного процесу (область технологічного кондиціонування). Вибір оптимальних параметрів внутрішнього повітря на промислових підприємствах залежить або від якості продукції, яка обумовлюється дотриманням точного режиму технологічного процесу, або від інтенсивності праці. Якщо ж на випуск продукції в основному впливає інтенсивність праці, забезпечуються умови комфортні для обслуговуючого персоналу. Відповідно до санітарно-гігієнічних вимог найбільш сприятлива температура в громадських, адміністративно-побутових приміщеннях повинна становити 20–25°С, а припустимі коливання в теплий період – від 20°С до 28°С, у холодний і перехідний періоди – від 18°С до 22°С.

Відносна вологість вважається оптимальною в діапазоні від 30 до 60% у теплий період та 30-45% у холодний і перехідний періоди. Верхня припустима границя відносної вологості – 65%.

Основні завдання

Основними завданнями наукового дослідження є:

- визначення основних причин низької енергоефективності вентиляційного устаткування;
- аналізування методів підвищення енергоефективності систем вентиляції;
- розроблення модернізованої структурної схеми регулювання роботи вентиляторів .

Мета і постановка задачі

Дане дослідження присвячене питанням підвищення рівня енергоефективності вентиляційного устаткування шляхом впровадження раціональної системи електроприводу та автоматизованої системи керування. Відповідно до завдання на проектування та вимог ДБН В.2.2-9-99 і ДБН В.2.5-13-98 проектними рішеннями передбачається оснащення споруд, що проектуються, та інженерних комунікацій необхідною кількістю контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації, що забезпечують нормальну і безаварійну роботу обладнання в найбільш економічному режимі, з мінімальною участю обслуговуючого персоналу.

Для припливних вентиляційних систем схемами автоматизації забезпечується:

- місцеве і автоматичне керування електродвигуна припливного вентилятора;
- контроль температури теплоносія після калориферу;
- захист калориферу від заморожування;
- контроль забруднення фільтрів;
- контроль перепаду тиску на вентиляторах;
- управління електроприводами повітряних засувок, а також забезпечення їх закриття у разі відключення електроживлення пристрою.

Прийнято припливні установки фірми “РАУТ Автоматік” зі щитами автоматики, що замовляються і поставляються комплектно з венткамерами.

При спрацьовуванні пристроїв пожежної сигналізації автоматично:

- відключаються всі припливні вентсистеми, повітряно-теплові завіси;
- відключаються ліфти і переводяться в режим “Пожежна небезпека”;
- відкриваються фрамуги з електроприводами в залі очікування та касових залах для димовидалення природнім провітрюванням.

Відкривання фрамуг передбачається також і дистанційним, від кнопкових постів керування, які встановлюються в шафах пожежних кранів та зі щита пожежної автоматики (ПРЩ), який знаходиться в пожежному посту.

Забезпечення технологічного обладнання засобами контролю і автоматизації скорочує кількість обслуговуючого персоналу, поліпшує умови працівників, підтримує оптимальний обмін повітря в робочих приміщеннях.

Прийняте в проекті обладнання і апаратура не є джерелом шуму, вібрацій, випромінювання і не вимагають виконання спеціальних заходів.

Моделювання системи вентиляційної установки

Регулювання швидкості припливного вентилятора здійснюється за допомогою частотного перетворювача (ПЧ-АД) SED2.

Ідея частотного регулювання полягає в реалізації залежності

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p_n},$$

де f_1 – частота, проведена до статора напруги;

p_n – число пар полюсів.

При такому регулюванні виникає основна проблема, зв'язана з властивостями машини перемінного струму, а саме при зміні частоти подводимого до статора напруги змінюється не тільки значення ω_0, але і значно змінюється перевантажувальна здатність (критичне або max момент).Рішення цієї проблеми полягає в тім, що необхідно одночасно змінювати частоту та амплітуду, подводимого до двигуна напруги по визначеному закону.

Найбільше простій, використовуваний у всіх пропонованих перетворювачах, є закон

$$\frac{U_1}{f_1} = const.$$

При такому законі перевантажувальна здатність підтримується практично постійно, що видно з характеристик (рис. 1).

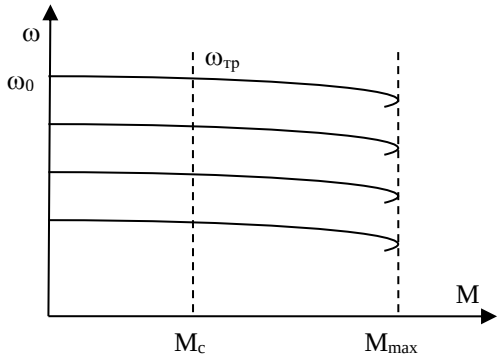


Рисунок 1 – Механічні характеристики електропривода вентилятора

При використані закону U1/f1=const, при побудові структурної схеми може бути виключений канал керування по частоті; дослідження й настроювання системи виконують по каналу регулювання напруги. Загальна ідея вибору передавальної функції регулятора полягає в компенсуванні коефіцієнту передачі й великих постійних часу елементами контуру, до якого встановлюється регулятор.Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 Вихідні дані для розрахунку

ВЕНТИЛЯТОР					
Витрата повітря [м^3/ч]	5040	Потужність на валі [кВт]	1.1	Тип вентилятора	TLZ-280
Диспозиційна ступінь стиску [Па]	300	Швидкість обертання [rpm]	1226	Тип лопатей	1
Загальний ступінь стиску [Па]	491	Коефіцієнт корисної дії [%]	62	Підігрів повітря [°C]	
Динамічний ступінь стиску [Па]	69	Рівень акустичної потужності, вихід		Sfp	1
Витрата при чистих фільтрах [м^3/ч]	163	Витрата при забруднених фільтрах [м^3/ч]		Швидкість витікання повітря	11.0
ЕЛЕКТРОДВИГУН					
Тип	SG 90L-4	Потужність номінальна [кВт]	1.5	Ступінь захисту	0
Механічні параметри	90	Швидкість обертання [rpm]	1410	Клас ізоляції	0
Напруга харчування	380	Тік номінальний [А]	3.7	Система з'єднань	0
Кількість пар полюсів	4	Коефіцієнт корисної дії	0		

Загальна математична залежність для регуляторів:

$$W_{регі}(p) = \frac{1}{a_i * T_i p * W_{oki}(p)},$$

де a_i – настроювальний параметр і-ого контуру

T_i – найменшого компенсування – стала часу і-ого контуру

W_{oki} – передавальна функція об'єкта і-ого контуру

$$W_{pc}(p) = \frac{T_e p + 1}{a_t * T_m p * k_{tp} * 1/R_e * k_t} = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p} = \frac{T_1}{T_2} + \frac{1}{T_2 p}$$

$$T_1 = T_e; \qquad T_2 = a_t * T_m p * k_{tp} * 1/R_e * k_t$$

Таким чином, в системі ПЧ-АД регулятор швидкості вийшов пропорційним. Оскільки до системи встановлені підвищені вимоги відносно жорсткості механічних характеристик та (або) при великому діапазоні регулювання можливо використовувати ПІ-регулятор швидкості. Також, якщо необхідно зменшити перерегулювання по швидкості, то на вхід системи встановлюють фільтр (рис.2). Результати моделювання наведено на рис. 3.

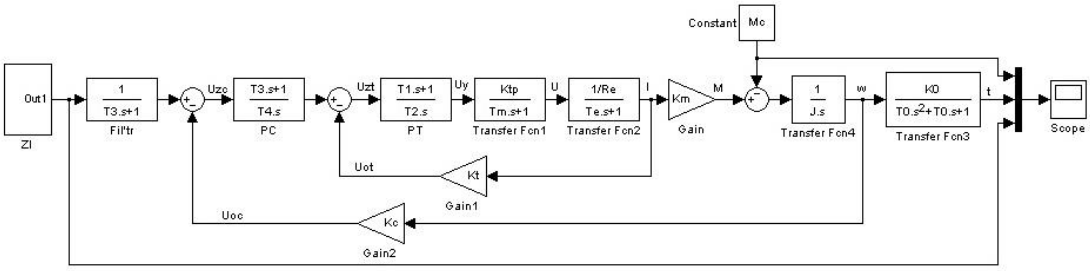


Рисунок 2 – Структурна схема системи ПЧ-АД з ПІ-регулятором швидкості

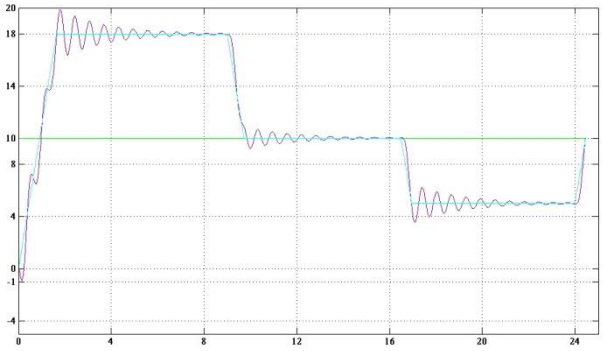


Рисунок 3 - Графічні результати моделювання системи ПЧ-АД з ПІ-регулятором швидкості

Для поліпшення характеристик можна використовувати замість ПІ-регулятора ПІД-регулятор (рис 4). Тоді характеристики виходять більш плавними (рис.5)

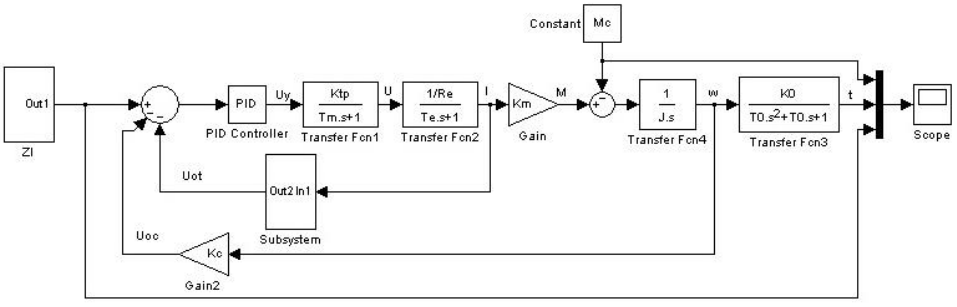


Рисунок 4 - Структурна схема системи ПЧ-АД з ПІД-регулятором швидкості

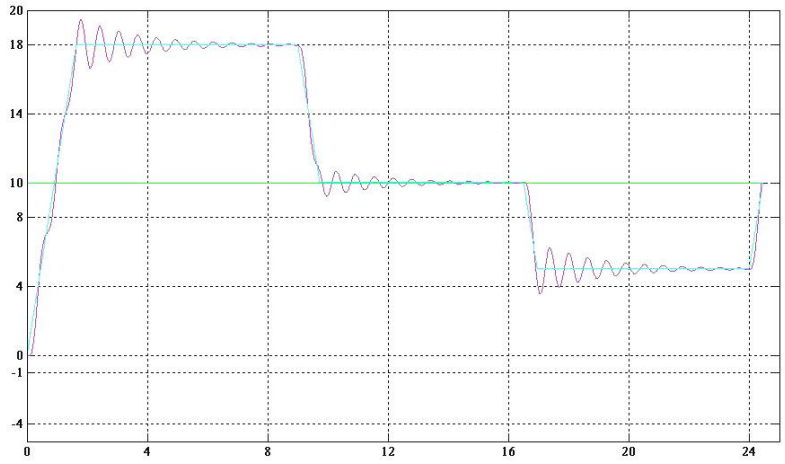


Рисунок 5 - Графічні результати моделювання системи ПЧ-АД з ПІД-регулятором швидкості

Висновки

Застосування автоматизованої системи керування в сукупності з диспетчеризацією в системі вентиляції і кондиціонування дозволяє:

– знизити витрати на електроенергію в межах 5...15%, за рахунок комплексного застосування системи автоматизації;

– знизити витрати на заробітну плату, за рахунок зменшення обслуговуючого персоналу;

– підвищити рівень комфорту, за рахунок швидкого і якісного регулювання температурно-вологісних параметрів;

– забезпечити мікрокліматичні параметри, що відповідають санітарним нормам і правилам;

– забезпечувати більш глибоку інтеграцію із суміжними системами, наприклад, системою пожежної сигналізації;

полегшити моніторинг і облік робочих параметрів;

автоматики запобігати виникнення аварійних ситуацій, вчасно повідомляючи операторові про погрозу появи аварійних режимів;

– оперативно розпізнавати й усувати технічні несправності.

Перелік посилань:

1. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование. Издательство: АВОК Северо-Запад Год: 2005

2. Автоматика и автоматизация систем вентиляции. Калмаков А.А., Романова С.С., Щелкунов С.А.

3. Системы кондиционирования воздуха. Е.М. Белова, Москва, Евроклимат, 2003 г

Науковий керівник Прядко С.Л.

УДК62-505

Грищенко Г.С.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛІФТОВОГО МЕХАНІЗМУ НА ОСНОВІ БЕЗРЕДУКТОРНОЇ ЛЕБІДКИ

Анотація. *Стаття присвячена розробці регулюючого елемента електроприводу для ліфтових механізмів, що враховує в собі без редукторну лебідку. Для досягнення даної мети «без редуктора» використовується автоматизована система двигуна з параметрами частотного перетворювача.Під час аналізу існуючих електроприводів ліфтових установок визначено, що до них задаються високі вимоги, що відповідають нормам безпеки та надійності роботи, так як від цього залежить життя та безпека людей. У той же час витрати на модернізацію всього механізму зводяться до мінімуму, тому застосування без редукторних двигунів є не ефективним та дорогим.*

Ключові слова: *тихохідний асинхронний двигун, ліфтовий механізм, без редукторна лебідка, електропривод.*

Abstrakt. *The article is devoted to the development of the regulating element of the electric drive for elevator mechanisms, which takes into account without a gear winch. To achieve this goal "without a reducer" uses an automated motor system with frequency converter parameters.*

During the analysis of the existing electric drives of elevators, it was determined that they are subject to high requirements that meet the standards of safety and reliability, as it depends on the lives and safety of people. At the same time, the cost of upgrading the entire mechanism is minimized, so the use without gear motors is not efficient and expensive.

Keywords: low-speed asynchronous motor, elevator mechanism, gearless winch, electric drive.

Мета і завдання дослідження.

Метою є аналіз роботи ліфта, пошук сучасних новітніх високотехнологічних засобів, що допоможуть значно спростити його роботу, забезпечити надійність і комфорт. Провести розрахунок та дослідження електроприводу ліфта по системі перетворювач частоти - асинхронний двигун з короткозамкненим ротором на основі без редукторної лебідки і вибрати необхідне обладнання.

Вступ

Автоматизація - одна з провідних галузей науки і техніки, розвивається особливо динамічно, вона проникає в усі сфери людської діяльності. Автоматизація якісно змінює характер праці робітників.

Ліфтами - називаються підйомні машини безперервної дії, призначені для вертикального переміщення пасажирів і вантажів в кабінах, що переміщаються по жорстких напрямних.

Ліфт невід'ємна частина інженерного обладнання висотних будівель і споруд. Ліфт є складним електромеханічним обладнанням, отже, до його проектування висуваються жорсткі вимоги, які регламентуються ПУБЕЛ - Правил будови і безпеки експлуатації ліфтів.

Автоматичне регулювання технологічних процесів на різних підприємствах дозволяє отримати високу продуктивність при найменших виробничих витратах і високій якості продуктів. Однак системи автоматичного регулювання виявляється недостатньо ефективними, якщо вони спроектовані тільки на підставі загальних положень теорем автоматичного регулювання. Для найбільш ефективної роботи таких систем їх необхідно проектувати з урахуванням особливостей технологічних процесів, для яких вони призначені.

Проблеми, пов'язані з автоматичним регулюванням технологічних процесів, як

правило, виникають на заводі, тому повинні вирішуватися на самому заводі. До тих пір, поки проектувальники систем автоматичного регулювання та експлуатаційники не будуть зв'язані між собою, їх загальні проблеми залишаться не вирішеними. Не дивлячись на те, що вирішення завдань автоматичного регулювання можливо математичним методом, ці ж завдання наближено можуть бути вирішені шляхом досить нескладних прийомів. Таким чином, управління вищого порядку швидкодіючі обчислювальні машини доцільно застосовувати лише там, де більш простими методами вирішити завдання не вдається.

Блискуче розроблені загальні положення про системи автоматичного регулювання, а так же математичний опис процесу регулювання самі по собі ніякої цінності не представляли.

Матеріал та результат досліджень.

Щоб математично описати електропривод ліфтової лебідки, необхідно описати його електричну і механічні частини.

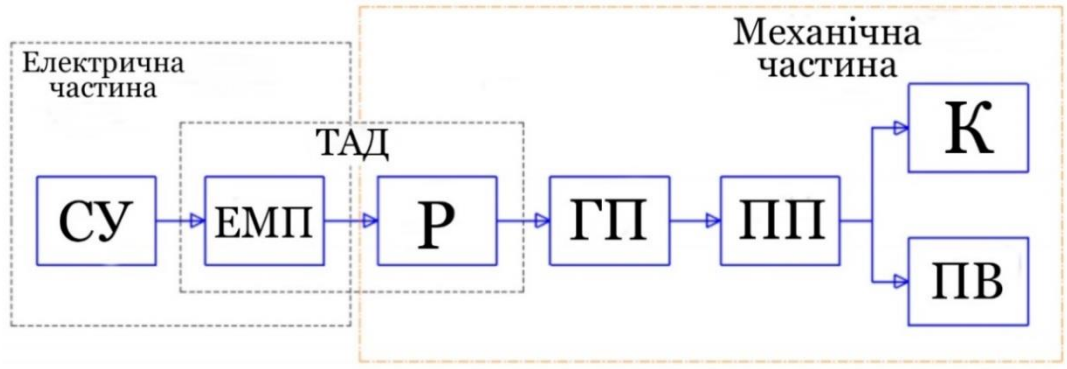


Рис. 1 -Розділена блок-схема без редукторного електроприводу ліфтової лебідки

До електричної частини входить: СУ-система управління (перетворювач частоти, контролер, ліфтова станція); ЕМП-електромеханічний перетворювач тихохідного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором.

Механічна частина електродвигуна складається з: Р-ротор тихохідного асинхронного двигуна; ГП- гальмівний пристрій; ПП- передавальний пристрій (канатоведучий шків, пружні зв’язки); К-кабіна ліфта; ПВ-противага.

Для складання рівнянь математичної моделі АД, скористались рядом стандартних припущень. На підставі цих припущень, використовуючи другий закон Кірхгофа, рівняння для ЕРС в обмотках статора і ротора АД можна уявити в наступному вигляді:

$$\begin{cases} U_{SA} = R_{SA} I_{SA} + \dfrac{d\Psi_{SA}}{dt} \\ U_{SB} = R_{SB} I_{SB} + \dfrac{d\Psi_{SB}}{dt} \\ U_{SC} = R_{SC} I_{SC} + \dfrac{d\Psi_{SC}}{dt} \end{cases} \qquad \begin{cases} U_{RA} = R_{RA} I_{RA} + \dfrac{d\Psi_{RA}}{dt} \\ U_{RB} = R_{RB} I_{RB} + \dfrac{d\Psi_{RB}}{dt} \\ U_{RC} = R_{RC} I_{RC} + \dfrac{d\Psi_{RC}}{dt} \end{cases}$$

Електромагнітний момент представлений в наступному виді:

$$M = \frac{z_p}{\sqrt{3}} = [I_{RA}(\Psi_{RB} - \Psi_{RC}) + I_{RB}(\Psi_{RC} - \Psi_{RA}) + I_{RC}(\Psi_{RA} - \Psi_{RB})],$$

За основи другого закону Ньютона представимо рівняння для руху та рівноваги моментів на валу АД:

$$J\frac{d\omega_r}{dt} = M - M_{нагр},$$

На шляху спрощення математичного опису АД виявився відповідним метод просторового вектору, дозволяє спростити і скоротити вищенаведену систему рівнянь; метод дозволяє зв'язати рівняння, представлені вище, в єдину систему з векторними змінними стану. Суть методу полягає в тому, що миттєві значення симетричних трифазних змінних стану (напруга, струми, потокозчеплення) можна математично перетворити так, щоб вони були представлені одним просторовим вектором. Облік насичення магнітного кола реалізується перерахунком допоміжних коефіцієнтів.

В якості математичного опису механічної частини без редукторної ліфтової лебідки використана трьохмасова механічна система.

Динамічні явища в підйомних механізмах можливо вивчати, використовуючи спрощені розрахункові схеми з меншим числом ступенів волі. Ці схеми імітують роботу машини, як рух абсолютно жорстких точкових мас, з'єднаних пружними невагомими зв'язками, під впливом зовнішніх навантажень.

Особливістю даної розрахункової схеми для опису роботи ліфтового механізму є канати, які являють собою пружні зв'язку, що працюють на розтяг, та маса вантажів, що мають статичним навантаженням, спрямованої вниз, поза залежності від напрямку руху системи.

Чим більше параметрів буде враховано в математичній моделі, тим більшою буде точність результату розрахунку. Але при цьому, математичне опис може бути сильно ускладнено. Механічна частина являє собою абсолютно жорсткі маси, характеризуються зосередженими моментами інерції. Зосереджені маси механічної частини лебідки пов'язані один з другом пружними зв'язками;

Деформація пружного зв'язку - нелінійна, але підкоряється закону Гука;

Гасіння коливань механічної частини здійснюється силами внутрішнього в'язкого тертя в матеріалі пружних зв'язків при їх деформації, пропорційних різниці швидкостей зосереджених мас, розташованих по обидві сторони від відповідної пружною зв'язку.

Зосереджені маси, пружності і нелінійні залежності дозволяють уявити безредукторного лебідку як коливальну систему з нелинейностями.

Лінійна жорсткість тросів кабіни має змінний характер в залежно від зміни довжини тросів під час роботи ліфта.

Науковий керівник ст. викл. Майданський І.Я.

УДК 681.58

Єзгор Д.В.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕЖИМОМ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ПОДАЧІ ВОДИ ДО ТОРГОВОГО ЦЕНТРУ

Анотація. *В результаті проведених досліджень було розроблено систему для керування енергоефективністю насосної установки для систем автоматизованого керування і контролю процесів постачання води до торгового центру, що в свою чергу, дозволяє контролювати зміну параметрів використовуваного устаткування за критичні значення, виявляти тим самим енергетично неефективне обладнання насосної установки і оперативно реагувати, реалізовуючи необхідні енергозберігаючі заходи.*

Ключові слова: *Автоматизація системи, частота обертання, електродвигун, перетворювач частоти.*

Abstract. *As a result of the research, a system for energy efficiency control of the pumping unit was developed for automated control and monitoring of water supply processes to the shopping center, which in turn allows to control changes in the parameters of used equipment for critical values, thereby detecting energy inefficient pumping equipment respond by implementing the necessary energy saving measures.*

Keywords: *System automation, speed, electric motor, frequency converter*

Вступ. Під час роботи торгового центру, в залежності від завантаження, споживаючий обєм води постійно змінюється. Тому, для зменшення використаної потужності розробляють автоматизовану систему подачі води, яка автоматично визначає параметри та відповідно до них регулює подачу та напір води, для цього застосовують відцентрові насоси, які з'єднані в загальну систему.

Енергетичні показники насосних установок залежать від режиму роботи. Параметрами, що визначають режим роботи насоса, є напір і подача. Ці величини також повністю визначають частоту обертання і момент навантаження на валу електродвигуна, тобто режим роботи електроприводу. Відповідно, регулювання основних параметрів робочого режиму насоса вплине на енергетичні показники і дозволить визначити ефективність роботи насосної установки. Найбільш ефективно регулювати основні параметри режиму роботи відцентрових насосів методом зміни частоти обертання робочих коліс [1]. Зміна частоти обертання робочих коліс насоса можливо, коли в якості приводного двигуна використовуються газові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння або регульований електропривод

Мета та завдання.

Дослідити основні параметри системи водопостачання, визначити її особливоті та створити автоматизовану систему керування режимами роботи враховуючи її особливості. Одним із завдань даного розділу є визначення взаємозалежностей параметрів електропривода, насоса і трубопроводу, на який ВН працює.

Матеріал та результати дослідження.

Отримано аналітичні співвідношення у силовому каналі електропривода відцентрових насосів, що зв'язують значення корисної гідравлічної потужності на вході трубопроводу $P_{ТР}$, гідравлічної потужності на виході ВН $P_{ВН}$, механічної потужності на валу двигуна насоса $P_{дв}$, електричної потужності, споживаної двигуном насоса $P_{пр}$, електричної потужності, споживаної з мережі електроприводом насоса P_E, втрат потужності в гідравлічному регуляторі, насосі, двигуні і перетворювачі. Ці функціональні залежності дозволяють за параметрами насоса і трубопроводу оцінити різні варіанти регулювання напору і подачі ВН на

етапі проектування або модернізації.

Циркуляційна насосна установка є одним з відповідальних агрегатів будівлі, що визначає необхідність застосування для насоса високонадійної і економічної системи електропривода.

Незалежно від області використання ефект від частотного регулювання насосів загальновідомий:

економія електроенергії до 30 - 60%;

зниження витоків рідин до 5%;

економія теплової енергії до 10%;

збільшення терміну служби обладнання в 1.5-2 рази;

зменшення ймовірності виникнення розривів трубопроводів;

підвищення ефективності захисту електроприводу;

поліпшення екологічної обстановки.

Всі переваги застосування перетворювачів частоти досягаються, головним чином, завдяки можливості плавного регулювання швидкості обертання асинхронного електродвигуна і легко можуть бути пояснені.

Економія електроенергії.

В електроприводі існуючих насосів і насосних установок встановлені електродвигуни з великим запасом по потужності в розрахунку на максимальну продуктивність. Проте години пікового навантаження складають 15-20% загального часу роботи насосів. Але електродвигун насоса працює з постійною швидкістю обертання і споживає середньодобово значно, іноді до 60% більше електроенергії, ніж це необхідно.

Зниження витоків.

Приховані витоку обумовлені надлишковим тиском, що виникають при регулюванні тиску рідин за допомогою механічних засувок.

Плавне регулювання швидкості обертання насоса дозволяє знизити надлишкові напори в трубопроводах. Засувки при частотному регулюванні повністю відкриті.

Економія тепла.

Використання частотного регулювання швидкості обертання електродвигуна і відповідно насоса дозволяє оптимізувати температурний режим і витрата теплоносія. В умовах сучасних економічних відносин виникає необхідність підвищення ефективності використання, всіх видів енергоресурсів з застосуванням в широких масштабах енергозберігаючих технологій. Одним з важливих ресурсів у вирішенні цього завдання є зниження енергоспоживання на промислових об'єктах засобами автоматизованого електроприводу.

Механізми відцентрового дії (ВМ) є найбільш масовими і енергоємними споживачами електричної енергії. В даний час у світовій практиці існує стійка тенденція заміни нерегульованих електроприводів відцентрових насосів (ВН), компресорів, вентиляторів на регульовані системи.На рисунку 3.1 зображено схему роботи циркуляційного насосу.

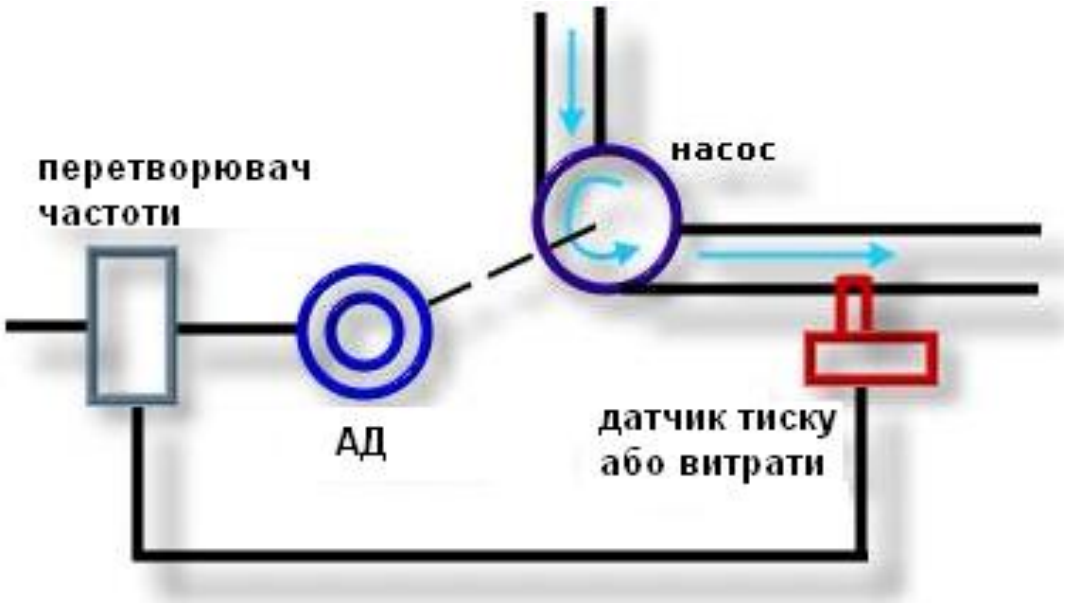


Рисунок 3.1 – схема роботи циркуляційного насосу

При нерівномірному добовому, тижневому, місячному графіку споживання води підтримка оптимального тиску в мережах можливо за допомогою перекриття засувок на виході насосної станції (метод дроселювання) або за рахунок зміни швидкості обертання насосного агрегату (зміна його продуктивності).

Потужність, споживана насосом знаходиться в кубічної залежності від швидкості обертання робочого колеса.

$P = f(Q^3)$,

тобто зменшення швидкості обертання робочого колеса насоса, вентилятора в 2 рази призводять до зменшення потужності, споживаної насосом у 8 разів. Продуктивність насоса Q прямо пропорційна швидкості обертання робочого колеса насоса. Виходячи із графіків споживання води і залежності потужності, споживаної насосом від продуктивності можна визначити приблизну економію електроенергії від застосування частотно-регульованого приводу.Графік залежності споживаної потужності від продуктивності зображено на рисунку 3.2

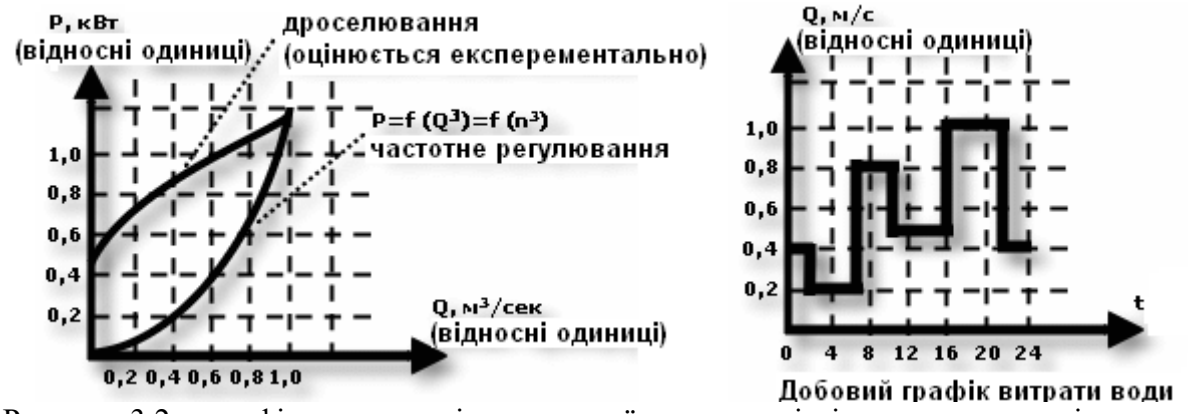


Рисунок 3.2 – графік залежності споживаної потужності від продуктивності методом дроселювання та частотного регулювання та добовий графік витрати води.

Знаючи добовий графік витрати або споживання води можна визначити добову економію електроенергії при застосуванні частотно-регульованого приводу. Для кожного значення продуктивності насоса Q це буде різниця P графіка споживання потужності. Таким чином видно, що частотнорегульованих привід ефективніше.

Переваги застосування частотно-регульованого електроприводу:

Економія електроенергії від 30 до 60%.

Виняток гідроударів, що дозволяє різко збільшити термін служби трубопроводів і запірної арматури.

Відсутність великих пускових струмів, повний захист електродвигунів насосних агрегатів, робота електродвигунів і пускової апаратури зі зниженою навантаженням, що значно збільшує термін служби електродвигунів.

Значна економія води за рахунок оптимізації тиску в мережах та зменшення розривів трубопроводів.

Можливість повністю автоматизувати насосні станції.

Як системи автоматизованого електроприводу відцентрових насосів найбільше поширення отримали регульовані електроприводи на базі найбільш простого і надійного асинхронного двигуна (АД).

Провідними світовими виробниками випускаються і постійно удосконалюються приводи з керуванням від вентильних перетворювачів за схемою «перетворювач частоти - асинхронний двигун» (ПЧ - АД).

Висновки. 1. Використання запропоноваої системи автоматизованого керування дозволяє зменшити витрати на електроенергію та водопостачання, дозволяє зменшити навантаження на основні водонапірні установки, що збільшує термін експлуатації електродвигунів, оперативно реагувати на надзвичані ситуації, не перенавантажуючи інші вузли системи.

Система забезпечує автоматичний контроль та управління процесом у всьому діапазоні навантажень на насосну установку, дозволяє оперативно оцінювати енергоефективність насосного устаткування за встановленими показниками для регульованих електроприводів на об'єктах водопостачання, просто адаптувати пристрій при можливих змінах в технології його роботи, знизити витрати електроенергії і підвищити надійність установки в цілому.

Перелік посилань:

1. Патент Российской Федерации № 62668. "Система управления энергопотреблением насосных станций предприятия коммунального хозяйства". МПК Р04Б 51/00. Опубл. 27.04.2007.

2. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник // О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей – К: Кондор, 2005. – 408 с.

3. Муравлева О.О. Оценка влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата / О.О. Муравлева, Е.В. Вехтер, Т.В. Жарикова // Известия Томского политехнического университета/. – Т.308. № 1. – Томск: ТПУ, 2005. - С. 174-178.

4. Pumps life cycle cost: a guide to LCC analysis for pumping systems. executive summary / [Hydraulic institute and Europump]. - Washington, DC, USA, 2001. - 16 с

СЕКЦІЯ 4.
МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ

UDC 622. 24

Oduware Senseman Nosa-Doe
Department of Electromechanical Equipment for Energy-Intensive Industries

DEVELOPMENT OF INSTRUMENT FOR PIPELINE CLEANING DEVICE SEARCH

The contribution deals with the application of new pig signaling techniques on the basis of ultrasonic probes and methods. It will be shown, that ultrasonic techniques are extremely versatile in order to work under different operational conditions and can be adapted to very different situations. Especially, the possibilities are explained and exemplified which arise for pigging campaigns at gas pipelines. Two principal approaches will be discussed and combined. First, ultrasound can be sent actively into materials. It can be influenced by changes of the system. This information can be read out by the received ultrasonic pulses. Second, many technical systems, such as pipelines and moving pigs, produce a lot of valuable noise which can be exploited for pig signaling.

Introduction. In order to understand what pig tracking is, it is important to know what a pig is first. The word pig isn't referring to the farm animal that squeaks and wallows about in the mud. The 'pig' we're talking about is a tool for pipeline inspections. Pigs travel through pipelines to clean or evaluate the inside of a pipe. This helps keep our pipelines running safely. The United States has the largest network of oil and gas pipelines in the world, amounting more than 2.4 million miles. As required by the US Department of Transportation (DOT) and the Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), this network of pipelines must be inspected and checked for damage, corrosion or leaks to maintain safe, efficient and operational. Operators do this by running pigs through the pipeline.

Pig tracking is the monitoring of these pigs as they move through the pipeline. Because pipelines are typically buried and don't usually have built in monitoring systems, an above ground team or technology is usually needed to keep track of where the pig is inside the pipeline. Pigs are not usually self-propelled, usually they are driven pressure behind them, which means their location must monitored throughout the run to determine the speed and effectively control the pig. A lost pig could spell disaster for an operator if it becomes stuck somewhere in the line, or moves too fast, potentially damaging valves or other parts of the pipeline. The tracking team is there to ensure the pig isn't going too fast, or if it does get stuck – knowing where it is and how to get to it.

Pig tracking is generally done by a team of technicians above ground who will intercept the pig at predetermined Above Ground Markers (AGM) and report its passage. Usually a pig cannot be tracked continuously from start to finish because of obstacles on the pipeline right of way (ROW), property issues, buildings or roads, so it's important for the team to have an organized plan of AGMs where they will wait for the pig to pass.

Technicians monitor the passage of the tool with special equipment. Before most runs, a signal emitting transmitter is placed inside the pig, which can be picked up above ground as it passes. On ILI tools, special marker boxes pick up a magnetic signal from the pig as it passes and note the passage time, location and other information depending on the box. As another measure of ensuring passage, technicians will listen to the pipeline with a geophone (basically a microphone that goes into the earth) and physically listen to the acoustic passage of the pig.

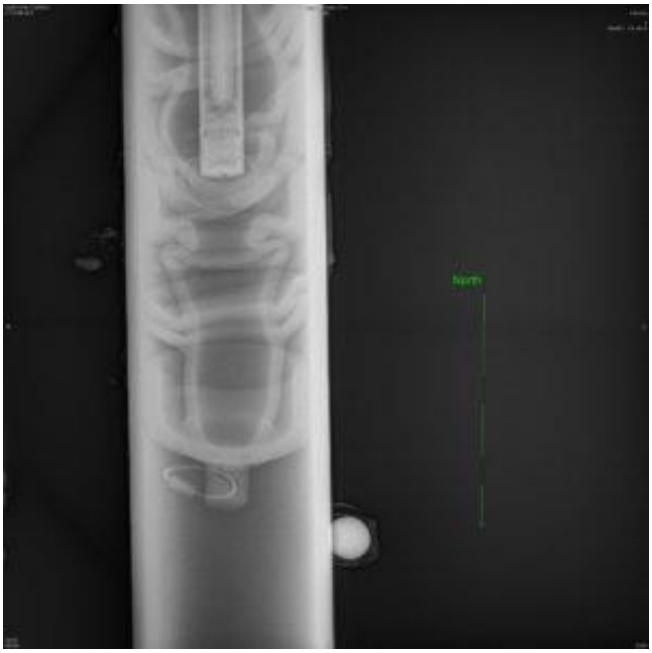


Figure 1 – An X-ray of a stuck pig inside of a pipeline

Normal Pig. A "pig" in the pipeline industry is a tool that is sent down a pipeline and propelled by the pressure of the product flow in the pipeline itself. There are four main uses for pigs:

1. Physical separation between different fluids flowing through the pipeline
2. Internal cleaning of pipelines
3. Inspection of the condition of pipeline walls (also known as an Inline Inspection (ILI) tool)
4. Capturing and recording geometric information relating to pipelines (e.g., size, position).

One of the most common and versatile is the foam pig which is cut or poured out of open cell polyurethane foam into the shape of a bullet and is driven through pipelines for many reasons such as to prove the inner diameter of, clean, de-water, or dry out the line. There are several types of pigs for cleaning in various densities from 2 lb to 10 lb foam and in special applications up to 20 lb. Some have tungsten studs or abrasive wire mesh on the outside to cut rust, scale, or paraffin wax deposits off the inside of the pipe. Other types are fully or criss-cross coated in urethane, or there are bare polyurethane foam pigs with a urethane coating just on the rear to seal and assist in driving the pig. There are also fully moulded urethane pigs used for liquid removal or batching several different products in one line.

Inline inspection pigs use various methods for inspecting a pipeline. A sizing pig uses one (or more) notched round metal plates as gauges. The notches allow different parts of the plate to bend when a bore restriction is encountered. More complex systems exist for inspecting various aspects of the pipeline. Intelligent pigs are used to inspect the pipeline with sensors and record the data for later analysis. These pigs use technologies such as magnetic flux leakage (MFL) and ultrasound to inspect the pipeline. Intelligent pigs may also use callipers to measure the inside geometry of the pipeline.

In 1961, the first intelligent pig was run by Shell Development. It demonstrated that a self-contained electronic instrument could traverse a pipeline while measuring and recording wall thickness. The instrument used electromagnetic fields to sense wall integrity. In 1964 Tub scope ran the first commercial instrument. It used MFL technology to inspect the bottom portion of the pipeline. The system used a black box similar to those used on aircraft to record the information; it was basically a highly customized analogue tape recorder. Until recently, tape recording (although digital) was still the preferred recording medium. As the capacity and reliability of solid-state memory improved, most recording media moved away from tape to solid-state.

Capacitive sensor probes are used to detect defects in polyethylene pipe gas pipeline. These probes are attached to the pig before it is sent through the polyethylene pipe to detect any defects in the outside of the pipe wall. This is done by using a triple plate capacitive sensor in which electrostatic waves are propagated outward through the pipe's wall. Any change in dielectric material results in a change in capacitance. Testing was conducted by NETL DOE research lab at the Battelle West Jefferson's Pipeline Simulation Facility (PSF) near Columbus, Ohio.

Intelligent pig. Modern intelligent or "smart" pigs are highly sophisticated instruments that include electronics and sensors that collect various forms of data during their trip through the pipeline. They vary in technology and complexity depending on the intended use and the manufacturer.

The electronics are sealed to prevent leakage of the pipeline product into the electronics since products can range from being highly basic to highly acidic and can be of extremely high pressure and temperature. Many pigs use specific materials according to the product in the pipeline. Power for the electronics is typically provided by on-board batteries which are also sealed. Data recording may be by various means ranging from analogue tape, digital tape, or solid-state memory in more modern units.

The technology used varies by the service required and the design of the pig; each pigging service provider may have unique and proprietary technologies to accomplish the service. Surface pitting and corrosion, as well as cracks and weld defects in steel/ferrous pipelines are often detected using magnetic flux leakage (MFL) pigs. Other "smart" pigs use electromagnetic acoustic transducers to detect pipe defects. Calliper pigs can measure the roundness of the pipeline to determine areas of crushing or other deformations. Some smart pigs use a combination of technologies, such as providing MFL and callipers functions in a single tool. Trials of pigs using acoustic resonance technology have been reported.

During the pigging run the pig is unable to directly communicate with the outside world due to the distance underground or underwater and/or the materials that the pipe is made of. For example, steel pipelines effectively prevent any significant radio communications outside the pipe. It is therefore necessary that the pig use internal means to record its own movement during the trip. This may be done by odometers, gyroscope-assisted tilt sensors and other technologies. The pig records this positional data so that the distance it moves along with any bends can be interpreted later to determine the exact path taken.

Location verification. Location verification is often accomplished by surface instruments that record the pig's passage by either audible, magnetic, radio-transmission or other means. The sensors record when they detect the passage of the pig (time-of-arrival); this is then compared to the internal record for verification or adjustment. The external sensors may have Global Positioning System capability to assist in their location. A few pig passage indicators transmit the pig's passage, time and location, via satellite uplink. The pig itself cannot use GPS as the metal pipe blocks satellite signals.

After the pigging run has been completed, the positional data from the external sensors is combined with the pipeline evaluation data (corrosion, cracks, etc.) from the pig to provide a location-specific defect map and characterization. In other words, the combined data reveals to the operator the location, type and size of each pipe defect. This information is used to judge the severity of the defect and help repair crews locate and repair the defect quickly without having to dig up excessive amounts of pipeline. By evaluating the rate of change of a particular defect over several years, proactive plans can be made to repair the pipeline before any leakage or environmental damage occurs.

The inspection results are typically archived (perhaps in Pipeline Open Data Standard format) for comparison with the results of later pigging runs on the same pipeline.

Relevance of research. The problem of sudden stopping pipeline cleaning device inside a pipeline often arises during oil pipeline exploitation; modern solutions of this problem are not totally effective.

Object of research. Possibility of creating the instrument for pipeline cleaning device search based on using ultra sound.

Subject of research. Investigation of the process of penetrating ultra sound through pipe shell.

Research objectives (tasks):

• describe the Relevance of research;
• study existing methods for solving the problem;
• define Methodology and Methods of research;
• investigation of optimal parameters for instrument application;
• development of the electrical circuit of the instrument;
• create Startup project on producing the instrument.

Research materials and results. It is known that acoustic and ultrasonic techniques can be used for several tasks in the pigging technologies and industries. Highlights have been the impressive developments in the field of the intelligent pigging and data evaluation. This provides a drastic improvement for pipeline safety and integrity as well.

Measurement methods basing on the use of ultrasonic sensors are increasingly used for industrial fields such as pipeline integrity and maintenance, for non-destructive testing task at pipelines and constructions. In a similar manner, ultrasonic sensors and techniques are very valuable for the supervision of processes, pigging campaigns and transportation processes. The number of possible applications is still increasing for several reasons.

For the overview, only a few (apparently simple) formulae should be giving as a reminder. It should be noted that these are only simplified notations. However, they are very valuable for a rough estimation of the dimensions, path lengths, possible resolutions, and the order of the effects. Especially in solids, the physics can become fairly complex. The sound velocity can be obtained from the product of the wavelength and frequency,

$$c = \lambda . f$$

The attenuation of a travelling wave in a medium can be written as

$$I = I_0 \, e^{-\alpha x}$$

Where α is the absorption coefficient and x is the length of the sound path. Frequencies of 20 kHz up to some ten MHz can be applied and are commonly used. The following overview is intended to survey possibilities for the application of ultrasonic sensors and techniques

Pig Signaling Methods for Gas Pipelines

The technology for liquid pipelines cannot be simply transferred for gas filled pipelines for physical reasons which are outlined below. It is well known in the PPSA community that there is great variety for pigs with respect to construction, weight, diameter, sensor instrumentation, pricing and so on. Cleaning pigs, caliper pigs, intelligent pigs will provide new demanding tasks for pig signaling in gas pipelines. Furthermore, different pipeline diameters, different gas pressures, different scenarios of pigging (pig velocity, stop and run), the existence of uncoated and coated pipelines (Cor06) make the situation complicated for operators and service as well.

Pig Detection by a Non-intrusive Active Method

The use of the direct signal path of acoustic pinging through the steel walls of a pipeline is complicated or even almost completey prevented by the reflection properties of the involved materials and fluids. This can be understood by a look on the effectivity of the reflection or transmission of an acoustic wave through the wall-gas-system.

$$R = Z1 - Z2 \; Z1 \square Z2$$

R is the reflection coefficient, where Z1 and Z2 denote the impedances of the materials (e. g. steel and natural gas). The impedance Z results from the product of the sound velocity and density. Having a closer look on real material numbers, it becomes clear that a "simple“ pinging method

(similarly as for oil filled pipelines) cannot be applied. A crucial point for the application of ultrasonic methods is caused by the reflection properties of acoustic waves when moving from steel (or other wall material) to the gas medium and vice versa.

Conclusion. It has been demonstrated that acoustic technologies are powerful and versatile for the application in pig detection and signaling. The contribution is aimed to the explanation of some relatively new applications of ultrasonic methods for pig detection purposes. The robust and flexible methods work without any prior knowledge about the type of the pig and the operational conditions. Ultrasound is harmless and does not influence the operation and the environment.

The presented technics enable the detection of pig passages in flexible clamp-on procedures with a high reliability. A further improvement of the results and of the reliability can be achieved by a combination of different acoustical techniques. The technique and procedures can be adopted to a broad range of practical situations. I believe that the potential of the use of ultrasonic techniques is still underestimated in the pipeline and pigging sector.

References:

1. [Bro96] W. K. Brown, V. Diatschenko, J. R. Stoy, US Patent 5,549,000, 1996, Passive Acoustic Detection of Pipeline Pigs
2. [Bro97] W. K. Brown, Winthrop, Passive Acoustic Detection of Dipeline Pigs, The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 101, Issue 2, February 1997, p.662 (ASAJ Homepage), 02/1997
3. [Son08] SONOTEC EP 000002075594A2, Molcherkennungsvorrichtung und Molcherkennungsverfahren, 2008
4. [Hos07] S. M. Hosseinalipour, A. Zarif Khalili, A. Salimi, Numerical Simulation of Pig Motion Through Gas Pipelines, 16th Australian Fluid Mechanics Conference, Goald Coast Australia, 12/2007
5. [Cor06] J. Cordell, H. Vanzant, Pipeline World & Scientific Surveys Ltd., 6th ed., ISBN 0901360333,2006

СЕКЦІЯ 5.
ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

CUI Yuxi
Department of Geoengineering

IMPROVING THE SYSTEM OF MONITORING WATER RESOURCES OF THE STATE WITH THE USE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

The structure and function of water resources management information system (WRMS) are described. The application status and existing problems of geographic information systems technology in water resources management and monitoring are described. It is pointed out that the system has achieved remarkable results and broad prospects in water resources management.

Key words: Water resources; Geographic information systems; Water resources Monitoring and Management

Introduction. The shortage of urban water resources and increasingly serious water pollution have become important problems restricting urban economic development. The key to solve this problem is to strengthen the management of water resources, that is, to rationally develop, optimize the allocation and manage water resources scientifically.As the water resources problem involves many subjects, many elements and a large amount of information, the limitations of conventional planning and management methods are becoming more and more obvious, so it must be managed with the help of new technologies.

In recent years, geographic information system (GIS) has been widely used in many research and application fields, among which the application in water resource management and development is developing very fast. Since the late 1980 s, the GIS application in the development of water resources from the relatively simple flood control GIS development to the present water resources planning and water environment, water and soil conservation, water conservancy project planning and water resources management and so on various aspects, especially in flood prevention and control effect was obvious in water resources planning and management, greatly save the expenditure, improve the labor efficiency, has a huge social and economic benefits.

The purpose and objectives of the study. To determine the important application and development prospect of geographic information system (GIS) in water resource environment monitoring.

Research materials and results

1. Application of geographic information systems in water resources monitoring and management

1.1 Water resource management information System

Water resource management information system generally includes water source management, water demand and water use management, water supply management, water quality management and other contents. The data of the system is divided into spatial data and attribute data. Spatial data is used to reflect the spatial characteristics of the study area, such as terrain, location, shape, area, drainage system, land use, soil, surface characteristics, etc., as well as their topological relations. Attribute data information is used to reflect the geographical variables or geographical significance associated with geographical entities, such as water demand, water supply, water resource monitoring data, economic and demographic status of the region, administrative subdivisions, basic information of rivers and sewage outlets, discharge of wastewater and types of pollutants, and other basic data related to water quality. The overall structure is shown in Figure 1.

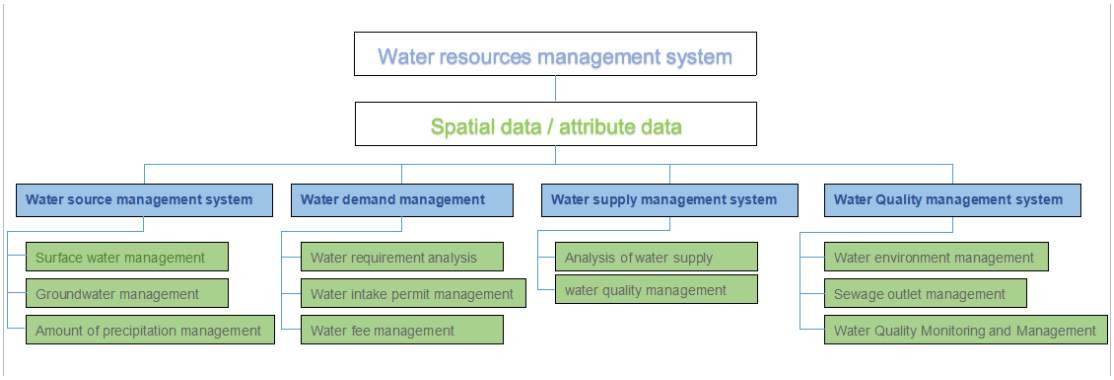


Fig. 1 - Structure of water resources management information system

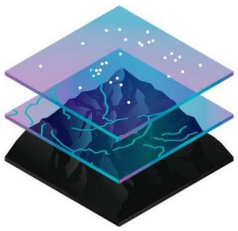
1.2 Features

The overall objectives of water resources management information system can be summarized as follows: rational development and optimal allocation of water resources; Save water to realize the balance between supply and demand of urban water; Protect water resources scientifically and ensure the sustainable use of water resources. Its specific functions are as follows:

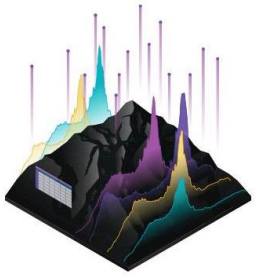
(1) Scientific storage of water resources information, timely update of data, maps and documents, the establishment of comprehensive water resources database, water resources management business automation and scientific. (2) Query and search, display the formation, distribution, status, development and utilization of urban water resources status and development trend. Such as surface water, groundwater and precipitation query, annual water-saving, water plan index query, the water quality query, water supply and demand query. (3) Data processing, support water resources management business. Operation and operation of such businesses as water intake permit management, water resource fee collection management, sewage discharge management, well sinking approval management, etc.; Make statistical analysis of the socio-economic, water resources, water quality, water storage, water use, water transfer and other indicators and their changes in the year, and assist to generate annual reports and bulletin of water resources, etc. (4) Conduct demand analysis of urban water resources, formulate and work out water use plans and water resources development plans, and support the planning of water resources development and protection. For example, based on the analysis of the current situation of water resources, the economic development trend in different periods in the future is analyzed, and the industrial water, domestic water and environmental water are scientifically predicted with the help of relevant models. Through the dynamic monitoring of water resources, the consequences of surface water and groundwater such as unauthorized extraction and over-extraction, substandard discharge, sudden pollutant leakage are predicted, analyzed and evaluated to provide a scientific basis for the treatment of the event. (5) Information development, carry out special research on water resources, and provide auxiliary decision-making for water resources management. Through the analysis and evaluation of water resources information in the system, dynamic management, the use of various calculation and analysis results and hydrological water resources model, the city's future water resources supply and deployment situation is predicted and analyzed, to assist the generation of annual and multi-year water use plan and water resources scheduling plan.

2. The advantages of using GIS to improve water resources monitoring.

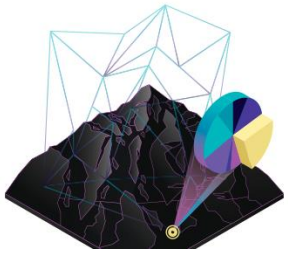
(1) GIS maps can be easily Shared and embedded in applications, accessible to almost anyone, anywhere.



(2) GIS uses spatial location to integrate many different kinds of data layers.Most of the data has a geographic component.GIS data includes images, elements, and base maps linked to spreadsheets and tables.



(3) Spatial analysis enables the assessment of applicability and capabilities, estimation and prediction, interpretation and understanding, and so on, thus providing a new perspective for later decision-making.



3. Application status and existing problems

World are of the utmost importance of urban water resources management in the developed countries, the United States, Western Europe, Japan and other countries have established the water resource information management system of the large cities, their application of GIS software the spatial and attribute data is stored in a database, relying on the powerful spatial analysis of GIS functions can be carried out on the water resources management and decision-making. At present, several mature software systems have been developed in the field of water resources abroad, such as WaterWare system in the UK, RAISON in Canada, MIKE11-GIS system of DHI in Denmark, SOBEK and HYMOS software developed by Delft In The Netherlands, etc.

These software are integrated with many mathematical models of water resources, such as rainfall runoff model, groundwater numerical model, water resource allocation model, flood forecasting model, etc. Many professional models integrated in the system enhance their functions and expand their application scope. The foreign water resources information management system also combines expert system and decision support system to provide high precision, high reliability and current water resources information for urban planning and construction management. In addition, western countries are studying more advanced water resources management systems, such as national network, online publishing, automatic detection, satellite reception, timely transmission and intelligent computer control decision-making of modern water resources information system.

Because of database technology high popularity in China, many provinces and cities in

established on the basis of a single database technology of water resources management information system (MIS), and in all the provinces and cities has been widely used in the management of water resources, also has obtained the good effect, but these systems can't solve the problem of water resources management of spatial data, this can only be solved using geographic information system technology.

Beijing Municipal Water Resources Management Gis is an information project organized and developed by Beijing Municipal Planning Commission and Beijing Municipal Water Resources Bureau. It officially passed the authoritative test of China Software Evaluation Center in August 2003. The system is based on the existing basic data, using modern computer technology, network communication technology and geographic information system (GIS) and other new and high technology, combined with the daily management of the water conservancy system in Beijing, to establish a set of integrated management decision information system. System including precipitation, surface water, groundwater management management, water environment management, water management, water license management, management of water rate, water resources query and water conservancy project information query, the macro decision-making of water five most of the 17 subsystems, is a powerful data management, water resources evaluation calculation, statistics and query, and other functions. Use for more than two years, the system greatly improves the ability of water resources management and the level of scientific, modernization, strengthen the coordination and decision-making ability of the competent department of water resources, improve the working efficiency, to Beijing's water resources planning, management and decision provides timely and accurate information service and the advanced technical support.

So far, the water resource management information system established in most cities of China only USES the GIS data acquisition, storage, management and query retrieval primary functions, but has few functions in spatial analysis, prediction and decision support, and the application of GIS technology has not been in-depth. In particular, GIS technology is not deeply integrated with hydrologic and water resource models, environmental models, management models and other organic combination, so as to achieve water environment assessment and planning, optimal allocation of water supply and demand, surface water and groundwater movement simulation, pollutant diffusion control and other functions.

With the development of "digital city" in recent years, large and medium-sized cities will start to carry out research and development in the field of water resources monitoring and management informatization.Especially with the establishment of water resources bureaus, the unified management of urban water resources has been realized, and GIS technology will be applied more and more in the management of urban water resources. Through the integration of GIS technology and various water resource management models, GIS, artificial intelligence (AI), expert system (ES), simulation and other technologies can be integrated organically, so as to build a real water resource decision support system, which will promote urban water resource management to enter a new stage of high efficiency and science.

Conclusion. The limitations of traditional water resources management and monitoring system are becoming more and more obvious, and new technologies are needed to monitor and manage water resources. From the current level of research and application status, and the GIS coupling model is relatively simple, in the majority with lumped parameter model and analytical model, due to the distributed parameter model involving the space-time dimension data, many systems just establish the connection between the model and the GIS Bridges, basic to realize data exchange, without realizing the combination of GIS and professional models, is a loose connection. Combining the dynamic data maintenance capability of GIS with the professional simulation analysis tool, it can provide a real-time water resources decision support system for the management department. Second, due to the strong technical, GIS technology to its development and application needs to have certain ability of computer software development and general unit lacks know both professional GIS and

macro comprehensive coordination ability and knowledge of the high-quality talent, so many current water resources management department is fully commissioned development model, because the developer without water resources and hydrological aspects of professional knowledge, it is difficult to deeply understand the needs of the user units, so the development of the system functions are not applicable and the system development costs are relatively high. After the system is put into use, the user unit can hardly maintain, update and upgrade the system for a long time, which results in the success of building a large comprehensive and practical urban water resources management GIS is very few.In addition, the traditional GIS is difficult to overcome in the representation of complex geographical elements, true three-dimensional spatial model, spatio-temporal model and comprehensive spatial analysis methods. The process of water resources and water environment change has obvious spatio-temporal dynamic characteristics. Therefore, it is necessary to develop software that can realize three-dimensional and four-dimensional spatial analysis and display for the simulation of water resources and water environment change.

The development trend of GIS is not isolated, but mutual influence and mutual promotion, which involves the mutual penetration and mutual support of multiple disciplines. Its purpose is to promote the construction and development of geographic information industry to better understand and protect the environment on which human beings live. Facing the rapid development of today's computer technology and the prospect of GIS full of vigor and vitality, we should further face the world, seize the opportunity, explore the law, and promote the development of GIS technology and industry.

References:

[1] Zhang Jinming, Yang Wenjian, XUE Wei.Application of Geographic information System in Water Resources Management in Beijing [J]. Beijing Water Resources,2019,(2): 26-30.

[2] Feng Lihua, Guo Huacheng.Research on water resource management information system [J]. Water resources science and technology and economy,2013,9(3): 226-229.

[3] Li Yun, Fan Ziwu, Xu Shikai, et al.Development and Application of Urban Water Resources Management Information System [J]. China Water Resources,2013,(3): 73-75.

[4] Xu Yang, anniversary of birth.Establishment of geographic information system for water resources management in tianjin [J]. Marine surveying and mapping,2012,22(1): 48-50.

[6] Wei Jiahua, Li Cijun, Wang Guangqian, et al.Journal of jilin university (earth science edition),2019,33(4): 534-538.

[7] Xu Z X, Ito K,Schultz G A, et al. Integrated Hydrologic Modeling and GIS in Water Resources Management [J].Journal of Computing in Civil Engineering, 2011,(7): 217-223.

Andrew Kojo Amegbey
Geoengineering Department

THE IMPACT OF URBAN DEVELOPMENT ON AQUIFERS IN LARGE COASTAL CITIES OF WEST AFRICA

This paper investigates the coastal cities of Abidjan, Cotonou, Lagos and Douala in West Africa. Published data on these areas were aggregated in order to compare the urban development of some African huge cities and assess their impacts on groundwater. Those urban centers have experienced an exponential demographic expansion since the 1950s, with increased population densities and a geographical coverage expansion as well. The Continental Terminal aquifer, major groundwater resource taped in this region by the national water companies and local populations, shows a continuous downward trend in piezo metric levels. Concerning water quality, the evolution up to the current state (saline intrusion, nitrate pollution) and the natural geochemical process (dilution, redox reactions) affecting the aquifer have been highlighted. Some management approaches have been proposed including monitoring of contamination, protection of the resource and the use of shallow large-diameter wells, which have proved to be less saline and more sustainable than deeper small diameter boreholes. The results from the water quality confirm the urgent need to consider groundwater development relatively to demographic and economic growth. The results and discussion of this paper have provided a considerable new insight of West African coastal cities. This will help stakeholders involved in local development to face the urban pressure [1].

Key words: groundwater, climatic conditions, sediments, rainfall, water quality, aquifer

Introduction. Millions of big cities inhabitants around the world depend on groundwater for drinking water supplies either as exclusive public water supply or as alternatives for the limited surface water resources. However, it is increasingly reported that aquifers in urban areas are deteriorating in water quality [2].There is no predefined strategy, set to handle the growing problem. Nowadays, more people in the world live in urban areas (54% in 2014) than in rural areas [3]. This percentage was 30% in 1950 and is expected to reach 66% by 2050, with nearly 90% of the increase to take place in the urban areas of Africa and Asia [4]. As the world continues to urbanize, sustainable development challenges will be increasingly concentrated in cities, particularly in the lower middle-income countries where the pace of urbanization is the fastest [3]. African cities particularly constitute a good example of this evolution. However, the incomes are much lower in these cities than in other developing regions with similar urbanization levels.

The Gulf of Guinea is the north easternmost part of the tropical Atlantic between Cape Lopez in Gabon and Cape Palmas in Liberia. The location of the four studied sites with mean monthly precipitation is illustrated in Fig. 1 [1].

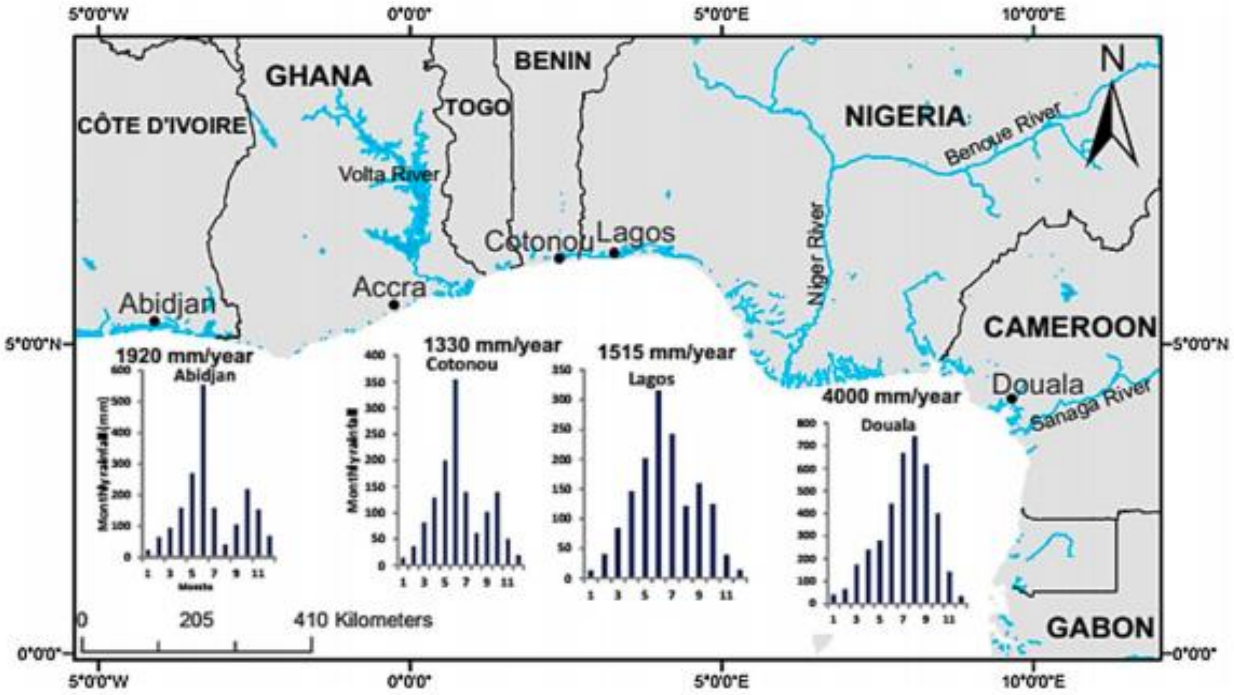


Figure 1 – Location of the four study sites (Abidjan, Cotonou, Lagos, and Douala) in the Guinean coastal area. The monthly rainfall distribution of each site is also shown [1]

Datasets, methods and analysis:

Data were collected from published articles, online journals, public and unpublished reports. Given the various sources, priority was given to data from scientific articles and technical reports. We then compiled data for each city, followed by statistical processing and comparison between respective datasets. Data collected comprised socio-demographic, socio-environmental, climatic settings, hydrodynamic and geochemical data of groundwater [1].

The Gulf of Guinea coast corresponds to the largest West African coastal sedimentary basin. It is composed of a set of sub-basins generated by the opening of the Atlantic Ocean. Four major aquifers can be distinguished within this large sedimentary basin: The Lower Cretaceous (LC) formation, mainly constituted of sands and conglomerate sandstones, appears in Côte dIvoire, Nigeria and Cameroon.; The Maastrichtian to Paleocene sands aquifer observed in Côte dIvoire, Benin and Douala sub-basins; The Mio-Pliocene to Pleistocene deposits which are referred to herein as Continental Terminal (CT), mainly constituted of sands, clays and indurate lateritic layers. It is a multi-layered aquifer, which appears in Abidjan, Benin, Lagos and Douala; The shallow sediments from the Pleistocene to the present distinguished in Abidjan, Cotonou, Lagos and Douala. Table 1 summarizes the hydrodynamic data of CT aquifer in the different sub-basins [1].

Table 1 – Hydrodynamic data of CT aquifer in the different sub-basins [1]

Location	Lithology	Thickness (m)	Transmissivity (m^2/s)	Permeability (m/s)	Static level (m)	Storage (%)	Discharge (m^3/h)
Abidjan	sands/sandstones	70 to 200	30.10^{-2}–20.10^{-2}	10^{-6}–10^{-3}	5–80	0,05–0,2	7,2–338
Cotonou	sands/ conglomerates	60 to 200	2.10^{-4}–$1,01.10^{-2}$	10^{-4}–10^{-2}	< 15– > 50	2.10^{-4}–$1,92.10^{-2}$	20–300
Lagos	sands	10 to 280	$1,05.10^{-2}$–$11,3.10^{-2}$	7.10^{-6}–$1,7.10^{-4}$	4.6–71	$1,07.10^{-4}$–$4,5.10^{-4}$	24,8–336
Douala	sands	0 to 220	$4,6.10^{-4}$–$6,8.10^{-2}$	$2,6.10^{-5}$–0,195	0–41		1–250

Projections calculations were made using the equation given by [5]:

$$A = P(1 + r)n \quad (1)$$

Where, A = Forecasted future population in n years' time; P = Baseline population of 2015; r = annual population growth rate; n = number of years from the baseline population year to the future population year, which was 5, 15, 25 and 35 years for 2020, 2030, 2040 and 2050 respectively.

Demographic changes. The analyses showed that the population has grown rapidly at different intensities in each site (Fig. 2). Africa presents a growth in population rate of 2.7% per year, which is above the world average of 1% per year. Lagos, Abidjan and Douala show higher rates than these numbers. Lagos is the fastest-growing city in the world, with an annual growth rate varying from 4.4 to 8% [6]. In Abidjan, the number of inhabitants over-doubled during the last 25 years whit a growing rate varying from 3.7 to 5.6% per year over the past 40 years. This increase in population made Abidjan to be the second most populous French-speaking city after Kinshasa. Douala displays a growth rate estimated at 5% over the last 30 years, above the national rate, estimated at 2.8% [7]. In this city, the population has over quadrupled during the last 25 years' period. At last, with a population smaller than 1 million, the demographic growth rate of Cotonou is of 2.2%. However, this rate, used to be 4.05% around 1979–1991 before dropping and plateauing (or became stable) (Fig.2). Despite displaying the lowest growth rate of the study area, Cotonou population increased by 65% over the last 24 years from 1991 to 2015 [1].

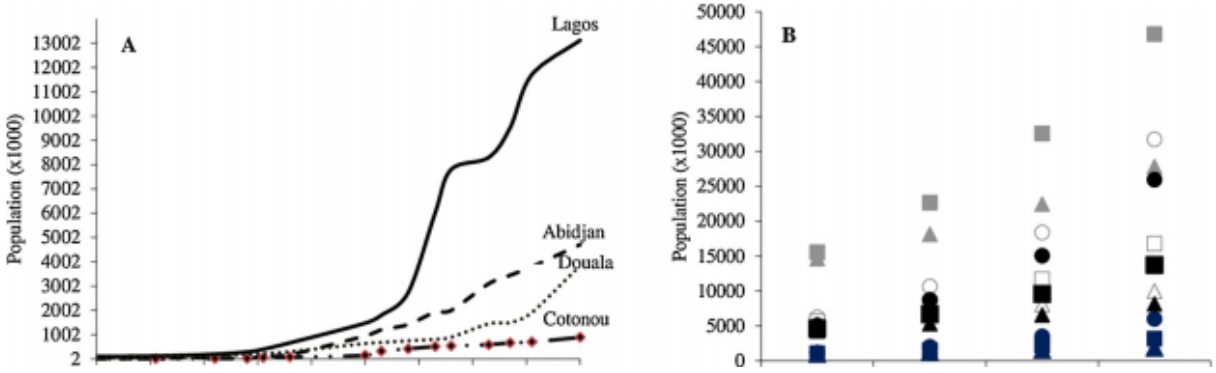


Figure 2 – Evolution of demography in four major cities of the Gulf of Guinea region: Abidjan, Cotonou, Lagos and Douala. A) Population growth observed in almost one century; B) Projected population. The grey, white, black and blue colors represent Lagos, Abidjan, Douala and Cotonou respectively [1]

An overall classification of groundwater quality problems and causes in each studied site are summarized in the Table 2 [1].

Table 2 – Classification of groundwater quality problems [1]

City	Groundwater quality problems	Underlying cause	Parameters of concern
Abidjan	Anthropogenic pollution	- Industrial effluents - Waste disposal - Use of pit latrines and sceptic tanks - Inadequate protection of aquifer	Pathogens, NO_3 Cl, SO_4, B, heavy metals, DOC,
Cotonou	Salinization process due to seawater intrusion	Inadequately controlled groundwater abstraction	Electrical Conductivity, Na, Cl, SO_4, Br and sometimes F
	Anthropogenic pollution	- Industrial effluents - Inadequate protection of aquifer	NO_3, NH_4, heavy metals
	Naturally occurring contamination	Related to dilution effect, to pH-Eh evolution of groundwater or to the confinement of the aquifer	NO_3, NH_4, heavy metals
Lagos	Salinization process due to intrusion of lagoon water	Inadequately controlled groundwater abstraction	Electrical Conductivity, Na, Cl, SO_4, Br and sometimes F
Douala	Anthropogenic pollution	- Industrial effluents - Waste disposal - Use of pit latrines and sceptic tanks - Inadequate protection of aquifer	Pathogens, NO_3 Cl, SO_4, B, heavy metals, DOC, NO_3, NH_4, heavy metals (mainly Fe and Mn)
	Naturally occurring contamination	Related to dilution effect, to pH-Eh evolution of groundwater or to the confinement of the aquifer	NO_3 Cl, SO_4, B, heavy metals, DOC, NO_3, NH_4, heavy metals (mainly Fe and Mn)

Conclusion

This paper has presented the status of the regional aquifer of Continental Terminal, major and most exploited groundwater resource in Western African coast. The urbanization process that affects the region is characterized by a population increase and population density. Furthermore, the expansion of the cities is associated with deforestation and a reduction of cultivated areas for buildings purpose. Strong similarities and noticeable differences have been highlighted at each site as follows [1]:

– Groundwater resources are important and used by population through private boreholes/hand-dug well and spring or direct supply from the national water companies for domestic, industrial and agricultural needs. Out of total volume distributed by these national companies, water from the CT aquifer represent 100%, in Abidjan and Cotonou, 17% in Lagos and 26.7% in Douala.

– Downward trend of annual rainfall amount in most areas, which implies a potential decrease in the recharge of the aquifer.

– The observed population increase (at different average annual rates) from 2.2% (Cotonou) to 8% (Lagos) leads to an increase in demand, causing an over-exploitation of the resource. This overexploitation is responsible for the intrusion of saline water in Cotonou and Lagos.

– Groundwater deterioration is also observed since urbanization process in the region was undertaken regardless of sanitation infrastructures or an innovation about waste management. Thus, in Abidjan we observe an increase in nitrates, chlorides and sulphates. Regarding Douala and Cotonou, there is a denitrification process which could be linked to anthropogenic pollution or natural processes particularly in the case of wet soils that are generally deprived of oxygen.

A global synthesis showing the impact of urbanization on coastal aquifers in sub-Saharan Africa is proposed in Fig.3 [1].

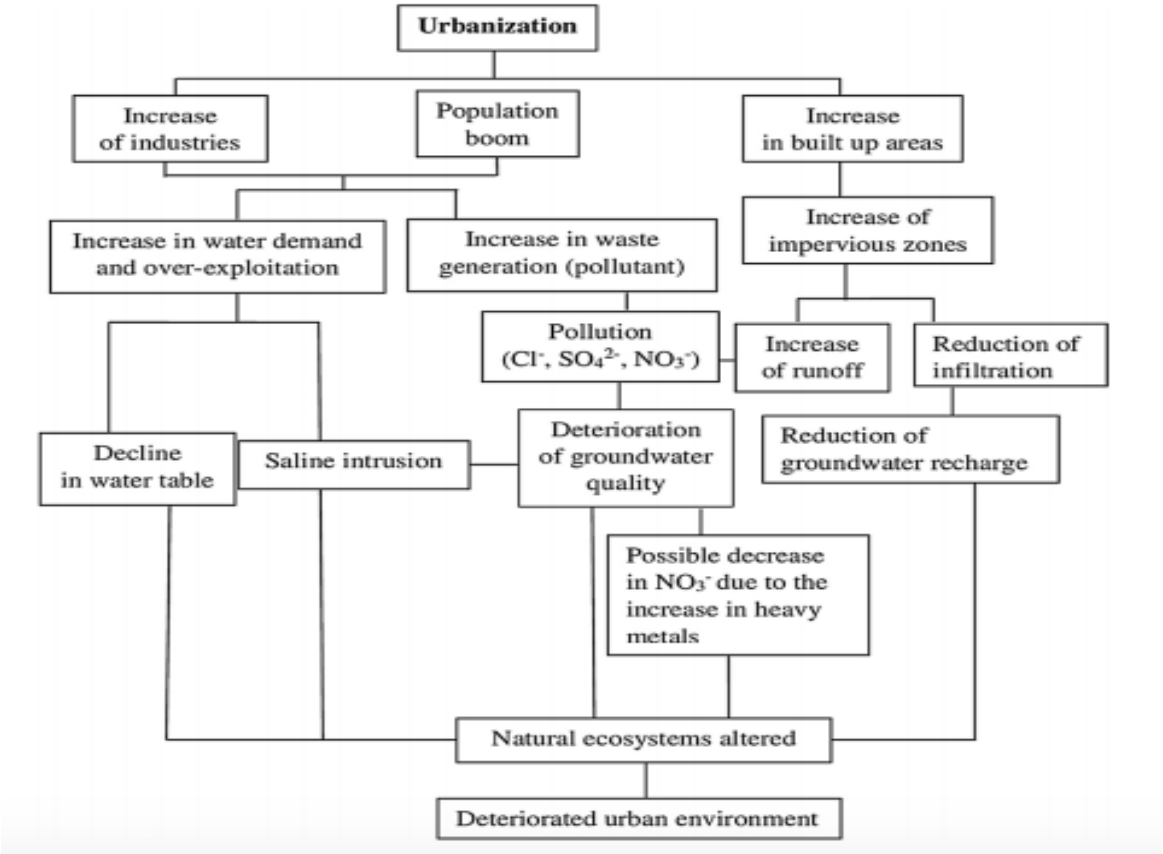


Figure 3 – Conceptual model depicting the impact of urbanization process on coastal hydrogeological systems and urban environment quality in sub-Saharan Africa [1]

The study confirms the fundamental importance of coastal groundwater resources for the development of the region and the urgent need to correlate the rate of water development with the rate of demographic change, including urban expansion and economic growth. In order to make progress, some management requirements should be followed: first, the reservation of good quality (deeper) water for sensitive uses and shallow water (poor-quality) for non-sensitive uses, then, the definition of protection zones for priority control of contaminant load and finally the planning of wastewater treatment/disposal. Besides, the public awakening of national and inter-African consciousness and leadership with regard to water development must be accompanied by the awareness of the fundamental importance of implementing coastal groundwater development strategies, different from other physical scheme where borehole productivity is the target [1].

Reference

1. Nlend, B., Celle-Jeanton, H., Huneau, F., Ketchemen-Tandia, B., Fantong, W. Y., Boum-Nkot, S. N., & Etame, J. (2018). *The impact of urban development on aquifers in large coastal cities of West Africa: Present status and future challenges. Land Use Policy, 75, 352–363.* doi:10.1016/j.landusepol.2018.03.007

2. Chilton, J. (Ed.). (1999). *Groundwater in the urban environment* (Vol. 2). AA Balkema.

3. United Nations, 2014. World Urbanization Prospects. The 2014 Revision. ISB N 978-92-1- 151517-6. (Database Retrieved from https://www.compassion.com/multimedia/ world-urbanization-prospects.pdf, on 28 February 2018).

4. Floater, G., Rode, P., Robert, A., Kennedy, C., Hoornweg, D., Slavcheva, R., & Godfrey, N. (2014). Cities and the New Climate Economy: the transformative role of global urban growth.

5. Keyfitz, N. (2005). *Applied mathematical demography*. Springer.

6. United Nations Centre for Human Settlements. (1996). *An urbanizing world: Global Report on human settlements, 1996*. Oxford University Press, USA.

7. INSC, 2010. Etude préliminaire sur l'économie locale de la ville de Douala. (In French). http://wwwstatistics-cameroonorg/newsphp?id=100.