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

МАТЕРІАЛИ
І НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ МАГІСТРАНТІВ ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

(за результатами дисертаційних досліджень магістрантів)

Присвячена 120-річчю

КПІ ім. Ігоря Сікорського

21 – 22 листопада 2018 року

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

Київ
2018

І науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів). Зб. наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2018. – 387с.

У збірнику представлено доповіді молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на І 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.

Друкується за рішенням Вченої ради ІЕЕ (протокол № 6 від 10 грудня 2018 року)

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: Дешко В.І. – д.т.н., проф., завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження; **Дубровська В.В.** – к.т.н., доц. каф. теплотехніки та енергозбереження; **Закладний О.О.** – к.т.н., доц. каф. електропостачання; **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; **Ткачук К.К.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри інженерної екології; **Шевчук С.П.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри електромеханічного обладнання енергоємних виробництв, **Броницький В.О.** – ас. кафедри інженерної екології.

Адреса організаційного комітету:

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22.
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
mag-conference@i.ua
www.en.iee.kpi.ua
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», 2018

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ № 1. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

Шляхи та сучасні засоби щодо підвищення надійності повітряних ліній напругою 20 кВ
Мондик А.В. ……9

Аналіз систем забезпечення електричною енергією підприємства харчової промисловості
Кочергін П.С. ……..……15

Оцінка ефективності функціонування energy hub у вітчизняних мережах
Тимчук С.П. ……21

Автоматизована система контролю та управління електроспоживанням
Дехтярук Д.М. ……27

Використання водневих комірок в системах електропостачання
Коценко О.А. ……...…31

Захист об`єктів системи енергопостачання від негативного впливу зовнішнього середовища
Остапчук О.І. …….……35

Зменшення втрат потужності в екранах кабелів в мережі напругою 20 кВ шляхом вибору оптимального способу їхнього заземлення
Прокопець Ю.С. ……40

Підвищення надійності електропостачання об’єктів у сфері благоустрою населених пунктів
Тимощук В.В. ……45

Вибір потужності ВЕУ для комбінованої системи електропостачання автономного об'єкта на основі статистичних даних швидкості вітру
Тиндирика Ю.О. ……52

Підвищення ефективності моніторингу споживання енергетичних ресурсів бюджетної сфери
Голуб Є.С. ……57

Мультиагентні системи керування споживачами електроенергії в локальних інтелектуальних електромережах
Таргонський В.А. ……...…61

Порівняльний аналіз можливостей використання освітлювальних систем з різними за типами джерелами світла
Бондарчук Б.А. …….…67

Моделі розрахунку надійності розподільних електричних мереж
Сафонік В.М. ……...…72

Оцінювання достовірності інформації і розрахунків режимів розподільних електричних мереж
Мартинюк А.Ю. ……...…..80

Методика визначення бальної системи у випадку застосування методу експертних оцінок для порівняльного аналізу систем АСКОЕ
Нагірич В.В. ……..…..85

Вплив електромобілів на добові графіки навантажень
Рудницький С.О. ……90

Спосіб ідентифікації наявності спотворень параметрів якості електричної енергії
Ращенко О.М. ……96

Економічне обгрунтування вибору перетинів електричних мереж
Сич Д.Є. ……102

Розрахунок втрат електричної енергії на основі методу балансових зон
Баляс Р.М. ……..…107

СЕКЦІЯ № 2. СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ.

Проблеми підвищення ефективності споживання електроенергії пивоварних підприємств України та методи їх вирішення
Нікулін О.А. ……..111

Сучасні компоненти комплексної компенсації реактивної потужності на промисловому підприємтсві в мережі 0.4 кВ
Лазарєв В.В. …….…..…132

Вибір оптимальної конфігурації сонячної електростанції
Кожушко Я.М. …….….140

Система енергетичного менеджменту електропередавальної організації
Гаврик Н.В. ……..148

Моніторинг енерговикористання газових печей
Динька Н.Ю. ……153

Аналіз стану питання та проблеми підвищення ефективності управління режимами електроспоживання промислового підприємства
Парфененок Д.Ю. ……160

Математичні методи прийняття багатокритеріальних рішень в системі теплопостачання птахофабрики
Соколенко О.О. ……167

Управління режимами генерування електроенергії сонячними електростанціями
Коломієць В.П. ……179

Управління ефективністю використання електроенергії у споживачів
Віюк О.М. ……..……186

Основні технічні рішення реалізації системи комерційного обліку електроенергії сонячної електростанції
Саблін О.Л. ……192

Контроль подачі повітря для підвищення рівня енергоефективності в системах примусової вентиляції
Федорчук І.І. ……197

Прогнозування динаміки попиту на електричну енергію для побутових споживачів
Романюк І.О. ……203

Підвищення ефективності електропостачання житлових будинків (на прикладі м. Славутич)
Моташко А.М. ……208

Підвищення рівня енергоефективності системи постачання стисненого повітря
Попович М.П. ……211

СЕКЦІЯ № 3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ.

Підвищення енергоефективності системи зворотного водопостачання ДТЕЦ (ТОВ «ЕВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ)
Бідний А.С. ……218

Підвищення енергоефективності закладу освіти шляхом реалізації проекту термомодернізації та впровадження інструментів моніторингу та управління енергоносіями
Богоста С.В. ……..224

Модернізація системи теплопостачання для підвищення рівня енергоефективності середньої загальноосвітньої школи №166
Вдовиченко М. Ю. …….…..229

Використання сонячних фотоелементів для підвищення рівня енергоефективності навчального закладу № 477.
В'юхов А.А. …….226

Модернізований регенератор для двигуна стірлінга УДС-1 у сонячній енергетичній установці
Дударчук Д.В. ……..…244

Підвищення ефективності енергоспоживання багатоповерхової житлової будівлі з реконструкцією та вибором обладнання індивідуального теплового пункту
Іщук О.М. ……..249

Дослідження варіантів організації ефергоефективної вентиляції шкільного закладу

Кошкіна Т.М. ……255

Використання теплового насосу для підвищення рівня енергоефективності спеціалізованої школи І ступеня № 324
Крівуца А.С. ……..……260

Підвищення енергетичної ефективності багатоповерхової житлової будівлі з визначенням економічного ефекту від термомодернізації
Лисенко Г.А. ……267

Підвищення рівня енергоефективності громадської будівлі за рахунок модернізації інженерних систем
Лутченко О. ……272

Використання примусової системи вентиляції для підвищення рівня енергоефективності ліцею «Престиж»
Наумчук О.С. …….…..……280

Дослідження стану комфортності в приміщеннях школи
Святний Л. О. ……..……285

Визначення споживання первинної енергії на потребу опалення житлових приміщень
Терезюк А.М. ……293

Підвищення рівня енергоефективності Технічного ліцею НТУУ «КПІ» за рахунок використання рекуперації повітря.
Гаврилюк Д.С. …….…299

СЕКЦІЯ № 4. МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ.

Розробка та обґрунтування параметрів системи діагностування синхронного генератора на базі двигуна внутрішнього згоряння
Вовчук Д.І...……...……305

Імплозійна дія на при вибійну зону нафтової свердловини
Григоренко М.В……...….311

Обгрунування параметрів системи водовідливу з властивостями утилізації теплової енергії води в умовах станції метрополітену
Дацьо Ю.Ю……..……..312

Обґрунтування параметрів машини для сухого збагачення корисних копалин
Квіщук А.В…….……318

Технологія електрогідравлічної піскоструминної перфорації обсадної колони нафтової свердловини
Мельничук М.В……323

Розробка та обґрунтування параметрів ротору прохідницького щита на дільниці Київського метрополітену

Руденко В.Ю……324
Обґрунтування параметрів адаптивної системи катодного захисту трубопроводу із живленням від автономної сонячної електростанції
Степаненко В.В……329

Обґрунтування параметрів адаптивного зубця розпушувача
Шокал Я.І……332

Імпульсний вплив з поверхні на при вибійну зону нафтової свердловини
Щербина Т.В……335

СЕКЦІЯ №5. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Вторинна переробка шлаків на АТ «Нікопольский завод феросплавів»,
Недава А.С. ……336

Оцінка впливу фенолів на гідробіологічне середовище
Чепель А.Є. …… 339

Одоризація природного газу на ГРС України
Ярмошик І.М. ……341

Застосування пластику в якості сповільнювача в підкритичних ядерних установках, керованих прискорювачами
Онисимчук Т.М. ……344

Рекуперація теплоти відхідних газів ливарного виробництва
Гайдіна А.В. ……350

Біоіндикаційна оцінка якісної і кількісної складової природно-техногенної безпеки водних екосистем
Литвиненко А.В. ……355

Вдосконалення системи екологічного менеджменту на підприємствах харчової промисловості
Савченко А.Е. ……358

Застосування мікробіологічного методу для очищення стічних вод, які містять гексаметилендіамін
Литвиненко В.А. ……361

Використання сіна та інших відходів сільського господарства для виготовлення паперу
Сокур В.Г. ……363

Додавання мінеральної вати до складу будівельних матеріалів як засіб захисту від електромагнітних полів
Мельник А.М. ……364

Синтез моделі коефіцієнта використання в часі верстатів типу СБШ
Ткаченко М.О. ……367

Утилізація парів бензину установками компресійного типу
Ткаченко В.В. …….370

Процеси деревообробки із зменшенням викидів формальдегідів у атмосферне повітря
Борисюк І.М. ……374

Рекомендації щодо зменшення впливу важких металів на навколишнє середовище
Колочинська В.В. ……376

Створення та аналіз сорбентів на основі глини для очищення стічних вод від іонів важких металів
Мочкош К.Р. ……380

Застосування вітросилової установки для отримання «зеленої» енергії та локального водопостачання
Назарова В.С. ……387

Мондик А.В.
Кафедра електропостачання

ШЛЯХИ ТА СУЧАСНІ ЗАСОБИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ 20 КВ

У статті представлено дослідження доцільності використання сучасних засобів щодо підвищення надійності повітряних ліній напругою 20 кВ. Описуються можливі варіанти використання різних засобів підвищення надійності, з яких можна виділити: реклоузер та металеву опору з гнутого прорфілю. Розглянуто головні переваги даних засобів, а також їх технічні параметри. Проаналізовано світовий досвід використання високоінтелектуальних засобів щодо підвищення надійності повітряних лінії напругою 20 кВ.

Ключові слова: *повітряна лінія електропередачі,підвищення надійності,показник надійності, реклоузер, роз'єднувач, ізолятор.*

The article presents the study of expediency of using modern means to increase the reliability of 20 kV overhead lines. The possible variants of use of various means of increasing reliability, from which one can distinguish: the recloser and the metal resistance from the bent propagation are described. The main advantages of these tools, as well as their technical parameters are considered. The world experience of use of high-intellectual means for increasing the reliability of the air lines with voltage of 20 kV is analyzed.

Key words: *power transmission line, reliability increase, reliability index, recloser, disconnector, insulator.*

Вступ. На сьогоднішній день електричні мережі України базуються на застарілій конструкції середини 20 століття. Це одна з основних причин складності розширення мережевої інфраструктури для задоволення постійно зростаючих енергетичних потреб. У наступному десятилітті очікується, що попит на електроенергію зросте на 19%, а існуюча мережева інфраструктура має можливість збільшити свою продуктивність лише на 6% . З цих причин відключення споживачів і перебої електропостачання – проблеми для більшості електричних мереж . Енергосистема - це сукупність електростанцій-генераторів, споживачів і мереж, з'єднаних між собою і пов'язаних загальним режимом. Ось якраз саме дотримання режиму опинилося під загрозою, в зв'язку дизбалансом генерації і попиту, особливо в перебігу однієї доби. Графік споживання електроенергії дуже нерівномірний. Причин тому кілька: зростання використання з боку непромисловців, впровадження відновлювальних джерел електроенергії. Однією з основних проблем української енергосистеми є дефіцит маневрених потужностей, що дозволяють компенсувати перепади навантаження - їх необхідно як мінімум 15% від загальної встановленої потужності, при цьому наша країна зараз має в своєму розпорядженні всього 9%, оптимальний же показник досягає 20%.

Найчастіше проблема надійності в розподільних мережах вирішувалася за рахунок розукрупнення ліній з будівництвом нових підстанцій, а також будівництвом нових ліній, розукрупнювати існуючі. Цей спосіб досить ефективний технічно, проте вимагає значних капітальних витрат на етапі будівництва і поточних витрат на етапі експлуатації. А інвестицій в їх реконструкцію і розвиток не вистачає.

Мета та завдання. Метою роботи є обґрунтування доцільності використання сучасних засобів щодо підвищення надійності повітряних ліній напругою 20 кВ.

Матеріал і результати досліджень. Дані апарати дають змогу не тільки для автоматичного управління та моніторингу режимами лінії , а також підвищують рівень

надійності, що дає можливість відповідати вимогам щодо надійності повітряних ліній, у відповідних нормативних документах.

Наступним етапом є визначення шляхів та засобів підвищення надійності повітряної лінії напругою 20 кВ.

Принципи побудови сучасних і перспективних систем електропостачання, методи реконфігурації схем та засоби керування їх режимами, в тому числі й мереж 20 кВ мають відповідати рівню і тенденціям розвитку світової електроенергетики, міжнародній інтеграції та напрямкам, наміченим енергетичною стратегією України . У цих умовах актуальною є задача підвищення надійності розподільних електричних мереж 20 кВ при їх реконструкції і технічному переозброєнні з мінімізацією витрат на здійснення цих заходів.

Згідно НКРЕКП визначило основні показники надійності електропостачання для електророзподільних компаній: індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в системі (*SAIDI*), індекс середньої частоти довгих перерв в електропостачанні в системі (*SAIFI*) та розрахунковий обсяг недовідпущеної електроенергії (*ENS*), а також процедуру збору первинної інформації, її обробки та надання звітності до НКРЕКП з метою моніторингу даних показників.

Існують два напрямка підвищення надійності стосовно засобів надійності:

- засоби зменшення часу відключення та включення ;
- засоби зниження пошкоджувальності.

До першого напрямку можна віднести наступні засоби:

- лінійний роз’єднувач типу SZ24 марки ENSTO;
- секціоналайзер типу ZW32, марки JUBANG;
- реклоузер ACR 240 марки SICAME.

Досить ефективним способом підвищення надійності є секціонування за допомогою лінійних роз’єднувачів нового покоління типу SZ24 . Суть такого секціонування полягає в тому, що під час безструмової паузи за допомогою комутаційних апаратів будуть відокремлюватись окремі ділянки мережі (за аналогією з роботою відокремлювачів в мережах напругою 35—110 кВ). Причому виділення ділянок має починатися після другого циклу автоматичного повторного ввімкнення (АПВ), оскільки перший цикл АПВ дозволяє усунути основну масу нестійких пошкоджень .

Роз'єднувач розрахований на напругу до 24 кВ і номінальний струм 400 А. Струм односекундного короткого замикання 10 кА. Струм відключення з переважаючим активним навантаженням 12,5 А. Струм відключення для повітряних мереж 10 А. Струм відключення для мереж з кабельними вставками 10 А. Мінімальна відстань між роз'єднувачами суміжних фаз після їх установки - не менше 800 мм.

Особливість впровадження реклоузера полягає в тому, що система виконує свої основні завдання самостійно - без координації з центру. Телемеханіка в цьому випадку не бере участь у виконанні основних функцій, здійснюючи лише допоміжні (оперативне управління, контроль параметрів мережі і т.д.). Тим самим реалізується одна з переваг такого підходу: виключення впливу людського фактора, оскільки відключення місця короткого замикання і локалізація пошкодження відбуваються автоматично. Час відновлення живлення на непошкоджених ділянках мережі скорочується до секунд, як наслідок знижується ризик нанесення шкоди споживачам електричної енергії .

Дані інтелектуальні багатофункціональні апаратні засоби - сукупність вакуумних комутаційних модулів з вбудованою системою вимірювання струмів і напруг і шаф управління з мікропроцесорної системою захистів і автоматики, які є одними з основних елементів системи автоматизації розподільних електричних мереж.

Реклоузер розрахований на напругу до 24 кВ і номінальний струм 600 А. Струм односекундного короткого замикання 10 кА. Струм відключення з переважаючим активним навантаженням 12,5 А. Струм відключення для повітряних мереж 10 А.

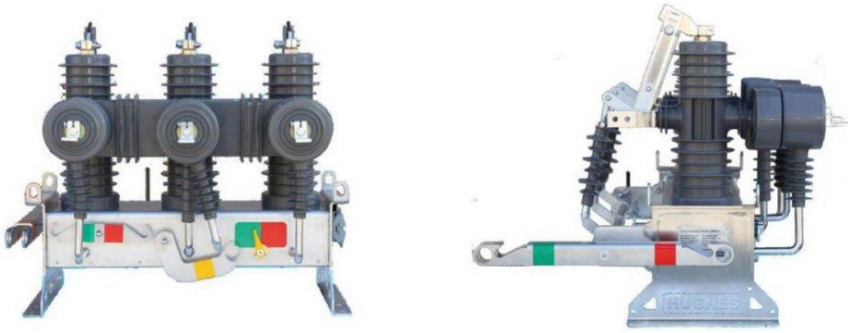


Рисунок 1. Реклоузер ACR 240

Дія секціоналайзеров заснована на відключення струму к.з. в безструмову паузу на певному циклі спрацьовування АПВ найближчого (в напрямку джерела живлення) вимикача потужності або реклоузера. Важливим елементом секціоналайзера є логічний пристрій, який аналізує режим мережі і генерує сигнал на відключення пристрою, з огляду на наступні фактори.

Розглянемо лінію розподільної мережі, в якій послідовно розміщені реклоузер, гідравлічний секціоналайзер і запобіжник. У разі пошкодження за запобіжником (тобто з боку споживача) через всі три апарати протікає струм к.з. Секціоналайзер при цьому фіксує протікання струму, що перевищує встановлену межу (зазвичай становить 160% від номінального значення) і відраховує перший цикл АПВ. Реклоузер спрацьовує відповідно до "Швидкої кривої" його ВТХ, тим самим захищаючи запобіжник. Після повторного включення на стійке к.з. описана вище процедура повторюється і секціоналайзер відраховує другий цикл АПВ. Після ще одного включення реклоузера на стійке пошкодження він відключається відповідно до "Повільної кривої" його ВТХ, що призводить до перегорання запобіжника. При цьому через секціоналайзер знову таки протікає струм, значення якого вище порогового значення [7].

Секціоналайзер розрахований на напругу до 24 кВ і номінальний струм 600 А. Струм односекундного короткого замикання 10 кА. Струм відключення з переважаючим активним навантаженням 12,5 А. Струм відключення для повітряних мереж 10 А.

До засобів зменшення пошкоджувальності лінії можна віднести:

- полімерний ізолятор ШП-20 марки AIZ;
- провід СІП- 3;
- металева опора з гнутого профілю марки OMEZA.

Полімерні ізолятори використовуються як ізолюючі конструкції на повітряних лініях електропередач , у розподільних пристроях електростанцій і підстанцій змінного струму, у контактних мережах змінного і постійного струму електрифікованих залізниць, у контактних мережах міського електротранспорту, напругою понад 1 000 В, частотою 50 Гц при температурі навколишнього повітря від мінус 60°С до плюс 50°С, розташованих на висоті до 3500 м над рівнем моря, в районах з I - VII ступенем забруднення атмосфери (СЗА).

Полімерні штирові ізолятори ШП-20 мають високі з електричні характеристики при високій забрудненості поверхні, збільшену довжину шляху витоку. Вони забезпечують надійність роботи мереж в умовах впливу вибухової хвилі, механічного впливу, забезпечують непробивність ізоляції електричними імпульсами навіть в умовах прямого грозового впливу.

Металеві опори ПЛ з гнутого профілю застосовуються при прокладанні ліній з напругою 6/10/20/35 кВ. Монтаж опор ЛЕП такого типу дозволяється в I-VII ожеледно-вітрових районах з тиском вітру до 1000 Па і товщиною обмерзання до 25мм.

Рисунок 2. Металева опора з гнутого профілю в полі

Опори з гнутого профілю мають цілу низку техніко-експлуатаційних переваг:

- збільшені терміни експлуатації використання оцинкованих сталевих конструкцій можливо протягом 50-70 років;
- збільшені габаритні прольоти довжиною 50-95 метрів, при якій, за рахунок механічної міцності, знижується металоємність;
- невелика маса самих опор, завдяки якій істотно скорочуються витрати на транспортування, розвантаження, навантаження і монтаж обладнання;
- високі показники стійкості до пошкоджень, завдяки чому знижується аварійність на лініях;
- можливість швидкого розбирання і монтажу опор на новому місці.

Не можна не відзначити, що використання сталевих опор з металевого профілю дозволяє скоротити витрати на технічні обслуговування комунікацій і запобігти аварійних відключень високовольтних ліній.

СІП-3 використовується при монтажі повітряних ЛЕП. Кабель передає і розподіляє електричну енергію між споживачами, параметри змінного струму в мережі повинні відповідати характеристикам 20 кВ (35 кВ максимум), 50 Гц. Провід самонесучий СІП-3 може монтуватися в межах міста, сільської місцевості, незаселених ділянках, де потрібна прокладка магістралей значної протяжності з мінімальними втратами напруги.

СІП-3 характеризується відсутністю нульової жили, при цьому він може монтуватися без додаткових підтримуючих конструкцій, таких як трос, ванти, розтяжка. До переваг провода відносяться:

- висока пожежна безпека;
- можливість проведення ремонту на працюючій магістралі;
- можливість монтажу в умовах міста при відповідність вимогам безпеки і будівництва;
- надійність виробу, безперебійна робота споживачів;
- простота догляду і обслуговування;
- висока швидкість проведення ремонтних робіт;
- скорочення втрат напруги на трасах;

Висновки. Надійність розподільних електричних мереж досягається не тільки використанням сучасних конструктивних рішень, але і можливостями управління нею в ремонтних режимах і в режимах, наступають після виникнення стійких ушкоджень, що може бути досягнуто застосуванням автоматичного секціонування і резервування ПЛ-20 кВ.

Децентралізований (автоматичний) підхід до управління аварійними режимами забезпечує повну незалежність роботи пунктів секціонування від зовнішнього управління. Кожен окремий апарат, будучи інтелектуальним пристроєм, аналізує режими роботи електричної мережі і автоматично виробляє локалізацію місця пошкодження і відновлення електропостачання споживачів непошкоджених ділянок мережі.

Запропоновані засоби підвищення надійності (ЗПН) , а також інтелектуальні апарати для зменшення пошкоджувальності лінії та зменшення тривалості відключення. Дані апарати дають змогу не тільки для автоматичного управління та моніторингу режимами лінії , а також підвищують рівень надійності, що дає можливість відповідати вимогам щодо надійності повітряних ліній, у відповідних нормативних документах.

Список використаної літератури

1. Крилов С.В. Технічний стан повітряних ліній 10 кВ і вище. методи обстеження // Новини електротехніки. - 2006. - № 1 (37). - С. 60-63.

2. ГОСТ 13109. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологиии сертификации; М.: Издательство стандартов, 1998. - 31 с.

3. SHU Dong-sheng, QIN Ru-jing, JIANG Ming-yue, WANG Tian-hua. Thediscussionofrisingvoltageto 20kV inurbandistributionnetwork// IEEE ElectricityDistribution, 2008. CICED 2008. ChinaInternationalConferenceon. – 2008. –P. 1-5.

4. Постанова НКРЕКП від 25.05.2017 № 685. Режим доступу: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Materialy_zasidan/2017/traven/25.05.2017.

5. Застосування роз’єднувачів нового покоління у схемах автоматизованого секціонування розподільних мереж напругою 6—10 кВ / [Р. О. Буйний, І. В. Діхтярук, Ю. О. Калюжний, А. О. Квицинський] // Енергетика та електрифікація. — 2013. — № 4. — С. 34—40.

6. Максимов Б.К., Воротніцкій В.В. Оцінка ефективності автоматичного секціонування повітряних розподільних мереж із застосуванням реклоузера з метою підвищення надійності електропостачання споживачів. М .: Таврида Електрик, 2006.

7. Попов, В. А. Питання оцінки рівня надійності повітряних ліній 6,10 кВ в енергосистемах України [Текст] / В. А. Попов, В. В. Ткаченко, Ю. Д. Манойло // Промелектро. - 2010. - № 5. - С. 25-32.

8. Чепкасов М.В. Полімери або фарфор? вибираємо ізолятор [Електронний ресурс] / М.В. Чепкасов, Г.Д. Вишегородцева // Режим доступу: http://specelek.ru/node/37.

References

1. Krylov SV Technical condition of air lines 10 kV and above. survey methods // Electrical Engineering. - 2006. - No. 1 (37). - P. 60-63.

2. GOST 13109. Interstate standard. Electric power. Compatibility of technical means is electromagnetic. Standards of quality of electric energy in general power supply systems. - Minsk: Mezhgost. Standardization, Metrology and Certification Board; M .: Publishing house of standards, 1998. - 31 p.

3. SHU Dong-sheng, QIN Ru-jing, JIANG MING-YUE, WANG TIAN-HUA. Thediscussionofrisingvoltageto 20kV inurbandistributionnetwork // IEEE ElectricityDistribution, 2008. CICED 2008. ChinaInternationalConferenceon. - 2008 -P 1-5.

4. Resolution NKREKP of 25.05.2017 № 685. Access: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Materialy_zasidan/2017/traven/25.05.2017.

5. Application of new generation disconnectors in the schemes of automated partitioning of distribution networks with voltage 6-10 kV / [R. O. Buyny, I. V. Dichtyaruk, Yu. O. Kalyuzhny, A. O. Kvitsinsky] // Power engineering and electrification. - 2013. - № 4. - P. 34-40.

6. Maksimov B.K., Vorotnitsky V.V. Estimation of efficiency of automatic sectioning of air distribution networks with the use of a recloser in order to increase the reliability of electricity supply to consumers. M.: Tavrida Electric, 2006.

7. Popov, VA Problems of estimation of reliability of 6,10 kV air lines in power systems of Ukraine [Text] / VA Popov, VV Tkachenko, Yu D. Manoylo // Prolectro. - 2010. - No. 5. - P. 25-32.

8. Chapkasov MV Polymers or porcelain? select insulator [electronic resource] / M.V. Chapkasov, GD Visgohertsev // Access mode: http://specelek.ru/node/37.

УДК 621.311

Кочергін П.С.
Кафедра електропостачання

АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ ПІДПРИЄМСТВА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Анотація: Стаття присвячена аналізу методів підвищення надійності енергозабезпечення підприємства харчової промисловості на прикладі підприємства з виготовлення м'яких кондитерських виробів недовготривалого терміну зберігання. Визначено принципи застосування та наведено приклади реалізації технічних заходів підвищення надійності електропостачання об'єктів харчової промисловості у тому числі з використанням відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Це поєднує у собі безперервне постачання електроенергії до підприємства та розвиває альтернативну електроенергетику України. Розглянуті принципові будови автономних локальних систем електроживлення. Оцінено можливість застосування цих заходів в умовах географічного розташування об'єктів та вимог ринку електричної енергії.

Ключові слова: підприємство харчової промисловості, електроенергія, надійність, енергопостачання, системи електроживлення, відновлювальні джерела енергії, локальна система електрозабезпечення.

Abstract. The article is devoted to the analysis of methods of increasing the reliability of energy supply of the food industry factory on the example of a company producing soft confectionery products of short-lived shelf life. The principles of application are given and examples of implementation of technical measures to increase the reliability of electricity supply of objects of the food industry, including using renewable energy sources (RES), are given too. This combines continuous supply of electricity to the factory and develops renewable energy in Ukraine. The principles of construction of autonomous local power supply systems are considered. The possibility of using these events in the conditions of geographic location of objects and requirements of the market of electric energy are estimated.

Key words: food industry factory, electricity, reliability, energy supply, power supply systems, renewable energy sources, local power supply system.

Загальна постановка проблеми

Харчова промисловість являє собою стратегічно важливою галуззю національного виробництва, яка впливає на економічний добробут України та ефективний розвиток економіки країни [7].

Таблиця. Індекси промислового виробництва для окремих підгруп харчової промисловості (% до попереднього періоду) [1]

Рік	2013	2014	2015	2016	2017
Виробництво хліба, хлібобулочних і борошняних виробів	96,5	89,5	86,9	97,7	96,9

Виробництво хліба та хлібобулочних виробів; виробництво борошняних кондитерських виробів, тортів і тістечок нетривалого зберігання	**93,6**	**93,5**	**91,1**	**96,2**	**91,3**
Виробництво сухарів і сухого печива; виробництво борошняних кондитерських виробів, тортів і тістечок тривалого зберігання	**100,8**	**82**	**79,9**	**100,5**	**105**

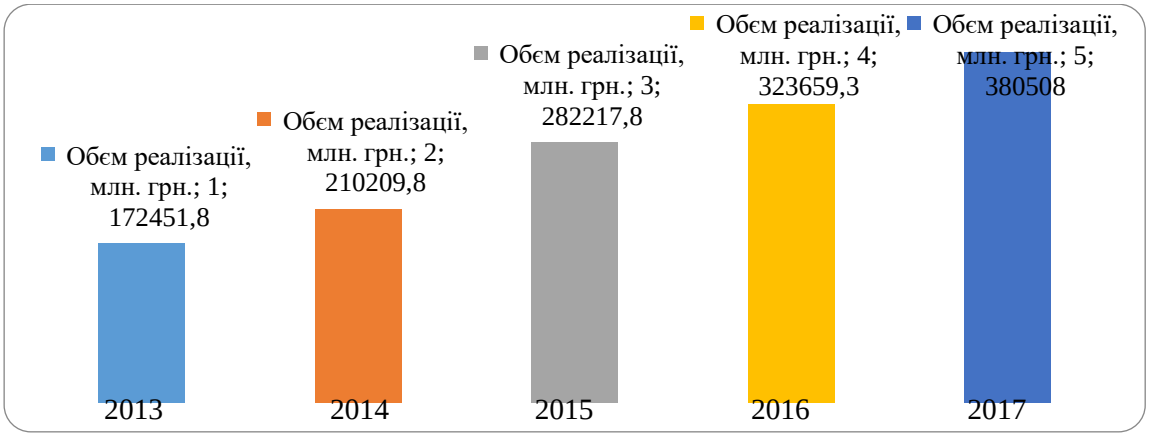


Рисунок. Об’єм реалізації продукції харчової промисловості по роках (млн. грн.) [2]

Як бачимо, харчова промисловість з року в рік нарощує обсяги виробництва, але ринок харчових продуктів, у тому числі кондитерських виробів, вимагає введення різноманітності у асортимент продукції, і як висновок - пошуку виробниками нових технологій та використання нових продуктів. Значна кількість процесів виробництва м’яких кондитерських виробів – технологічні, фізико-механічні та біохімічні мають певні особливості щодо протікання процесів, для реалізації яких використовується електрична енергія. Особливістю цих сучасних технологічних процесів в харчовій промисловості є необхідність забезпечення їх безперервності, оскільки навіть нетривалі порушення або відключення від мережі можуть призвести до розладу складного технологічного процесу та серйозних матеріальних збитків, і як наслідок, це вимагає створення умов для надійного та безперервного постачання електричної енергії. При цьому слід враховувати, що надійність системи електропостачання суттєво залежить від будови її схеми, об’єму акумульованої потужності і надійності окремих елементів з урахуванням їх перевантажувальних характеристик.

З іншого боку зростання вартості електричної енергії актуалізує питання пошуку можливостей використання відновлювальних джерел для забезпечення надійного енергозабезпечення із урахуванням специфіки кондитерської та хлібопекарської індустрій. Актуальність впровадження автономних систем для забезпечення якості електроенергії та надійного електричного живлення у харчовій промисловості ґрунтується на вивченні якісних та кількісних потоків електроенергії у технологічних процесах харчової промисловості, їх оптимізації з метою створення таких методів управління ефективністю та надійністю

системи електропостачання, які б враховували особливості та специфіку функціонування споживачів кондитерської індустрії і при цьому гарантували:

- задоволення попиту на споживання електричної енергії з метою постійного зростання продуктивності технологічних процесів та, як наслідок, корисного виробітку продукції виробництвом;
- підвищення ефективності виробництва харчової промисловості шляхом управління надійністю електропостачання та якістю електричної енергії;
- безаварійну роботу автоматизованих систем у важливих технологічних процесах, порушення яких може привести до виготовлення неякісної продукції, погіршення умов зберігання продукції та сировини, затримки транспортування напівфабрикатів, упаковки, сировини, людей і т.д.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питанням забезпечення надійності постачання енергетичних ресурсів на підприємства економіки країни, у тому числі харчової промисловості, присвячено значна кількість наукових публікацій. Водночас, більшість з них стосується надійності електропостачання в контексті запровадження на підприємстві системи контролю електроспоживанням, а також використання можливостей відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії.

Визначається, що у першу чергу, короткочасне або тривале порушення електроживлення виробництва кондитерської промисловості може призвести до втрат та серйозних матеріальних збитків [3]. Особливо це питання загострюється в умовах використання в технологічних процесах продуктів, що швидко псуються.

Принциповим, є визначення ознак та особливостей технологічних процесів кондитерської індустрії, для створення концепції вирішення вищезазначених задач, проведення аналізу та оцінки впровадження різних заходів. Сучасним ефективним засобом вирішення проблеми надійності електропостачання і якості електроенергії для відповідальних споживачів є створення автономних систем електроживлення різних ступенів складності та структур [4].

Для вибору оптимального варіанта системи електропостачання важливим є вирішення трьох конкретних технічних та технічно-економічних задач, а саме визначення передбачуваних варіантів системи електроживлення; визначення капітальних інвестицій і річних експлуатаційних витрат, що відповідають кожному з варіантів автономних системи електроживлення; оцінки збитків підприємства-споживача від перерви в електропостачанні в залежності від надійності живлення [5].

Нажаль, дотепер не знайшло, у науковій літературі, відображення питання функціонування підприємств харчової промисловості, у тому числі підприємств з виготовлення м’яких кондитерських виробів недовготривалого терміну зберігання, в умовах ринку електричної енергії. Не розкриті концепції щодо автономних локальних систем електрозабезпечення підприємства та систем резервного живлення на основі ВДЕ. Також залишилося поза увагою питання створення активного споживача на базі такого підприємства, тобто споживача, який має можливість самостійно генерувати та зберігати енергію [8].

Формулювання цілей статті

Метою даної публікації є провести аналіз та визначити принципи застосування та побудови технічних заходів та засобів підвищення надійності електропостачання об’єктів

харчової промисловості у тому числі з використанням ВДЕ. Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені такі задачі:

- проведення аналізу існуючої системи електропостачання підприємства з виготовлення м'яких кондитерських виробів недовготривалого терміну зберігання та визначення можливих шляхів її модернізації для вирішення задачі підвищення надійності електропостачання з використанням технічних засобів;
- виконання дослідження системи обліку електричної енергії для встановлення можливості своєчасного моніторингу споживання/ виробництва електроенергії;
- дослідження можливості застосування ВДЕ в умовах географічного розташування об'єктів та вимог ринку електричної енергії.

Виклад основного матеріалу дослідження

Система електропостачання більшості підприємств з виготовлення м'яких кондитерських виробів недовготривалого терміну зберігання представлена невеликою кількістю малопотужних трансформаторних підстанцій, а споживання електричної енергії здійснюється на рівні 0,4 кВ. При цьому, задекларований рівень надійності електропостачання становить – II категорія, а загальний річний обсяг споживання електричної енергії становить 2 000 000 кВт·год.

Вирішення питань підвищення надійності електропостачання таких об'єктів традиційно вирішувалося з використанням резервування найбільш важливих технологічних процесів. Із традиційних заходів підвищення надійності електроживлення можна розглядати накопичування електричної енергії, взятої із мережі, у акумуляторних батареях [6] через інвертор. Тобто розглядати процес відбору електричної мережі від центральної мережі, коли вона є, накопичування її у акумуляторних батареях (АБ) та використання електроенергії у той момент – коли можливості взяти її, окрім як від своєї автономної системи електроживлення, немає. Такий варіант найбільш універсальний та практичний, а саме: тип акумуляторів можна підібрати до різних характеристик нерівномірності електричних навантажень, кількістю встановлених комірок можна регулювати об'єм електроенергії, яку можна зберегти, та як наслідок - тривалість резервного живлення. Для зазначених об'єктів об'єм такої акумуляції може становити 0,5% від загального річного обсягу споживання електроенергії або забезпечити автономне живлення від акумуляторних батарей на протязі двох діб. При цьому вартісний показник реалізації такого заходу становитиме 200 000$.

Така локальна система буде складатися із елементів системи автоматичного введення резерву (АВР) [11], а саме АВР типу пріоритету першого введення: при припиненні електропостачанні підприємства від першого вводу (мережі), відбудеться перемикання на другий ввід (локальну резервну мережу об'єкту), а як тільки на першому вводі з'являється напруга – відбувається повернення у режим споживання від центральної мережі міста.

Можна розглянути варіанти із використання нетрадиційних джерел енергії, а саме: сонячні панелі або вітрогенератори, за умови що для цього є географічні або фізичні можливості. Тобто створити автономну систему електроживлення підприємства на основі або сонячної електростанції, панелі якої розміщенні під прямими променями сонця на вільних площах, або вітряної електростанції, вітрогенератори якої будуть працювати у найвищих точках території підприємства, або на його дахах. У свою чергу, вироблену електроенергію від цих установок - накопичувати у акумуляторних батареях, а коли можливість від основної мережі живити підприємство відсутня – покривати попит у електроенергії вже закумульованою.

За умови наявності на території підприємства, або неподалік від неї, річки з помірною течією – можна розглядати варіант накопичування для власних потреб електричну енергію

генеровану від гідроелектростанції (ГЕС). Водночас в умовах підприємства з досить високою кількістю використання водних ресурсів, доцільним є розгляд формування штучних водосховищ із міні гідроелектростанцією. Встановлення гідротурбіни на вертикальні трубопроводи стоків із мийних приміщень виробництва теж можна розглядати як варіант нетрадиційних джерел генерування електроенергії.

Отже, до складу усіх вищеперерахованих варіантів локальних систем електрозабезпечення (ЛСЕ) повинні входити такі основні елементи [12]: джерело енергії (мережа, вітрогенератор, сонячні панелі, гідротурбіна), лінії передачі постійного та змінного струму, інвертор, контролер заряду, інтегровані у систему електроживлення пристроїв контролю показників якості електроенергії, автоматизовані системи управління автономних систем електроживлення та обліку електроенергії, і як вже зазначалося – акумуляторних батарей.

Щодо автономних локальних систем енергозабезпечення на основі ВДЕ, то за умови коли акумуляторні батареї повністю заряджені, можна надлишок генерованої електроенергії віддавати у мережу за відповідним тарифом, а так як найближчий споживач це наш об’єкт, то і споживати її буде підприємство, тим самим мати фінансову вигоду від продажу електроенергії на оптовому ринку електричної енергії України за «зеленим» тарифом [9].

Також, як можливість практичної реалізації вирішення проблем порушення електроживлення, раціонально вважати роботу виробництва кондитерської індустрії від генераторів резервного живлення (дизельні електростанції) із панеллю автоматичного запуску. Вибір таких генераторів залежить від пікового споживання підприємством, кількістю дозволених викидів у навколишнє середовище на встановленій території, класом напруги генератора, номінальним та максимальним струмами та ін. Щодо існуючого підприємства, то виходячи з пікового споживання за годину у розмірі 450 кВт – підійде дизельна електростанція потужністю 500 кВт, вартістю 120 000$.

Закон України «Про ринок електричної енергії» змінив загальне бачення споживача електричної енергії, а саме надав можливість виступати на ринку у якості як споживача енергетичних ресурсів, так і активного учасника усіх процесів на ринку електричної енергії. Розглядаючи підприємства з виготовлення м’яких кондитерських виробів недовготривалого терміну зберігання як активного споживача на часовому інтервалі, який відповідає оперативній діяльності (умовно, при плануванні до одного року), можна звести задачу до мінімізації функції операційних витрат [10] з урахуванням особливостей підприємства, яка враховує:

- режими споживання електричної енергії підприємством, а також генерації електричної енергії для власних потреб та для передачі в мережу;
- вартісних показників на ринку електричної енергії, які будуть застосовуватися для споживання та генерації електричної енергії;
- витрат, пов’язаних з управлінням системою, а також запусками та зупинками генеруючого обладнання, відхиленнями від заявленого профілю споживання електричної енергії.

Висновки

Виходячи з важливості безперервного електрозабезпечення підприємства харчової промисловості, а саме підтримання усього технологічного циклу виробництва кондитерських виробів недовготривалого періоду зберігання, запропоновані узагальнені функціональні структури ЛСЕ з підсистемами безперервного, гарантованого, резервного електроживлення та забезпечення якості електроенергії.

Безумовно, наведені моделі автономних мереж електрозабезпечення мають місце у впровадженні на підприємствах та інтегровані у об’єднану енергетичну систему України. Із

підвищенням цін на паливно-енергетичні ресурси (вугілля, газ) та із їх скороченням та обмеженою кількістю та з метою скорочення викидів шкідливих речовин та вихлопних газів, перспектива впровадження таких локальних мереж електрозабезпечення у ближчому майбутньому, з метою підвищення надійності енергозабезпечення, звісно є.

Список використаних джерел

1. Інформація Держстату України «Індекси промислової продукції» (2013-2017 рр.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua
2. Інформація Держстату України «Об'єми реалізації промислової продукції за видами діяльності» (2013-2017 рр.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua
3. Методи оцінки збитку на підприємствах при виході з ладу електротехнічного обладнання. Монографія / Яковлєв А.І., Мозенков О.В., Кобєлєв В.М. - Харків: ВВП «Контраст», 2012. – 120 с.
4. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение /Л.Л. Товажнянский, С.И. Бухкало, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин. – Учебное пособие. – Харьков: НТУУ «ХПИ», 2005. – 460 с.
5. Підвищення надійності системи електропостачання ТОВ «МОДУЛЬ-Україна» / Ткач М.В. – Автореферат дипломної роботи. – Тернопіль: «ТНТУ ім. І.Пулюя», 2018. – 7 с.
6. Накопители энергии в электрических системах: Учебное пособие для электроэнергетических спец. вузов. / Ю. Н. Астахов, В. А. Веников, А. Г. Тер-Газарян.— Москва: Высш. шк., 1989.
7. Сучасні тенденції розвитку харчової промисловості та її місце в економіці держави / Г.М. Калетнік, О.В. Коваленко, А.А. Брояка – Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики, №8. – 2017.
8. Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах /С.П. Денисюк, Т.М. Базюк – Стаття: Вісник Вінницького політехнічного інституту №3. – 2014.
9. Закон України про ринок електричної енергії, розділ XIII, стаття №65, редакція від 10.06.2018. Режим доступу: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#n1784
10. Бурков В. Н., Губко М. В., Новиков Д. А. Организационные механизмы управления в электроэнергетике / Управление развитием крупномасштабных систем [под ред. А.Д. Цвиркуна]. - М.: Издательство физико-математической литературы, 2012. С. 261-278. Режим доступу: http://www.mtas.ru/search/search_results_ubs_new.php?publication_id=18729
11. Электрические сети и системы: Учеб. Пособие для электроэнергет. спец. вузов./ Блок В. М. – М.: Высш. шк., 1986. – 210 с.
12. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции / Кашкаров А.П. – М.: ДМК Пресс, 2011. – стр. 11-12.

УДК 621.311

С.П. Тимчук
Кафедра електропостачання

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ENERGY HUB У ВІТЧИЗНЯНИХ МЕРЕЖАХ

Представлено модель системи комплексного енергозабезпечення споживачів, у вигляді energy hub, який забезпечує потребу споживачів у електричній та тепловій енергії. Кожен енергоносій може бути перетворений в інші форми енергії, щоб оптимально задовольнити потреби в електроенергії, теплі та гарячій воді. До складу energy hub входять когенераційна установка, паливний та газовий коел, фотоелектрична система та накопичувачі електричної та теплової енергії. Виконано оцінку доцільності впровадження energy hub в умовах взаємодії локальних енергетичних систем України на різних рівнях організаційної структури енергетики.

Ключові слова: *інтегровані інтелектуальні енергопостачальні системи, розосереджена генерація, активний споживач, energy hub.*

The model of the system of complex energy supply of consumers is presented, in the form of a power node, which provides the consumers' need for electric and thermal energy. Each energy carrier can be converted into other forms of energy in order to optimally meet the needs of electricity, heat and hot water. The power unit includes a cogeneration unit, a fuel and gas boiler, a photovoltaic system and storage of electric and thermal energy. The estimation of the expediency of the implementation of the power unit in the conditions of interaction of local energy systems of Ukraine at different levels of the organizational structure of power engineering is carried out.

Key words*: integrated intelligent power supply systems, dispersed generation, active consumer, energy hub.*

Вступ. Розв’язати задачу ефективного використання розосередженої генерації (РГ) і підвищення конкурентоспроможності систем енергопостачання на основі нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) можливо за рахунок впровадження інтегрованих (комплексних) систем енергопостачання (ІСЕ), при цьому, з’являється можливість виникнення синергетичного ефекту за рахунок взаємодоповнення переваг та взаємної компенсації недоліків, що крім підвищення ефективності складових такої системи дає змогу зменшити кількість трансформацій енергії та скоротити загальні витрати на енергетичні ресурси [1]. При цьому режим їхньої роботи у кожен окремий період часу визначається режимними вимогами й інтересами ринку, а також повністю забезпечуються власні потреби та максимально ефективно використовується можливість отримання прибутку та взаємної вигоди від використання таких систем.

Можливості, які створює інтеграція джерел розосередженої генерації в систему енергопостачання, та комплексні системи енергопостачання на основі таких джерел дають змогу крім забезпечення власних потреб ще й отримувати певного роду прибуток за рахунок продажу надлишків виробленої енергії в систему енергопостачання або іншим споживачам, а для більш ефективної оптимізації роботи таких систем в цілому, і джерел РГ зокрема, доцільно використовувати різного роду накопичувачі енергії та відповідні системи керування як такими комплексами, так і власним навантаженням зокрема. При реалізації

описаної вище структури системи енергопостачання передбачається, що ті споживачі, які мають можливість використання власних джерел РГ, систем накопичення енергії та систем керування своїм енергоспоживанням, зможуть стати активними учасниками ринку електричної енергії.

Промислові, комерційні та житлові споживачі вимагають різних форм енергетичних послуг, що надаються різними інфраструктурами. У промислово розвинутій частині світу зазвичай використовуються вугілля, нафтопродукти, біомаса та відновлювальні джерела енергії, пов'язані з електричною мережею [2]. Поки що інфраструктури найчастіше розглядаються та експлуатуються незалежно. Поєднання систем може призвести до ряду переваг. Ефекти синергії між різними енергоносіями можна досягти, скориставшись їхніми конкретними перевагами: електроенергія, наприклад, може передаватися на великі відстані з порівняно низькими втратами. Хімічні енергоносії, такі як природний газ, можуть зберігатися за допомогою відносно простих та дешевих технологій, стиснуті рідини можуть зберігатися в трубопровідних мережах, навіть якщо не встановлено спеціальні пристрої для зберігання.

Energy hub розглядається як об’єкт, в якому декілька енергоносіїв можуть бути перетворені, оброблені та накопичені. Він являє собою інтерфейс між різними енергіями та навантаженнями, демонструючи велику кількість технологій для виробництва, перетворення, транспортування та зберігання енергії та складається з найрізноманітніших компонентів: теплових, електричних та газових мереж [3].

Мета та завдання. Метою роботи є розроблення методів оптимального функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів energy hab. Для досягнення поставленої мети в роботі були сформульовані та вирішені наступні завдання:

- аналіз різних підходів до функціонування energy hub (модель автономної системи енергозабезпечення, яка може отримувати, передавати, конвертувати та накопичувати різні види енергії);
- пропозиції оптимального функціонування energy hub для вітчизняних мереж.
- розробка моделі забезпечення оптимального режиму споживання та генерування різних видів енергоресурсів із застосуванням наявних джерел енергії.

Матеріал і результати досліджень.

Впровадження energy hub – перспективний процес згідно положень концепції Smart Grid та залучення активного споживача, що вимагає перегляд побудови та розвитку енергетичних систем в Укріїні згідно світових тенденції до зниження енергозалежності, пошуку альтернативних джерел і постачальників енергетичних ресурсів. Зазначені поняття потребують продовження, доповнення та вдосконалення напрацювань, що у свою чергу стимулюють країну до реалізації таких ініціатив в енергетиці й економіки в цілому [4]. Для досягнення цієї мети та вирішення завдань дослідження передбачається комплексне використання математичної та технічної підтримки, що забезпечується сучасними інформаційними та комп'ютерними системами, нових теорій, які враховують конструкцію ІІЕС, автоматизовані системи вимірювання та контролю, розроблені методи, алгоритми та програмне забезпечення для оцінки та підвищення ефективності сучасних ІІЕС.

Концепція використання energy hub впливає на процес оптимального планування розвитку системи енергопостачання, змінюючи витрати на нове будівництво, реконструкцію й експлуатацію елементів мереж, а також показники надійності. Виділення окремих energy hub в мережі дає змогу сформулювати процедуру оптимізації, яка мінімізує загальні витрати енергопостачальної організації та визначає оптимальні значення потокорозподілу енергій, потужності основних і резервних генерувальних та накопичувальних пристроїв.

Для ефективної роботи алгоритмів оптимального функціонування energy hub

необхідна якомога точніша інформація про рівні потокорозподілів енергії, можливі рівні генерації джерел енергії та потреби споживачів. Частину необхідної інформації можна отримувати з систем моніторингу, які будуть впроваджуватися в енергосистемах. Разом з тим, широке застосування систем моніторингу дасть змогу вирішити інші задачі, які стоять перед енергопостачальними компаніями.

Модель energy hub дає змогу перейти до розробки алгоритмічного та програмного забезпечення для систем моніторингу та діагностування обладнання енергетичних мереж, у тому числі з наявними джерелами РГ; оцінювання потужностей альтернативних джерел генерації та параметрів режимів інтегрованих інтелектуальних енергопостачальних систем (ІЕС); оперативного керування роботою комплексних джерел енергії з можливістю залучення при необхідності експертних оцінок, які надаються у різноманітних формах.

Основними енергоносіями, які споживаються в energy hub є електроенергія та тепло для житлових та громадських будівель, а також промислових об’єктів невеликої потужності. Електроенергія використовується для роботи систем освітлення, вентиляції побутових потреб, роботи технологічного обладнання. Тепло споживається у вигляді гарячої води. Для отримання цих енергоносіїв використовуються такі джерела: електроенергія може купуватися з енергосистеми та генеруватися на когенераційній установці; тепло одержується із теплового котла та одержується на когенераційній установці. Когенераційна установка працює на природному газі та паливних палетах. Давайте розглянемо energy hub, який складається з шести перетворювачів, трьох потоків енергії та пристроїв зберігання. Перетворювачі є наступними: фотоелектрична система, когенераційна установка, теплоізольований бак, електрична система опалення та сонячний колектор. Потік енергії такий: сонячна енергія, природний газ, паливні палети. Кожна з п'яти перетворювачів характеризується його ефективністю (ефективність перетворення однієї форми енергії в іншу) [5].

Після розширення природно-газових мереж, технології комбінованої теплоенергетики досягли несподіваного рівня популярності. ТЕЦ як технологія когенерації - відомий розподілений енергетичний ресурс для одержання тепла та електроенергії одночасно на місці. Перетворення енергії між різними носіями встановлює зв'язок між відповідними потоками потужності, що приводить до взаємодії системи.[6] Останні публікації свідчать про комплексну структуру енергетичних систем, включаючи декілька енергоносіїв, замість фокусування на єдиному носії енергії. Оскільки проектування та експлуатація таких систем є складними завдяки взаємопов'язаним схемам системи, важливо надати інструменти, які допоможуть вибрати найкращу конфігурацію системи та поєднання джерел енергії.

Структура energy hub прийнята та визначена для таких енергосистем з багатьма носіями. Energy hub може бути визначена як взаємодія між енергетичними інфраструктурами та учасниками мережі або між такими інфраструктурами як електроенергія та природний газ.

Завдання полягають у перетворенні, зберіганні та управлінні енергією. Різні операційні проблеми можна ідентифікувати при розгляді інтегрованих енергосистем з кількома носіями. Основним операційним питанням в цих перерахуваннях є те, скільки енергії від кожного energy hub слід використовувати щоб задовольнити навантаження споживача.

У моделі, представленої для energy hub, вартість, надійність та екологічні індикатори включені в цільову функцію. Наразі зростає інтерес до енергосистем багаторівневих домогосподарств. Ці системи інтегрують різні джерела енергії, щоб забезпечити побутові навантаження. Житловий energy hub може моделювати енергію багатоквартирних будинків, де вхідними джерелами енергії є електроенергія та природний газ, а вихідними – тепло, електроенергія та гаряча вода. Крім того, підключення до гібридного електричного

транспортного засобу - це одна з нових технологій, що може виступати як система зберігання, а також постачальником електроенергії будинку [7].

У багатьох країнах житловий сектор має значну частку споживання енергії. Проте внаслідок значних втрат у системах розподілу енергії, а також відсутності належних навантажень та енергозберігаючого обладнання, управління енергоресурсами в житловому секторі не є доцільним, і значна частина енергії у цьому секторі витрачається даремно. З іншого боку, ціна на енергоносії зростає через такі проблеми, як обмеження енергоресурсів, збільшення попиту та реструктуризація енергетичних ринків. Тому в цьому розділі потрібно використовувати альтернативні системи та програми для підвищення ефективності.

Функціональна схема energy hub представлена на рис. 1.

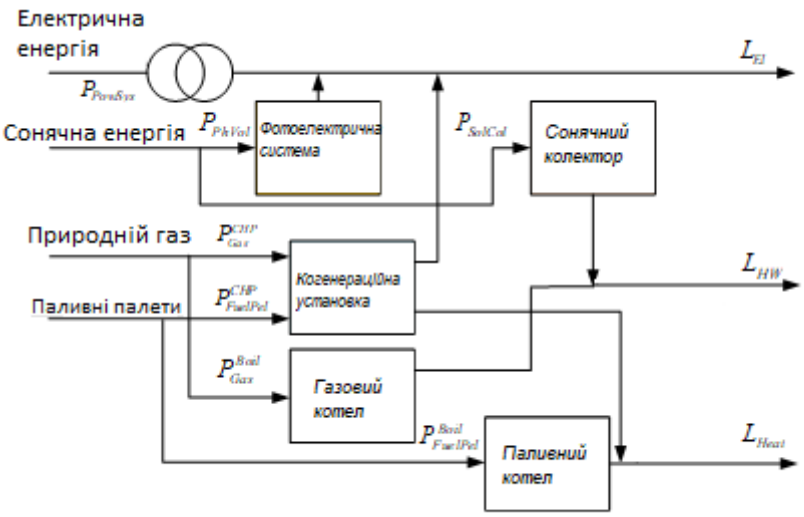


Рисунок 1 – Функціональна схема energy hub

Ціллю системи комплексного енергозабезпечення є такий режим її функціонування, коли в повному обсязі забезпечуються потреби споживачів в енергоносіях при максимально ефективних фінансових показниках роботи, тобто мінімальних витратах на купівлю електроенергії, природного газу та тепла у енергопостачальних організації.

Електрична енергія є входом до трансформатора та електричного опалення P_{PowSys}. Сонячна енергія є входом в фотоелектричну панель P_{PhVol} і до сонячного колектора P_{SolCo}. Природний газ є входом в систему когенераційної установки P_{Gas}^{CHP} та на газовий котел P_{Gas}^{Boil}. Паливні палети складають вхід в когенераційну систему $P_{FuelPel}^{CHP}$ та паливний котел $P_{FuelPel}^{Boil}$. Споживачі енергетичних потоків на виході з energy hub є споживачами електроенергії L_{El}, тепла L_{Heat} і гарячої води L_{HW}.

Трансформатор характеризується його електричною ефективністю η_{Tr}. Електричне опалення перетворює електрику на тепло для систем опалення та характеризується ефективністю системи електричного опалення $\eta_{Tr}\eta_{El.Heat}$. Фотоелектрична панель перетворює сонячну енергію в електрику з ефективністю η_{PhVol}. Сонячний колектор перетворює сонячну енергію в тепло для гарячої води з ефективністю η_{SolCol}. Система когенераційної установки перетворює енергію природного газу на електро- та теплову енергію для нагрівання; вона характеризується газ-електричною, газ-опалювальною системою та ефективністю газ-гарячої води $\eta_{CHP.El}^{Gas}$, $\eta_{CHP.Heat}^{Gas}$, $\eta_{CHP.HW}^{Gas}$, відповідно.

Газовий котел перетворює енергію природного газу на тепло для систем опалення;

паливний котел перетворює енергію на тепло для гарячої води; вони характеризується газогенераторною системою та ефективністю газо-гарячої води $\eta_{Boil.Heat}^{Gas}$, $\eta_{Boil.HW}^{Gas}$, відповідно. Когенераційна установка перетворює енергію паливних палетів на електроенергію, та тепло для систем опалення; він характеризується паливною палет-електричною, та паливною палет-нагрівальною системою $\eta_{CHP.El}^{FuelPel}$, $\eta_{CHP.Heat}^{FuelPel}$, відповідно. Газовий котел перетворює енергію паливних палетів тепло для гарячої води; це характеризується паливно палет-гарячим водопостачанням, $\eta_{Boil.HW}^{FuelPel}$.

Зберігання енергії може відбуватися в електричному акумуляторі Q_{El}^{ch}. Гаряча вода може накопичуватися в теплоізольованих накопичувачах Q_{HW}^{ch}. Відповідно, їх можна використовувати як накопичену електроенергію Q_{El}^{dis} і як накопичену гарячу воду для системи водопостачання Q_{HW}^{dis}. Оптимізацію можна виконувати за допомогою стандартних методів оптимізації.

Поетапна реалізація рішень, заснована на результатах оптимізації, допоможе в першу чергу забезпечити мінімальні витрати на закупівлю енергії від зовнішніх джерел та підвищити ефективність енергопостачання шляхом раціоналізації споживання енергії, мінімізації втрат енергії, забезпечення високого рівня надійності та якості. Це враховує національні електричні та теплові мережі, особливості енергетичних об'єктів, забезпечують, безперешкодну реалізацію рекомендованих рішень та забезпечення їх ефективності [8].

Для ефективного функціонування energy hub, його алгоритми оптимального функціонування вимагають найбільш точної інформації про рівень енергетичного потоку, про можливі рівні виробництва енергії та потреби споживачів.

Згідно підходу, запропонованого у роботі [9], сформулюємо цільову функцію яка буде мати вигляд:

$$\sum_{k=0}^{T-1}(c_{El}(k)P_{El}(k)+c_{Heat}(k)P_{Heat}(k)+c_{Gas}(k)P_{Gas}(k))\rightarrow \min$$

де $c_{El}(k), c_{Heat}(k), c_{Gas}(k)$ – тарифи на електроенергію, тепло та газ на ринку за k-ий інтервал часу (годину), грн/кВт·год;

$P_{El}(k), P_{Heat}(k), P_{Gas}(k)$– обсяг покупки електроенергії, тепла та газу на ринку за k-ий інтервал часу (годину), кВт·год.

Крім економічного критерію, при визначенні оптимальних режимів функціонування energy hub, до уваги може бути взято екологічний критерій. У цьому випадку цільовою функцією може виступати мінімізація викидів CO_2 при виробництві та транспортування енергії.

Цільова функція для критерію мінімізації викидів CO_2 буде мати такий вигляд:

$$a_{Ел.ен.}\sum_{k=0}^{T-1}(P_{El}(k)+a_{Heat.}\sum_{k=0}^{T-1}(P_{Heat}(k)+a_{Gas.}\sum_{k=0}^{T-1}(P_{Gas}(k))\rightarrow \min$$

де $a_{El}, a_{Heat}, a_{Gas}$ – питомі викиди на генерацію електроенергії та тепла в централізованих системах енергопостачання, а також викиди при спалюванні газу в когенераційній установці, кг/кВт·год.

Проектування energy hub у мережі дає змогу сформулювати процедуру оптимізації, яка мінімізує загальну вартість енергозбереження та визначає оптимальні значення потоку енергії, пристрої первинного та резервного енергозбереження та пристроїв зберігання.

Висновки.

Вітчизняна енергетика знаходиться на етапі зміни своєї парадигми розвитку. Нові виклики часу ставлять нові завдання, вирішити які на базі існуючої структури енергетичної системи не представляється можливим. Необхідно здійснити «перехід» до нових структур у вигляді ІІЕС. Ідеологія, створення та керування такими системами є

найважливішою проблемою, яка потребує проведення активних досліджень. Запропоновано підхід до планування та оптимізації режимів роботи систем комплексного енергозабезпечення споживачів із джерелами розосередженої генерації та накопичувачами енергії у вигляді energy hub, який дає змогу підвищити ефективність функціонування таких систем. Проведений аналіз розвитку енергетики показує доцільність створення ІІЕС із комплексним застосуванням energy hub з урахуванням можливостей їх впровадження в умовах України.

Список використаної літератури

[1] Energy hub function optimization models during ukrainian energy resources market liberalization / Ю.Веремійчук, І. Притискач, О. Ярмолюк, В. Опришко. // Scientific Journal of Riga Technical University, Power and Electrical Engineering. – 2017. – №34. – С. 14–17.

[2] Geidl, M., “Energy hubs for the future”, in IEEE Power and Energy Magazine, Geidl, M., ., G. Koeppel, Favre-Perrod P., Klockl B., G. Andersson, and K. Frohlich, 2007, pp. 24-30.

[3] Mohammadi M, Noorollahi Y, Mohammadi-ivatloo B, Yousefi H, Jalilinasrabady S (2017)Optimal scheduling of energy hubs in the presence of uncertainty – a review. J Energy ManagTechnol 1(1):1–17. https://doi.org/10.22109/jemt.2017.49432.

[4] Chicco, G., “Distributed multigeneration: A comprehensive view”, in Renewable and Sustainable Energy Reviews, Chicco, G. and P. Mancarella, 2009, pp. 535-551.

[5] Воропай, Н. И. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы [Текст] / Н. И. Воропай, В. А. Стенников // Известия Академии наук. Энергетика. – 2014. – № 1. – С. 64–73.

[6] Geidl, M., “Integrated modeling and optimization of multi-carrier energy systems” in ETH Zurikh: Power Systems Laboratory, 2007.

[7] Beaudin M, Zareipour H (2015) Home energy management systems: a review of modeling and complexity. Renew Sust Energ Rev 45:318–335.

[8] Parisio, A., “A robust optimization approach to energy hub management”, in International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Parisio, A. , C. Del Vecchio, and A. Vaccaro, 2012, pp. 98-104.

References

[1] Energy hub function optimization models during Ukrainian energy resources market liberalization / Yu. Veremiychuk, I. Prityskach, O. Yarmolyuk, V. Oprishko. // Scientific Journal of Riga Technical University, Power and Electrical Engineering. - 2017. - №34. - pp. 14–17.

[2] Geidl, M., “Energy hubs for the future”, in IEEE Power and Energy Magazine, Geidl, M., G. Koeppel, Favre-Perrod P., Klockl B., G. Andersson, and K Frohlich, 2007, pp. 24-30.

[3] Mohammadi M, Noorollahi Y, Mohammadi-ivatloo B, Yousefi H, Jalilinasrabady S (2017) Optimal scheduling of energy hubs - a review. J Energy ManagTechnol 1 (1): 1–17. https://doi.org/10.22109/jemt.2017.49432.

[4] Chicco, G., “Distributed multigeneration: A comprehensive view”, in Renewable and Sustainable Energy Reviews, Chicco, G. and P. Mancarella, 2009, pp. 535-551.

[5] Voropay, N. I. Integrated Intelligent Energy Systems [Text] / N. I. Voropai, V. A. Stennikov // News of the Academy of Sciences. Energy. - 2014. - № 1. - p. 64–73

[6] Geidl, M., “Integrated modeling and multi-carrier energy systems” in ETH Zurikh: Power Systems Laboratory, 2007.

[7] Beaudin M, Zareipour H (2015) Home energy management systems: a review of modeling and complexity. Renew Sust Energ Rev 45: 318–335.

[8] Parisio, A., “A robust optimization approach to energy hub management”, in International Journal of Electrical Power Systems, Paris, A., C. Del Vecchio, and A. Vaccaro, 2012, pp. 98-104.

Д.М. Дехтярук
Кафедра електропостачання

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ

Вступ. Важливою проблемою сучасної енергетики є раціональне використання енергоресурсів. Для забезпечення енергоефективності промислового виробництва необхідно керувати енергоспоживанням різних видів енергоресурсів, і в першу чергу електроспоживанням промислових підприємств. Це дозволить знизити витрати паливно-енергетичних ресурсів без зменшення обсягів виробленої продукції та зниження її якості. Практична реалізація завдання ефективного використання енергоресурсів досягається на основі автоматизованих систем контролю та управління електроспоживанням [1].

Дослідженню проблеми теорії і практики управління процесами електроспоживання підприємствами присвячені наукові праці А.В. Праховника [2], Б.І. Кудріна [3], В.Є. Шестеренко [4], В.П. Розена [5] та інших.

Мета та завдання: аналіз системи контролю та управління електроспоживанням промислового підприємства, алгоритму управління, що забезпечує економічні, інформаційні, метрологічні, часові та інші характеристики ефективного функціонування системи управління електроспоживанням промислового підприємства.

Матеріал і результати досліджень.

Автоматизована система контролю та управління електроспоживанням створюється з метою:

- зниження комерційних втрат за рахунок підвищення точності обліку електричної енергії, одержання достовірної і своєчасної інформації про надходження і споживання електричної енергії для подальшого проведення фінансових розрахунків за електроенергію;
- автоматизації процесу збору, передачі й обробки інформації з розрахункових точок обліку електричної енергії;
- управління електроспоживанням промислового підприємства;
- забезпечення оперативного контролю режимів надходження електричної енергії;
- забезпечення аналізу енергоспоживання на підставі графіка навантаження;
- забезпечення оперативного автоматичного контролю працездатності лічильників і каналів передачі даних;
- забезпечення регламентованого доступу до даних автоматизованої системи обліку електроенергії (АСОЕ) з боку зацікавлених підприємств.

Варіант побудови автоматизованої системи контролю та управління електроспоживанням розглянуто на базі ПрАТ «Рівнеазот», електропостачання якого здійснюється від підстанцій ГПП-1, ГПП-2, ГПП-3. Схему побудови автоматизованої системи контролю та управління електроспоживанням на базі мікросервера Itek-Web показано на рисунку 1.

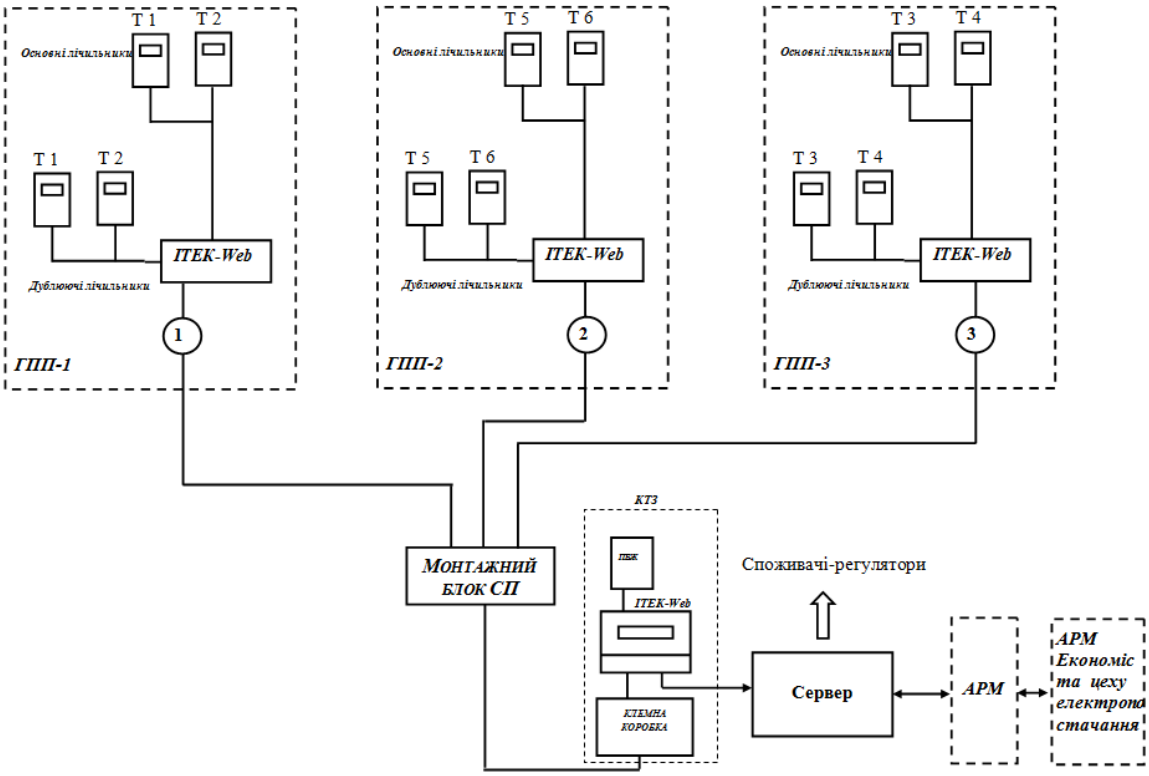


Рисунок 1 – Схема побудови автоматизованої системи контролю та управління електроспоживанням

Автоматизована система контролю та управління електроспоживанням створюється у вигляді інтегрованої автоматизованої системи, що відповідно до організаційної структури й особливостей розміщення технічних засобів включає як підсистеми:

- автоматизовані системи збору і передачі інформації нижнього рівня підстанцій;
- автоматизована система по формуванню баз даних, контролю й обліку електроенергії верхнього рівня.

Автоматизовані системи нижнього рівня включають наступні засоби:

- електронні лічильники електроенергії ;
- засоби збору, перетворювання і передачі даних (перетворювачі “струмова петля”/RS 232, комунікаційний модуль).

Підсистема верхнього рівня забезпечує виконання наступних функцій:

- організацію первинного збору даних із всіх об'єктів контролю й обліку електроенергії;
- безперервний контроль стану каналів збору даних;
- введення недообліку електроенергії при виведенні в ремонт чи заміні устаткування обліку;
- синхронізацію часу у всіх вузлах системи;
- зміна періоду опитування лічильників електроенергії;
- накопичення і збереження інформації з кожної контрольованої точки і групи обліку, по поточній конфігурації системи;
- розмежування доступу до бази даних на основі повноважень користувачів;
- накопичення і збереження інформації з функціонування АСОЕ;
- відображення інформації з обліку електроенергії і по функціонуванню АСОЕ на дисплеї в автоматичному режимі і по запиті оператора;

- надання користувальницького інтерфейсу для ручного введення інформації з обліку електроенергії;
- надання користувальницького інтерфейсу для організації взаємодії оператора із системою, у частині збору даних і статистики, діагностики і наладці АСОЕ;
- передача інформації на друкувальний пристрій по запиту оператора.

Підсистема нижнього рівня забезпечує виконання наступних функцій:

- збір інформації з лічильників електроенергії;
- збереження первинної інформації в БД лічильників;
- узгодження протоколів обміну і маршрутизації;
- передачу інформації з каналів зв'язку;
- внутрішню діагностику.

Система будується на базі мікросервера Itek-Web. До складу системи входять електронні лічильники, які встановлені на ГПП-1 – ГПП-3. Інформаційні виходи цих лічильників об’єднані по інтерфейсу CL „струмова петля” і підключені до пристрою збору даних - мікросервера Itek-Web через перетворювач CL „струмова петля”/RS232.

Мікросервер Itek-Web підключений до сервера, де на основі даних, що поступили, формується оптимальне значення зниження рівня напруги і відповідне йому зниження навантаження. Далі управляюча дія передається на блок управління, який виконує відповіні переключення для управління споживачами-регуляторами.

Мікросервери ITEK-web призначені для забезпечення зв’язку та узгодження інтерфейсів між багатофункціональними лічильниками (ЛЧ) та комунікаційним сервером (сервером БД) та самостійного опитування ЛЧ і зберігання результатів у вбудованій енергонезалежній пам’яті. Itek-Web забезпечує збір, обробку та зберігання інформації, що поступає від первинних вимірювальних перетворювачів, максимальна кількість яких може бути 64. Itek-Web зберігає інформацію про графік навантаження по кожному каналу обліку.

Спеціалізоване вбудоване програмне забезпечення (СПЗ) підтримує стандартні протоколи обміну даними з ЛЧ IEC1107, DLMS, IEC1142 а також деякі нестандартні протоколи, забезпечує можливість «прозорого» передавання даних між ЛЧ та комунікаційним сервером (сервером БД).

Структурна схема пристрою Itek-Web показана на рисунку 2.

Інформаційна сумісність із суміжними системами забезпечується на основі архітектури "клієнт-сервер" з використанням протоколів TCP/IP і стандарту структурної мови запитів до бази даних. Передача інформації енергопостачальній організації здійснюється:

- за допомогою експорту файлів;
- регламентованого доступу до бази даних;
- за допомогою доступу до лічильників електроенергії.

Експорт файлів може здійснюватися по електронній пошті в автоматичному режимі та/або з ініціативи оператора (налагоджується для конкретного користувача).

Для інформаційної взаємодії між компонентами АСОЕ верхнього рівня і підстанціями використовується фізичний (провідний) зв’язок.

Автоматизована система контролю та управління електроспоживанням забезпечує періодичне опитування точок обліку електроенергії в автоматичному режимі.

Самодіагностика системи виконується періодично в автоматичному режимі. Діагностування окремих компонентів системи може здійснюватись автономно з переносного комп'ютера. За допомогою функцій СУБД забезпечується авторизований доступ зовнішніх абонентів до визначених полів бази даних, що реалізує відповідність системи вимогам і, разом з тим, захист інформації від несанкціонованого доступу.

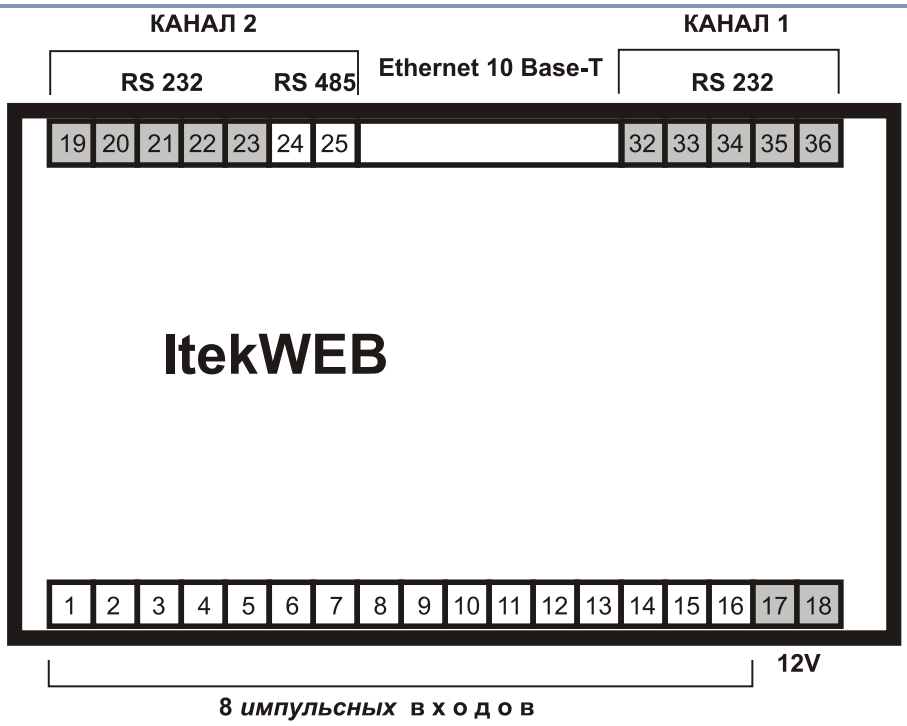


Рисунок 21 – Структурна схема пристрою Itek-Web

Висновки. В статті розглянуто цілі створення автоматизованої системи контролю та управління електроспоживанням. Наведено принцип побудови автоматизованої системи контролю та управління електроспоживанням на базі мікросервера Itek-Web, а також основних її елементів.

Список використаної літератури

1. Балюта С.М. Автоматизована система управління електропостачанням промислових підприємств// С.М. Балюта, Л.О.Копилова, Є.О Корольов// Цукор України №11 (119), 2015 р. стор. 39-43.

2. А.В. Праховник, В.П.Калинчик, А.В.Волошко, О.В.Коцарь. Системы учета электроэнергии в условиях функционирования Smart Grid технологий/ Енергетика та електрифікація. – 2012. - № 1.- С.51-58.

3. Кудрин Б.И. Организация, построение и управление элекрическим хозяйством промышленных предприятий на основе теории больших систем / Кудрин Б.И. – М. : Центр системных исследований, 2002. – 368 с.

4. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств:підручник для вузів / В.Є. Шестеренко. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 656 с.

5. В.П. Розен, В.П. Калинчик, А.В. Мейта, В.Г. Скосырев. Оптимизация электропотребления дробильно-помольного комплекса/Енергетика: економіка, технології, екологія – 2015. - № 1. – С. 43 – 47.

УДК 621.31

Коценко О.А.
Кафедра електропостачання

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ КОМІРОК В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

В статті розглянуті основні розрахункові залежності та формули для розрахунку параметрів водневих комірок та відповідним їм електролізних установок або реверсивних паливних комірок, на основі яких формується алгоритм вибору паливних комірок в системах електропостачання.

Ключові слова: *паливна комірка, системи електропостачання, водень.*

An article considers the basic dependences and formulas for calculation the parameters of hydrogen fuel cells and corresponding electrolysis installations or reversible fuel cells on the basis of which an algorithm for selecting fuel cells in power supply systems is formed.

Keywords*: fuel cell, power supply systems, hydrogen*

Вступ.

Воднева енергетика відповідає світовим тенденціям автономного та локального енергоспоживання. В європейських енергетичних програмах фігурує термін “домашня електростанція”. Такі невеликі електростанції, що використовують, наприклад, паливні комірки, є доцільними та екологічними, оскільки дозволяють виробляти стільки електроенергії, скільки потрібно споживачу, і використовувати її практично без втрат, що є неминучими для централізованої електроенергетики, для якої є нормою багатокілометрові лінії електропередачі.

Мета та завдання.

Формування алгоритму розрахунку параметрів водневих паливних комірок для електропостачання.

Матеріал і результати досліджень.

Наведемо основні залежності, що дозволяють розрахувати параметри паливної комірки типу PEM і відповідної їй за продуктивністю електролізної установки. Припускається передбачення, що електролізна установка повинна повністю забезпечити автономну роботу паливної комірки для попередньо заданого режиму її роботи.

Електрична ефективність паливної комірки характеризується наступною залежністю:

$$\eta_{eFC} = \mu_F \frac{U_{FC}}{E_r} 100\%, \qquad (1)$$

де U_{FC} - напруга на вході елемента паливної комірки, E_r - напруга (ЕРС) холостого ходу паливної комірки, μ_F - коефіцієнт ефективності використання палива, що приймається зазвичай рівним 0,95 для паливних комірок даного типу.

Величина E_r змінюється в діапазоні від 1,25 В до 1,48 В в залежності від теплоенергетичних характеристик комірки (характеризуються, так званим, показником lower - higher heating value). При цьому напруга E_r = 1,25 В відповідає умовам, коли теплова енергія виділяється у формі пару, в той же час за напруги E_r = 1,48 В теплова енергія виділяється у вигляді гарячої води (так звані низькотемпературні паливні комірки).

Конкретне значення E_r залежить від температури, тиску, концентрації реагентів і визначається на підставі виразу (2).

$$E_r = E_0 + \frac{RT}{2F}\ln\left[\frac{P_{H_2}P_{O_2}^{1/2}}{P_{H_2O}}\right], \quad (2)$$

де E_0 - напруга холостого ходу за стандартних параметрів (тиск 1 атм., температура 25 °C); P_{H_2}, P_{O_2}, P_{H_2O} - тиск водню, кисню і водяної пари відповідно; F - постійна Фарадея (96485 кл моль$^{-1}$); T - температура в градусах Кельвіна.

Фактична напруга на вході комірки, враховуючи що має місце втрати напруги, визначається наступним чином:

$$U_{FC} = E_r - \Delta U_a - \Delta U_r - \Delta U_c, \quad (3)$$

де ΔU_a - втрата напруги на електродах; ΔU_r - втрата напруги обумовлена внутрішнім опором контуру; ΔU_c - втрата напруги, що залежить від концентрації і циркуляції водню і кисню.

Окремий елемент паливної комірки створює відносно невеликий потенціал на виході. Тому для практичного застосування елементи паливної комірки з'єднуються послідовно, утворюючи своєрідну «батарею», напруга на виході якої становить:

$$U_S = n_{FC}U_{FC}, \quad (4)$$

де n_{FC} - кількість елементів, з яких складається «батарея» (паливна комірка).

Щільність струму в паливній комірці становить величину:

$$J = \frac{I_{FC}}{S}, \quad (5)$$

де I_{FC} - струм в комірці; S - площа мембрани.

В результаті потужність паливної комірки може бути визначена наступним чином:

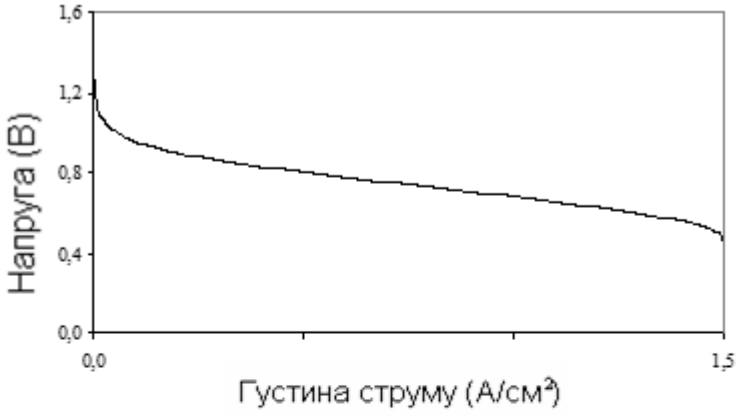
$$P_{FC} = U_S I_{FC}, \quad (6)$$

У відповідній довідковій літературі [1] наведені графічні залежності питомої потужності і ККД комірки від щільності струму (Рис. 1)

Об’єм водню, необхідний для генерації заданої кількості електроенергії, оцінюється в такий спосіб:

$$V_{H_2} = 0{,}45\frac{P_{FC}t_{FC}}{U_{FC}}, \quad (7)$$

де P_{FC} - потужність комірки (кВт); t - час роботи комірки з потужністю P_{FC}; U_{FC} - напруга на виході комірки, котра визначається за допомогою виразу (3).



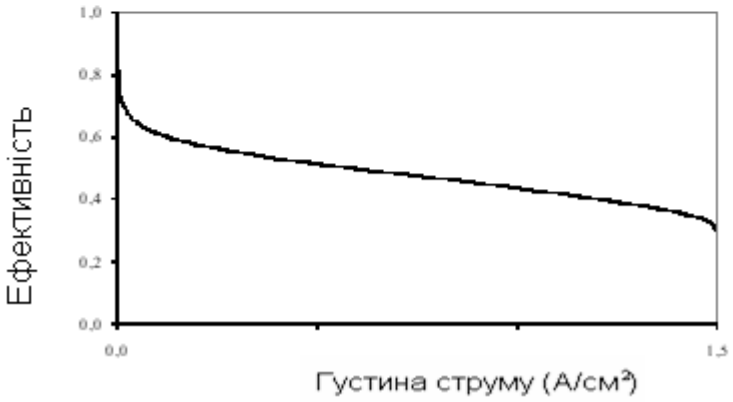


Рисунок 1 – Технічні характеристики паливної комірки

Вибір параметрів електролізної установки виконуємо враховуючи вимоги до її продуктивності. У цьому випадку відповідно маємо:

$$W_E = \frac{1{,}0135 P_{FC} t_{FC} U_E}{U_{FC} \eta_{FC}}, \qquad P_E = \frac{1{,}0135 P_{FC} t_{FC} U_E}{U_{FC} \eta_E t_E}. \tag{8}$$

Під час формування наведених вище залежностей враховуємо наступні чинники:

Один Фарадей в ідеалі здатний виробити один грам водню за його щільності 0,084 кг / м3 [2]. Таким чином, 96489 *A·S* виробляє 0,0119 *N*м^3 *H2*. Виходячи з цього, для виробництва 1 *N*м^3 *H2* на годину необхідно 2252,31 *A*.

Приймаючи напругу електролізної установки U_E (В), потужність необхідна для виробництва 1 *N*м^3 *H2* на годину буде еквівалентна величині 2252,31 · U_E (Вт) при 100% ефективності установки. Однак під час виконання практичних розрахунків необхідно враховувати втрати, які виникають під час генерації електроенергії паливною коміркою (U_{FC}) і при виробництві водню електролізною установкою (η_E).

Висновки. Джерела розосередженої генерації, що застосовуються споживачами в мережах низької напруги, в переважній більшості випадків, є генеруючі установки відносно невеликої потужності. Найчастіше подібні пристрої, що встановлюються споживачами, крім виконання функцій забезпечення резервного електропостачання, дозволяють також знизити обсяг споживаної електроенергії і величину максимального навантаження в точці балансового розділу з системою централізованого електропостачання. Очевидно, що реалізація подібних рішень окремими споживачами не робить помітного впливу на режими

систем централізованого електропостачання. Але, коли мова йде про масштабну реалізацію подібних проектів, рішення про вибір параметрів і режиму роботи джерел генерації, а в ряді випадків і акумулювання енергії, що встановлюються споживачами, доцільно приймати з урахуванням їх впливу на роботу системи зовнішнього енергопостачання. Окрім того, розглядаючи таке завдання, бажано враховувати і ряд додаткових факторів. Зокрема, часто в якості джерел розосередженої генерації використовують когенераційні установки різного типу, розміщення і стратегія застосування яких повинні вирішуватися з урахуванням можливості ефективного використання одночасно теплової та електричної енергії. Крім цього необхідно брати до уваги, що в ряді випадків генеруючі джерела застосовуються спільно з тими чи іншими пристроями акумулювання енергії. Використання подібних пристроїв, безумовно, впливає на графік електроспоживання окремого споживача. Але, якщо говорити про впровадження засобів розосередженої генерації для досить широкої групи споживачів, то мова вже буде йти про зміну графіків навантаження окремих ТП і навіть розподільчих ліній [3]. Тому, в подальшому необхідно враховувати і ці критерії для вибору та використання паливних комірок в системах електропостачання. Також необхідно відзначити, що немає єдиного алгоритму вибору, необхідно розробляти цей алгоритм безпосередньо враховуючи всі параметри системи мережі та споживача і створювати нову модель.

Список використаної літератури.

1. Harminie I., Aicks A., Fuel Cell Systems Explained, Chichester, England, John Wiley and Sons, 2000., Padvo CE, Putschev V. Survey of the economics of Hydrogen Technologies; National Renewable Energy Laboratory, Technical Report, NREL / TP-570-1079, 1998, 175p., Silva E.P. Introdusao a techologia e economia do hidrogenio. Campinac, Editara da UNICAMP, 1991.

2. V.A. Popov, L.N. Canha, F.A. Farret, Determination of the optimal parameters of fuel cells for load curve management, Proceedings of the V Industry Application Conference, INDUSCON 2002, Salvador, Brazil, 2002, DVD.

3. Попов В.А., Коценко О.А. Оцінка доцільності використання водневих джерел енергії для електропостачання комунально-побутових споживачів // Збірник наукових праць X науково-технічної конференції Інституту енергозбереження та енергоменеджменту «Енергетика. Екологія. Людина».

УДК 620.193

Остапчук О.І.
Кафедра електропостачання

ЗАХИСТ ОБ`ЄКТІВ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ВІД НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Анотація. *В роботі проведено аналіз корозійних процесів освітлювальних опор та розроблено інноваційний підхід щодо застосування сучасних методів захисту від корозії об'єктів системи електропостачання в умовах міста.*

Ключові слова: *корозія, захист від корозії, гаряче цинкування.*

Abstract. *The paper analyzes the corrosion processes of lighting poles and developed an innovative approach to the use of modern methods of corrosion protection facilities electricity supply systems under microsystems city.*

Keywords*: corrosion, corrosion protection, hot dip galvanizing.*

Вступ. Звичайні матеріали, такі як мідь, залізо, алюміній, цинк та діелектричні матеріали – високомолекулярні полімери, бетонні фундаменти, керамічні матеріали та інше, використовуються як основні компоненти в системах електропостачання. Однак існує прихована небезпека спричинена корозією енергетичного обладнання, що загрожує час від часу безпечній та стабільній роботі енергосистеми, внаслідок факторів середовища та робочих режимів.

Було зареєстровано багато випадків серйозної корозії в розподільчих та трансформаторних пристроях, що призводили до аварії [1].

Тому для реалізації безпечного, економічного та безперервного розвитку енергетичного обладнання необхідно контролювати процес корозії, а також запобігати корозійній здатності енергоустановок шляхом розумного дизайну, реструктуризації та застосування антикорозійних засобів та методів для захисту обладнання.

Хоча технології мінімізації та зниження ефектів корозії розвиваються, вона залишається серйозною проблемою в енергетичному секторі. Недавні дослідження, опубліковані «Grand View», передбачають, що до 2020 року світовий ринок інгібіторів корозії досягне 7,55 мільярдів доларів, що в значній мірі обумовлено посиленням попиту в секторі енергетики на таких ринках, як Бразилія та Китай. В результаті, ряд нових підходів ухвалюється промисловістю та розробляється дослідниками з метою зменшення шкоди та подовження терміну експлуатації компонентів [2].

Окрім вибору економічно доцільних способів захисту від корозії [3] також розробляються методи моніторингу і інспекції електроенергетичного обладнання [4] та впроваджуються нові методи катодного захисту від корозії для кабелів [5], які набули найбільшого поширення в системах електропостачання міст.

Мета та завдання. На основі аналізу корозійних процесів освітлювальних опор запропонувати інноваційний підхід щодо захисту компонентів систем електропостачання міста від корозії.

Матеріал і результати досліджень. Однією з причин зменшення надійності електрообладнання та виходу його з ладу є корозія. Наприклад, металеві оболонки кабелів, компоненти заземлення в процесі їх експлуатації руйнуються в результаті хімічної (ґрунтова корозія, інтенсивність якої залежить від складу та вологості ґрунту) або електрохімічної взаємодії з навколишнім середовищем, яка викликана взаємодією струмів витоку та хімічних елементів кабелів або заземлюючих стрижнів та середовищ де вони пролягають [6].

Опори повітряних ліній електропередач піддаються комплексному впливу корозійних процесів, оскільки корозія бетону та арматури в ньому і корозія опорної конструкції відбувається у двох різних середовищах: ґрунті та повітрі та може проходити із різною швидкістю та мати різний руйнівний вплив на конструкцію. Гірлянди ізоляторів, окрім атмосферної корозії піддаються впливу електролітичній корозії обумовленої напруженістю електричного поля в якому ізолятори знаходяться та струмами витоку по даним ізоляторам [7-9].

Електрощитове та інше електрообладнання, особливо яке розміщується поза приміщенням або в приміщеннях з підвищеною вологістю найбільш схильне до атмосферної корозії.

Відповідно до вище викладеного для електроенергетичного обладнання, можна умовно поділити проходження корозійних процесів по середовищу в якому вони протікають на два класи:

- Корозійні процеси, що проходять в ґрунті (внутрішні);
- Корозійні процеси, що проходять в атмосфері (зовнішні).

Розглянемо способи захисту та проходження корозійних процесів опор освітлення, що розміщені за містом (ділянка дороги М 05). Даний об’єкт вибрано для аналізу тому, що для нього характерна як і атмосферна корозія (металічна частина опори, що знаходиться в повітрі), корозія арматури анкерного пристрою та бетону, що знаходиться на межі двох середовищ – ґрунту та повітря.

Для освітлення ділянки дороги М 05 було використано оцинковану круглу опору освітлення EUROPOLES CC 12м 60/228/3, характеристики якої представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики оцинкованої круглої опори освітлення EUROPOLES CC 12м 60/228/3

Висота	12 м
Товщина стінки	3 мм
Діаметр закінчення опори (посадкове місце для світильника)	60 мм
Зовнішній діаметр опори біля основи	228 мм
Між болтова відстань для анкерного пристрою	300 х 300 мм
Вага опори	228 кг

Для опори освітлення можна виділити два типи корозії: хімічну та біохімічну корозію. Перший тип – утворення іржі шляхом з’єднання металу з іншими речовинами в агресивних середовищах, другий – руйнування внаслідок діяльності живих організмів. Варто відзначити, що механічна напруженість металу, обумовлена висотою опори та навантаженням на її кінці представленим LED світильником, прискорює процес ржавіння металу. Для захисту металічної опор EUROPOLES від корозії застосовують метод гарячого цинкування, відповідно до стандарту PN-EN ISO 1461.

Гаряче цинкування – покриття металу (зазвичай заліза або сталі) шаром цинку для захисту від корозії шляхом занурення вироби в ванну з розплавленим цинком при температурі близько 460 ° C. Під атмосферним впливом чистий цинк (Zn) вступає в реакцію з киснем (O2) і формує оксид цинку (ZnO), з подальшою реакцією з діоксидом вуглецю (CO2) і формуванням карбонату цинку (ZnCO3), зазвичай сірого матового, досить твердого матеріалу, який зупиняє подальшу корозію матеріалу.

Бетонні фундаменти, які складаються із бетону та арматури піддаються сильному корозійному впливу ніж опори освітлення, що пов’язано із дією відразу трьох факторів: вологи, електролітів, перепадів температури. Можна виділити три типи корозії бетонного фундаменту:

1. Перший вид. Руйнування бетону відбувається через вплив різних агресивних середовищ, що містяться в ґрунтових водах. За рахунок корозії верхньої поверхні фундаменту, відбувається повільне розчинення цементного розчину. Також в ґрунтових водах може міститися гідрокарбонат, який розчинний у воді, але при цьому відрізняється лужної реакцією і негативно впливає на пісок бетону. Якщо вплив ґрунтових вод відбувається в зимовий період біля кордону зони промерзання, тоді шансів врятувати фундамент практично немає.

2. При іншому типу корозії відбуваються хімічні реакції обміну речовин, при яких повільно розчиняється наповнення фундаменту, а також руйнування арматурного шару. Тому, категорично заборонено під час заливки бетону за допомогою бетономішалок додавати в них машинне масло або різні насичені жири.

3. Найнебезпечніший – третій тип корозії. Він відбувається в процесі заміщення солей бетону на продукти обміну, наприклад, морської води. У таких випадках відбувається механічне розширення пор бетону, руйнування несучих шарів і наповнення гідратами. У більшості випадків, це класичний етап руйнування за рахунок сульфатів і карбонатів, причому швидкість корозії бетону залежить від його пористості, марки і проникності [10].

Для захисту як і опор освітлення так і електроенергетичного обладнання потрібно використовувати комплексний підхід (див. таблицю 2).

Комплексний підхід до захисту від корозії включає такі етапи – розробка заходів захисту під час проектування та їх техніко-економічний аналіз; впровадження заходів захисту від корозії на етапі будівництва; проведення корозійного моніторингу під час експлуатації; впровадження додаткових заходів захисту від корозії під час ремонтних робіт.

Висновки. Електричні компанії повинні підтримувати ефективну боротьбу із корозією, оскільки вартість захисту від корозії є набагато меншою у порівнянні із потенційними витратами на ремонт або заміну.

Необхідно впроваджувати методи захисту від корозії, такі як відбір матеріалів, захисні покриття та катодний захист. Усі методи запобігання корозії повинні розглядатися під час проектування або розробки програми запобігання корозії. Майже у всіх випадках комбінація технологій призводить до найбільш ефективної та економічно доцільної системи запобігання корозії. Наприклад, захисні покриття в поєднанні з катодним захист є найбільш ефективними – покриття зменшує поточні вимоги до катодного захисту.

Найкращий підхід до боротьби з корозією полягає в тому, щоб інженери розробили повну програму для будівництва, моніторингу та технічного обслуговування об’єктів інфраструктури електропостачання, що забезпечить економічну експлуатацію.

В даній доповіді запропоновано комплексний підхід, ідея якого полягає у розробці системи заходів з аналізу та контролю технічного стану об’єктів енергетики щодо пошкодження корозією та антикорозійного захисту.

Таблиця 2. Етапи реалізації комплексного підходу до захисту від корозії

Розробка заходів захисту та їх техніко-економічний аналіз	• аналіз існуючих заходів захисту від корозії; • порівняння відомих заходів захисту від корозії; • оцінка матеріальних та фінансових затрат при впровадженні відповідних антикорозійних заходів; • оцінка довговічності конструкцій та установок з використанням відповідних заходів захисту від корозії.; • вибір відповідних заходів захисту від корозії з метою їх впровадження;

Впровадження заходів захисту від корозії на етапі будівництва	• оцинковка металів; • використання антикорозійних покриттів (ґрунтування поверхонь та покриття інгібіторами корозії); • захист металевих конструкцій від блукаючих струмів та електрохімічної корозії (віддалення від джерел блукаючих струмів та нанесення ізоляційних покриттів);
Проведення корозійного моніторингу під час експлуатації	• створення служби, що займатиметься корозійним моніторингом; • визначення строків та обсягів перевірок під час антикорозійного моніторингу; • впровадження засобів неруйнівного контролю; • регулярні обстеження систем заземлення електроустановок (із-за розміщення в землі вони постійно піддаються впливу корозії); • розробка рекомендацій щодо антикорозійного захисту за результатами корозійного моніторингу.
Впровадження додаткових заходів захисту від корозії під час ремонтних робіт	• ремонт та відновлення захисних та лакофарбових покриттів металоконструкцій; • впровадження інших заходів від корозії при необхідності

Список використаної літератури

1. LI Xing, GUO Junke. 2004, Analysis of Reasons and Countermeasures of Corrosion of Copper Materials in 35kV Indoor Transformer Substation. Corrosion and Prevention. Vol.24 (3):78-83.

2. Adam Leach, «Dealing with Corrosion», 17 NOVEMBER 2014. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.power-technology.com/features/featuredealing-with-corrosion-4421453/ Дата звернення: Серпень, 2018

3. Syrett, B.C. & Gorman, J.A.. (2003). Cost of corrosion in the electric power industry – An update. 42. 32-38.

4. Roberge, P. R. (2006). Corrosion Monitoring. In Corrosion Inspection and Monitoring (eds R. W. Revie and P. R. Roberge). Doi:10.1002/9780470099766.ch4

5. D. Lauria, M. Pagano, C. Petrarca and C. Pisani, “A Novel Approach to Design Cathodic Protection System for High-Voltage Transmission Cables,” in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 51, no. 6, pp. 5415-5420, Nov.-Dec. 2015. Doi: 10.1109/TIA.2015.2411735

6. E. C. Bascom, Y. Iossel, A. V. Poliakov, J. F. Troisi and R. J. Schwabe, «Construction features and environmental factors influencing corrosion on a self-contained fluid-filled submarine cable circuit in Long Island Sound,» in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 13, no. 3, pp. 677-682, July 1998. Doi: 10.1109/61.686959

6. K. Kreislova et al., «Corrosion Protection of Infrastructure of Power Industry», Materials Science Forum, Vol. 811, pp. 31-40, 2015

7. T. Taniguchi, M. Watanabe, Y. Watanabe, S. Mori, A. Watanabe and K. Naito, «Electrolytic corrosion of metal hardware of HVDC line and station insulators,» in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 6, no. 3, pp. 1224-1233, July 1991. Doi: 10.1109/61.85871

8. Ling Luo, Liming Wang, Zhicheng Guan, Fuzeng Zhang and Licheng Li, «Influence of pin corrosion on mechanical characteristic of UHVDC disc suspension insulators and solutions,» in

IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 22, no. 4, pp. 2242-2251, August 2015. Doi: 10.1109/TDEI.2015.005053

9. Ling Luo, Liming Wang, Zhicheng Guan, Fuzeng Zhang and Licheng Li, «Influence of pin corrosion on mechanical characteristic of UHVDC disc suspension insulators and solutions,» in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 22, no. 4, pp. 2242-2251, August 2015. Doi: 10.1109/TDEI.2015.005053

10. Защита фундаментов от коррозии, промерзания и разрушения [Електронний ресур] – режим доступу до ресурсу: https://fundamentclub.ru/zashhita/fundamenta-korroziya-razrushenie-promerzanie.html

УДК 621.31

Прокопець Ю.С.
Кафедра електропостачання

ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ЕКРАНАХ КАБЕЛІВ В МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 20 КВ ШЛЯХОМ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБУ ЇХНЬОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ

Розглядаючи питання переходу на напругу розподільної мережі 20 кВ, необхідно звернути увагу на вибір кабелю та розрахунок його параметрів. Дана стаття присвячена розв'язанню актуальної на даний час проблеми зменшення втрат електричної енергії в розподільній мережі за рахунок правильного вибору способу заземлення екранів кабелів, що допоможе зменшити (усунути) втрати потужності в них. Запропоновані в даній роботі експериментальні розрахунки для кабелю з ізоляцією із зшитого поліетилену при застосуванні мережі напругою 20 кВ для різної довжини прокладання кабелю показують особливості використання того чи іншого способу заземлення.

Considering the issue of switching to the voltage of the distribution network of 20 kV, it is necessary to pay attention to the choice of cable and calculation of its parameters. This article is devoted to solving the current problem of reducing power losses in the distribution network due to the correct choice of the method of grounding cable screens, which will help to reduce (eliminate) the loss of power in them. The proposed experimental calculations for a cable with insulation made of cross-linked polyethylene in the application of a network of voltage of 20 kV for different length of cable laying show features of the use of this or that grounding method.

Ключові слова: *розподільна мережа, пропускна здатність, втрати потужності, екрани кабелів.*

Вступ

На сьогоднішній день в Україні проектується та будується все більше нових житлових комплексів, масивів, міських районів, разом з тим, прокладаються нові лінії електропередачі та відбувається реконструкція мереж, перш за все, через їхню фізичну зношеність, незадовільний стан [2]. По-друге, існуючі кабельні та повітряні лінії не можуть забезпечити споживачів необхідним рівнем електричного енергії, адже побудовані десятки років назад ЛЕП не справляються з навантаження, яке постійно зростає, через це і виникають постійні аварійні ситуації. Задля збільшення відстані, на яку передається електрична енергія і, при цьому, зменшенні втрат в лінії, розвинені європейські країни, такі як: Франція, Фінляндія, Швеція, Австрія, Латвія, та багато інших, прийняли рішення, щодо використання класу напруги 20 кВ.

В Україні таке рішення може бути доцільним через те, що звичайна комплексна реконструкція електричних мереж 6 (10) кВ, яка потребує заміни існуючого обладнання на аналоги, які розраховані на більшу потужність, не дозволить збільшити пропускну здатність, а лише відновить функціонування [5]. Тому для досягнення позитивного і якісного результату необхідно поетапно переводити мережі на напругу 20 кВ. При цьому, розглядаючи перехід від 6 (10) на 20 кВ або побудову нової розподільної мережі на більшу напругу, виникають питань, які потребують вирішення. Серед яких: чи варто переходити на більш високий клас напруги? Чи може вітчизняний ринок забезпечити необхідним обладнанням та кабельною продукцією при побудові мереж? Який економічний ефект буде досягнений від даного рішення?

Найбільшого економічно та технічно вигідного результату можна досягти при побудові мережі для нових житлових масивів з великою щільністю забудови, тобто там, де виникає потреба в передачі порівняно високої для розподільної мережі потужності на великі відстані [6]. У той же час, по критерію допустимої втрати напруги мережі напругою 20 кВ можна застосовувати і в сільській місцевості за малої щільності забудови.

Говорячи про обладнання, то потрібно зауважити, що у випадку реконструкції існуючих мереж та переході на напругу 20 кВ, для розміщення трансформаторного та комутаційного обладнання можливе використання будівлі підстанції 6 (10) кВ. Розглядаючи шафи комплектного розподільного пристрою, то їх випускають уніфікованими для класів напруги 6, 10 і 20 кВ [3].

З досвіду розвинених країн Європи та Америки, необхідно розглянути використання кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилена, які займають практично 100 % усього європейського ринку електричних кабелів. Що стосується забезпеченості вітчизняного ринку необхідною кабельною продукцією, то харківський завод «Південкабель»[4] випускає сучасні кабелі із зшитого поліетилену, які відповідають всім вимогам, щодо надійності і якості електропостачання. Адже, мережа 20 кВ має свої особливості, що впливають на вибір номінальних параметрів кабельної лінії.

При виборі необхідного кабелю використовуються такі його характеристики, як допустимі струмові навантаження кабелів, жили і екрану кабелю, номінальний переріз струмопровідних жил, переріз екрана кабелю, розраховують втрати потужності в екранах та вибирають спосіб заземлення екранів кабелів.

Метою роботи є вибір оптимального способу заземлення екранів для зменшення втрат потужності в них.

Результати дослідження

Зменшення втрат при передачі електричної енергії, в тому числі в екранах кабелю, є одним із найбільш актуальних питань на сьогодні. Втрати в екранах можуть бути порівнянні із втратами в струмоведучих жилах. Одним з питань, яке доводиться вирішувати при проектуванні кабельної лінії (КЛ) 20 кВ з ізоляцією із зшитого поліетилену, є обґрунтований вибір перерізу екрана [1]. До того ж, екран кабелю повинен бути заземлений, хоча б, в одній точці, адже, експлуатація кабелю з незаземленим екраном не допускається. Можливі три варіанти виконання заземлення екрана:

1. з одного кінця (одностороннє заземлення);
2. з двох кінців (двостороннє заземлення);
3. з двох кінців з використанням повного циклу транспозиції.

Допускається застосування різних способів заземлення екранів по трасі КЛ, включаючи багаторазове повторення одного й того самого способу заземлення. Рекомендується виконувати ділення на секції в місцях встановлення кабельних муфт, але, при цьому враховувати, що заземлення екранів двох або більше кабелів в кожній фазі повинно бути виконано одним й тим самим способом для кожної фази.

Заземлення екранів хоча б на одному кінці кабелю вже призводить до того, що при пошкодженні ізоляції «жила-екран» самого кабелю в його екранах можуть протікати струми промислової частоти, рівні струму короткого замикання мережі. Тому переріз екрану завжди має бути погоджено з величиною і тривалістю перебігу струму короткого замикання.

Заземлення екранів одночасно в обох кінцях кабелю призводить до прояву специфічної особливості однофазних кабелів: наведення в екранах значних поздовжніх струмів промислової частоти, пов'язаних із взаємною індуктивністю між жилою і екраном. Втрати потужності, створювані струмами в екранах, знижують пропускну здатність кабелю, залежать від перерізу екрана і тому повинні враховуватися при проектуванні.

Розглянемо розрахунки по вибору схеми заземлення екранів для кабелю АПвЭВнг (виробленого заводом «Південкабель»[4]) (табл. 1). Довжина прокладання кабелю 500м, фази кабелю розташовані в площині, з відстанню між сусідніми фазами, рівним зовнішньому діаметру кабелю.

Розрахунок параметрів, необхідних для визначення способу заземлення, проводиться по формулах приведених нижче:

$$Z_{же} - Z_{к} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{s}{r_e},$$

$$Z_{же} = R_{з} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_e}{r_e},$$

де погонний опір землі визначається згідно виразу:

$$R_{з} = \frac{\pi}{4} \mu_0 f \ ,$$

За умови заземлення екранів з двох сторін співвідношення втрат в екрані і жилі $P_e/P_ж$ визначається за допомогою узагальнених залежностей [1], тоді коефіцієнт використання пропускної здатності кабелю розраховується за формулою:

$$K_{в} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{P_e}{P_ж}}}$$

Таблиця 1 – Розрахунок параметрів для вибору способу заземлення екранів кабелів, при довжині кабелю 500 м

Переріз жили, мм^2	Розрахункові параметри			$P_e/P_ж$	$K_в$	Напруга на екрані U_e, кВ
	$z_{же}$-$z_к$	$z_{же}$	$\lvert z_{же} \rvert$			
35	j1,017·10^{-4}	5·10^{-5}+ j2,807·10^{-4}	2,851·10^{-4}	0,032	0,984	0,470
50	j1,012·10^{-4}	5·10^{-5}+ j2,780·10^{-4}	2,824·10^{-4}	0,160	0,928	0,466
70	j1,002·10^{-4}	5·10^{-5}+ j2,729·10^{-4}	2,774·10^{-4}	0,400	0,845	0,458
95	j0,997·10^{-4}	5·10^{-5}+ j2,706·10^{-4}	2,752·10^{-4}	0,960	0,714	0,454
120	j0,989·10^{-4}	5·10^{-5}+ j2,661·10^{-4}	2,708·10^{-4}	1,760	0,602	0,447
150	j0,986·10^{-4}	5·10^{-5}+ j2,640·10^{-4}	2,687·10^{-4}	2,880	0,508	0,685
185	j0,979·10^{-4}	5·10^{-5}+ j2,599·10^{-4}	2,647·10^{-4}	3,200	0,488	0,675
240	j0,955·10^{-4}	5·10^{-5}+ j2,543·10^{-4}	2,592·10^{-4}	7,00	0,354	0,661

Очевидно, що для кабелів перерізом більше 70 мм^2 наявні значні втрати в екранах, і, тому пропускна здатність для них використовується лише на 35…71 %, що недопустимо. Отже, необхідні заходи в боротьбі з втратами в екранах.

Зважаючи на те, що довжина кабелю менша ніж 1 км, то слід в першу чергу розглянути варіант одностороннього заземлення екрана [1]. Для цього розраховується напруга на незаземленому кінці екрана. Розрахунок проводимо для випадку однофазного замикання. Напруга на екрані рівна:

$$U_e = |Z_{же}| \cdot I_{кз} \cdot l_к,$$

Так як за трифазного короткого замикання, напруга на екрані буде меншою. Отримані значення напруги є меншими за рекомендовану напругу 5 кВ. Отже, варіант з одностороннім заземленням екрана є правильним у всіх випадках, тобто за будь-якого з наведених перерізів кабелів при довжині їх прокладання на 500 м.

Розглянемо розрахунок параметрів для кабелю більшої довжини - 10 км (табл.2). Розрахунок проведено для кабелю АПвЭВнг [4], кабель прокладено в траншеї, жили розташовано «трикутником».

Таблиця 2 – Розрахунок параметрів для вибору способу заземлення екранів кабелів, при довжині кабелю 10000 м

Переріз жили, мм^2	Розрахункові параметри			U_{e3}, кВ	U_{e1}, кВ
	$z_{же}$-$z_к$	$z_{же}$	$\lvert z_{же}\rvert$		
35	j0,581·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,571·10^{-4}	7,587·10^{-4}	1,376	1,938
50	j0,576·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,544·10^{-4}	7,561·10^{-4}	1,363	1,920
70	j0,566·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,494·10^{-4}	7,511·10^{-4}	1,340	1,887
95	j0,562·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,470·10^{-4}	7,487·10^{-4}	1,330	1,873
120	j0,554·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,425·10^{-4}	7,442·10^{-4}	1,311	1,846
150	j0,550·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,404·10^{-4}	7,421·10^{-4}	1,302	1,834
185	j0,544·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,363·10^{-4}	7,38·10^{-4}	1,287	1,812
240	j0,520·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,307·10^{-4}	7,324·10^{-4}	1,230	1,732
300	j0,547·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,289·10^{-4}	7,306·10^{-4}	1,295	1,824
400	j0,542·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,255·10^{-4}	7,272·10^{-4}	1,283	1,806
500	j0,520·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,193·10^{-4}	7,21·10^{-4}	1,230	1,732
630	j0,513·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,135·10^{-4}	7,153·10^{-4}	1,213	1,709
800	j0,518·10^{-4}	5·10^{-5}+ j7,083·10^{-4}	7,101·10^{-4}	1,226	1,727

Для кабельних лінії такої довжини в якості заходів в боротьбі з втратами одностороннє заземлення не пройде по напрузі, тобто потрібно застосувати транспозицію екранів.

При трифазному короткому замиканні напруга в екрані розраховується:

$$U_е = \frac{|Z_{же} - Z_к| \cdot I_{кз} \cdot l_к}{3N},$$

При однофазному короткому замиканні напруга в екрані розраховується:

$$U_е = \frac{|Z_{же} - Z_к| \cdot I_{кз} \cdot l_к}{9N},$$

Отже, зі зроблених розрахунків зрозуміло, що навіть при одному повному циклі транспозиції N=1 напруга у вузлі транспозиції буде меншою ніж допустиме значення 5 кВ. Для кабелю, який розглядався в даному прикладі достатньо одного повного циклу транспозиції.

Висновок

Заземлення екрана необхідно з метою збереження структури електричного поля в його ізоляції в умовах експлуатації. Екран кабелю повинен бути заземлений, хоча б, в одній точці. У приведених вище розрахунках показано, що найбільші втрати потужності в екранах виникають при заземленні екранів з двох сторін. Для деякого зниження втрат в екранах при їх заземленні з двох сторін можливо: використання прокладки кабелю «трикутником»; застосування кабелів з малим перерізом екрану (в тому числі за рахунок обмеження струмів короткого замикання).

Можливі способи виключення втрат в екранах кабелів, для цього слід застосовувати: заземлення екрана з одного кінця; заземлення екранів з двох сторін із застосуванням транспозиції, коли екрани кабелю поділяються коробками транспозиції на рівні ділянки, кількість яких кратна трьом. Але для прийняття рішення для кожного окремого випадку необхідне техніко-економічне обґрунтування, в якому наводяться розрахунки для всіх можливих варіантів і обирається той, який найбільше задовольняє поставлену мету.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Силовые кабели. методика расчета устройств заземления экранов, защиты от перенапряжений изоляции силовых кабелей на напряжение 110 – 500 кв с изоляцией из сшитого полиэтилена-СТО 5694 7007-29.060.20.10-2011/розроб. ООО «Научно-производственная фирма. Электротехника: наука и практика» (НПФ ЭЛНАП), Московский энергетический институт (МЭИ ТУ), ЗАО «Завод энергозащитных устройств» (ЗЭУ).- ОАО «ФСК ЕЭС»,2011-32ст.
2. Нова енергетична стратегія України: безпека, енергоефективність, конкуренція [Електронний ресурс]: проект. - Київ, 2015 – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/document?id=245032412. - URL.
3. Підвищення енергоефективності роботи електричних мереж та зменшення втрат в розподільних мережах 6(10) кВ шляхом переходу на більш високий клас напруги 20 кВ зі зміною конфігурації мережі та концептуальних підходів до автоматизації розподільної мережі та систем обліку електричної енергії [Електронний ресурс]: протокол наради №45/4-16 від 18.07.2016, м. Київ - Режим доступу: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch//Pr_narada_pidvyschen_energoefektyvnosti_roboty_energomerezh_18/07/2016.pdf - URL.
4. Довідник кабельно-провідникової продукції/ПАТ «Завод Південкабель» [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.yuzhcable.info/index.php.
5. Катренко Г.Н. Новые подходы к построению распределительных электрических сетей 0,4-35 кВ/«Электрические сети и системы» №5 2013 г./ [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://tavrida-ua.com/articles/novye_podhody_k_postroeniyu_raspredelitelnyh_elektricheskih_setey_04-35_kv.html
6. Майоров А. Технико-экономические аспекты развития электрических сетей напряжением 20 кВ// Сети России – 2015. - №4(31).-С.74-79.

УДК 621.311

Тимощук В. В.
Кафедра електропостачання

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ У СФЕРІ БЛАГОУСТРОЮ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Анотація. *В статті розглядається проблема надійності електропостачання об'єктів благоустрою населених пунктів та відсутність електропостачання загалом. Розглядається та описується технічний стан електропостачання об'єктів. Основна увага сконцентрована на вирішенні проблеми електропостачання за допомогою відновлювальних джерел живлення. На основі аналізу пропонуються варіанти вирішення проблем для об'єкта з можливістю генерації електроенергії від сонячного випромінювання. Увага приділяється на необхідності запропонованих вирішень проблем для енергоефективності системи та безпеки населення.*

Ключові слова: *об'єкт, електропостачання, аналіз, технічний стан, надійність, відновлювальні джерела живлення, електроенергія, світильник, освітлення.*

Abstract. *In article the problem of reliability of electricity supply of objects of improvement of settlements and the lack of electricity as a whole is considered. The technical state of electrical supply of objects is highlighted and described. The main focus is on solving the power supply problem with renewable power supplies. Based on the analysis, variants of solving problems for an object with the possibility of generating electricity from solar radiation are offered. Attention is paid to the need for the proposed solutions to the problems of energy efficiency of the system and the safety of the population.*

Keywords: object, power supply, analysis, technical condition, reliability, renewable power supply, electricity, lamp, lighting.

Вступ. Із розвитком інфраструктури міста, об'єктів благоустрою населених пунктів з кожним роком стає більше. Електроживлення таких територій стає більш новітнім, надійнішим. Але існують і такі території, в яких систему електроживлення для освітлення будували десятки років тому. Про надійність таких систем, на теперішній час, сказати не важко. Вплив зовнішнього середовища значно погіршив стан ізоляції кабелів для електроживлення освітлювальних пристроїв. З розвитком технологій, потреби населення також зростають, тому для комфортного відпочинку, відвідувачам необхідно запропонувати додаткові послуги або розширити функціонал паркової зони.

Система вуличного освітлення є обов'язковим елементом інфраструктури міста. Вуличне освітлення застосовується для освітлення доріг, вулиць, парків та стадіонів, приватних територій, промислових підприємств та будинків різноманітних компаній. Основна задача систем вуличного освітлення – охоронне освітлення для вчасного запобігання протиправних дій та різноманітних актів вандалізму, створення комфортної та безпечної середи проживання та функціонування населення. До основних відмінностей сучасних систем вуличного освітлення в порівнянні з попередніми можна віднести велику ефективність, впровадження енергозберігаючих технологій, новітні елементи контролю споживання електричної енергії. Чим більше територія парку, тим більше необхідно освітлювальних приладів і як результат – більше електричної енергії для живлення цих самих освітлювальних приладів.

В Києві нараховується 111 парків та 486 скверів. Кожен з парків має різний розмір та різну функціональність. Споживання електричної енергії паркової зони залежить від типу парку.

Парки можуть бути систематизовані з урахуванням містобудівного значення, ландшафтно-генетичних ознак, демографічних факторів, функціональної спеціалізації і розмірів. Так наприклад, поліфункціональний тип парку може споживати більше електроенергії ніж меморіальні парки, через наявність додаткових функціональних зон: розважальних (наявність атракціонів або інших розважальних комплексів), пункти харчування або поливні системи та інше.

Чим більша кількість додаткових послуг і як результат – додаткове навантаження в парковій зоні, тим надійніша повинна бути система під'єднання до мережі та система керування. Для визначення потужностей будівель, які розташовані в парку, необхідно встановити можливий розподіл відвідувачів по його різним зонам. З практики експлуатації парків можна визначити наступне застосування розподілу відвідувачів: в культурно-просвітній зоні 25-30%; спортивні майданчики 10-12%; атракціони та інші ігрові зони 12-15%, тихі зони для відпочинку та прогулянок 30-35%, пункти харчування 10-12% [1]. Від розмірів пакової зони залежить можливість розміщення споруд, які надають додаткові послуги для відвідувачів. І як результат, від додаткових споруд, які розміщені на території парку, залежить споживання потужностей. Таким чином, можна зробити невелику класифікацію паркових зон за споживанням електроенергії в залежності від наявності споруд для відпочинку. В таблиці 1 наведені споруди, використання яких можливе від малих паркових зон до великих.

Таблиця 1. Класифікація паркових зон за можливим споживанням електроенергії

Малі паркові зони		
Середні паркові зони		
Великі паркові зони		
Мале споживання е/е	*Середні споживання е/е*	*Велике споживання е/е*
Малі атракціони	Танцювальна площадка	Спортивні майданчики
Площадка для дошкільнят	Альтанка для відпочинку	Виставковий павільйон
Площадка для школярів	Малий планетарій	Крупні атракціони
Торгові кіоски	Кафе-ресторан	Кінозал
		Адміністративні приміщення

Можна побачити, що через розмір парку залежить і споживання електричної енергії території. Для прикладу, торгові кіоски займають площу 6-10 м^2. Обладнання, яке необхідно обслуговувати: освітлення, кондиціонер, холодильні камери та розігріваючі пристрої (в разі, якщо торговий кіоск призначений для харчових виробів). В порівнянні з кафе-рестораном, необхідна площа для розміщення споруди та кількість електроенергії для живлення обладнання значно менші. Таким чином, маємо пряму залежність кількості споживання електроенергії від площі паркової території.

Основною проблемою є те, що у паркові зони, які мають застарілу систему електропостачання та яке розраховане тільки на освітлення, під'єднують додаткове навантаження. Через це, лінії мають великий та швидкий знос або велику перенапругу, що призводить до короткого замикання і руйнації кабелю.

Через застарілість ліній електроживлення та консолей, надійність освітлення знижується, а під'єднання системи до центральної електромережі, робить освітлення залежним та вразливим.

Постає питання про забезпечення надійності та ефективності системи електрозабезпечення таких об'єктів, зокрема, паркових зон, зон відпочинку та інших з використанням ВДЕ, в залежності від географічних можливостей території, сезонних кліматичних умовах та можливістю впровадження нової системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Надійність освітлення паркової зони, перш за все - це пряма залежність безпеки населення в нічний період. Чим надійніша система та елементи освітлення, тим менше неправомірних дій трапляється у нічний час. Згідно аналізу Комарова А. А. [2], паркова зона може нести в собі як криміногенний так і антикриміногенний потенціал. Єдиний вихід – це всі можливі ділянки, виділені під рекреаційні зони, повинні бути освоєні та технічно облаштовані. З урахуванням того, що більшість паркових зон в нічний час недостатньо освітлені, встановлення обладнання для виклику охорони порядку буде доцільним для розгляду питанням.

Що ж стосується правил підключення та живлення зовнішнього освітлення, то опираючись на публікацію Марії Попової [3], підключати вуличну світлотехніку потрібно через трифазну мережу, живити в спеціалізованому щиті або шафі зовнішнього освітлення. Живлення даного обладнання виконується через комплектні трансформатори, розподільні пристрої будівель, магістральні електромережі. Параметри живлення - змінний струм напругою 220 В або 380 В. Освітлювальна мережа може бути повітряною з самоутримних ізольованих проводів або підземною з броньованих кабелів, покладених траншейним методом. В проектну документацію по кабельній лінії потрібно включити інженерно-топографічний план місцевості, де позначені всі існуючі споруди і підземні комунікаційні об'єкти.

Проаналізувавши публікації та дослідження, необхідно вказати, що ефект вандалізму все ще існує і тому актуальним буде встановлення більш захищених елементів освітлення та електросистеми загалом. Централізована схема електропостачання з кожним роком ускладнює передавання електроенергії на фоні загального світового технологічного розвитку. Тому, постає питання локалізованого електропостачання.

Постановка завдання. Визначення стану та надання оцінки енергетичної системи та освітлення об'єктів благоустрою населених пунктів, зокрема, паркових зон при сучасному технологічному та інфраструктурному розвитку країни, із метою підвищення комфорту та безпеки мешканців населених пунктів. Розгляд можливості використання технологій ВДЕ для освітлення паркових зон в Україні та економічна оцінка впровадження автономних систем освітлення.

Матеріал і результат дослідження. Так як, всі технічні проблеми з освітленням територій вирішити не можливо, для вирішення проблеми освітлення паркових зон, необхідно виділити ці проблеми окремо для класифікації. Класифікація паркових зон, за існуючими проблемами та можливістю їх вирішення, буде найефективнішим методом оцінки технічного стану і як результат - підвищення надійності електропостачання та освітлення територій. Також, необхідно пам'ятати про розміри території паркової зони. Адже, чим більша територія, тим потужніша система має бути. Отже, першим пунктом буде складання списку технічних проблем для досліджуваних територій. Як приклад, до списку можна записати наступне: застарілість консолей або їх погана якість (що не рідкість для українського ринку), забрудненість ламп, пункти живлення які не мають достатнього захисту від погодних умов, малоефективні лампочки(зокрема, застарілі лампи накалювання, які більшість електроенергії перетворюють в тепло), лінії електропередачі, які з роками втрачають свою надійність через корозію та інший зовнішній вплив на кабель.

З огляду на те, що такі проблеми можна віднести майже до кожної паркової зони або іншої освітлюваної території, до класифікації необхідно віднести методи вирішення проблем:

1.Підвищення ефективності елементів освітлення методом заміни на більш новітні – заміна застарілих лампочок на світлодіодні. Це дозволить зменшити споживання електроенергії, встановити більше освітлювальних елементів системи та зробити шлях від пункту А до пункту Б більш безпечнішим.

2.Впровадження інтелектуальних систем керування електроенергією та освітленням територій.

3.Заміна консолей на більш якісні варіанти, що збільшує термін експлуатації елементів освітлення.

4.Також розглядаємо заміну централізованого електроживлення на локальну або розосереджену енергосистему. Як приклад – заміна старої централізованої системи електроживлення від підстанцій на відновлювані джерела енергії. Це дозволяє уникнути перебою електроживлення та зменшення вартості нової системи, за умови продажі надлишкової електроенергії у загальну енергосистему.

Такий підхід дозволить індивідуально вирішувати технічні проблеми з розрахунку особливостей території та можливістю впровадження нових технологічних рішень. Так наприклад заміна старих лампочок на світлодіодні лампи, зменшує втрати електроенергії мінімум в 2 – 3 рази. Енергетичні витрати на одну лампу розжарювання складає 150 Вт, що значно більше, ніж світлодіодна лампочка – 40 – 50 Вт. Єдиний мінус такого рішення – велика вартість світлодіодних лампочок. Та зменшення навантаження системи від освітлювальних приладів дасть змогу під’єднати еквівалентне навантаження, тобто ті самі додаткові послуги (точка харчування, атракціон, тощо). Все залежить від розмірів паркової зони та номінальної потужності ліній електропередач.

Для прикладу, розрахуємо повну електричну потужність яку необхідно витратити на утримання паркової зони. На території парку знаходяться два дитячих майданчики площею 25 м2 та 50 м2 та зона обслуговування відвідувачів – мале кафе. За даними НКРЭКУ необхідна потужність для під’єднання кафе складає 16 кВт. Кількість світильників N = 200. Потужність кожного складає P = 150 Вт. Для визначення, необхідно скласти потужності освітлення паркової системи та споживання електроенергії додаткових послуг.

Таким чином, отримаємо 31.62 кВт для освітлення та лінію в 16 кВт для обслуговування кафе малих розмірів. У сумі отримаємо 47.62 кВт. У разі, якщо замінити лампи на більш ефективні, можна зменшити споживану потужність освітлення у 2-3 рази. Такий варіант зменшення навантаження на лінію електроживлення та звільнить потужності для промисловості. Або на вільні потужності можна встановити додаткові послуги для відвідувачів паркової зони.

Паркова зона повинна бути екологічно чистою і тому джерела енергії повинні бути безпечними для навколишнього середовища. Локалізовану та максимально екологічну систему електроживлення можливо створити за допомогою відновлюваних джерел живлення. ВДЕ - ідеальний варіант для нової енергосистеми. Опираючись на можливості паркових зон, можна обрати джерело із сонячних панелей або встановити гідротурбіну на річці, яка протікає поряд. Із технологічним розвитком та модифікацією світильних елементів, споживна потужність зменшується, що дозволяє побутовому споживачу, підприємцям або державним установам зменшити витрати на освітлення вулиць та використовувати малопотужні відновлювані джерела живлення. Так наприклад, британська компанія Solar Illuminations розробила автономний світильник [4]. Він використовує сонячні фотоелементи для заряду встановленої батареї вдень та використовує цей заряд для освітлення території вночі. Такий світильник не потребує додаткового живлення. Він може бути оснащений додатковими елементами для підвищення ефективності освітлення та економії заряду батареї: потужнішою сонячною панеллю, додатковою акумуляторною батареєю або детектором руху.

Не можна не розглядати і такий варіант, як встановлення більш потужних та з'єднаних між собою сонячних панелей у загальну систему електроживлення на певній сонячній території, де інсоляція буде максимальною, що дозволить генерувати максимальну кількість електроенергії. У такому випадку, для автономної системи електроживлення необхідно встановити акумуляторні батареї, для заряду їх вдень та живлення освітлювальних елементів від них вночі. Так для прикладу: паркова зона, що має 100 ліхтарів на території, споживає 100 * 36 Вт*ч електроенергії щогодини. В залежності від пори року, час ввімкнення та вимкнення освітлення змінюється. Влітку загальний час освітлення зменшується до 6 годин, тоді як взимку ця цифра збільшується до 12 годин на добу. Для прикладу ми візьмемо 10 годин роботи освітлювальної системи від акумуляторних батарей. Отже, освітлювальна система споживає щогодини 3.6 кВт*ч електроенергії, щодня 36 кВт*ч. У разі, якщо світильник працює на повну потужність. Цифра виходить дуже велика, адже лише затрати на акумуляторні батареї можуть сягати 1 мільйону гривень [5]. Але завдяки інтелектуальним системам керування освітленням, наприклад, АСУНО UNILIGHT, витрати споживання електроенергії можна зменшити на 40%[6]. Така система дозволяє керувати кожним світильником окремо по команді, річному розкладу або сонячному календарю, робити індивідуальне або групове димірування з можливістю зміни яскравості від 0% до 100%. Постійний моніторинг кожного елементу системи дає можливість бачити інформацію про поточний статус пристрою.

Отже, за допомогою інтелектуальних систем керування електроенергії та освітлення, заміною окремих застарілих елементів (лапочок) на більш новітні можна зменшити витрати на 85% (з 150 Вт до 36 Вт = (заміна світильників) 150 Вт на 36 Вт, (підключення інтелектуальної системи керування) 36 Вт на 22 Вт) . У такому випадку, нова система електроживлення буде котувати менше, ніж на базовому рівні без використання інтелектуальної системи керування.

Як можна бачити з Таблиці 2, вартість нової автономної енергосистеми складатиме близько 1.7 мільйони гривень з урахуванням 20% на монтажні роботи [7].

Таблиця 2. Кошторис автономної енергосистеми.

№	Назва елемента системи	Вартість, грн.
1	Інтелектуальна система керування АСУНО	70 889
2	Акумулятор BYD B-Box 10.0kWh (3 шт)	722 016
3	Сонячна панель Atmosfera Abi-Solar M60270-D, 270 Вт (27 шт)	147 771
4	Світлодіодний світильник 36/18Вт 12В для автономних вуличних систем освітлення (100 шт)	339 600
5	Силовий кабель для під'єднання живлення до елементів освітлення	80 000
	Загальна вартість	**1 360 276**

Генерації електроенергії від сонячних панелей у літній період вистачає, щоб зарадити акумулятор [8]. Загальна потужність сонячної станції складає 7.3 кВт. В свою чергу, заряду акумулятора вистачає на повне забезпечення електроенергією систему освітлення. Найбільшою проблемою такої системи буде встановлення сонячних панелей на території паркових зон. З огляду на те, що середня за рік інсоляція на території України сягає 3 кВт*г/м2/день, рослинність не прибавляє ефективності генерації електроенергії. Як вирішення такої проблеми можуть слугувати опори для сонячних панелей, які б підіймали їх на необхідну висоту, для максимальної ефективності. В такому випадку енергосистему треба

розділити на 3 частини і зробити 3 зони освітлення, які б живилися окремо, але керувалися однією інтелектуальною системою.

В залежності від географічного розміщення та ландшафту паркової зони, можна проаналізувати то зробити алгоритм впровадження відновлювальних джерел енергії, як основне або додаткове джерело живлення. Так наприклад, розміщення малих ГЕС на території парку можливе лише тоді, коли поряд є водні ресурси з течією. І так як, потужності малих ГЕС не значні, у ролі основного джерела живлення вони виступати не можуть. Також, такі джерела живлення залежать від погодних умов. І тому, у зимній період, використання малих ГЕС обмежено, через замерзання води. Як бачимо, використання гідротурбін обмежене не тільки географічними можливостями але й кліматичними умовами. Що ж стосується вітрових установок, то два їх недоліки – це масивність та залежність від сили вітру. Таким чином, в міських локаціях, впровадження таких систем буде ускладнено, через щільність розміщення споруд. Водночас, є й альтернатива – вітряні дерева. Розміри та вигляд нагадують справжнє дерево. Але на відміну від природного, дерево компанії NewWind R&D, може генерувати потужність від 2.5 до 4 кВт*год [9]. Відлякує лише вартість такого «вітрового дерева». Ідеальною альтернативою гідротурбінам та вітровим установкам, на теперішній час, можуть послугувати сонячні панелі. Генерація електроенергії, на відміну від вітрових установок, можливе лише в денний період доби. Також впливають кліматичні умови та географічне розміщення. Як приклад, в південній частині України, сонячна інсоляція більша, ніж на західній. Наявність гірського ландшафту і як результат скупчення хмарних масивів, зменшує ефективність сонячних панелей. Але на більшості території країни, сонячні батареї уможливлюють локалізацію генерації електроенергії до споживача. Таким чином, розміщення сонячних панелей дає змогу децентралізувати електропостачання та зробити енергосистему надійнішою. В таблиці 3 показано порівняння основних відновлювальних джерел живлення.

Таблиця 3. Порівняння відновлювальних джерел живлення.

	Потужність	**Вартість**	**Мінуси**
Гідротурбіна	До 1200 Вт	52 428 грн	Залежить від водних ресурсів та пори року
Вітрогенератор	До 1000 Вт	130 480 грн	Залежить від сили вітру
Сонячні батареї	До 1000 Вт	56 319 грн	Залежить від кліматичних умов та потужності сонячної інсоляції

Таким чином, в залежності від розміщення паркової зони та розмірів самої території, можливо обрати альтернативне джерело, яке може слугувати як основне або ж допоміжне. Нажаль, у наш час, технологічний прогрес не дає змоги забезпечити електроенергією великі навантаження малими, водночас, установками. І тому комбінація відновлювальних джерел живлення з існуючими, буде найкращім вирішенням підвищення надійності електропостачання.

Висновки. З кожним роком енергетичні технології стають потужнішими, ефективнішими та більш доступнішими. Завдяки «зеленому тарифу», навіть побутовому споживачу зараз вигідно встановлювати відновлювані джерела електроживлення.

Встановлення такої системи, яка описана вище, дає змогу вирішити проблему перебійного освітлення. Також це дасть змогу окупити свої витрати та зробити безпечнішими паркові зони.

В залежності від географічних можливостей, джерелом живлення освітлення може слугувати як гідротурбіни та і вітрові установки. Тому, індивідуальність паркової зони не

втрачається і кожна з територій може бути унікально оснащена. В наш час все залежить від фінансової можливості.

Технологічний розвиток дає нам змогу керувати приладами, регулювати їх споживану потужність та максимально економити свої заощадження і час. З усього вище розглянутого, оптимальним варіантом може бути розосереджене живлення. Так у разі браку потужності для освітлення, централізоване живлення підзарядить акумулятори, а у випадку надлишку електроенергії, її можна продати за «зеленим тарифом».

Список використаних джерел:

1. Парк крупного города. Методичні вказівки для спеціальності 29100. Издательство ТГТУ
2. Комаров А. А. Топография парковых комплексов мегаполиса: проблемы антикриминогенного зонирования и обустройства рекреационных территорий. *Урбанистика.* 08.01.2016
3. Мария Попова. Проектирование наружного освещения. 12 января 2018
4. SL15 SOLAR 10W/12W/15W/18W LED AREA LIGHT (WITH COLUMN): веб-сайт. URL: http://www.solarilluminations.co.uk/solar-street-lights-car-park-lighting/sl15-richmond-street-light (дата звернення: 24.09.2018)
5. Литиевый аккумулятор BYD B-Box: веб-сайт. URL: https://www.atmosfera.ua/news/akb-byd-b-box/(дата звернення: 25.09.2018)
6. Интелектуалльная система управления освещением): веб-сайт. URL: http://itpss.ru/docs/presentations/20170407-unilight-smart-lighting-control-system.pdf (дата звернення: 15.10.2018)
7. Солнечная станция для дома: веб-сайт. URL: https://alteco.in.ua/solution/solnechnaya-energetika/solnechnaya-elektrostanciya-5kwt-var8-gibridnaya (дата звернення: 03.10.2018)
8. Сколько Ватт выдаёт солнечная батарея?: веб-сайт. URL: https://ecoliga.ua/skolko-vatt-vydaet-solnechnaya-batareya/ (дата звернення: 04.10.2018)
9. Дерево, которое генерирует энергию ветра: веб-сайт. URL: https://cameralabs.org/7631-frantsuzskoe-tekhnologicheskoe-chudo-derevo-kotoroe-generiruet-energiyu-vetra (дата звернення: 10.11.2018)

УДК 551.55+551.50+620.9+ 621.311.24

Тиндирика Ю.О.
Кафедра електропостачання

ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ВЕУ ДЛЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АВТОНОМНОГО ОБ'ЄКТА НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ШВИДКОСТІ ВІТРУ

У роботі проведено дослідження оцінки вітроенергетичного потенціалу місцевості, розташованої на заході України. Відображено результати дослідження швидкостей вітру в межах інтервалів 1 м/с та їх тривалості впродовж року. Використано статистичні методи обробки числових даних швидкості вітру, з метою одержання адекватних розрахункових результатів оцінки питомої потужності вітроелектроустановки.

Ключові слова: *швидкість вітру, питома потужність, щільність розподілу, щільність ймовірності потужності.*

An assessment of wind energy potential for the farm located in western region of Ukraine was done. The research results of wind speed distribution within 1 m/s speed's duration intervals throughout the year are shown. To get the adequate estimates we applied statistical methods of wind speed numerical data processing and the specific values of wind power plant were computed.

Keywords*: wind speed, power density, distribution density, probability density of power.*

Вступ. Використання енергії вітру набуває все більшої ваги у складі енергосистем багатьох країн, зростає кількість автономних систем електропостачання на основі вітроелектроустановок (ВЕУ). Виробництва електроенергії ВЕУ супроводжується низкою проблем, зумовлених нестабільністю вітру та невизначеності миттєвих і усереднених значень [1]. Питома потужність вітрового потоку пропорційна кубу швидкості вітру, тому при довгостроковому плануванні й оцінках очікуваної ефективності вітроенергетичної установки в конкретній географічній точці, необхідно мати дані статистичних характеристик вітру, що враховують їх сезонні особливості.

Мета та завдання. Визначення вітроенергетичного потенціалу обраної території та оптимальних місць для розміщення об'єктів вітроенергетики на основі статистичних даних швидкості вітру.

Матеріал і результати досліджень. Для ефективного використання енергії вітрового потоку необхідно мати вичерпну інформацію про нього. Загальних метеорологічних характеристик, що надаються метеостанціями, для цього недостатньо [2].

Якісні практичні результати моделювання прогнозних значень швидкості вітру й моделювання можливих рівнів потужності ВЕУ є важливою передумовою розв'язання всього комплексу задач.

Математичні моделі роботи ВЕУ з урахуванням стохастичної природи вітру як джерела енергії потребують знання ймовірнісних характеристик вітру і відповідних характеристик потужності ВЕУ. Швидкість вітру можна вважати величиною випадковою за визначенням, причому потужність ВЕУ пов'язана зі швидкістю вітру функціональною залежністю. Відтак, потужність є *стохастичною* змінною в задачі оцінювання енергетичних характеристик об'єкта енергопостачання [3].

Швидкість вітру, що у дійсності змінюється випадково, може мати вигляд як на рисунку 1 (здійснено 8784 виміри протягом кожної години впродовж року).

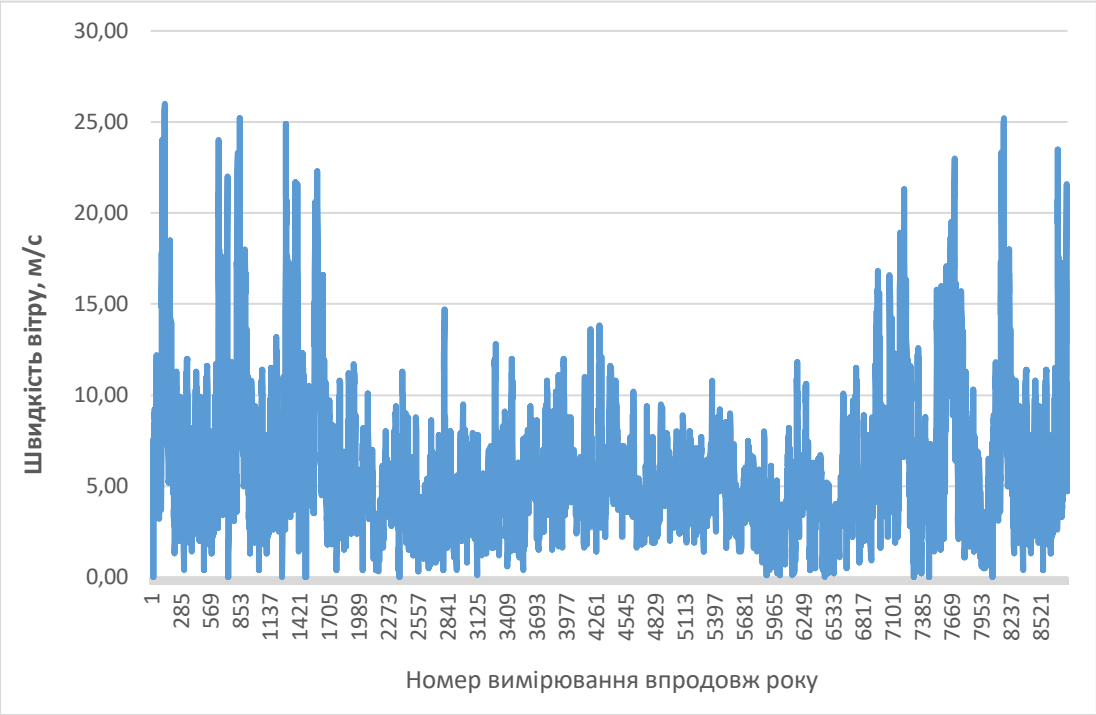


Рис. 1 – Варіація швидкості вітру протягом року

Питома потужність ВЕУ (або щільність потужності) на 1 м^2 розраховується за формулою [4]:

$$N = \frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n} p_i V_i^3 , \qquad (1)$$

де n – кількість вимірів швидкості вітру, здійснених протягом аналізованого періоду часу;

p_i – густина повітря на момент і-го виміру (кг/м^3), p=1.225 кг/м^3 за нормальних умов; V_i – швидкість вітру на момент і-го виміру (м/с).

За формулою (1) питома потужність вітрового потоку пропорційна кубу швидкості вітру й тому цей параметр значно зростає навіть за невеликого збільшення швидкості вітру. Таким чином, для оцінки потужності ВЕУ та кількості вироблюваної ними енергії необхідна інформація про повторюваність різних швидкостей вітру в місці їх встановлення на рівні осі вітроколеса.

Ця ж особливість не дозволяє оцінювати середню за певний відрізок часу (місяць, рік) питому потужність і використовувати це значення для розрахунку величини вироблюваної енергії, спираючись лише на середнє значення швидкості вітру. Тому середню питому потужність слід розраховувати таким чином [4]:

$$N = \frac{1}{2}\overline{p}\int_{0}^{\infty} f(v)\cdot v^3 dv , \qquad (2)$$

де $\overline{p}$ – середня густина повітря;

$f(v)$ – диференційна функція щільності розподілу швидкостей вітру.

Наведений інтеграл можна оцінити інтегральною сумою як:

$$N = \frac{1}{2}\overline{p}[p(v_1)\cdot v_1^3 + p(v_2)\cdot v_2^3 + \cdots p(v_n)\cdot v_n^3] , \qquad (3)$$

де $v_{1,\,2,\,3\,\ldots n}$ – значення швидкостей вітру для середини інтервалів;

$p\,(v_{1,\,2,3\,\ldots n})$ – повторюваність інтервалів.

Значення повторюваності інтервалів можна отримати в результаті обробки даних по швидкості вітру (в даному дослідженні використовуються 8784 показників швидкості вітру для кожної години року), таблиця 1.

Табл. 1 – Ймовірність швидкості вітру по інтервалах

Інтервали швидкості вітру, м/с	**0-1**	**1-2**	**2-3**	**3-4**	**4-5**	**5-6**	**6-7**	**7-8**	**8-9**	**9-10**	**10-11**	**11-12**	**12-13**
Кількість значень на даному інтервалі	160	447	928	1361	1373	1208	905	669	410	285	243	183	146
Повторюваність, %	1,82	5,09	10,56	15,49	15,63	13,75	10,3	7,61	4,67	3,24	2,77	2,0	1,66
Інтервали швидкості вітру, м/с	**13-14**	**14-15**	**15-16**	**16-17**	**17-18**	**18-19**	**19-20**	**20-21**	**21-22**	**22-23**	**23-24**	**24-25**	**25-26**
Кількість значень на даному інтервалі	104	66	61	62	55	27	27	19	14	10	11	6	4
Повторюваність, %	1,18	0,75	0,69	0,71	0,63	0,31	0,31	0,22	0,16	0,11	0,12	0,07	0,045

Табличні дані подано графічно на рисунку 2.

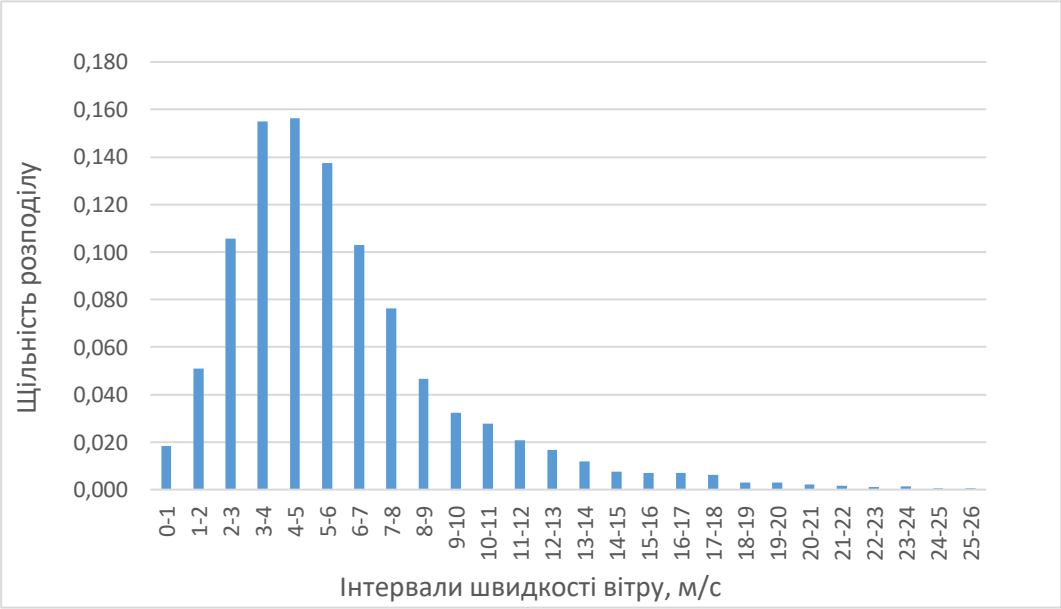


Рис. 2 – Щільність розподілу швидкості вітру

Значення щільності ймовірності потужності для розрахунків за формулою (3) наведено в таблиці 2 та на рисунку 3.

Табл. 2 – Щільність ймовірності потужності по інтервалах

Інтервали швидкості вітру, м/с	**0-1**	**1-2**	**2-3**	**3-4**	**4-5**	**5-6**	**6-7**	**7-8**	**8-9**	**9-10**	**10-11**	**11-12**	**12-13**
Середнє значення інтервалу, м/с	0,50	1,50	2,50	3,50	4,50	5,50	6,50	7,50	8,50	9,50	10,50	11,50	12,50
Щільність ймовірності потужності	0,005	0,105	1,011	4,068	8,724	14,01	17,33	19,68	17,56	17,04	19,61	19,4	19,88
Інтервали швидкості вітру, м/с	**13-14**	**14-15**	**15-16**	**16-17**	**17-18**	**18-19**	**19-20**	**20-21**	**21-22**	**22-23**	**23-24**	**24-25**	**25-26**
Середнє значення інтервалу, м/с	13,50	14,50	15,50	16,50	17,50	18,50	19,50	20,50	21,50	22,50	23,50	24,50	25,50
Щільність ймовірності потужності	17,84	14,03	15,84	19,42	20,55	11,92	13,96	11,41	9,7	7,94	9,95	6,15	4,62

Рис. 3 – Щільність ймовірності потужності

Середня питома потужність, розрахована з використанням середньорічної швидкості вітру, обчислена через погодинні виміри швидкості, здійснені протягом року (1) становитиме:

$$N = \frac{1}{2} \cdot 1,225_{\text{кг/м}^3} \cdot 5,86174^3_{\text{м/с}} = 123,36_{\text{Вт/м}^2}.$$

Питома потужність, розрахована через інтегральну суму (3):

$$N = \frac{1}{2} 1,225_{\text{кг/м}^3} \sum_{i=1}^{24} V_i^3 F(V_i) = 321,8_{\text{Вт/м}^2} -$$

це значення є більшим від значення розрахованого лише на основі середньої швидкості вітру. Найбільші значення щільності ймовірності потужності відповідають інтервалу швидкостей між 6÷18 м/с, в той час як найбільш ймовірна швидкість вітру становить 3-7 м/с. Таким чином, моделювати можна як безпосередньо швидкість вітру, так і результуючу потужність ВЕУ, які характеризуються однією функцією щільності розподілу.

Представлення функціональної залежності потужності ВЕУ існують різні; розробниками ВЕУ вони подаються зазвичай у табличному або графічному вигляді й називаються кривою потужності ВЕУ.

Висновки. Результати розрахунків, виконаних на основі числових даних вимірювань значень швидкості вітру, свідчать про достатній вітропотенціал для застосування промислового вітротехнічного обладнання (вітротурбін) для енергозабезпечення об’єкта в обраному регіоні. Структуру виконання розрахунків щодо визначення вітроенергетичного потенціалу можна застосувати також для інших географічних місць бажаного розташування ВЕУ.

Робочі характеристики ВЕУ є мінливими у часі, тому слід враховувати періоди з нульовою, або недостатньою для забезпечення електропостачання споживачів, швидкістю вітру. Залежності від дії мінливого фактору можна частково уникнути, використавши засоби акумулювання енергії.

Список використаної літератури

1. Костюк В.О., Тиндирика Ю.О. Техніко-економічні переваги комбінованої енергетичної установки з гідроакумуляційними пристроями // Збірник наукових праць X науково-технічної конференції Інституту енергозбереження та енергоменеджменту «Енергетика. Екологія. Людина». – Київ, 2018. – С. 54-57.

2. Орынбаев С.А., Байбутанов Б.К., Молдахметов С.С. Определение ветроэнергетического потенциала и оценка предпочтительных мест размещения объектов ветроэнергетики // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 15–16 квітня 2013. – Кременчук: КрНУ, 2014.

3. Костюк В.О. Системний огляд методів дослідження енергоустановок з мінливими технологічними показниками й практичні аспекти моделювання // Проблеми загальної енергетики. –2015. –№2(41). – С.39-47.

4. Bostan I. Resilient energy systems. Renewables: Wind, Solar, Hydro / Ion Bostan, Adrian Gheorghe, Valeriu Dulgheru et al. – Springer Science+Business Media B.V., 2013. –507 p.

УДК 621.311

Голуб Є.С.
Кафедра електропостачання

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ БЮДЖЕТНОЇ СФЕРИ

Анотація Проведено аналіз методів підвищення ефективності автоматизованих систем моніторингу споживання енергетичних ресурсів будівель бюджетної сфери в містах обласного значення.

Ключові слова: моніторинг, енергетичні ресурси, бюджетна сфера

Abstract The analysis of methods of increasing the efficiency of automated monitoring systems of energy resources consumption of buildings of the budget sphere in cities of oblast significance

Key words: monitoring, energy resources, budget sphere

Вступ. Загальна постановка проблеми

Моніторинг споживання енергетичних ресурсів в бюджетних закладає є основою функціонування системи енергетичного менеджменту та ефективного впровадження заходів з підвищення енергоефективності.

Наявність моніторингу надає можливість виявляти не ефективне енерговикористання, визначати будівлі , що потребують впровадження заходів з енергоефективності та планування витрат.

Основні задачі, що стоять перед системами моніторингу енергоспоживання в будівлях:

- виявлення неефективного енерговикористання;
- прогнозування витрат на енергоносії;
- планування впровадження заходів з підвищення енергоефективності;
- збір та накопичення бази даних щодо енергоспоживання по закладам;
- ведення бази характеристик будівель, що впливають на енергоспоживання;
- визначення фактичної економії енергоресурсів після впровадження заходів;
- стимулювання персоналу до ощадного енерговикористання;
- допомога енергоменеджерам у прийнятті рішень щодо підвищення ефективності енерговикористання;
- інтеграція з іншими системами, зокрема з системами розрахунків за енергоносії, системами енергопостачальних організацій.

Як правило, представлені в Україні системи не забезпечують всіх наведених функцій і є свого роду компромісом між вартістю, простотою використання, доступністю та функціональністю[1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питанням впровадження та використанням систем моніторингу енергетичних ресурсів, присвячено значна кількість наукових публікацій. Водночас, більшість з них стосується описуванню загальних понять в яких не вистачає конкретизації ,як на моєму наприкладі: система моніторингу енергетичних ресурсів будівель бюджетної сфери.

Для проведення моніторингу енергоспоживання можуть бути використані різноманітні програмні комплекси. Різновиди таких систем створювалися в багатьох містах України і використовувалися в першу чергу для підготовки звітностей для

енергопостачальних організацій та для формування «лімітів» енергоспоживання. В деяких містах подібні системи дозволяли вести базу даних енергоспоживання великої кількості будівель та розраховувати економію від впровадження проектів з підвищення енергоефективності[3].

Нажаль, дотепер не знайшло, у науковій літературі, відображення питання якою конкретно повинна буди система моніторингу енергетичних ресурсів для будивель бюджетної сфери. Також залишилося поза увагою питання удосконалення існуючи систем моніторингу, щоб адаптувати їх під будівлі енергоресурси яких фінансуються з бюджетних коштів.

Формулювання цілей статті

Метою даної публікації є розгляд питань щодо підвищення ефективності використання системи моніторингу енергетичних ресурсів для бюджетних будівель. Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені такі задачі:

- визначення основних задач, що стоять перед системою моніторингу енергетичних ресурсів будівель бюджетної сфері , збір та опрацювання статистичних даних;
- проаналізувати методи для оптимізації системи моніторингу енергетичних ресурсів будівель бюджетної сфери;
- розробити інноваційні підходи щодо застосування методів та технічних заходів дляпокращення системи моніторингу енергетичних ресурсів будівель бюджетної сфери.

Виклад основного матеріалу дослідження

Згідно з концепцією моніторингу він виконує одну з важливіших функцій системи управління з досягнення поставлених перед об’єктом цілей і є невіддільною складовою управління об’єктом у частині формування інформаційно-аналітичної бази цього процесу.

Моніторинг є постачальником інформації, необхідної для функціонування системи управління об’єктом . Оскільки інформація – це сукупність відомостей, що зменшують рівень невизначеності . Інформація, яку постачає система моніторингу, має відповідати таким вимогам: достовірність, повнота, релевантність, корисність (ефект від використання інформації має перевищувати витрати на її отримання), зрозумілість, своєчасність, регулярність.

Для того щоб інформація з система моніторингу була своєчасною та регулярною , об’єкти енергоресурси якої моніторяться повинні бути остатковані автоматичною системою комерційного обліку. Основною метою впровадження автоматичних систем комерційного обліку електроенергії є зниження витрат і витрат на споживання енергоресурсів, мінімізація втрат за рахунок підвищення точності отриманих даних і скорочення часу збирання обробки. Автоматизація обліку електроенергії на усіх етапах, від виробництва до споживання, стає неодмінною умовою ефективного функціонування сучасних енергосистем.

Важливою додатковою функцією GSM-маршрутизатора є розсилка аварійних та технологічних SMS-повідомлень. Користувач сам визначає умови, коли буде надіслана SMS. Це може бути сигнал аварії, перевищення допустимого рівня параметра, несанкціоноване проникнення в приміщення. SMS-повідомлення надсилаються на визначені номери. Номерів може бути декілька. Це дозволить надіслати повідомлення всім особам, відповідальним за цей об’єкт. Таким чином, інформація передається потрібним людям в момент виникнення. Це значно пришвидшує контроль і реакцію на появу нештатних ситуацій. Також користувач може зі свого мобільного телефону за допомогою SMS надіслати запит на GSM-маршрутизатори ; у відповідь отримає SMS з поточними значеннями параметрів на об’єкті. Для гарантованого збереження інформації GSM-маршрутизатор виконує функцію архіватора зі збереженням даних на Micro SD-карту пам’яті. Маршрутизатор підтримує карти пам’яті

об'ємом до 32 Гб. Налаштування тегів архівування, перегляд архівних значень у вигляді таблиць і графіків, експорт в EXEL та 1С.

Також важливо для підвищення корисності та ефективності моніторингу енергетичних ресурсів встановлення електронних регуляторів на індивідуальні теплові пункти будівель бюджетної сфери. Автоматичне регулювання системи гарячого водопостачання - це автоматичне і (або) дистанційне керування регуляторами (клапанами або частотними регуляторами насосів) тиску в системи гарячого водопостачання та температури циркуляції. Це в свою чергу призведе до 15% економії витрат на обслуговування обладнання і електроенергію. Всю роботу системи опалення та гарячого водопостачання в реальному часі і в наглядному вигляді можна вивести на екран оператора. Це можливо завдяки SCADA системі, на якій побудовано програмне забезпечення контролера. Це ж програмне забезпечення використовується для коригування окремих режимів при програмуванні (зміна алгоритму) контролерів. Робочі місця з відповідним набором інструментів для роботи з програмним забезпеченням, пишуться під вимогу замовника. Що дозволить не тільки отримувати інформацію по запиту в будь який момент часу , а і економити енергетичні ресурси будівель бюджетної сфери дистанційно керуючи подачу теплоносія.

Також не мало важливою частиною для моніторингу енергетичних ресурсів є обробка отриманих даних. Порівнявши та проаналізувавши наявні системи моніторингу енергетичних ресурсів які використовуються в Україні , можна прийти до висновку , що в них не має достатньо якісної аналітичної складової для аналізу зібраних даних.

Одним з основних аналітичних звітів повинен бути класичний бенчмаркінга – це спосіб оцінки стратегій і цілей організації в порівнянні з першокласними підприємницькими організаціями для визначення свого місця на конкурентному ринку. Бенчмаркінг, який у деяких наукових школах (наприклад у французькій) називають бенчмаркітінг, представляється як використання методів управління, які успішно використовуються підприємницькими організація після того, як у результаті порівняння з іншими сферами підприємницької або діяльності конкурента були виявлені слабкі сторони своєї організації. При використанні бенчмаркінга виробничі і маркетингові функції стають більш керованими, тому що після досліджень впроваджуються кращі методи і технології інших підприємницьких організацій. Зазвичай в Україні системи моніторингу впроваджуються не для одного міста , а відразу для певного регіону , що дає нам можливість порівнювати споживання будівель бюджетної сфери між собою. Садочки з садочками, школи зі школами. Маючи такій інструмент як звіт бенчмаркінг , простіше буде обирати першочергові об'єкти для модернізацій та збереження енергоресурсів. Також даний інструмент допоможе обирати об'єкти які принесуть найбільшу економію бюджетних коштів , при однакових затратах.

Тому основним завданням моніторингу – є спрямовувати систему управління об'єктів бюджетної сфери на досягнення цілей. Тому моніторинг є механізмом який об'єднує в собі різні функції:аналіз цілей ,управління інформацією , оцінка стану об'єкту, контроль інформації . Все це допоможе приймати правильні управлінські рішення для економії енергетичних ресурсів та бюджетних коштів.

Висновки та перспективи

Створення комплексних систем моніторингу та обліку енергоспоживання передбачає розробку програмно-апаратних комплексів, призначених для вирішення взаємопов'язаних завдань збору, обробки та архівації даних про функціонування складних систем, що включають різні джерела і споживачів енергоресурсів.

Якісна та оптимальна система моніторингу енергоресурсі допоможе легко знаходити найкращі шляхи для економії енергетичних ресурсів.

Навіть правильний підхід до збору інформації по споживанню енергетичних ресурсів та їх аналізу дозволить економити до 20% бюджетних коштів , які в подальшому підуть на більш вагамі заходи , як термомодернізація будівель.

Список використаних джерел

(1) Аналітична довідка Системи моніторингу споживання енергоресурсів в бюджетних закладах українських міст USAID. 2016. 4 с.

(2) Експертний огляд програмного забезпечення для енергомоніторингу та енергоменеджменту , Львів 2018. 7 с.

(3) Про енергозбереження: Закон України від 01.07.94,ВВР, 1994, N 30, ст.284. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80 (дата звернення 02.11.2018).

(4) Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року. – Схвалено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2015 р. № 1228-р. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1228-2015-%D1%80 (дата звернення 14.11.2018).

(5) Про затвердження методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ 11.07.2018 №169 URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18 (дата звернення 09.11.2018).

УДК 621.3

Таргонський В.А., ORCID 0000-0003-3801-8284
Кафедра електропостачання

МУЛЬТИАГЕНТНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПОЖИВАЧАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

У статті розглянуто особливості роботи локальних інтелектуальних електричних мереж. Зазначено переваги використання мультиагентних систем керування Microgrid.

Представлено характеристики однорідних і неоднорідних агентів мультиагентної системи керування та особливості їх взаємодії. Формалізовано локальну інтелектуальну електроенергетичну систему у вигляді мультиагентної системи та наведено її структуру.

Для локальної інтелектуальної електроенергетичної мережі формалізовано базову сукупність агентів, визначено їх функціональні обов'язки та наведено математичні описи агентів мультиагентних систем. Визначено критерії, що впливають на діяльність різних типів агентів мультиагентної системи.

Ключові слова: Microgrid, мультиагентна система керування, агент, поновлювані джерела енергії, електроенергетична система.

The article deals with the features of the work of local intellectual electric networks. The advantages of using Microgrid multi-agent management systems are outlined.

The characteristics of homogeneous and heterogeneous agents of a multiagent control system and features of their interaction are determined. Formalized local intellectual power system in the form of multi-agent system and its structure is presented.

For a local intelligent power grid, a basic set of agents is formalized, their functional responsibilities are defined, and mathematical descriptions of agents of multiagent systems are given. The criteria that influence the activity of various types of agents of a multiagent system are determined.

Keywords: Microgrid, multiagent control system, agent, renewable energy, power system.

Вступ

Дослідження, що розвиваються в даний час, пов'язані з напрямом "інтелектуальні мережі" або Smart Grids, зокрема, спрямовані на дослідження таких їх властивостей як надійність, екологічність, економічність і налаштовуваність на конкретні умови роботи [1,2]. Microgrid є різновидом Smart Grid, якій притаманні такі особливості: єдине об'єднання різнорідних розподілених і централізованих джерел енергії, поновлюваних джерел енергії, накопичувачів енергії і різнотипних споживачів [3,7]. При цьому Microgrid функціонує як при гібридному енергопостачанні, так і у випадках, коли забезпечується надійне постачання споживачам за умови повного відділення від централізованого джерела, тобто в «острівному» режимі. Важливо відзначити, що Microgrid являє собою комбінацію керованих і некерованих джерел енергії, що ускладнює досягнення балансу потужності в Microgrid, підвищує актуальність регулювання напруги та співвідношення активної і реактивної потужності в розподільній мережі.

Microgrid включає в себе низку цифрових пристроїв, що керують потоками енергії та інформації. Ускладнення завдань керування полягає також в тому, що як потоки енергії, так і потоки інформації є двонаправленими або. Крім того, окремі власники бізнес-процесів (суб'єкти Microgrid або агенти) в рамках Microgrid можуть мати свої специфічні критерії ефективності свого функціонування. Загальновизнано, що керування Microgrid не може бути строго централізованим або децентралізованим.

Мультиагентний підхід як метод формалізації різних процесів і їх взаємодії в системах складної конфігурації представляється перспективним для використання при вирішенні завдань оптимального керування Microgrid [3,6].

Вище означене призводить до необхідності розробки гібридних алгоритмів керування, що є предметом розгляду в даній статті.

Метою роботи є дослідження систем мультиагентного керування з подальшим їх використанням для керування режимами роботи локальних систем електропостачання, що дозволить покращити технологічні, економічні та екологічні показники електричних мереж.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі: дослідження принципів побудови мультиагентних систем; формалізації локальних інтелектуальних електромереж у вигляді мультиагентних систем; створення базової мультиагентної системи локальної електромережі з описом функціональних обов’язків агентів.

Формалізація Microgrid у вигляді мультиагентної системи

Мультиагентна система (МАС) є інтелектуальною розподіленою динамічною системою керування, де має місце узгоджена і неузгоджена спільна поведінка і взаємодія агентів. При цьому кожен агент має певну ступінь автономії у встановленій ієрархічній системі [4].

Формулювання поняття "агент" в науково-технічній літературі має багато різних інтерпретацій, іноді обумовлених конкретною предметною областю [3]. Одне з найбільш загальноприйнятих визначень "агента" представлено в [4], де автор визначив "агента" як програмно-апаратний суб'єкт, що знаходиться в деякому навколишньому середовищі і здатний автономно реагувати на зміни в цьому середовищі. Крім того, також сформульовані властивості "інтелектуальних агентів", які повинні володіти реактивністю, цілеспрямованою поведінкою і взаємодією з іншими інтелектуальними агентами [4]. Слід зазначити, що агенти можуть бути однорідні, тобто ті, що мають загальні несуперечні цілі, здатними виконувати однотипні дії, та ті, що оперують загальними областями знання [5]. В іншому випадку, агенти вважаються неоднорідними. Структура МАС з однорідними та неоднорідними агентами показана на рис. 1.

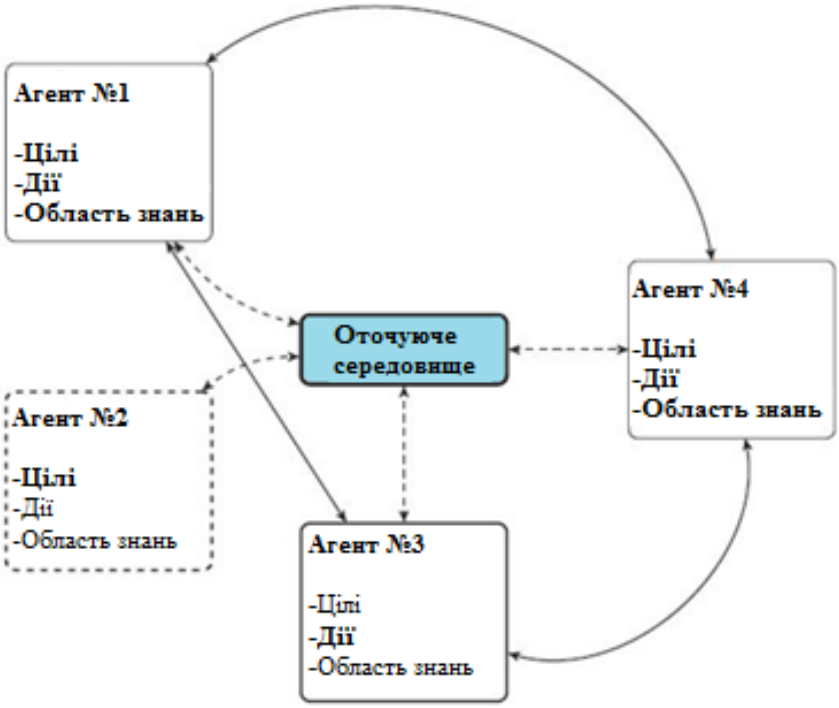


Рисунок 1 - Структура МАС з однорідними агентами (№ 1, № 4), неоднорідними, пов'язаними (№ 1,№ 3 і № 4) і непов'язаним агентом (№ 2)

На рис. 2 приведено формалізоване представлення агента, прийняте в даній роботі з урахуванням основних функціональних характеристик, притаманних агенту: "міркування", "самоналаштування", "оптимізація", "комунікація", "активність", введених на основі запропонованого в роботі [2] підходу .

Щодо розгляду систем типу Microgrid, що мають в складі різнофункціональні суб'єкти, будемо вважати, що агенти визначені в класі кібер-фізичних систем, а також є, в загальному випадку, неоднорідними елементами МАС [8].

Рисунок 2 - Формалізоване уявлення агента МАС

На рис. 2 прийняті наступні позначення: A_i – агенти; $Z(t)$ – вектор вхідних обмежень і уставок, пов'язаний з функціональною характеристикою "комунікація", при цьому $Z(t) = (L, D^C, D^R)$, де L – технологічні обмеження агента, D^C – вектор вхідних команд, D^R – вектор вхідних рекомендацій; $S(t)$ – вектор станів агента, пов'язаний з його функціональної рисою "активність"; $X(t)$ – вектор параметрів і констант агента, пов'язаний з його функціональної характеристикою "самоналаштування" (щодо параметрів) і "міркування" (щодо констант); $U(t)$ – вектор внутрішніх генерованих керувань агента, пов'язаний з його функціональної характеристикою "оптимізація".

Застосування мультиагентного підходу є перспективною технологією для керування і прийняття рішення в системах, де існує розподілене керування і невизначеність, пов'язана з наступними факторами: з реалізованим кожним агентом законом керування, слабопередбачуваною поведінкою зовнішнього середовища, можливими втратами від спостереження і керування об'єктами.

Мультиагентне відображення Microgrid дозволяє [6]:

− враховувати інтерактивний характер взаємодії різних компонентів Microgrid;

− будувати моделі поведінки системи в умовах великого числа суб'єктів і технологічних підсистем;

− отримувати інформацію достатнього обсягу для виконання агентом свого функціонального призначення;

− надавати можливості розширення функціональності та підвищення ефективності функціонування агентів і системи МАС в цілому.

Таким чином, мультиагентне уявлення Microgrid може бути ефективним інструментом керування потоками енергії, якістю енергопостачання та економічною ефективністю функціонування Microgrid по відношенню до складових суб'єктів.

Синтез моделі МАС локальної інтелектуальної електромережі

На основі вище наведеного формалізованого уявлення агента (див. рис. 1), пропонується наступний набір агентів, які відображають основні суб'єкти Microgrid. Зауважимо, що відповідний перелік агентів в таблиці не є вичерпним в загальному випадку.

Кожен суб'єкт в Microgrid має свої пріоритети, які можуть відрізнятися від пріоритетів інших суб'єктів [10]. Наприклад, ціна на електроенергію може бути пріоритетним критерієм для населення, а забезпечення стабільної, надійної якості енергопостачання може бути більш значущим для промислових підприємств. Метою досліджень на основі застосування МАС є пошук рішень, що забезпечують пріоритети агентів шляхом оптимізації роботи Microgrid в реальному часі.

В таблиці запропоновано базовий перелік агентів МАС з точки зору їх функціонального застосування до Microgrid, перелік їх завдань і математичний опис.

Таблиця - Формалізовані агенти в складі МАС Microgrid

Агент	Функціональність	Мат. опис агента МАС
Центр керування і зв'язку Microgrid, ЦКЗ-агент	Відповідальний за керування Microgrid, а також відстеження та планування режимів розподілених і поновлюваних джерел енергії	$Z_{\text{ЦКЗ}}(t) = (S_i(t)), i = 1,2,\dots,n-1$ $S_{\text{ЦКЗ}}(t) = (P_r, D_i^C, D_i^R)^T,$ $i = 1,2,\dots,n-1$
Розподільна електромережа, що включає підстанцію, РЕМ-агент	Здійснює зовнішнє енергопостачання, а також прийом надлишків електроенергії в Microgrid	$Z_{\text{РЕМ}}(t) = (P, D_{\text{РЕМ}}^C, D_{\text{РЕМ}}^C)^T$ $S_{\text{РЕМ}}(t) = (P, Pr_{\text{РЕМ}})^T$
Розподілені генератори, DER -агент	Відстежує, керує згенерованою потужністю відповідного генератора або групи генераторів, вартості і ціні і отримує від нього запити	$Z_{DER}(t) = (p^{min}, p^{max}, F_u, D_{DER}^C, D_{DER}^R)^T$ $S_{DER}(t) = (P, Q, C, P_q)^T$
Відновлювані джерела енергії , ВДЕ-агент	Відстежує, керує згенерованою потужністю відповідного ВДЕ	$Z_{\text{ВДЕ}}(t) = (p^{max}, D_{\text{ВДЕ}}^C, D_{\text{ВДЕ}}^R)^T$ $S_{\text{ВДЕ}}(t) = (P, Q, C, Pq)^T$
Накопичувачі електроенергії, ESS- агент	Відстежує і прогнозує стан накопичувачів електроенергії, керує зарядом / розрядом накопичувачів	$Z_{ESS}(t) = (E^{min}, E^{max}, D_{ESS}^C, D_{ESS}^R)^T$ $S_{ESS}(t) = (E)$
Попит споживача електроенергії, DR -агентів	Відстежує, регулює попит / споживання електроенергії, стану і складу навантаження	$Z_{DR}(t) = (L_C, D_{DR}^C, D_{DR}^R)^T$ $S_{DR}(t) = (P)$
База даних реального часу, БДРЧ-агент	Здійснює збір, зберігання і обмін даними	$Z_{\text{БДРЧ}}(t) = (M, D_{\text{БДРЧ}}^C, D_{\text{БДРЧ}}^R)^T$ $S_{\text{БДРЧ}}(t) = (Upd)$
Система імітаційного моделювання, SIM-агент	Здійснює моделювання і тестування пропонованих змін в режимах функціонування Microgrid	$Z_{SIM}(t) = (D_{SIM}^C, D_{SIM}^R)^T$ $S_{SIM}(t) = (Est)$

Позначення, використані в таблиці: P – активна потужність; Q – реактивна потужність; Pq – вектор з показників якості електроенергії; Pr – вартість продукції, що поставляється У

зовнішній електроенергії від розподільної електромережі; P_j^{min}, P_j^{max} – відповіднj мінімальні і максимальні межі активної потужності *j*-го розподіленого генератора; *C* – вектор собівартості електроенергії від різних джерел Microgrid; *Fu* – вектор вартості і кількості доступного палива; $E_к^{min}$, $E_к^{max}$ – відповідно мінімальний і максимальний рівень заряду *k*-го накопичувача енергії; E_k – фактичний накопичений заряд *k*-го накопичувача енергії; L_C – вектор критичних навантажень і категорійність споживачів; *M* – вектор технічних характеристик обчислювальних засобів; *Upd* – наявність / Відсутність звіту про оновлення даних; *Est*– прогнозування стану Microgrid на основі імітаційного моделювання.

Висновки

1. Запропонована формалізація рішення задач керування і оцінки ефективності функціонування Microgrid на основі мультиагентної системи дозволила звести рішення технологічних завдань до дослідження узагальненої математичної моделі Microgrid з вбудованою ІНС. Це дає можливість зв'язати важливі параметри реального стану Microgrid з чисельними характеристиками критеріїв оптимальності її функціонування - технічними, економічними, екологічними.

2. Результати попередніх досліджень мультиагентних систем носять досить загальний характер, оскільки МАС можуть використовуватись у різноманітних сферах економічної діяльності. В електроенергетиці МАС є перспективними засобом керування економічними та технологічними процесами. З точки зору керування локальними електроенергетичними мережами дослідження МАС потребують вирішення прикладної задачі стосовно конкретної Microgrid. При подальших дослідженнях на конкретному прикладі може знадобитися уточнення математичних моделей агентів, в тому числі, з уточненням їх статичних і динамічних властивостей.

3. Дослідження МАС в напрямку їх застосування в локальних інтелектуальних електромережах мають вагоме значення для розвитку електроенергетичної галузі країни, оскільки відповідають напрямку розвитку енергетики згідно з новим Законом України від 13.04.2017 № 2019-VIII «Про ринок електричної енергії»

Використана література

[1] “SmartGrids SRA 2035 – Strategic Research Agenda,” European Technology Platform SmartGrids, European Commission, Tech. Rep., Mar. 2012. [Online]. http://www.smartgrids.eu/documents/sra2035.pdf

[2] Rohbogner Gregor, Hahnel Ulf J.J., Benoit Pascal, Fey Simon, Multi-agent systems’ asset for smart grid applications. In: Computer Science and Information Systems 2013 Volume 10, Issue 4, p. 1799-1822.

[3] A Kantamneni, LE Brown, G Parker, WW Weaver, Survey of multi-agent systems for microgrid control. Engineering applications of artificial intelligence 45, 2015, p. 192-203.

[4] M. Wooldridge, G. Weiss, Ed., “Intelligent Agents,” in Multi-agent Systems. Cambridge, MA: MIT Press, Apr. 1999.

[5] Stone,Peter, Veloso, Manuela, 2000. Multiagent systems: a survey from a machine learning perspective. Autonom.Robots 8(3),p 345–383.

[6] McArthur, S.D.J.; Davidson, E.M.; Catterson, V.M.; Dimeas, A.L.; Hatziargyriou, N.D.; Ponci, F.; Funabashi, T., Multi-agent systems for power engineering applications - part 1 : Concepts, approaches and technical challenges. In: IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, No. 4, 11.2007, p. 1743-1752.

[7] CIGRÉ. Working Group C6.22 Microgrids Evolution Roadmap, Microgrids 1: Engineering, Economics, & Experience, forthcoming.

[8] Zhongwen Li, Chuanzhi Zang, Peng Zeng, Haibin Yu, and Hepeng Li, MAS based distributed automatic generation control for cyber-physical microgrid system. In: IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica (Volume: 3, Issue: 1, January 10 2016), pp. 78-89.

[9] Шихин В. А., Косинский М. Ю., Седлецкий Г. С., Методологические подходы к анализу оперативной надѐжности электросетевого комплекса с применением интеллектуальных моделей. – Пром. енергетика.– 2015.–№ 5.–С 23-30.

[10] Шихин В.А., Джамалова З.И., Отуншиева А.Е., Абд Эльрахим А.К. Управление в реальном времени микроэнергосистемой с распределенной гибридной генерацией на основе мультиагентного подхода // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева.− 2017.− № 2 (101).− С. 179-186

References:

[1] SmartGrids SRA 2035 - Strategic Research Agenda, European Technology Platform SmartGrids, European Commission, Tech. Rep, Mar. 2012. [Online]. http://www.smartgrids.eu/documents/sra2035.pdf

[2] Rohbogner Gregor, Hahnel Ulf J.J., Benoit Pascal, Fey Simon, Multi-agent systems' asset for smart grid applications. In: Computer Science and Information Systems 2013 Volume 10, Issue 4, p. 1799-1822.

[3] A Kantamann, LE Brown, G Parker, WW Weaver, Survey of multi-agent systems for microgrid control. Engineering applications of artificial intelligence 45, 2015, p. 192-203.

[4] M. Wooldridge, G. Weiss, Ed., "Intelligent Agents," in Multi-Agent Systems. Cambridge, MA: MIT Press, Apr. 1999

[5] Stone, Peter, Veloso, Manuela, 2000. Multiagent systems: a survey from a machine learning perspective. Autonom.Robots 8 (3), p. 345-383.

[6] McArthur, S.D.J .; Davidson, E.M .; Catterson, V.M .; Dime, A.L .; Hatziargyriou, N.D .; Ponci, F .; Funabashi, T., Multi-agent systems for power engineering applications - part 1: Concepts, approaches and technical challenges. In: IEEE Transactions on Power Systems, vol. 22, No. 4, 11.2007, p. 1743-1752.

[7] CIGRÉ. Working Group C6.22 Microgrids Evolution Roadmap, Microgrids 1: Engineering, Economics, & Experience, forthcoming.

[8] Zhongwen Li, Chuanzhi Zang, Peng Zeng, Haibin Yu, and Hepeng Li, MAS based distributed automatic generation control for the cyber-physical microgrid system. In: IEEE / CAA Journal of Automatica Sinica (Volume: 3, Issue: 1, January 10, 2016), pp. 78-89.

[9] Shikhin V.A, Kosinsky M. Yu., Sedletsky G. S., Methodological approaches to the analysis of operational reliability of the grid complex with the use of intelligent models. - Prom Energy. 2015.-No. 5.-23-30.

[10] Shikhin VA, Jamalova Z.I., Otunishiv AE, Abd Elrahim A.K. Real-time management of a micro-energy system with distributed hybrid generation based on a multiagent approach // Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after. M. Tynyshpayeva. - 2017.- No. 2 (101) .- P. 179-186

Бондарчук Б.А.
Кафедра електропостачання

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ З РІЗНИМИ ЗА ТИПАМИ ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА

Анотація. У статті розглядаються можливість та ефективність використання світлодіодного вуличного освітлення. Мета статті полягає у тому, щоб дослідити показники світлового середовища щодо створення оптимальної умов освітленності у вечірній та нічний час. Виконано порівняльний аналіз характеристик існуючих джерел світла (ДНаТ) з світлодіодними LED- системами. Розроблено методику дослідження показників функціональності, безпеки та економічності світильника PARK LED-135W/740-I-01. Практична значимість полягає у впровадженні сучасних світлодіодних рішень для вуличного освітлення.

Ключові слова*:* світлове середовище, LED – системи, освітлення.

Abstract. The article considers the possibility and efficiency of LED street lighting. The purpose of the paper is to study the light environment for creating optimal lighting conditions at night and at night. A comparative analysis of the characteristics of existing light sources (DNaT) with LED LEDs is performed. The method of research of indicators of functionality, safety and economy of PARK LED-135W / 740-I-01 lamp is developed. Practical significance is the introduction of modern LED street lighting solutions.

Keywords: environment lighting, LED - systems, lighting.

Вступ. Система освітлення набуває все дедалі більшого значення у сучасному житті міста. Починаючи від забезпечення елементарного освітлення вулиць до дизайнерських реалізацій освітлення архітектурних об’єктів міста. Водночас питанням залишається забезпечення суміщення технічних реалізацій різних проектних рішень.

Зокрема це стосується поєднання існуючих систем з новітніми технологіями, зокрема, використанням світлодіодних освітлювальних приладів.

Прорив в області використання світлодіодів, які на самому початку створення могли виконувати лише індикативні функції, дозволяє розглядати LED - системи як серйозний конкурент існуючому вуличному освітленню.

Водночас проблемою залишається поєднання технічних можливостей традиційних освітлювальних приладів і систем з використанням LED.

Мета та завдання. Проведення аналізу можливостей використання освітлювальних систем з різними за типами джерелами світла при будівництві об’єктів інфраструктури міста.

Матеріал і результати досліджень. Відомо, що понад 80% необхідної інформації водій отримує через зорове сприйняття, будь яке поліпшення умов видимості дозволяє підвищити безпеку дорожнього руху. Якісне обладнання забезпечує надійність, безпеку водіїв і перехожих в пізній час доби, а також в місцях з поганою видимістю. Тому системи вуличного, дорожнього освітлення є, на сьогодні, одними з найбільш перспективних технологій.

Через обмежений міський бюджет багато органів місцевої влади приймають рішення про відключення частини вуличного освітлення в нічний час. Жертвою подібної спроби заощадити іноді стають цілі вулиці, що опиняються в повній темряві в пізні години. Місцева влада зазвичай не усвідомлює наскільки дешево в реальності обходиться вуличне освітлення міста.

Детальне вивчення економіки вуличного освітлення показує, що в цілому воно зазвичай обходиться міському бюджету недорого, а витрати на його модернізацію швидко окупаються і дозволяють досягти більшої економії, ніж при нічних відключеннях старого обладнання. До того ж, дуже часто рішення про відключення вуличного освітлення в нічний час призводить до перебоїв в енергопостачанні.

В окремих регіонах витрати на електроенергію є досить високими, що, в основному, пояснюється наявністю застарілих освітлювальних установок.

Єдиним вирішенням цієї проблеми є модернізація освітлення, яка полягає в частковому або повному оновлені використовуваного обладнання.

По-перше, заміна ламп на нові моделі з підвищеною світловою віддачею, по-друге, встановлення світильників з оптимізованим світловим розподілом або перехід на енергозберігаючі системи.

Підвищена світлова віддача ламп дозволить збільшити відстань між опорами зовнішнього освітлення при збереженні заданого рівня освітленості. Крім того, якісні світильники і елементи кріплення, зроблені з сучасних матеріалів, вимагають простішого обслуговування і меншого контролю протягом усього терміну служби.

Одним із основних напрямків розвитку зовнішнього освітлення міста Києва є заміна ламп ДРЛ (дугові ртутні лампи), ДНаТ (натрієві лампи) та МГ (метало галогенні) на світлодіодні джерела світла (LED), які значно зменшать рівень енергоспоживання, що дозволить вирішити питання як заощадження коштів для місцевого бюджету, так і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Для порівняння в таблиці 1 наведено основні технічні характеристики ламп.

Таблиця 1 - Технічні характеристики джерел світла.

Тип лампи	**Діапазон потужностей, Вт**	**Світловіддача, лм/Вт**	**Термін служби, год.**
Лампи розжарювання	15 – 1500	7 - 19	1000
Натрієві лами низького тиску	70-1000	180	10000 - 15000
Натрієві лами високого тиску (ДНаТ)	70-1000	150	10000 - 15000
Ртутні лампи (ДРЛ)	1 25 - 1000	47 - 59	10000 – 15000
Газорозрядні лампи	4 - 250	75 - 80	12000 – 25000
Світлодіодні лампи	2 - 250	120 - 150	до 100000

Об’єктом дослідження є ділянка автомагістралі м. Києва - Набережне шосе, капітальний ремонт якої було здійснено ще в рамках підготовки до Євро-2012. У зв’язку з цим була підвищена якість дорожнього покриття, що привело до змін яскравості на ньому. Водночас, система освітлення залишилася застарілою та неефективною.

Відповідно до цього КП «Київміськсвітло» сумісно з ТОВ «Центрекоресурс» ще з кінця 2016 року розпочали заміну натрієвих (ДНаТ) ламп на світлодіодні джерела світла. Спільним рішенням було обрано світильник LED Park 135W/74, який виявився найбільш ефективним та задовольняв умови проектування. Порівняння характеристик лампи ДНаТ та її LED аналогу представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 — Порівняння характеристик лампи ДнаТ -250 та її світлодіодного аналогу PARK LED-135W/740.

Тип лампи	**ДнаТ-250**	**Park LED**
Світловий потік, Лм	13000	15500
Споживання, Вт	250	135
Термін використання, годин	12-25 тис	50-100 тис
Контрастність та передача кольору	Слабка	Відмінна
Механічна міцність	Середня	Відмінна
Температурна стійкість	Слабка	Відмінна
Стійкість до перепадів напруги	Слабка	Відмінна
Час виходу у номінальний режим	10-15 хвилин	Миттєво
Нагрівання	Сильне	Слабке
Екологічна безпека	Вміщує до 100 мг випарів ртуті	Абсолютно безпечні

У зв'язку з обмеженим фінансування процес реалізації проекту із заміні натрієвих ламп можна було виконати лише на 40%. Розглядалося питання спільного використання світильників LED та ДнаТ в одній системі.

Однак в процесі пробного пуску далися в знаки технічні невідповідності запропонованих джерел світла, що призвели до виходу з ладу більшості світлодіодних світильників.

Викликаний перегрів і руйнування діодів був спричинений лавиноподібним наростанням струму в ланцюзі саме через технічні характеристики натрієвих ламп, що показано на рисунку 1:

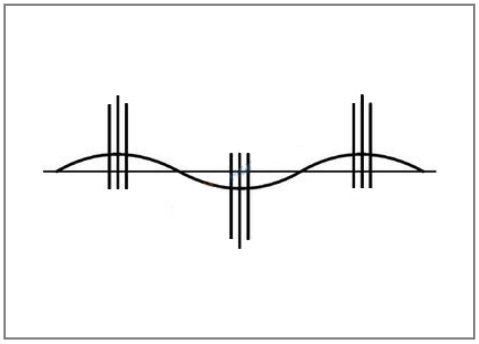


Рисунок 1 – Характер зміни напруги від часу під час пуску лампи.

Лампи ДнаТ підключаються до мережі через паралельно ввімкнений дросель, який розрахований на робочий струм та напругу лампи. Її ввімкнення здійснюється за допомогою імпульсного запалюючого пристрою, який створює імпульси високої напруги (2-3 кВ), що підключаються паралельно джерелу світла, або через частину обмотки дроселя .

Виникла проблема несумісності і час виходу в номінальний режим впливав на їх діяльність, спільне використання стало неможливим без додаткових технічних рішень.

Враховуючи, що окрім бюджетних обмежень існували також і обмеження у часі було прийнято рішення щодо переходу лише на світлодіодні джерела. Зовнішній вигляд світильника представлено на рисунку 2:

Рисунок 2 — Світильник PARK LED-135W/740

Встановлюється на середніх висотах (10-15 м) і застосовуються для освітлення головних доріг та автомагістралей. За рахунок нового типу кронштейну полегшується монтаж, а також при необхідності – його заміни. Приклад монтажної схеми наведено на рисунку 3:

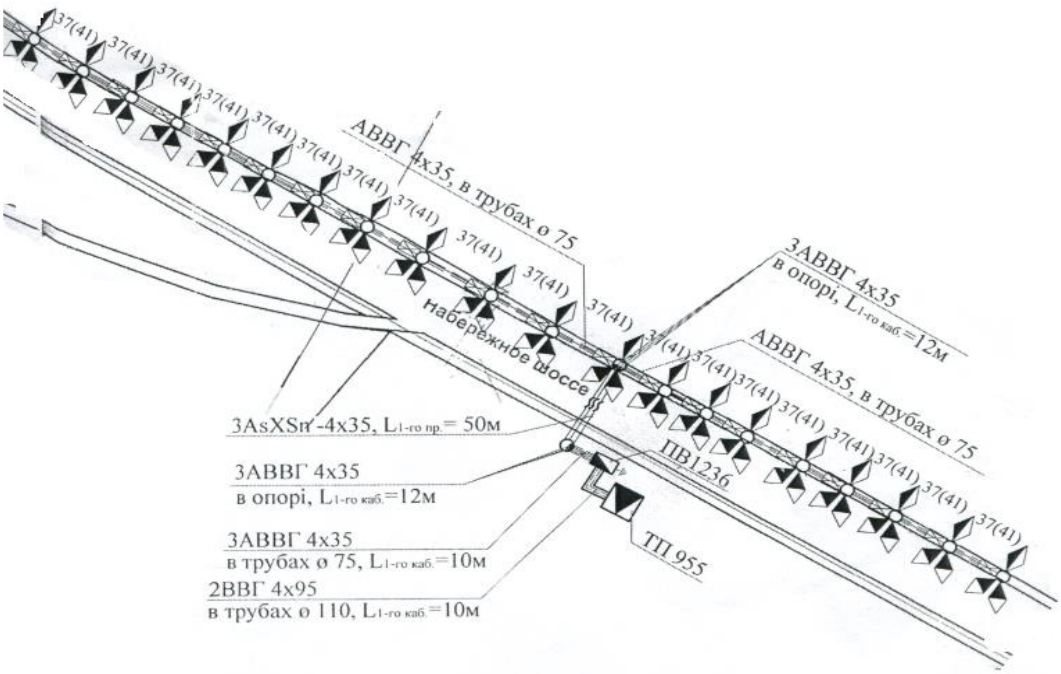


Рисунок 3 – Монтажна схема Набережного шосе.

На відміну від інших технологій світлодіоди мають дуже високий ККД, завдяки чому пристрій має низьке енергоспоживання та мале тепловиділення. Для освітлення певної площі LED-світильник потребує у 5-10 разів менше електроенергії, ніж стандартні енергозберігаючі моделі.

LED-продукція не містить ртуті, інертних газів, тощо, та не випромінює ультрафіолет, який може спричинити відшарування сітківки ока. LED-світильники не піддаються перегріву, що повністю унеможливлює їх загоряння.

Утилізація світлодіодів не потребує спеціальних технологій.

Світильник LED 135W/740 також має низку переваг, а саме:

- модульна конструкція світильника дозволяє варіювати технічні показники;
- IP65 для всього світильника;
- високий світловий КПД — 98%;
- «екологічно чистий» світильник;
- низький рівень тепловтрат;
- стабільна світловіддача , яка не залежить від перепадів напруги в діапазоні від 110 до 270 В;
- діапазон робочих температур від — 40 ° С до + 55 ° С;
- відсутність ефекту низькочастотних пульсацій;
- довгий термін служби.

Тривалий термін експлуатації (до 100 000 годин – це кілька десятків років) майже в 10 разів перевищує граничні можливості традиційних аналогів.

Ціна LED-світильників на сьогодні набагато вище, тому тільки після 2-3 років експлуатація цих приладів починає приносити прибуток.

Але світлодіоди зберігають свої параметри на початковому рівні протягом всього терміну роботи, на відміну від ДнаТ, які більшу частину строку випромінюють лише 50-60% номінального світлового потоку. До того ж фахівці запевняють, що у найближчі 2-3 роки вартість світлодіодів буде знижено у 10 разів. LED-прилади не потребують пускового струму, що зменшує переріз кабелю живлення.

Висновки. Світлодіодне освітлення вирізняється від усіх традиційних технологій надійністю, значним терміном придатності, високою енергоефективністю та екологічністю. Найбільш цікавими на цей час для підприємств є інтегровані системи освітлення на базі LED технологій.

Вони стійкі до перепадів напруги, температури та нечутливі до вібрацій. Світлодіоди легкі в монтажі та експлуатації і не потребують часу задля прогріву або відключення, генерують повний спектр основних кольорів — стабільне повнокольорове біле світло (від теплого до холодного).

Однак принциповим питанням все ще залишається поєднання LED світильників з іншими джерелами світла в одну систему. Для реконфігурації такої мережі, витримки часу, підвищення захисту світлодіодів потрібно проводити додаткові дослідження.

Список використаної літератури

1. Бижак Г., Кобав М. Б. Спектры излучения светодиодов и спектр действия для подавления секреции мелатонина // Светотехника – Москва. 2012. – №3. – С. 11-16.

2. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. – Мін буд України.: Київ, 2006. – 76с. – Режим доступу: https://www.sunpower.ua/cp37498-dbn-v25-28-2006-pripodne—shtuchne-osvitlennya.html.

3 Порівняння ламп ДнаТ и ламп на світодіодах (СД). ООО «Компания ЭВИС». – Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.evis-energy.ru/powersafe-technology/diod/19-sravnenie-lamp-drl-dnat-i-lamp-na-svetodiodaxsd.htm

УДК 621.31

В. М. Сафонік
Кафедра електропостачання

МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Вступ. Ефективне функціонування будь-якого підприємства безпосередньо залежить від надійного електропостачання. Вимушені перерви живлення завдають істотної шкоди, як окремим споживачам, так і підприємству електричних мереж в цілому.

Забезпечення надійності електропостачання споживачів на будь-якому ієрархічному рівні інфраструктури електроенергетики було і залишається важливою проблемою. Необхідність вирішення задачі підвищення надійності систем електропостачання (СЕП) зростає у зв'язку з ускладненням структури мереж, появою в них нових елементів та засобів контролю і передачі інформації.

Це викликає необхідність розроблення нових технічних рішень при будівництві, реконструкції і експлуатації розподільних електричних мереж (РЕМ). На сьогодні в розподільні електричні мережі включаються активні елементи, вводяться установки розподіленої генерації, організовуються активно-адаптивні мережі. Більшість розроблених методик не дозволяють коректно оцінювати надійність таких мереж, тому завдання розроблення відповідних методів оцінки надійності та електробезпеки розподільних мереж є актуальним.

Мета та завдання. Метою роботи є проведення аналізу інформаційного забезпечення і розрахункових моделей оцінки надійності розподільних електричних мереж напругою 10 кВ. Виходячи з поставленої мети, в роботі вирішуються наступні наукові і практичні завдання:
- накопичення та систематизація статистичної інформації, отримуваної в умовах експлуатації;
- дослідження математичних моделей оцінювання надійності електропостачання;
- інтеграція стандартних і розроблених спеціалізованих комп'ютерних програм при реалізації математичних моделей і методів оцінки надійності електрозабезпечення споживачів.

Важливим показником надійності електропостачання вважається очікуваний недовідпуск електричної енергії $\Delta W_н$ (кіловат-годин на рік), який визначається для лінії, яка містить ***k*** ТП, ***n*** ділянок, розраховується для випадку, коли потік відмов стаціонарний, за допомогою виразу

$$\Delta W_н = \sum_{j=1}^{k} P_{cj} (\sum_{i=1}^{n} \omega_i) \cdot \tau_B, \qquad (1)$$

де P_{cj} – середньорічне навантаження j-ї ТП, ω_i – параметр потоку відмов елементів мережі, τ_B – час введення резервного живлення.

Достовірність розрахунку $\Delta W_н$ залежить від точності кожного виду вихідних даних.

Навантаження ТП. Середньорічне навантаження розраховується, виходячи з врахування показів лічильників ТП або їх споживачів.

Параметр потоку відмов елементів мережі ω_i характеризує частоту пошкоджень обладнання, одиниця виміру – число відмов за рік на елемент. Його значення визначається або по довідковим середньостатистичним даним (наприклад, для трансформаторів, вимикачів), або на основі обробки даних аварійної статистики, зібраної в мережі, що

розраховується для елементів, пошкоджуваність яких суттєво залежить від умов експлуатації (для ЛЕП).

Як свідчить аналіз даних про пошкоджуваність елементів мереж, наведених в технічній літературі, на лінії електропередач припадає більша частина всіх пошкоджень, що відбуваються в мережах напругою 6-10 кВ. Обробка даних аварійної статистики свідчить про те, що пошкоджуваність кабельних ліній (КЛ) в значній мірі залежить від умов експлуатації і параметрів ЛЕП. Ця залежність багатофакторна, причому основною причиною пошкоджень є механічні в результаті земляних робіт, які проводяться поблизу КЛ. В меншій мірі мають місце електричні пробої через старіння ізоляції. Як наслідок, в розрахунках $\Delta W_н$ використовуються значення $\omega_{кл}$, отримані на основі обробки обмежених об'ємів даних аварійної статистики, причому можуть застосовуватися розрахункові моделі, які використовують середні для даної мережі $\omega_{кл}$ або ті, що враховують залежність $\omega_{кл}$ від індивідуальних особливостей лінії.

<u>Час введення резервного живлення</u> τ_B – проміжок часу від моменту припинення живлення споживачів лінії внаслідок пошкодження до здійснення локалізації місця пошкодження і забезпечення живлення усім споживачам. τ_B – імовірнісна величина, яка залежить від багатьох факторів, таких як час настання відмови, віддаленість оперативного персоналу, кількість оперативно-виїзних бригад та інше. До числа факторів, які можуть впливати на τ_B , відноситься $n_{уч}$ – число ділянок у відключеній в результаті пошкоджень мережі. В розрахунках можуть прийматися середні для мережі значення τ_B або ті, що враховують залежність від індивідуальних особливостей лінії.

<u>Час ремонту пошкодженої КЛ</u> T_p. Ця величина характеризує середню тривалість можливого відхилення схеми від розрахункової. Знання її дозволяє оцінити погіршення показників роботи мережі, визначити ефективні шляхи їх підвищення. В результаті подовження T_p зростають втрати енергії в мережі, знижується якість електричної енергії і, за рахунок відсутності резервування, надійність електропостачання споживачів. До факторів, які впливають на T_p, відносять: місце пошкодження, балансова належність елемента, що відмовив, та ряд інших.

Застосування більш детальних розрахункових моделей підвищує як точність оцінки $\Delta W_н$, так і ефективність оптимізації. В то й же час необхідні числові характеристики для кожної з моделей визначаються на основі опрацювання обмеженого об'єму статистичної інформації про пошкодження, отриманої в результаті експлуатації даної мережі (об'єми вибірок охоплюють десятки, і за рідкісним виключенням, декілька сотень даних на рік для мережі, яка містить 2-3 тисячі ЛЕП 6-10 кВ). Необхідно оцінювати точність середніх значень вихідних показників надійності, а також їх величин, отриманих за допомогою рівнянь регресії, які враховують залежність від факторів, що впливають, розглянути вплив достовірності вихідної інформації на розрахунок і оптимізацію $\Delta W_н$.

Необхідно також визначити достатній об'єм фіксованої інформації про кожен випадок відмови, навмисного відключення, оскільки тільки систематизація подібної інформації дозволить ефективно оцінювати і управляти режимом електричних мереж з урахуванням надійності.

На кафедрі електропостачання КПІ імені Ігоря Сікорського розроблено програмне забезпечення реалізації методу імовірнісного моделювання (Монте-Карло) з оцінювання

впливу достовірності вихідної інформації на точність розрахунків та прийняття рішень з оптимального управління режимами розподільних мереж.

В даній роботі здійснювалось моделювання значень:

- параметру потоку відмов елементів мережі ω – в залежності від поставленої задачі можна моделювати з необхідним законом розподілу:
  a) значення ω для кожного елементу мережі з урахуванням можливого відхилення від середнього для мережі;
  b) варіацію можливої помилки оцінки середнього для елементів мережі значення ω , яке визначається за статистичними даними обмеженого об'єму,
- часу введення резервного живлення τ_B – можна моделювати:
  a) ймовірні похибки оцінки середнього для мережі значення τ_B, яке визначається за статистичними даними обмеженого об'єму;
  b) похибки визначення τ_B за рівняннями регресії – у відповідності з довірчими границями оцінок коефіцієнтів рівняння регресії,
- похибок визначення навантажень ТП,
- ймовірних похибок розрахункових значень опорів ділянок.

Необхідна кількість розрахунків визначається по виконанню умови забезпечення достатньої точності.

Вирішувались задачі:

1. Визначення впливу похибок вихідної інформації на точність оцінок математичного очікування (МО) втрат потужності в мережі і ймовірного недовідпуску електричної енергії споживачам при розрахунку за середніми значеннями показників надійності. Розглядається вплив як одного з факторів, так і будь-якого їх поєднання. Це дозволяє визначити найбільш впливові фактори і обрати оптимальні шляхи підвищення достовірності вихідної інформації.
2. Оцінка впливу неврахування залежності ω та τ_B від індивідуальних факторів на розрахунок надійності СЕП.
3. Визначення впливу достовірності розрахункових моделей на ефективність оптимізації.
4. Оцінювання ефективності оптимізації режиму з урахуванням двох критеріїв (втрати електричної енергії та недовідпуск її споживачам.

В результаті проведення розрахунків отримуються:

- після кожного досліду – чергове значення параметрів, що визначаються,
- після серії досліджень – МО та СКВ параметрів,
- в режимі оцінки впливу достовірності інформації на оптимізацію – чергове оптимальне положення точок розмикання і значення цільових функцій.

Для визначення можливих похибок у вихідній інформації проводиться детальний аналіз даних аварійної статистики, зібраних протягом 3-4 років для декількох районів міських електричних мереж. Систематизація даних дозволяє побудувати розподіли величин, що розглядаються, проаналізувати розподіл відмов по місяцям року, часу доби, тощо. Приклади розподілів відмов по місяцям року приведені на рисунках 1-4.

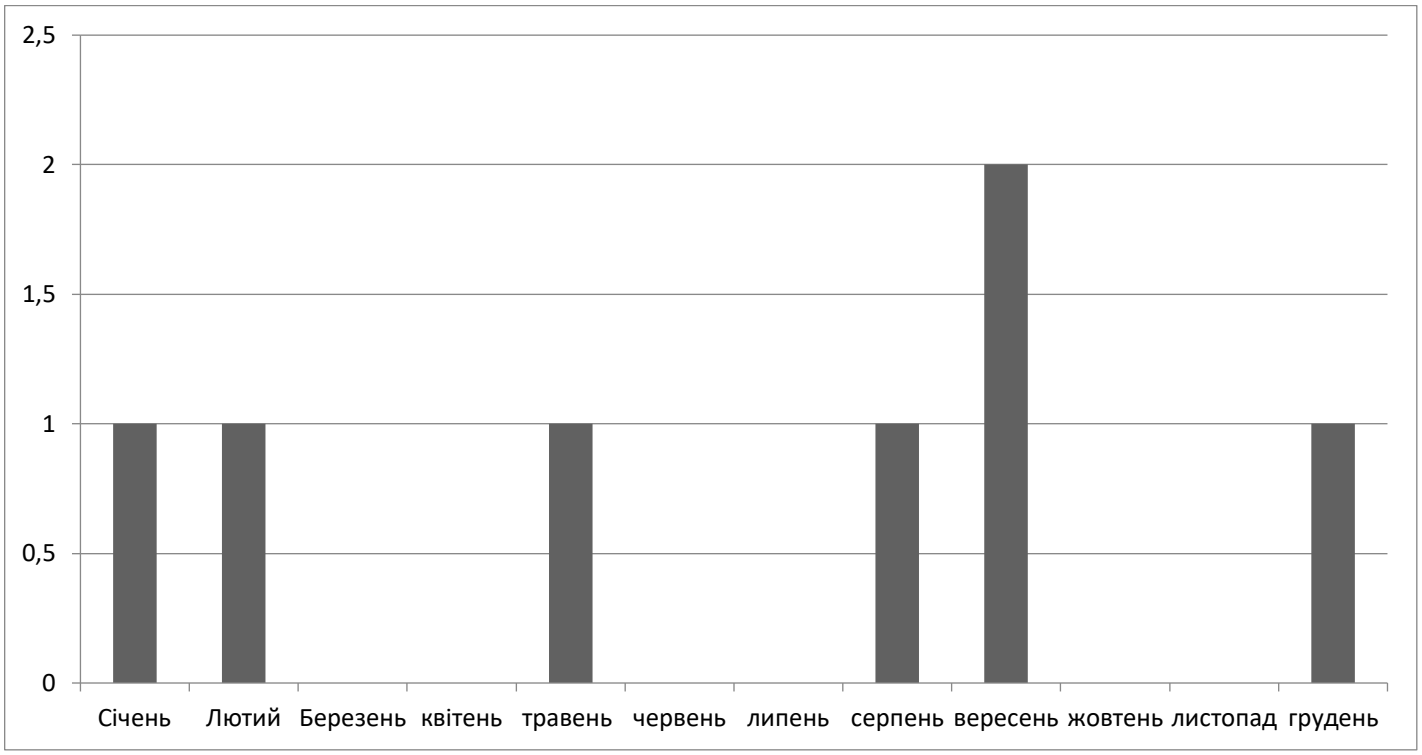


Рисунок 1 - Гістограма розподілу (дані 2015 року)

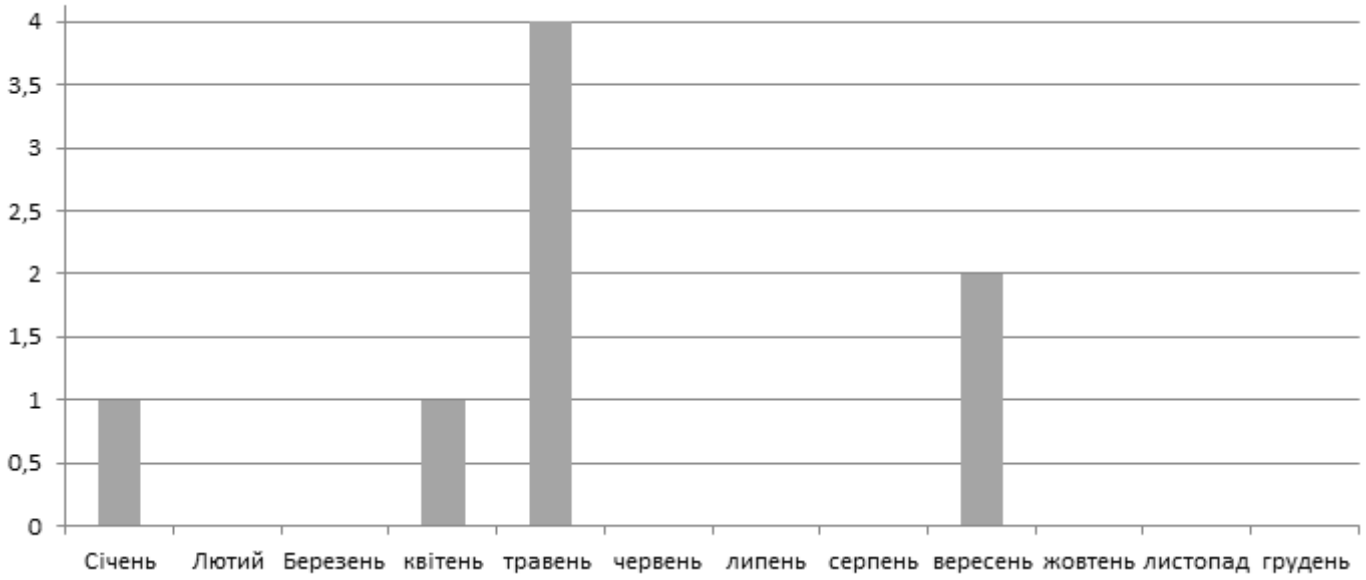


Рисунок 2 - Гістограма розподілу (2016 року)

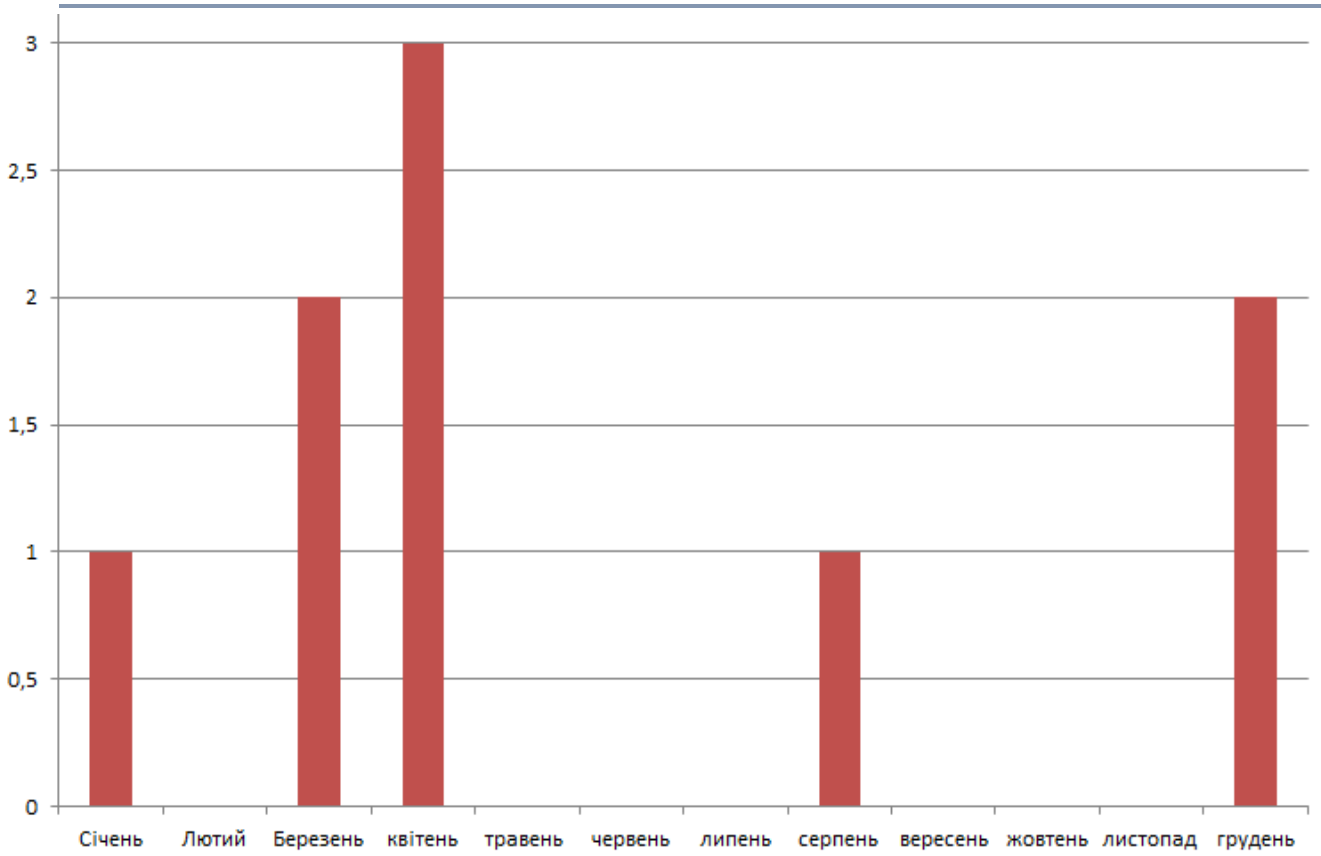


Рисунок 3 - Гістограма розподілу (дані спостереження 2017 року)

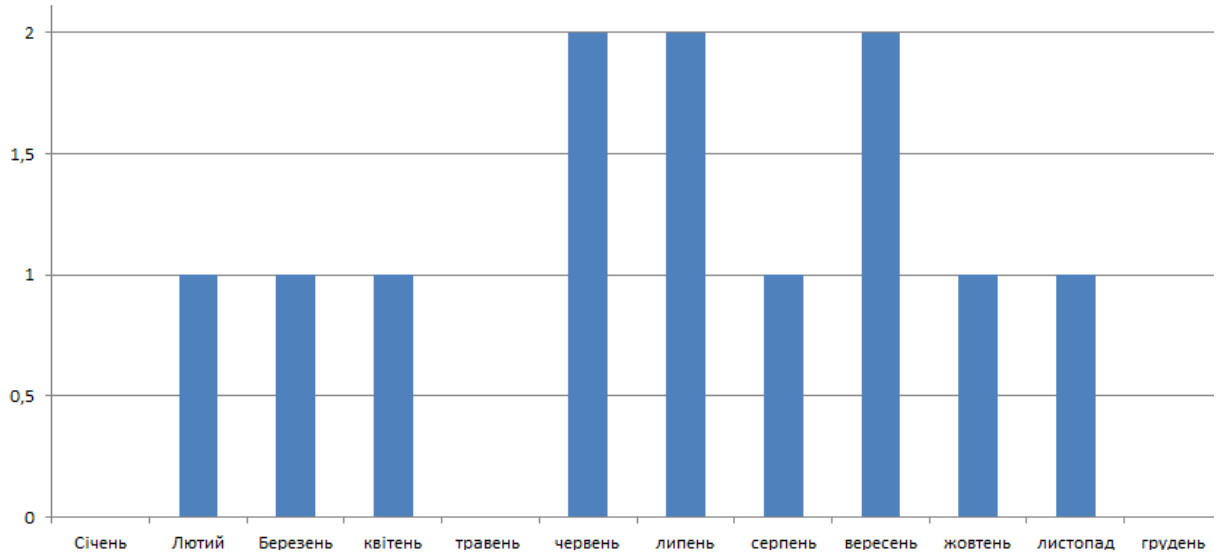


Рисунок 4 - Гістограма розподілу (дані спостереження 2018 року)

Згладжування статистичних розподілів здійснювалось за допомогою критерію згоди Пірсона. Перевірялась узгодженість з розподілами: нормальним, експоненціальним, логарифмічно нормальним, Вейбулла, Максвелла. Практично для всіх вибірок значення критерія згоди найменше при згладжувані розподілу експоненціальним законом. Знання закону розподілу дозволяє в даному випадку суттєво підвищити достовірність оцінок. Для

прикладу, знання закону розподілу дозволило звузити довірчі границі в 1,2-2,4 рази при тих же об'ємах вибірок.

Для оцінки впливу точності задання ω , τ_B на розрахункову величину $\Delta W_н$ визначено необхідну кількість дослідів, при яких похибки δ_ω і $\delta_{\tau_в}$ не будуть перевищувати заданих з довірчою ймовірністю $\beta = 0{,}95$. Необхідне число дослідів (що спостерігаються в мережі) визначалось для експоненціального закону.

Залежності граничних $\beta = 0{,}95$ помилок від об'єму статистики наведені в таблиці 1. Якщо врахувати, що число пошкоджень в мережі, яка містить близько 1000 ТП, обчислюється в середньому декількома десятками, рідко сотнями на рік, то величина помилки може сягати досить суттєвих значень.

Таблиця 1 - Ймовірні з $\beta = 0{,}95$ похибки визначення МО вихідних показників надійності

N	20	40	100	400	1000
δ_ω , $\delta_{\tau_в}$	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05

Дослідження проводились за допомогою методу статистичних випробувань для розподільних мереж напругою 10 кВ з петлевою схемою декількох міст. При моделюванні закон розподілу помилки визначення МО ω , τ_B прийнятий нормальний, а закон розподілу навантажень ТП – усічений нормальний.

Отримані значення коефіцієнтів варіації оцінок $\Delta W_н$ для кожного із варіантів моделювання при заданих допустимих рівнях помилки $\delta_{\omega,\tau_в}$ наведені у таблиці 2. На рис.5 наведені криві залежності можливої похибки розрахунку $\delta_{\Delta W_н}$ від наявного об'єму статистичних даних про показники надійності для кожного із варіантів моделювання. Криві побудовані для $\beta = 0{,}95$, номер кривої відповідає варіанту таблиці 2.

Таблиця 2 - Коефіцієнти варіації оцінок $\Delta W_н$ для допустимих рівнів помилки $\delta_{\omega,\tau_в}$

Варіант	Параметри, що варіюються	Коефіцієнти варіації оцінки				
		$\delta_{\omega,\tau_в}$ = 0,5	$\delta_{\omega,\tau_в}$ = 0,3	$\delta_{\omega,\tau_в}$ = 0,2	$\delta_{\omega,\tau_в}$ = 0,1	$\delta_{\omega,\tau_в}$ = 0,05
1	$\omega_{кл}$	0,28	0,21	0,12	0,07	0,04
2	τ_B	0,22	0,16	0,10	0,06	0,04
3	$\omega_{кл}$, τ_B	0,36	0,26	0,16	0,09	0,06
4	$\omega_{кл}$, P_c	0,28	0,21	0,13	0,08	0,05
5	τ_B ,P_c	0,22	0,17	0,11	0,07	0,05
6	$\omega_{кл}$, τ_B , P_c	0,36	0,26	0,17	0,10	0,07

Криві з урахуванням впливу похибок визначення P_c побудовані для мережі об'ємом 200-250 ТП. Як видно, цей вплив на точність оцінки $\Delta W_н$ для схеми незначний у порівнянні з іншими факторами і зменшується зі збільшенням числа ТП. Викликано це тим, що навантаження моделюються для кожної ТП, а похибки ω і τ_B – в цілому для мережі в кожному досліді, таким чином, аналогічно зі способами отримання даних.

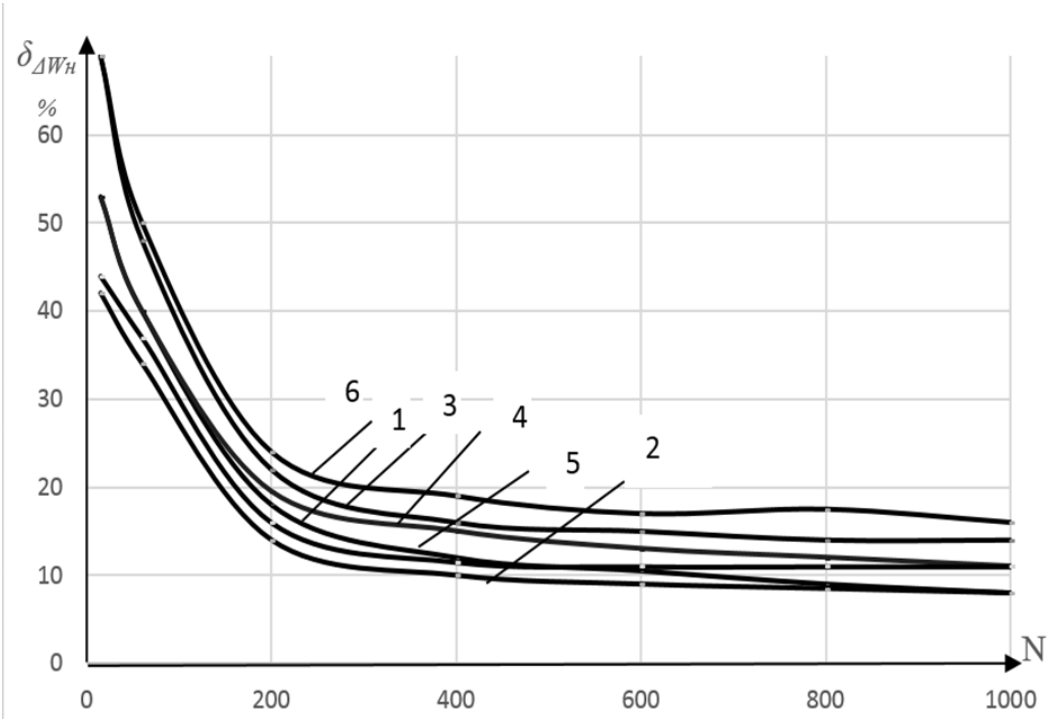


Рисунок 5 - Залежність помилки розрахунку $\Delta W_н$ від обсягу статистичних даних (1-6 номери варіантів розрахунків)

Користуватися графічними залежностями при розрахунках на ЕОМ незручно. Доцільно застосовувати аналітичні вирази для визначення можливої помилки оцінки $\delta_{\Delta W_н}$ в залежності від об'єму вибірок статистичних даних. Аналітичний опис кривих рисунку 5 можна отримати за допомогою методу найменших квадратів. Для випадку, наприклад, коли оцінюється вплив усіх факторів, і об'єми даних для визначення $\omega_{кл}$ і τ_B рівні (крива 6 рисунку), отримаємо

$$\delta_{\Delta W_н} = -65,2 + 412e^{-\frac{N}{1000}} - 567e^{-\frac{N}{500}} + 295e^{-\frac{N}{250}}, N \le 1000 \qquad (2)$$

$$\delta_{\Delta W_н} = 68,6 - 0,294N + 0,000502N^2 - 0,000000263N^3, N \le 1000 \qquad (3)$$

Висновки.

1. Отримані залежності можуть бути використані при визначенні об'єму інформації, потрібної для оцінки $\Delta W_н$ з заданою точністю, або ж для вирішення зворотної задачі – за наявним об'ємом статистичних даних оцінити можливу похибку розрахунків. Число N=400

можна вважати граничним, оскільки подальше збільшення об'єму інформації не приводить до відчутного підвищення точності розрахунків.

2. У випадку виразу залежностей ступеневим поліномом (5) полегшується ручний розрахунок, в той час як відмінність від описаних кривих не перевищує зазвичай величини 2-3%. Подібні графічні і аналітичні вирази залежності $\delta_{\Delta W_н}$ від точності вихідної інформації доцільно отримувати для інших значень β.

3. В мережах підприємств електричних мереж невеликих міст та районів в експлуатації знаходиться лише по декілька сотень КЛ напругою 6-10кВ. Як свідчить проведений аналіз даних аварійної статистики одного з таких підприємств, кількість пошкоджень за рік (рисунки 1-4) визначається декількома десятками. При цьому розрахункові показники надійності схем мають визначатись умовами підприємств. В такому разі розрахунки слід виконувати за усередненими показниками надійності, отриманими за обсягом накопиченої інформації за декілька останніх років експлуатації, за умови попереднього аналізу виборок на однорідність, з використанням критеріїв згоди. В даному разі такий аналіз дозволив здійснити об'єднання виборок за чотири роки та зменшити вдвічі похибки визначення показників ω і τ_B.

УДК 621.31

Мартинюк А. Ю.
Кафедра електропостачання

ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ І РОЗРАХУНКІВ РЕЖИМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Існуюча в підприємствах електричних мереж система обліку параметрів обладнання та робіт з його обслуговуваннюя не дозволяє своєчасно відображати всі зміни та оперативно вносити їх в банк даних інформаційно-обчислювальних систем. Облік ряду показників, необхідних для розрахунків, взагалі не передбачений, а в більшості випадків не проводяться необхідні записи. Це призводить до використання спрощених моделей схем заміщення елементів розподільних електричних мереж та розрахункових навантажень

Ключові слова: розподільні електричні мережі, інформаційна система, база даних, розсіювання значень, управління режимами.

Вступ. Розподільні електричні мережі – промислові, міські та сільські – займають важливе місце в енергетиці. На лінії 0,38 – 20 кВ припадає понад 80% загальної протяжності ЛЕП. До електропостачання висувається ряд вимог – споживачі повинні отримувати якісну електричну енергію, з достатнім ступенем надійності. При цьому мають підтримуватись мнімальні втрати потужності та енергії в мережах при врахуванні різного роду обмежень, обумовлених нормативними документами та параметрами обладнання.

Матеріал дослідження. Успішне вирішення задачі управління режимом мережі стає можливим за умови широкого практичного використання можливостей обчислювальної техніки. На сьогодні необхідний ефект може бути досягнутий лише у разі застосування спеціально розроблених інформаційно-обчислювальних систем (ІОС), розрахованих на широкий спектр комплексних задач розрахунку та оптимізації схем, параметрів та режимів розподільних електричних мереж (рис.1). При цьому повинні враховуватися особливості систем електропостачання (СЕП) міст, такі як:

1) Велика кількість пов’язаних між собою складових елементів системи електропостачання. В СЕП великого міста нараховуються десятки підстанцій 35 – 110 кВ (П/СТ) та розподільних пунктів (РП), сотні та тисячі ТП, десятки тисяч ЛЕП різної напруги, сотні тисяч різнорідних споживачів електричної енергії, розосереджених на порівняно великій території. В зв’язку з цим виникає необхідність збору, опрацювання та зберігання величезного об’єму різнотипної інформації.
2) Постійні поточні зміни схем та режимів роботи розподільних мереж, безперервний їх розвиток та розширення.
3) В розподільних мережах в основному використовуються магістральні та розімкнені петлеві схеми з ручним вводом резервного живлення за відсутності на більшості об’єктів обслуговуючого персоналу.
4) Необхідність передачі незначних об’ємів інформації з великої кількості об’єктів. Відносно невелика кількість стаціонарних вимірювальних приладів, які встановлені, як правило, в П/СТ та РП.
5) Тільки для вирішення основних задач оцінювання та управління режимами необхідно понад 50 видів вихідних даних. Це відомості про конфігурацію мереж різних рівнів напруги, параметри ліній електропередач, трансформаторів, дані про типи та стан

комутаційних апаратів, результати вимірювань навантажень, напруг, показників надійності елементів мережі, довідкова інформація та інші.

З моменту появи і до використання її в розрахунках інформація проходить наступні етапи (рис.2):

а) отримання – характеризується об'єкт, час, вид інформації (вимірювання, доповнення, стан…), розмірність, похибка;

б) первинне фіксування – характеризується формою (журнал, відомість…) та термінами зберігання;

в) перевірка достовірності інформації, порівняння з попередніми даними (якщо є попередня історія), висновки про цінність, доцільність використання, необхідність уточнення;

г) здійснення уточнень;

д) перетворення в форми, зручні для довгострокового зберігання, використання персоналом для експлуатаційних цілей, перевірки достовірності;

е) перенесення на зовнішні носії з контролем правильності виконання операції;

ж) введення в ІОС з наступною машинною обробкою, перевіркою та упакуванням в автоматизований банк даних.

Інформація, яка знаходиться в БД, є вихідною для проведення розрахунків.

Всю інформацію можна умовно поділити на відносно незмінну та динамічну.

В загальному випадку розрахункові параметри режиму завжди визначаються в умовах невизначеності, тому в деякій мірі відрізняються від дійсних значень.

Достатня точність в першу чергу визначається вимогами вирішуваної задачі.

Причинами недостовірності вихідної інформації можуть бути:

1. Використання недостовірних вхідних даних:
- імовірнісних характеристик вимірюваних параметрів режиму,
- похибок вимірювальної системи,
- неврахування розсіювання параметрів однотипного обладнання.
2. Вплив перешкод при передачі, збереженні та переробленні інформації:
- відмови та збої в роботі апаратури,
- помилки людини, як ланки системи передачі інформації.
3. Структурні та алгоритмічні помилки:
- недосконалість математичної моделі,
- помилки округлення чисел в базі даних,
- помилки в програмі.
4. Помилки, які обумовлені обмеженістю статистик – надійність та об'єктивність розрахунків визначається якістю та кількістю експериментальних даних.
5. Старіння інформації.

Аналітичні методи досліджень з оцінювання впливу достовірності інформації на розрахунки режимів мереж та прийняття оптимальних рішень дозволяють абстрагуватися від деяких частковостей і за рахунок цього з більш загальних позицій охарактеризувати досліджувані процеси та явища. Однак для складних систем математичні моделі зазвичай є досить громіздкими, тому практичне застосування аналітичних методів багато в чому залежить від обґрунтованості припущень, які приймаються при розрахунках, здійснюваних для реальних систем.

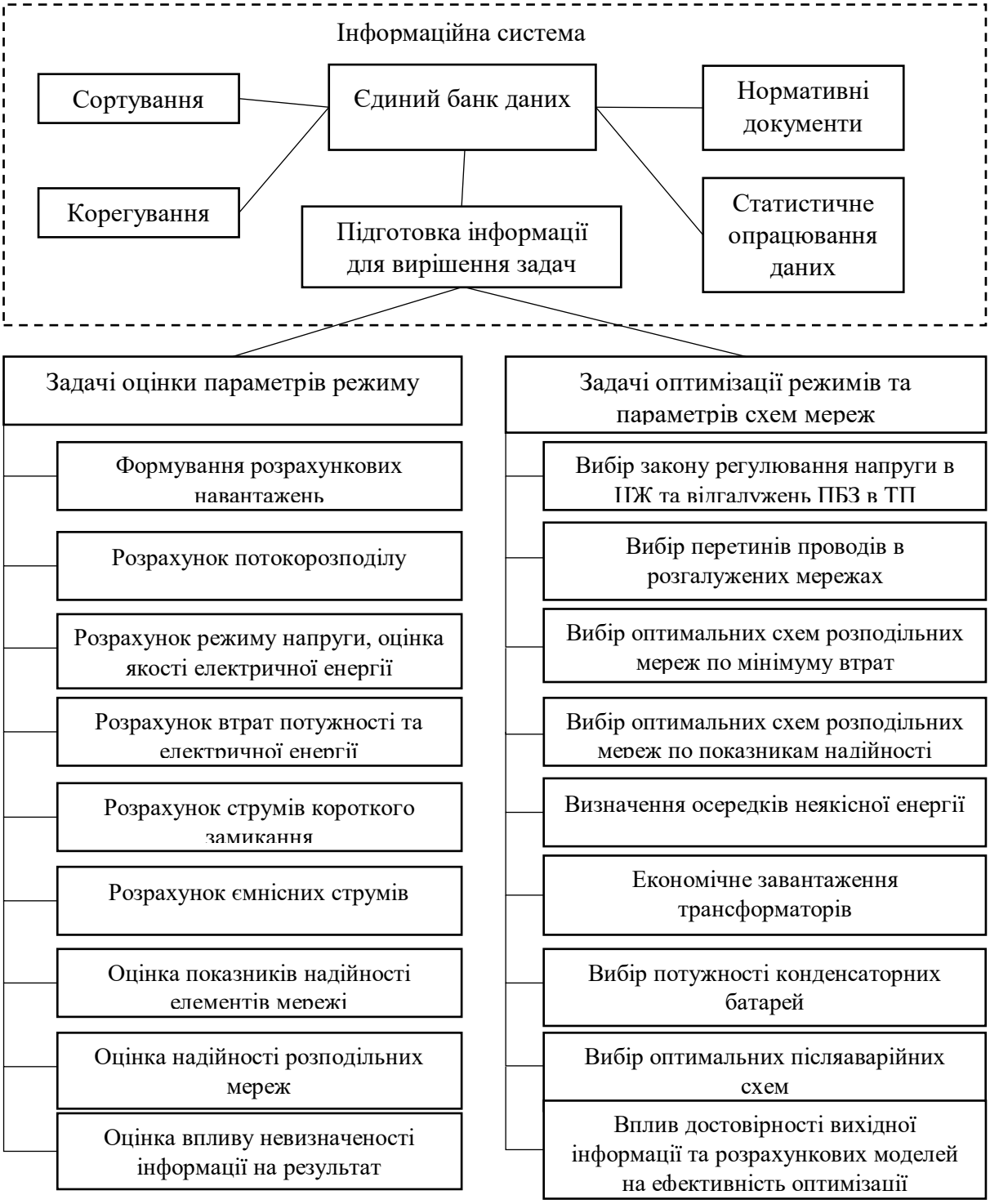


Рисунок 1.- Структура інформаційно-обчислювальної системи СЕ

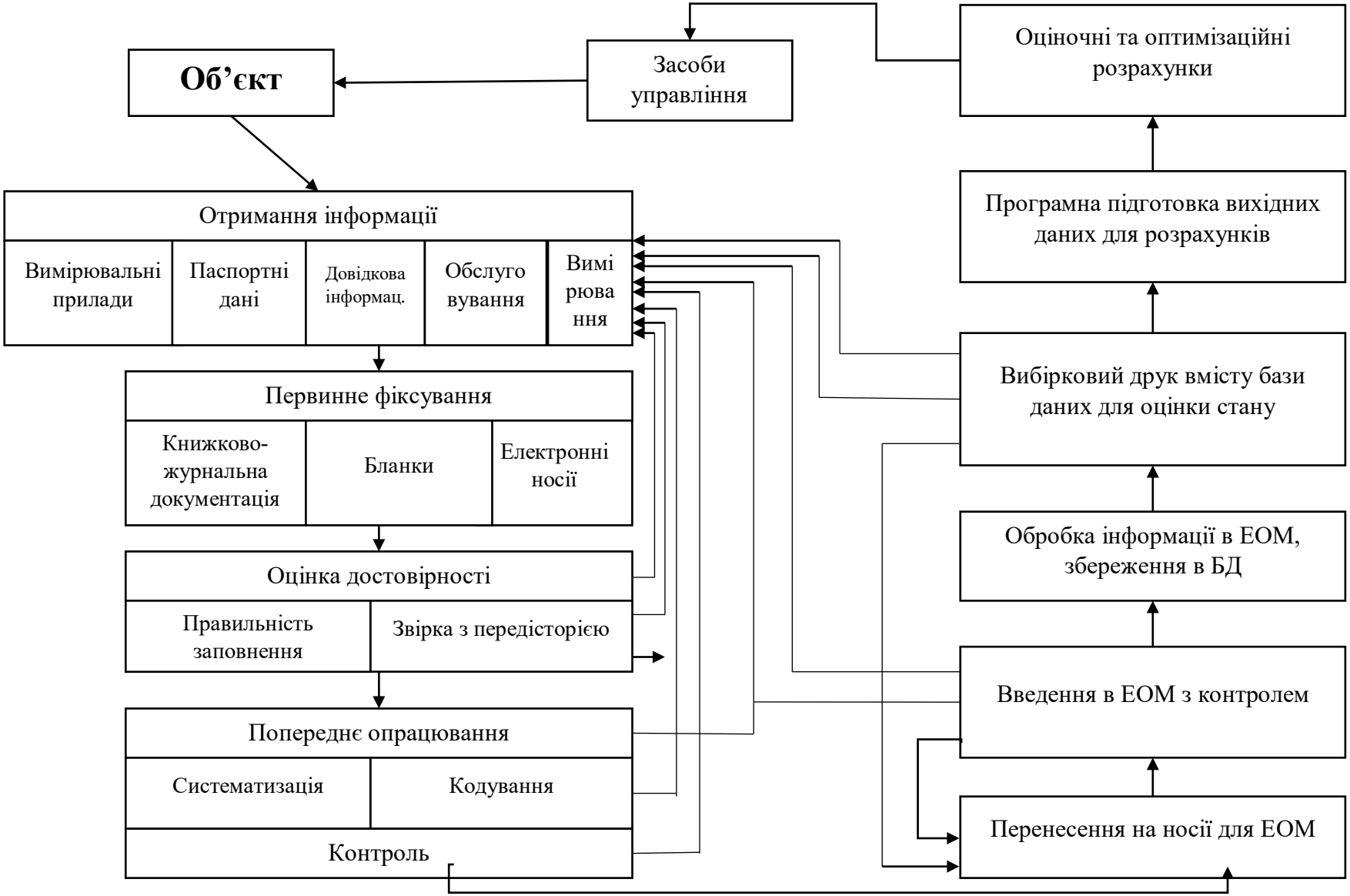


Рисунок 2. - Структурна схема руху, опрацювання та використання інформації

Оскільки параметри режимів систем електропостачання визначають досить складними рівняннями з нелінійними в загальних випадках залежностями, а розглянуті похибки вихідних даних описуються різними законами розподілу, то отримання оцінок похибок вихідної інформації аналітичними методами ускладнено або взагалі неможливе. У загальному випадку ці методи застосовують для визначення граничних похибок з заданою імовірністю. В роботі широко використовується метод статистичних випробувань (Монте-Карло), для оцінювання комплексного впливу похибок вихідної інформації та моделей на достовірність розрахунків.

Висновок. Разом зі створенням інформаційно-обчислювальних комплексів СЕП виникає необхідність вирішення науково-технічної проблеми дослідження потоків технічної інформації в СЕП, а також комплексу задач з оцінювання достовірності вихідної інформації, дослідження її впливу на розрахунок та оптимізацію параметрів режиму, визначення необхідного ступеню і методів уточнення вихідних даних та вибору доцільних розрахункових моделей з розробкою програмного забезпечення цих задач.

Подальшою задачею дослідження є вироблення методології з питань приведення отримуваної інформації до вигляду, необхідного для забезпечення розрахунків та оптимізації режимів розподільних електричних мереж, виходячи з принципу системного підходу до процесу отримання, опрацювання та комплексного використання інформації у базах даних ІОС.

УДК 551.55+551.50+620.9+ 621.311.24

Нагірич В.В.
Кафедра електропостачання

ТЕМА: МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ БАЛЬНОЇ СИСТЕМИ У ВИПАДКУ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК ДЛЯ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ СИСТЕМ АСКОЕ

У роботі проведено дослідження найбільш популярні на ринку системи автоматичного обліку, складена порівняльна таблиця і вироблено ранжування систем за сумою отриманих балів. Порівняльний аналіз проведено по набору критеріїв, включаючи унікальні можливості, що відрізняють ці системи один від одного. За результатами ранжирування обрана найкраща модель, виявлені її переваги і недоліки. Складено спрощений список вимог і необхідного функціоналу для системи, необхідної для побудови ефективного енергомоніторингу.

Ключові слова: *автоматична система комерційного обліку енергоресурсів, енергомоніторингу, добове електроспоживання, статистичний аналіз, ранжування.*

Considered the most popular on the market of the automatic accounting system, a comparative table is compiled and the ranking is made systems by the amount of points received. Comparative analysis conducted by recruiting criteria, including the unique capabilities that distinguish these systems from each other. According to the results ranking selected the best model, revealed its advantages and disadvantages. Compiled by simplified list of requirements and necessary functionality for the system required to build effective energy monitoring.

Key words: *automatic system of commercial accounting of energy resources, energy monitoring, daily electricity consumption, statistical analysis, ranking.*

На даний час на ринку використовується велика кількість автоматизованих систем комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ). Всі вони відрізняються як технічними, програмними, так і функціональними можливостями. Тобто для конкретного підприємства, установи потрібно вибирати оптимальну структуру побудови АСКОЕ з точки зору ефективності її застосування[1].

Для порівняльного аналізу АСКОЕ з точки зору їх застосування в великому офісному центрі було проаналізовано ряд сучасних методів порівняльного аналізу. В результаті даного дослідження був вибраний метод експертних оцінок.

Методи експертних оцінок є частиною великої області теорії прийняття рішень, а саме експертне оцінювання - процедура отримання оцінки проблеми на основі думки фахівців (експертів) з метою подальшого прийняття рішення (вибору).

У випадках надзвичайної складності проблеми, її новизни, недостатності наявної інформації, неможливість математичної формалізації процесу вирішення доводиться звертатися до рекомендацій компетентних фахівців які прекрасно знають проблему - до експертів. Їх рішення задачі, аргументація, формування кількісних оцінок, обробка останніх формальними методами дістали назву методу експертних оцінок.

Існує дві групи експертних оцінок:

1. Індивідуальні оцінки засновані на використанні думки окремих експертів, незалежних один від одного.
2. Колективні оцінки засновані на використанні колективної думки експертів.

Способи вимірювання об'єктів:

1. Ранжування - це розташування об'єктів в порядку зростання або зменшення будь-якого властивого їм властивості. Ранжування дозволяє вибрати з досліджуваної сукупності факторів найсуттєвіший.
2. Парне порівняння - це встановлення переваги об'єктів при порівнянні всіх можливих пар. Тут не потрібно, як при ранжируванні, впорядковувати всі об'єкти, необхідно в кожній з пар виявити більш значимий об'єкт або встановити їх рівність.
3. Безпосередня оцінка. Часто буває бажаним не тільки впорядкувати (ранжувати об'єкти аналізу), але і визначити, на скільки один фактор найбільш значущий, ніж інші. В цьому випадку діапазон зміни характеристик об'єкта розбивається на окремі інтервали, кожному з яких приписується певна оцінка (бал), наприклад, від 0 до 10. Саме тому метод безпосередньої оцінки іноді називають також бальним методом.

Метод простого ранжування полягає в тому, що кожного експерта просять розташувати ознаки в порядку переваги.

	1	2	…	j	…	m
1	a_{11}	a_{12}	…	a_{1j}	…	a_{1m}
2	a_{21}	a_{22}	…	a_{2j}	…	a_{2m}
…	…	…	…	…	…	…
i	a_{i1}	a_{i2}	…	a_{ij}	…	a_{im}
…	…	…	…	…	…	…
n	1_{ni}	a_{n2}	…	a_{nj}	…	a_{nm}

де, aij - оцінка ознаки експертом. n - кількість ознак, m - кількість експертів. Потім, підраховується Si - середнє значення важливості ознаки.

Метод завдання вагових коефіцієнтів (aij)

1. Всіма ознаками призначають вагові коефіцієнти так, щоб суми коефіцієнтів дорівнювала якомусь фіксованому числу (наприклад, одиниці, десяти або ста);
2. Найбільш важливого з усіх ознак надають ваговий коефіцієнт, що дорівнює якомусь фіксованому числу, а всім іншим - коефіцієнти, рівні часток цього числа.

Метод послідовних порівнянь полягає в наступному:

1. Експерт впорядковує всі ознаки в порядку зменшення їх значимості: A1> A2> ...> An;
2. Присвоює першою ознакою значення, рівне одиниці: A1 = 1, іншим же ознаками призначає вагові коефіцієнти в частках одиниці;
3. Порівнює значення першої ознаки з сумою всіх наступних.

У парному порівнянні не потрібно, як при ранжируванні, впорядковувати всі об'єкти, необхідно в кожній з пар виявити більш значимий об'єкт або встановити їх рівність. Парне порівняння можна проводити при великому числі об'єктів, а також в тих випадках, коли відмінність між об'єктами настільки незначний, що практично нездійсненно їх ранжування.

При використанні методу частіше за все складається матриця розміром nxn, де n - кількість порівнюваних об'єктів.

	1	2	...	j	...	n
1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}
2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2n}
...	...	...	...	...	...	...
i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{in}
...	...	...	...	...	...	...
n	1_{ni}	a_{n2}	...	a_{nj}	...	a_{nn}

При порівнянні об'єктів матриця заповнюється елементами aij наступним чином (може бути запропонована і інша схема заповнення):

- 2, якщо об'єкт і краще об'єкта j (i> j),
- 1, якщо встановлено рівність об'єктів (i = j),
- 0, якщо об'єкт j краще об'єкта i (i <j)

У нашому випадку було застосовано метод бальної оцінки із наступним їх ранжуванням. Для проведення оцінювання по методу безпосередньої оцінки (бального методу) було окреслено (на основі необхідності виконання визначених задач впроваджуваних АСКОЕ) ряд вимог до функціональних їх можливостей. А саме:

1. Тип програмного забезпечення (ПЗ) - системне ПЗ, прикладне ПЗ.
2. Необхідність стороннього ПЗ.
3. Стандарти зв’язку.
4. Можливість врахування енергоресурсів.
5. Багатотарифний облік.
6. Можливість прогнозу.
7. Висновок даних в звіті.
8. Віддалене управління.
9. Автоматичній розрахунок.
10. Автоматична розсилка даних.
11. Відкритість коду ПЗ.

В таблиці 1 представлено ряд АСКОЕ, як вітчизняних, так і закордонних із відповідними балами по функціональним можливостям.

Таблиця 1 Порівняльний аналіз АСКОЕ

Параметри	Найменування									
	ГИС ТБН «Энерго»	ЕАСДКиУ	RDM	Энерго-контроль	I-ems	Simatic	1С Каскад АСКУЭ	Энергоучет	Марсел	Энергия
Тип ПЗ	1	1	1	1	2	0	0	1	1	1
Необхідність стороннього ПЗ	2	2	2	2	1	1	0	2	2	1
Підтримувані виробники	2	1	0	2	2	2	2	2	1	1
Стандарти зв'язку	2	2	2	1	1	1	1	1	2	0
Враховуються енергоресурси	2	0	0	2	2	2	1	0	0	0
Враховуються параметри	2	2	2	0	0	2	2	0	0	0
Ручне введення	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0
Багатотарифний облік	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0
Прогноз	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Висновок даних в звіти	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1
Діагностика пристроїв обліку	2	1	2	1	0	2	0	0	0	1
Віддалене управління	2	2	2	2	0	2	0	0	0	0
Фіксація дій персоналу	2	1	1	1	1	0	1	0	0	0
Автоматичний розрахунок	1	2	2	1	2	0	1	0	2	0
Система документообігу	1	0	0	0	1	0	2	1	0	0
Автоматична розсилка	0	2	1	0	1	0	1	0	1	0
Відкритість коду	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1
Сума балів	21	20	17	17	17	16	16	14	11	6

Бали в даній таблиці розставлялися таким чином: 2 бали - функція виконується в повній мірі, 1 бал - виконується лише частина функції і 0 балів - якщо функція не виконується зовсім або виконується незначна її частина. При виставленні балів за типом програмного забезпечення 2 бали виставлялися модульним і блоковим ПО, оскільки саме ці типи є найбільш прогресивними на даний момент завдяки тому, що дозволяють виробляти поступову інтеграцію, підбирати комплект необхідних функцій для кожного конкретного підприємства і розширювати функціонал в міру необхідності[4]. Один бал ставилося самостійним ПО, що не вимагає базового програмного забезпечення для установки. І нуль балів ставилося інтегрованим системам, які вимагають стороннього ПО для установки і роботи.

Висновок.

В результаті використання бального оцінювання з послідуючим ранжуванням, порівняння систем автоматизованого обліку було виявлено, що найбільш функціональною системою на даний момент на ринку є ГІС ТБН «Енерго», яка набрало 21 бал, проте і вона, не дивлячись на великий функціонал, не в повній мірі придатна для проведення моніторингу електроспоживання в реальному часі. Тобто для цього потрібні не АСКОЕ (AMR) а побудова так званих Smart Grid технологій.

Список використаної літератури.

1. АСКУЭ. Комплекс технических и программных средств «Энергомера». Прозрачные решения / ЗАО «Энергомера». – Ставрополь, 2013. – 8 с
2. ARM and DSP Based Device for Power Quality Monitoring / Genghuang Yang, Feifei Wang, Shigang Cui, Li Zhao // Advances in Electronic Engineering, Communication and Management. Vol. 2: Lecture Notesin Electrical Engineering. – 2012. – Vol. 140. – P. 163–168.
3. Кычкин А.В. Программно-аппаратное обеспечение сетевого энергоучетного комплекса // Датчики и системы. – 2016. – № 7(205). – С. 24–32.
4. Kuznetsov N.M., Semenov A.S. Razrabotka sistemy monitoringa dlia izmereniia pokazatelei kachestva elektroenergii na gornykh predpriiatiiakh [Development of a monitoring system for measuring electricity quality at mining enterprises]. Fundamental'nye issledovaniia, 2013, no. 4 (part 2), pp. 295-299.
5. Макоклюев Б.И., Федоров Д.А. Оперативное прогнозирование нагрузки ЭЭС с учетом метеофакторов. Советчики диспетчеров по оперативной коррекции режимов работы ЭЭС. Иркутск, 1984

Рудницький С.О.

Кафедра електропостачання

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ДОБОВІ ГРАФІКИ НАВАНТАЖЕНЬ

В даній статті розглядається проблема функціонування електричної мережі в умовах збільшення числа електромобілів. Розраховано максимальну кількість електромобілів , які зможуть заряджатись від низьковольтної мережі типових міських споруд , у режимі зарядки MODE 1 і MODE 2 . Визначено їх вплив на добові графіки навантаження в залежності від часу, який необхідний для зарядки електромобілю.

Ключові слова: *Об'єкт, електропостачання, аналіз, електромобіль, зарядка, графік навантаження, потужність.*

In this article, we considered the problem of the functioning of the electrical network in the conditions of increase in the number of electric vehicles. The maximum number of electric vehicles that can be charged from typical urban facilities, charging MODE 1 and MODE 2 has been calculated. Their influence on daily schedules is defined load according to the time that to charge electromobile.

Keywords: *facility, power supply, analysis, electric vehicle, charging, load curve, power.*

Вступ. Одним з основних напрямків розвитку транспортних засобів на сьогоднішній день є поступова заміна транспорту, що використовує двигуни внутрішнього згоряння, на електромобілі з метою зменшення викидів CO2. Вже сьогодні річний приріст числа електромобілів складає більше 60%, що пояснюється ефективною роботою державного стимулювання[1]. Збільшення кількості електричних транспортних засобів робить їх важливою складовою системи електропостачання як на регіональному рівні, так і на рівні всієї країни. Оскільки побутові мережі споживачів при проектуванні не були розраховані на такий тип споживання електричної енергії , існує необхідність дослідження потенціалу резерву мережі з огляду на високий ріст попиту на електромобілі . Існує необхідність визначення оптимального режиму зарядки для відповідних пристроїв, які можуть бути розміщені у спорудах різного типу.. Оскільки технології електромобілів досить швидко розвиваються , необхідно проводити розрахунки спираючись на існуючі характеристики споживання елекектричної енергії цим транспортом , та розуміти тенденції розвитку галузі , для прогнозування .

Мета. визначення потенціалу , та режимів зарядки електромобілів з метою підвищення рівномірності графіків електричних навантажень .

Матеріали і результати досліджень. Слід зазначити що процес заряду акумулятору електромобіля більш ефективний при використанні високовольтних станцій зарядки, але проаналізувавши умови використання автомобілів у міському циклі, очевидно що для більшості водіїв комфортно буде заряджати автомобіль на паркінгах біля дому, де вони знаходяться вночі. Тому у ході дослідження було проаналізовано графіки навантаження типових міських споруд та визначення максимально допустимий вплив на них електромобілів. Для визначення ефективності використання електромобілів , були використані типові графіки добового навантаження таких споруд як : 9-ти поверховий житловий будинок , з газовими плитами на 210 квартир; 16-ти поверховий житловий будинок з електроплитами на 126 квартир; 24-ти поверховий житловий будинок з електроплитами на 112 квартир; великий офісний центр площею 10 000 м^2.

Розрахункова максимальна потужність об'єктів визначена на основі діючих норм [2].

Для житлових будинків

$$P_{ж/д} = N_{кв} p_{уд} + 0{,}9 K_c n_л p_л \quad , \tag{1}$$

9-ти поверховий житловий будинок , з газовими плитами на 210 квартир

$$P_{ж/д1} = 210 \times 0{,}86 + 0{,}9 \times 0{,}65 \times 6 \times 7 = 205{,}2 кВт \, , \tag{2}$$

16-ти поверховий житловий будинок з електроплитами на 126 квартир

$$P_{ж/д2} = 126 \times 1{,}96 + 0{,}9 \times 0{,}65 \times 2 \times (7+9) = 267{,}2 кВт \, , \tag{3}$$

24-ти поверховий житловий будинок з електроплитами на 112 квартир

$$P_{ж/д3} = 112 \times 2{,}48 + 0{,}9 \times 0{,}7 \times 2 \times (7+9) = 298 кВт \, . \tag{4}$$

Для офісного центру

$$P_{о/ц} = N p_{уд} \tag{5}$$

$$P_{о/ц} = 10000 \times 0{,}1 = 1000 кВт \, . \tag{6}$$

Добові графіки навантаження представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Добовий графік навантаження типових міських споруд.

9-ти поверховий житловий будинок	Т	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Р, кВт	51,3	36,9	36,9	34,9	32,8	36,9	47,2	65,7	57,5	53,4	47,2	45,1
	Т	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Р , кВт	51,3	51,3	53,4	55,4	51,3	57,5	106,7	170,3	205,2	184,7	145,7	80
16-ти поверховий житловий будинок	Т	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Р, кВт	74,8	48,1	42,8	42,8	48,1	53,4	74,8	106,9	98,9	112,2	138,9	165,7
	Т	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Р, кВт	138,9	133,6	120,2	128,3	181,7	192,4	219,1	235,1	267,2	256,5	227,4	160,3
24-ти поверховий житловий будинок	Т	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Р, кВт	119,2	92,4	83,4	86,4	89,4	92,4	113,2	149	140,1	146	140,1	131,1
	Т	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Р, кВт	146	149	152	143	149	157,9	205,6	289,1	298,1	250,3	223,5	149
Офісний центр	Т	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Р, кВт	140	120	120	120	200	300	320	350	900	920	900	860
	Т	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Р, кВт	900	960	1000	1000	840	740	660	380	240	200	160	160

Для розрахунку максимального впливу на добові графіки об’єктів , необхідно розрахувати максимальну кількість електромобілів яка може заряджатись одночасно.

Згідно даних МВС України [3], найбільшу частку електромобілів в країні складає Nissan Leaf. Потужність акумулятору складає 24 кВт·год [4], але дивлячись на розвиток ринку , та здешевленням акумуляторів , очевидно що з часом більшість електромобілів будуть мати більшу ємність , тому для порівняння розглянемо автомобіль Tesla Model 3 [5], характеристики якого представлено у таблиці 2

Таблиця 2 – Характеристики обраних електромобілів.

№	Модель	Потужність двиуна, кВТ	Запас ходу , км	Швидкість зарядки , год			Потужність АКБ, кВт*год	Потужність бортового зарядного пристрою, кВт
				220 В	380 В	Supercharger (80% заряду)		
1	Tesla Model S	231-430	335-530	20-30	3	0,5	60-100	11/22
2	Nissan Leaf (2013)	80	135 - 172	8	3	0.5	24	3.3/6.6

Проведемо розрахунок максимального числа електромобілів які можуть заряджатись від об’єктів згаданих раніше. Для цього необхідно визначити фактичну потужність зарядного пристрою , опираючись на час необхідний для заряду електромобіля повну ємність, визначені дослідним шляхом , та прийнявши ККД зарядного пристрою ŋ=0,8.

Фактична потужність зарядки електромобіля:

$$P_з = \frac{(P_б + (P_б - (P_б \cdot ŋ)))}{t_з} \quad (7)$$

Отож для Nissan Leaf , при зарядці від мережі 220 В , згідно режиму зарядки MODE 1 , потужність буде рівна :

$$P_з = \frac{(24 + (24 - (24 \cdot 0,8)))}{8} = 3,6 \text{, кВт.} \quad (8)$$

При зарядці від мережі 380 В , згідно режиму зарядки MODE 2 , потужність буде рівна :

$$P_з = \frac{(24 + (24 - (24 \cdot 0,8)))}{3} = 9,6 \text{, кВт.} \quad (9)$$

Для Tesla Model S (60), при зарядці від мережі 220 В , згідно режиму зарядки MODE 1 , потужність буде рівна :

$$P_з = \frac{(60 + (60 - (60 \cdot 0,8)))}{20} = 3,6 \text{, кВт.} \quad (10)$$

При зарядці від мережі 380 В , згідно режиму зарядки MODE 2 , потужність буде рівна :

$$P_з = \frac{(60 + (60 - (60 \cdot 0,8)))}{6} = 12 \text{, кВт.} \quad (11)$$

Максимальної кількість електромобілів, які можуть приєднуватись до зарядного пристрою у години мінімуму споживання , дорівнює:

$$N_{\max} = \frac{P_{м.д.} - P_{м.з.}}{P_з} \qquad (12)$$

де , $P_{м.д.}$ - максимальне навантаження протягом доби;

$P_{м.з.}$ - максимальне навантаження протягом часу зарядки ;

$P_з$ - згідно формули (7).

Для 9-ти поверхового житлового будинку , з газовими плитами на 210 квартир, для Nissan Leaf , при зарядці від мережі 220 В , згідно режиму зарядки MODE 1 , максимальна кількість електромобілів буде становити:

$$N_{\max} = \frac{205,2 - 65,7}{3,6} = 38,75 \approx 38 \qquad (13)$$

При зарядці від мережі 380 В , згідно режиму зарядки MODE 2 , максимальна кількість:

$$N_{\max} = \frac{205,2 - 36,9}{9,6} = 17,53 \approx 17 \qquad (14)$$

Аналогічно проведені розрахунки для усіх об’єктів представлені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахункова кількість точок підключення електромобілів.

Назва об’єкту	Nissan Leaf		Tesla Model S (60)	
	Кількість при MODE 1	Кількість при MODE 2	Кількість при MODE 1	Кількість при MODE 2
9-ти поверховий житловий будинок , з газовими плитами на 210 квартир	38	17	27	13
16-ти поверховий житловий будинок з електроплитами на 126 квартир	44	22	13	16
24-ти поверховий житловий будинок з електроплитами на 112 квартир	41	21	25	15
Офісний центр	222	91	22	70

Для оцінки максимального впливу електромобілів, на добові графіки споживання проведено розрахунок низки коефіцієнтів графіків навантажень.

Таблиця 4 – Розрахункові коефіцієнти графів добових навантажень.

Назва об'єкту	Режим роботи	$k_{нерівн.}$	$k_{запов.}$	k_{max}
9-ти поверховий житловий будинок , з газовими плитами на 210 квартир	Нормальний режим роботи	0,159	0,357	2,8
	Макс. кі-ть. Nissan Leaf MODE 1	0,219	0,583	1,71
	Макс. кі-ть. Nissan Leaf MODE 2	0,179	0,459	2,175
	Макс. кі-ть. Tesla Model S (60), MODE 1	0,639	0,757	1,32
	Макс. кі-ть. Tesla Model S (60), MODE 2	0,219	0,549	1,81
16-ти поверховий житловий будинок з електроплитами на 126 квартир	Нормальний режим роботи	0,16	0,509	1,962
	Макс. кі-ть. Nissan Leaf MODE 1	0,37	0,709	1,409
	Макс. кі-ть. Nissan Leaf MODE 2	0,18	0,612	1,633
	Макс. кі-ть. Tesla Model S (60), MODE 1	0,34	0,659	1,515
	Макс. кі-ть. Tesla Model S (60), MODE 2	0,27	0,689	1,45
24-ти поверховий житловий будинок з електроплитами на 112 квартир	Нормальний режим роботи	0,279	0,516	1,936
	Макс. кі-ть. Nissan Leaf MODE 1	0,439	0,683	1,463
	Макс. кі-ть. Nissan Leaf MODE 2	0,309	0,604	1,655
	Макс. кі-ть. Tesla Model S (60), MODE 1	0,59	0,775	1,29
	Макс. кі-ть. Tesla Model S (60), MODE 2	0,399	0,671	1,489
Офісний центр	Нормальний режим роботи	0,12	0,52	1,92
	Макс. кі-ть. Nissan Leaf MODE 1	0,24	0,787	1,27
	Макс. кі-ть. Nissan Leaf MODE 2	0,14	0,63	1,58
	Макс. кі-ть. Tesla Model S (60), MODE 1	0,2	0,587	1,703
	Макс. кі-ть. Tesla Model S (60), MODE 2	0,2	0,73	1,369

Де , коефіцієнт нерівномірності:

$$k_{нерівн.} = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \quad . \tag{15}$$

коефіцієнт заповнення:

$$k_{запов.} = \frac{P_{\max}}{P_{сер}} \quad . \tag{16}$$

коефіцієнт максимуму:

$$k_{\max} = \frac{P_{сер}}{P_{\max}} \quad . \tag{17}$$

Висновки. Представлено методику розрахунку максимальної кількості електромобілів , які зможуть одночасно заряджатись від зарядних пристроїв розташованих у різних типах споруд , та розрахунку коефіцієнтів що характеризують вплив на графіки добового навантаження. З отриманих результатів очевидно що в Україні існує великий запас потужностей, що дає змогу розміщати зарядні пристрої на різних об'єктах , що дозволяє, таким чином, нарощувати парк електромобілів . В цілому збільшення числа електромобілів , може суттєво покращити рівномірність споживання , що в свою чергу позитивно впливає на характеристики енергетичної системи в цілому , так як такий активний споживач , як електромобіль збільшує споживання електроенергії вночі. Зважаючи на стрімку тенденцію зростання ринку електромобілів , на збільшення потужності бортових акумуляторів , необхідно впроваджувати у будівлях додаткові точки підключення до мережі 380 В, оскільки саме така напруга необхідна для заряду автомобілю у режимі MODE 2 , який є об'єктивно комфортнішим для автовласників , за рахунок меншого часу заряду.

Перелік посилань

1. Закон України «Про внесення змін до Закону 13 України «Про Митний тариф України» щодо ввізного мита на електромобілі» № 822-VIII від 25.11.2015
2. ДБН В.2.5-23:2010 Державні будівельні норми. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення : ДБН В.2.5-23:2010. – [Чинні від 2010-09-23]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 18 с. – (Державні будівельні норми).
3. Маркетингові дослідження кількості електромобілів в Україні IRSgroup: веб-сайт. URL: http://irsgroup.com.ua/reports/ua-analiz-rinku-elektrokariv-za-traven-2018-roku.html
4. Каталог та технічні характреристики автомобілів «Nissan»: веб-сайт. URL: https://www.nissan.ua/vehicles/car-configurator.html
5. Каталог та технічні характреристики автомобілів «Tesla»: веб-сайт. URL: https://www.tesla.com/models.html

УДК 621.314

Ращенко О.М.
Кафедра електропостачання

СПОСІБ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НАЯВНОСТІ СПОТВОРЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Представлено підхід до побудови системи моніторингу якості електричної енергії у реальному часі, який полягає у побудові просторово-часового розподілу інформаційного сигналу і подальшого ортогонального аналізу частотно-часових змін його спектральних компонент. Впровадження узагальненого коефіцієнту визначення наявності спотворення якості електричної енергії дозволило проводити її моніторинг у реальному часі

***Ключові слова**: якість електричної енергії, ортогональні вейвлет-перетворення, децентралізовані системи електропостачання, узагальнений коефіцієнт якості*

The approach to the construction of a real-time monitoring of the quality of electric energy is presented, consisting in the construction of space-time distribution of the information signal and further orthogonal analysis of the frequency-time changes of its spectral components. The introduction of a generalized coefficient of determination of the presence of distortion of the quality of electric energy has allowed it to be monitored in real time.

Key words: electric power quality, orthogonal wavelet transformation, decentralized power supply systems, generally accepted quality factor

Як відомо, моніторинг параметрів якості електричної енергії (ЯЕЕ) у реальному часі неможливий на даний час, оскільки їх визначення потребує часу для збору даних та їх статистичної обробки. А також, у більшості випадків, кожен параметр ЯЕЕ потребує для свого визначення окремого алгоритму та математичного апарату. На даний час не існує узагальненого параметру визначення наявності довільного типу спотворень. Тому актуальною із науково-практичної точки зору є розробка способу однозначної ідентифікації погіршення ЯЕЕ у реальному часі.

На основі дослідження застосування різноманітних методів обробки інформаційних сигналів (Методів Фур'є, середньоквадратичних значень на основі апроксимації кривої вхідного сигналу спеціальними функціями, фільтрів Калмана, машин опорних векторів та ін.) нами був вибраний для ідентифікації наявності спотворення параметрів якості електричної енергії ортогональні вейвлет-перетворення.

Для його реалізації застосовується вейвлет-функція
в результаті її масштабування на величину s і зсуву на величину u

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}}\psi\left(\frac{t-u}{s}\right)$$

Отримуємо ортогональне перетворення від часу u і масштабу s

$$Wf(u,s) = \left\langle f, \psi_{u,s} \right\rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\frac{1}{\sqrt{s}}\psi\left(\frac{t-u}{s}\right)dt$$

Як показують результати багатьох досліджень, для аналізу структури сигналів різноманітної тривалості необхідні частотно-часові атоми з різноманітними часовими носіями. У ортогональних перетвореннях, в якості сімейства таких частотно-часових атомів, застосовується вейвлет-функція $\psi_{u,s}(t)$ в результаті її масштабування на величину s і зсуву – на величину u:

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}}\psi\left(\frac{t-u}{s}\right). \qquad (1)$$

При цьому, ортогональне перетворення $\psi \in L^2(R)$ від часу u і масштабу s є наступним

$$Wf(u,s) = \left\langle f, \psi_{u,s} \right\rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\frac{1}{\sqrt{s}}\psi\left(\frac{t-u}{s}\right)dt, \qquad (2)$$

де $\left\langle f, \psi_{u,s} \right\rangle$ – скалярний добуток.

Як слідує із виразу (2), вейвлет-перетворення може фокусуватись на локальних структурах сигналу за допомогою процедури наближення та віддалення об'єктів, яка поступово зменшує/збільшує масштабний параметр. Особливості і негладкі структури сигналу як правило містять основну інформацію про його характеристики. Оскільки локальна гладкість сигналу характеризується зменшенням амплітуди вейвлет-перетворення зі зменшенням масштабу, деталізація місць «аномалій» у сигналі проводиться шляхом аналізу їх локальних максимумів [1].

Як відомо, щоб охарактеризувати структури з особливостями (зміна параметрів сигналу у електричній мережі), необхідно надати точне кількісне відображення гладкості сигналу $f(t)$. В даній роботі ми використали показники Ліпшиця, які дозволяють виміряти рівномірну гладкість на часових інтервалах, а також і у довільній точці v. Якщо $f(t)$ має особливість при $t = v$, яка означає, що функція недиференційована в даній точці, то показник Ліпшиця при $t = v$ характеризує сингулярну поведінку функції.

Тобто, зменшення амплітуди коефіцієнтів вейвлет-перетворення в залежності від масштабу зв'язано з рівномірною і точковою гладкістю сигналу Ліпшиця. Вимірювання цього асимптотичного убування еквівалентне наближенню структур сигналу при масштабі, який прямує до нуля. Це ствердження було перевірено на аналізі досліджуваного сигналу із наявністю розривів першого роду (рис. 1).

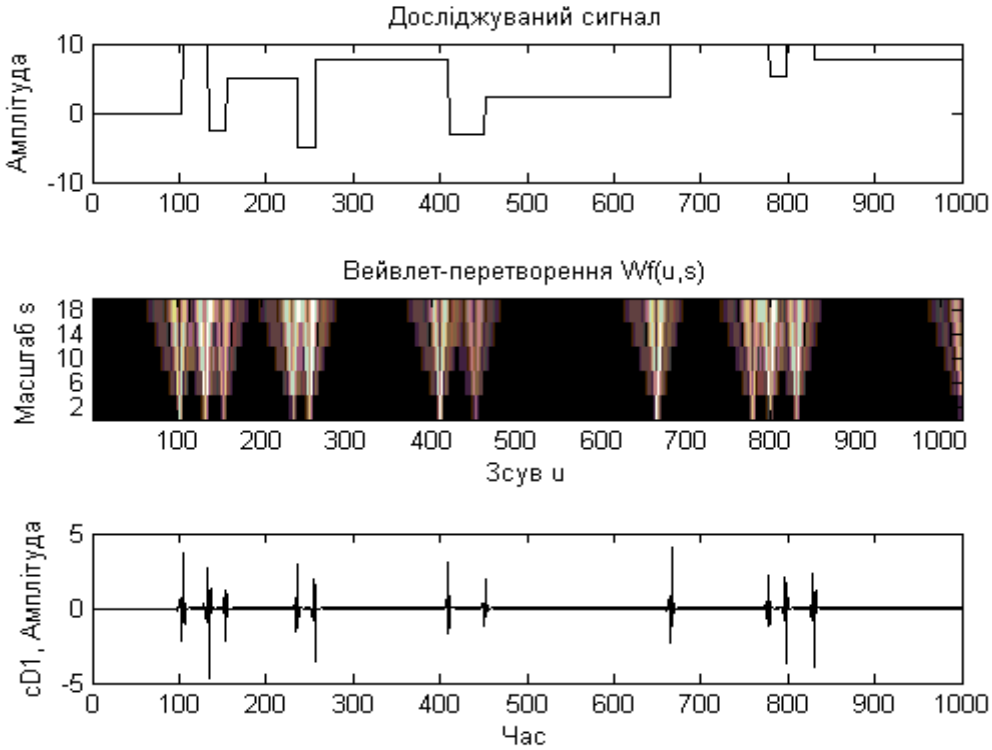


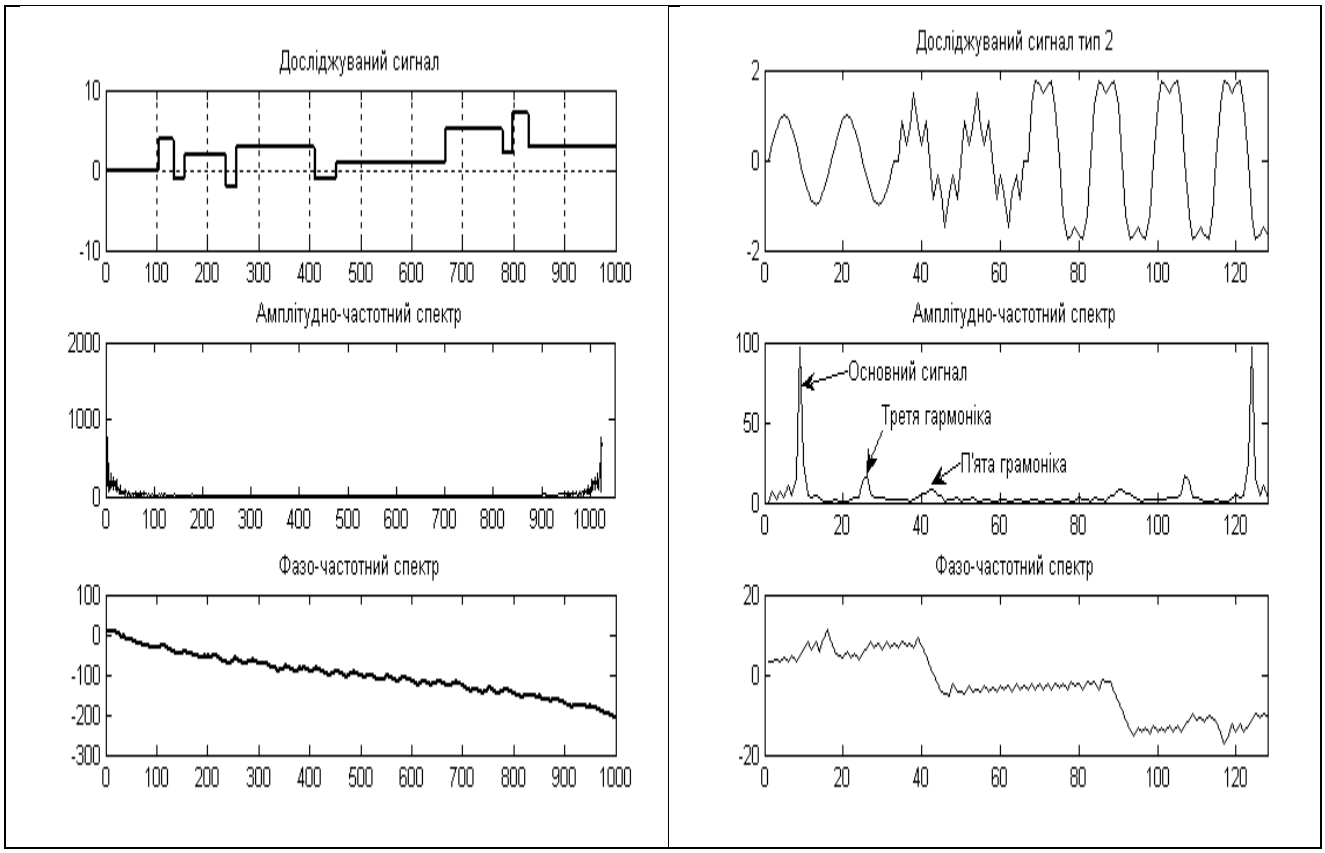
Рис. 1. Вейвлет-перетворення $Wf(u,s)$ обчислене для сигналу $f(t)$, зсув u та масштаб s змінюються відповідно вздовж горизонтальної та вертикальної осей

Як видно на рис. 1, при зменшенні масштабу функція $|Wf(u,s)|$ характеризує дрібномасштабні зміни довкілля *u*. Чорні, сірі та білі точки відображають відповідно додатні, нульові та від'ємні вейвлет-коефіцієнти.

Зменшення амплітуди вейвлет-перетворення не вимірюється безпосередньо у масштабно-часовій площині (*u*,*s*), а контролюється за його максимальним значенням.

Апробація результатів дослідження

Для перевірки адекватності теоретичного рішення та його практичну значимість проведено порівняльний аналіз результатів обробки сигналів за допомогою Фур'є та вейвлет-аналізу. Розглянемо моделі двох характерних видів сигналів, перший – це наявність стрибків першого роду (рис. 2, *а*, та рис. 3, *а*), другий – одночасна наявність у сигналі декількох гармонік – третьої та п'ятої (рис. 2, *б*, рис 3, *б*).

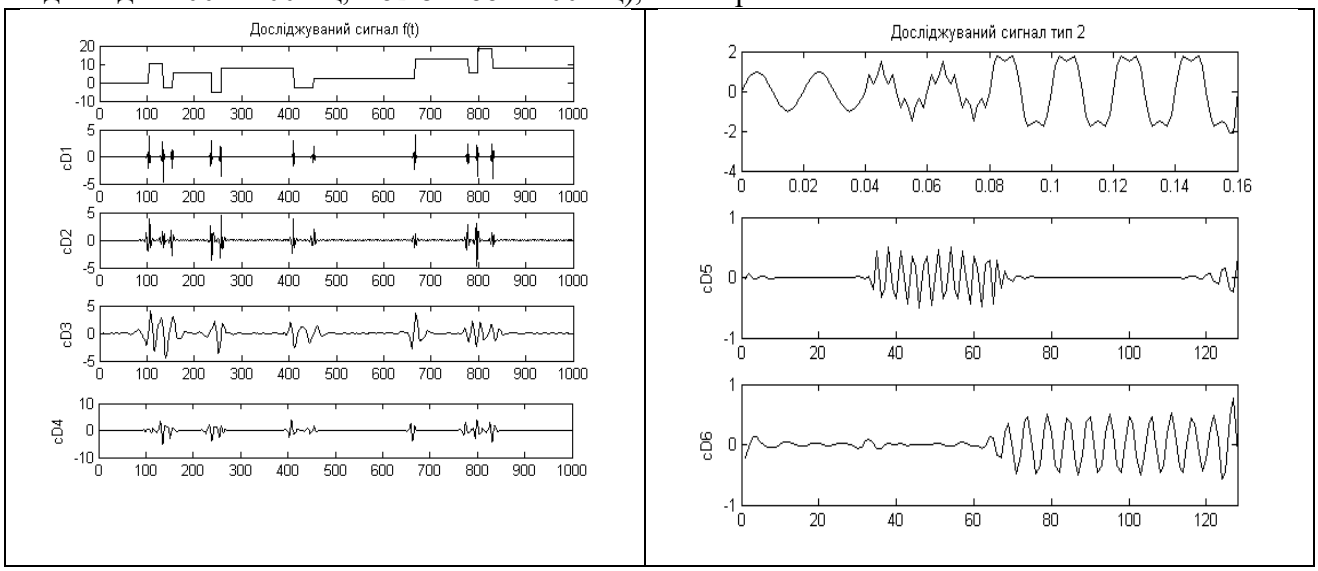


а б

Рис. 2. Результати проведення Фур'є-аналізу сигналів із наявністю: а – розривів I роду (перепадів амплітуди) та б – третьої та п'ятої гармонік

Результати Фур'є-аналізу свідчать про наявність аномалій у сигналі (рис. 2 а) та наявність третьої та п'ятої гармоніки (рис. 2 б) , але без ідентифікації часу їх виникнення та тривалості. Результати вейвлет-аналізу, які представлені на рис. 3, а, показують наступне. Значення вейвлет-коефіцієнтів першого рівня вейвлет-аналізу ($Wf(u,2^1)$) – $cD1$ свідчать про наявність аномалій у сигналі, характеризують час їх виникнення та тривалість. Зменшення масштабу вейвлет-перетворення дозволяє деталізувати аномалії ($cD2$ – $cD4$). Рівень розкладання залежить від частоти дискретизації, яка обирається відповідно до теореми Котельникова. У нашому випадку при частоті дискретизації 12,8 кГц маємо 1024 дискретних значення, що відповідає рівню вейвлет-декомпозиції $j = \log(1024) = 7$. Аналіз рис. 3, б

показує не тільки наявність у сигналі третьої та п’ятої гармоніки (частотний діапазон *cD*5 відповідає 200 – 400 Гц, а *cD*6 -100 – 200 Гц), а і їх тривалість.

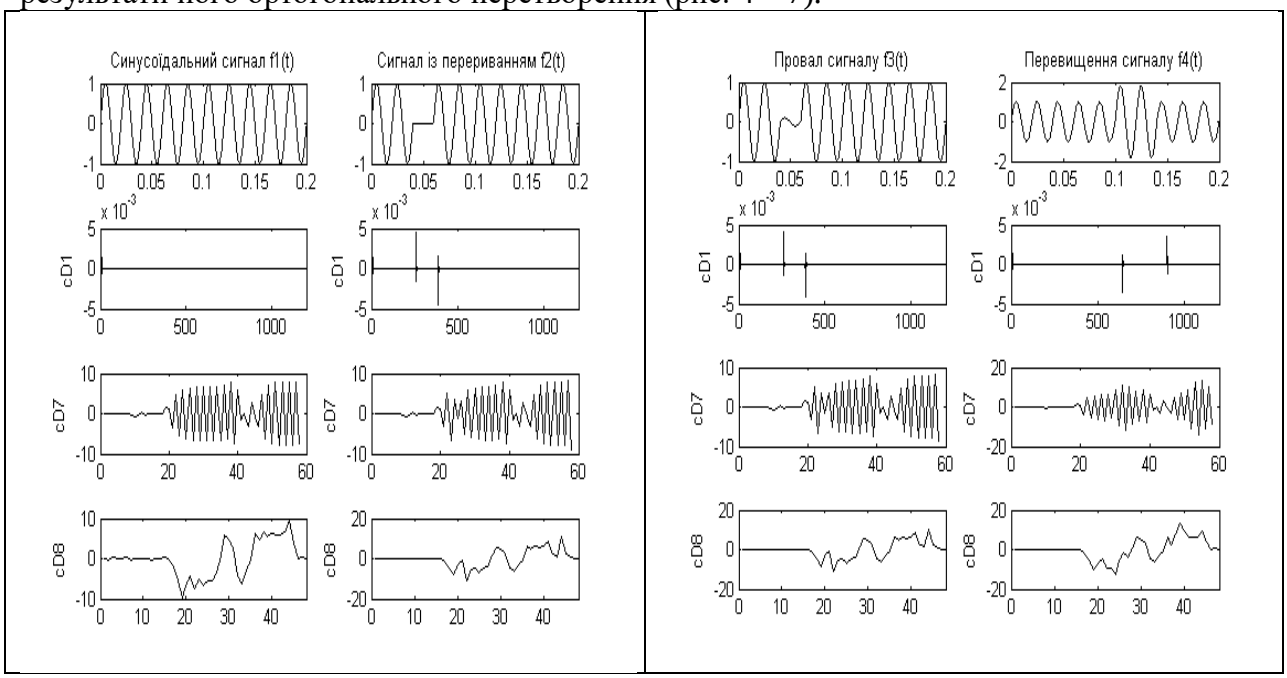


а б

Рис. 3. Результати проведення вейвлет-аналізу для сигналів на рис. 2 *cD*1 – *cD*4 – деталізуючі коефіцієнти вейвлет-перетворення першого – четвертого рівня (*j* = від 1 до 4)

Таким чином застосування вейвлет-перетворення дозволяє виявити час виникнення спотворень сигналу незалежно від його типу, їх тривалість за рахунок порівневого послідовного зменшення масштабу і тим самим розбиття сигналу на частотні піддіапазони.

Проаналізуємо вплив наявності спотворень, які присутні в інформаційному сигналі, на результати його ортогонального перетворення (рис. 4 – 7).

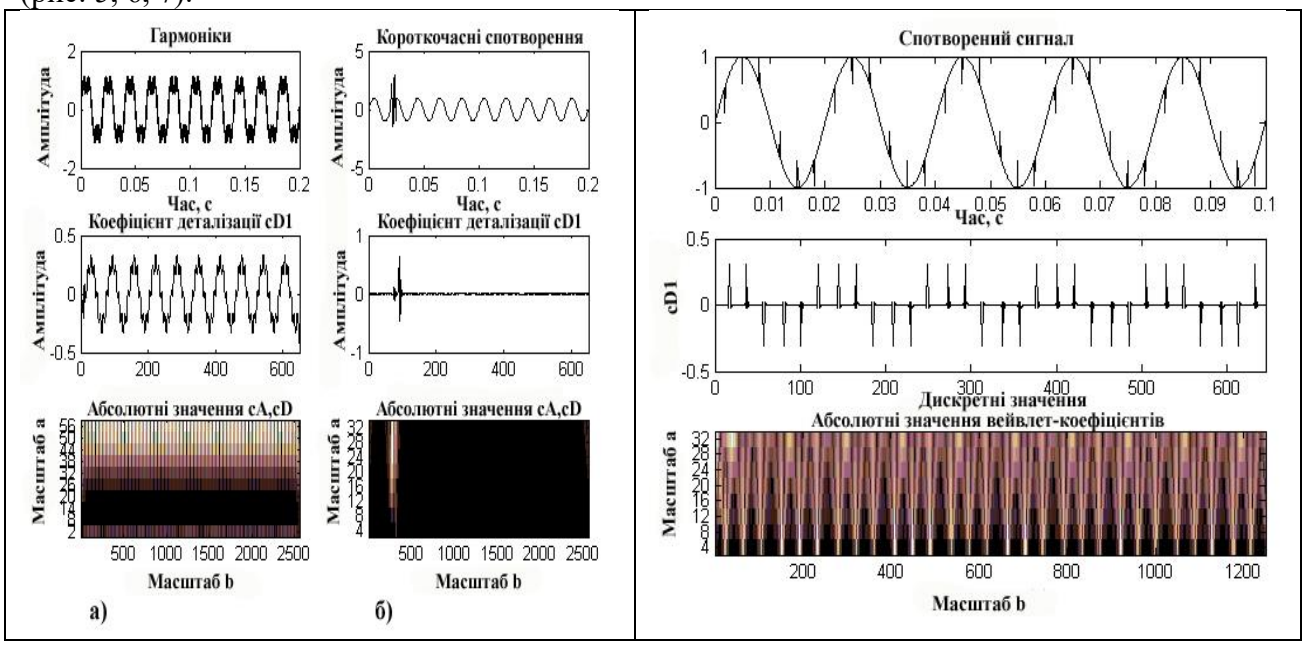


а б

Рис. 4. Вейвлет-перетворення чистого синусоїдального сигналу та синусоїдального сигналу: а – із наявністю спотворення типу переривання амплітуди; б – із наявністю провалу напруги та перевищення номінального значення

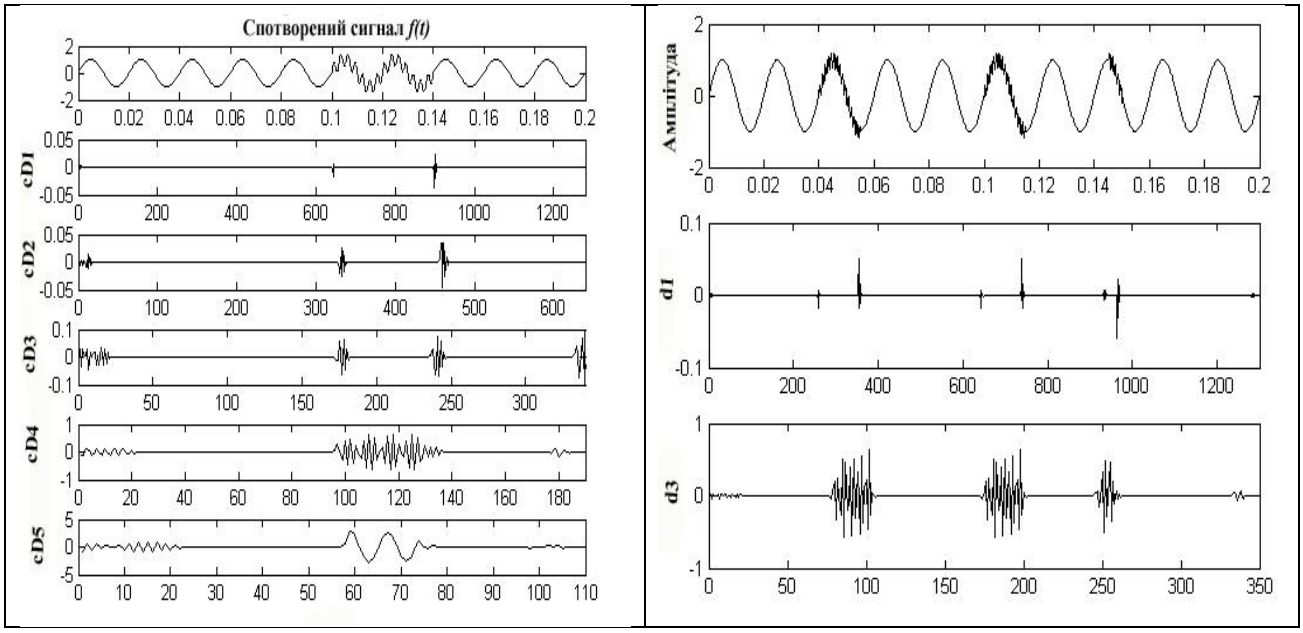
Як слідує із аналізу даних, наведених на рис. 4, синусоїдальний сигнал має нульове значення деталізуючого коефіцієнту *cD*1; сигнали із наявністю спотворень (переривання, провал та перевищення напруги) мають ненульове значення коефіцієнту першого рівня вейвлет-перетворення.

Проаналізуємо також вплив інших спотворень на результати вейвлет-перетворення (рис. 5, 6, 7).



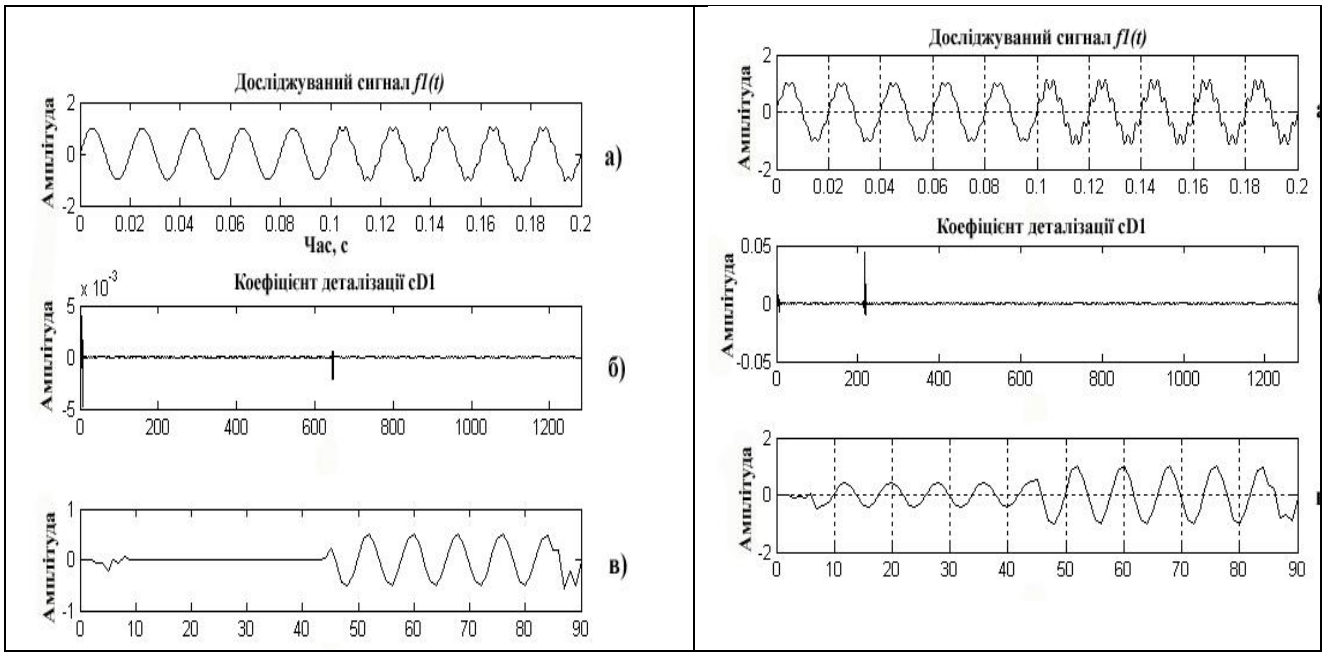
а б

Рис. 5. Вейвлет-перетворення синусоїдального сигналу: а – із наявністю спотворення типу високочастотні гармоніки, короткочасні спотворення; б – із наявністю повторюваних високочастотних спотворень



а б

Рис. 6. Вейвлет-перетворення синусоїдального сигналу: а – із наявністю третьої гармоніки на періоді 0.1 с – 0.14 с; б – із наявністю коливальних високочастотних спотворень



а) б)

Рис. 7. Вейвлет-перетворення спотворених сигналів: а – наявність сьомої гармоніки із визначеного періоду; б – наявність гармоніки із періодичною зміною амплітуди

Аналіз отриманих результатів (рис. 5. – 7) показує, що подібно до результатів ортогонального перетворення (рис. 4), наявність любого типу спотворення у сигналі та його тривалість (початок – закінчення) однозначно ідентифікується наявністю деталізуючого коефіцієнту першого рівня вейвлет-декомпозиції ($cD1>0$). Тобто, даний коефіцієнт є узагальненим (для любих типів спотворень інформаційного сигналу) показником їх наявності. Тобто, визначаючи тільки його наявність можливо проводити моніторинг якості електричної енергії у реальному часі незважаючи на те чи є інформаційний сигнал (напруга електричної мережі або струм) стаціонарним, чи ні.

Висновок

Ознакою (ідентифікатором) наявності будь-якого типу спотворення у інформаційному сигналі є ненульове значення деталізуючого коефіцієнту першого рівня вейвлет-декомпозиції – $cD1$.

УДК 621.311

Сич Д.Є.
Кафедра електропостачання

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПЕРЕТИНІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

У статті проаналізовано метод вибору перетину ліній розподільних мереж за допомогою методу економічної щільності струму. Була проведена оцінка для визначення області застосування кабельних ліній 10 - 35 кВ, і отримані номограми, що дозволяють вибрати перетину жил кабелів в залежності від переданої потужності при виконанні технічних обмежень.
The article analyzes the method of selecting of lines of distributive networks using the method of economic current density. An assessment was made to determine the area of application of cable lines of 10 - 35 kV, and received nomograms, which allow you to choose the cables of the conductors, depending on the power transmitted when the technical limitations are fulfilled.

***Ключовві слова**: дисконтовані витрати, економічна щільність струму, розподільні мережі.*

Вступ

Повітряні і кабельні лінії 6-35 кВ складають основу розподільчих мереж. До теперішнього часу більше 50% розподільних мереж і трансформаторних підстанцій відпрацювали свій нормативний термін. Відсутність необхідних інвестицій в електромережної комплекс в останні 30 років, в першу чергу в секторі розподілу електроенергії, призвело до його значного фізичного і технологічного зносу. Крім цього, існуючі в більшості міст кабельні та повітряні лінії електропередач напругою 6 (10) кВ не справляються із збільшеним навантаженням. У розподільних мережах має місце зростання абсолютних і відносних втрат електричної енергії. Їх відносна величина досягла 12%, а в ряді енергосистем навіть перевищує це значення.

Мета та завдання: *обґрунтування недоцільності використання методи економічної щільності струму*

Стосовно до електричних мереж, які, як відомо, безприбуткові, але капіталовкладення в їх створення необхідні, найбільш доцільним при виборі варіанту проекту видається використання критерію мінімуму дисконтованих витрат в якості єдиного критерію комерційної ефективності інвестиційних проектів.

Таким чином перетин вибирається за критерієм мінімуму дисконтованих витрат на спорудження лінії і втрати електричної енергії протягом певного періоду її експлуатації.

При виборі перерізу провідників необхідно враховувати деякий розрахункове значення струму, що враховує зміну навантаження по роках розрахункового періоду

$$I_{\text{розр}} = I_0 \left(1 + qt\right),$$

де I_0 –розрхунковий струм, відповідний початкового розрахункового періоду, А;
q – коефіцієнт, що враховує динаміку зростання навантаження, в.о.;
t –й розрахунковий період (рік).
Вартість електроенергії

$$C = C_0(1 + zt),$$

де C_0 - вартість електроенергії, що відповідає початковому розрахункового періоду, коп/кВт ч;
z - коефіцієнт, що враховує динаміку зростання вартості електроенергії, о.е.;
t – розрахунковий період (рік).
В цьому випадку дисконтовані витрати складуть

$$B = K + \sum_{t=t_0}^{T_p} \frac{B_{op} + B_{пот}}{(1+E)^t} \to \min,$$

де К - капітальні витрати на спорудження лінії електропередачі, тис. грн; $T_р$ – розрахунковий період, рік; B_{op} - витрати на обслуговування і ремонт об'єкта на кроці t, грн; $B_{пот}$.- витрати на відшкодування втрат енергії на кроці t, грн; E – норма дисконту, в.о.

Капітальні вкладення в лінії електропередачі моделюються лінійною функцією, що містить дві складові - не залежну від перетину і пропорційну перетину

$$K = \lambda L + \gamma FL = L(\lambda + \gamma F),$$

де λ – частина питомих капітальних витрат, що враховує витрати на підготовку траси та монтаж лінії електропередачі, тис. грн; L – довжина лінії електропередачі, км; γ – частина питомих капітальних витрат, пропорційна перетину проводу, тис. грн/км·мм^2; F – переріз проводу, мм2.

Тоді дисконтовані витрати визначаться наступним чином

$$B = \lambda L + \gamma FL + \sum \frac{\alpha_{обсл}(\lambda L + \gamma FL) + \frac{3C_0 I_{розр}^2 \tau \rho L}{F}}{(1+E)^t}.$$

Аналітично оптимальний перетин за критерієм мінімуму дисконтованих витрат може бути отримано шляхом диференціації наведеного виразу, що дозволить отримати формулу для визначення економічно обґрунтованого перетину провідника.

$$\frac{dB}{dF} = \gamma L + \sum_{t=t_0}^{T_р} \frac{\alpha_{обсл} \cdot \gamma L}{(1+E)^t} - \sum_{t=t_0}^{T_р} \frac{3 \cdot (C_0 \cdot (1+z \cdot t) \cdot (I_0 \cdot (1+q \cdot t))^2 \cdot \tau \cdot \rho \cdot L}{F^2 (1+E)^t}$$

$$\sum_{t=t_0}^{T_р} \frac{3 \cdot (C_0 \cdot (1+z \cdot t) \cdot (I_0 \cdot (1+q \cdot t))^2 \cdot \tau \cdot \rho \cdot L}{F^2 (1+E)^t} = \sum_{t=t_0}^{T_р} \frac{\gamma L + \alpha_{обсл} \cdot \gamma L}{(1+E)^t}$$

$$F_{\text{ек}}=\sqrt{\frac{\sum_{t=t_0}^{\text{Тр}} 3\cdot(C_0\cdot(1+z\cdot t)\cdot(I_0\cdot(1+q\cdot t))^2\cdot\tau\cdot\rho\cdot L(1+E)^t}{\sum_{t=t_0}^{\text{Тр}}(1+E)^t(\gamma L+\alpha_{\text{обсл}}\cdot\gamma L)}}=$$

$$\sqrt{\frac{3\cdot\rho\cdot\sum_{t=t_0}^{\text{Тр}}\tau(C_0\cdot(1+z\cdot t)\cdot(I_0\cdot(1+q\cdot t))^2(1+E)^t}{\gamma\left(1+\sum_{t=t_0}^{\text{Тр}}\alpha_{\text{обсл}}(1+E)^t\right)}}$$

де $\alpha_{обсл}$ - коефіцієнт відрахувань від капітальних вкладень на обслуговування і ремонт лінії, в.о/рік;

ρ - питомий опір матеріалу проводу, Ом мм^2/м;

τ - час найбільших втрат;

E – ставка дисконтування, що дорівнює нормі прибутку на капітал,%

$$E = E_0 + r,$$

де E_0 - ставка рефінансування центрального банку країни; r - ризик неотримання передбачених проектом доходів.

При формуванні наведеного виразу приймалося допущення про лінійної залежність вартості спорудження 1 км лінії (K_0) від перерізу, а також не враховувався відміність погонного активного опору від омічного.

Беручи до уваги, що економічна щільність струму визначається як наведено у формулі і припускаючи, що $I_{розр} = I_0$, отримаємо

$$j_{\text{ек}}=\frac{I_0}{F_{\text{екон}}}=I_0\cdot\sqrt{\frac{\gamma\left(1+\sum_{t=t_0}^{\text{Тр}}\alpha_{\text{обсл}}(1+E)^{-t}\right)}{3\cdot\rho\cdot\sum_{t=t_0}^{\text{Тр}}\tau(C_0\cdot(1+z\cdot t)\cdot(I_0\cdot(1+q\cdot t))^2(1+E)^{-t}}}=$$

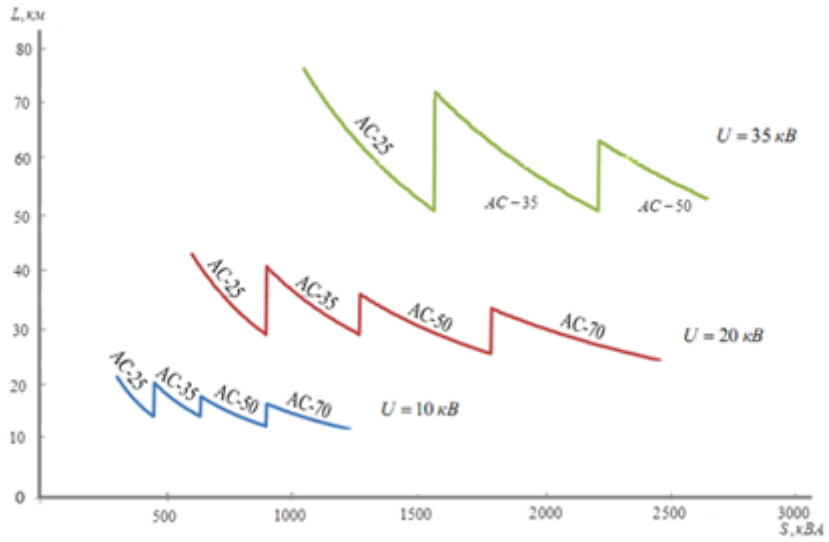
$$\sqrt{\frac{\gamma\left(1+\sum_{t=t_0}^{\text{Тр}}\alpha_{\text{обсл}}(1+E)^{-t}\right)}{3\cdot\rho\cdot\sum_{t=t_0}^{\text{Тр}}\tau(1+q\cdot t)^2(C_0\cdot(1+z\cdot t))(1+E)^{-t}}}$$

При цьому зазначені розрахунки повинні виконуватися при різних значеннях T_{max} окремо для неізольованих алюмінієвих проводів і шин, кабелів з алюмінієвими і мідними жилами та ізоляцією з шитого поліетилену номінальною напругою 6,10, 20 кВ, а також самоутримних ізольованих проводів (СІП) напругою 10 - 35 кВ.

Існуюча тенденція до збільшення ціни на електроенергію, а так само вартості кабельних і повітряних ЛЕП, ще більше знижує значення економічної щільності струму, виправдовуючи застосування великим перетинах для ефективного використання електроенергії.

Представлені вище залежності дають можливість побудувати номограми різного виду, які можуть бути використані в подальшому при проектуванні різних ЛЕП

Зокрема, шляхом виконання численних досліджень була проведена оцінка для визначення області застосування кабельних ліній 10 - 35 кВ, і отримані номограми, що дозволяють вибрати перетину жил кабелів в залежності від переданої потужності при виконанні технічних обмежень.



.

Рисунок 1 - Залежність можливої довжини повітряної лінії від передаваємої потужності та напруги

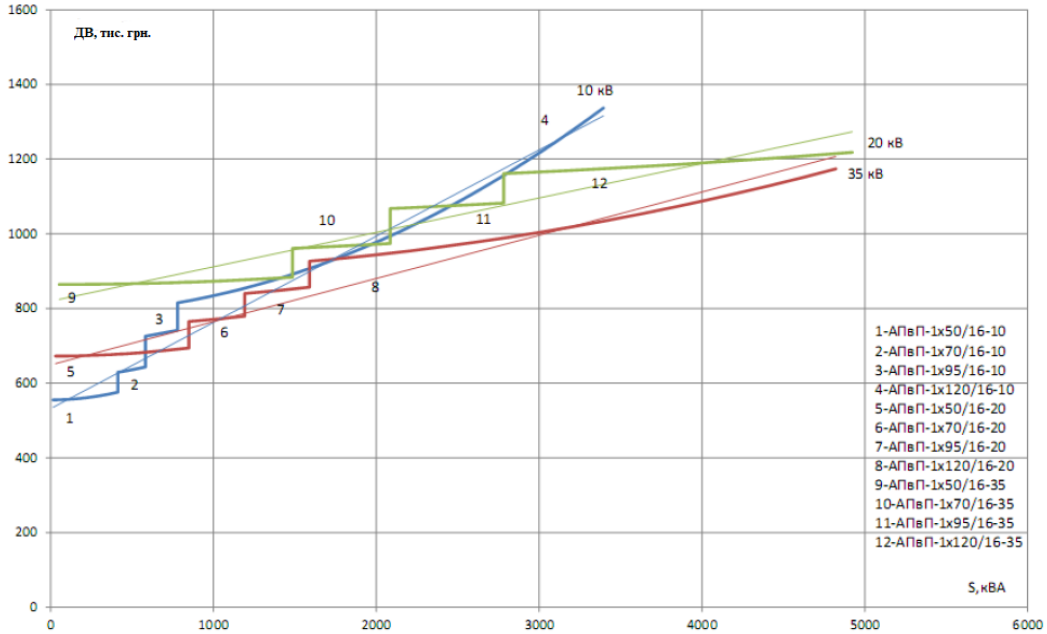


Рисунок 2 - Залежність дисконтова них витрат на 1 км кабельної лінії від передаваємої потужності та напруги

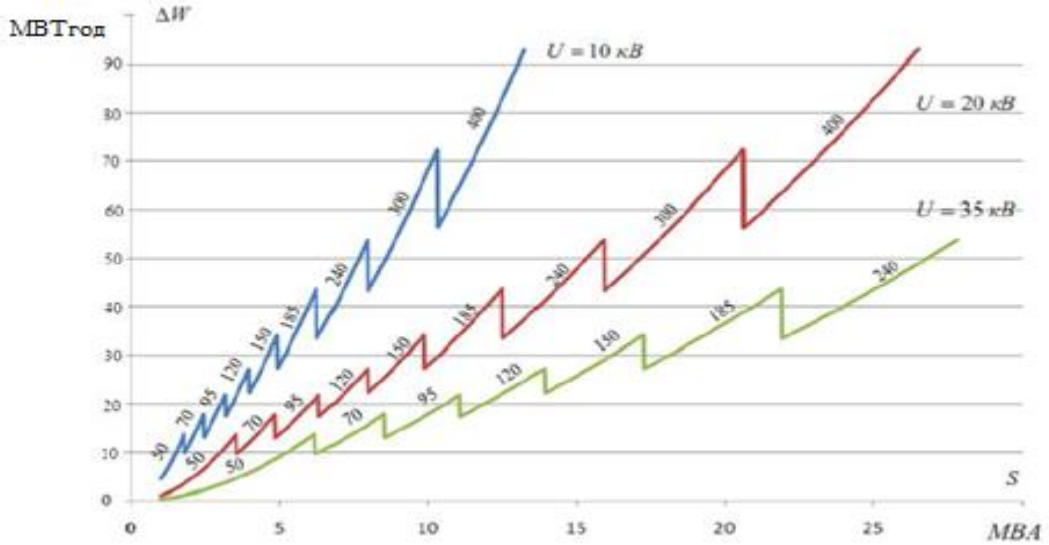


Рисунок 3 - Залежність втрат електричної енергії в кабельній лінії від передаваємої потужності та напруги

Висновки. Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки: невизначеність більшості технічних і економічних показників, що впливають на економічно обгрунтоване значення перерізу провідників, постійна зміна вартості кабельно-провідникової продукції та будівництва ЛЕП, ціни на електроенергію не дозволяють розрахувати економічну щільність так, щоб вони були актуальними протягом тривалого періоду. Для вибору перерізів ліній було запропоновано використовувати монограми.

Список літератури

1.Федоров А.А. О выборе экономически целесообразного сечения проводов и кабелей // Промышленная энергетика. – 1961. - №8. – с. 9 – 13.

2.Виленский П.П., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. М.: Дело, 2001. 832 с.

3.Зуев Э.Н. Экономическая плотность тока в кабельных линиях 6 – 10 кВ в современных условиях// ЭЛЕКТРО. Электротехника.

Р.М. Баляс
Кафедра електропостачання

РОЗРАХУНОК ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ МЕТОДУ БАЛАНСОВИХ ЗОН

Вступ. Метод балансових зон передбачає перевірку виконання закону збереження енергії в електричній енергії на основі показань системи комерційного обліку електроенергії за допомогою рішення систем рівнянь (СР) в темпі часу, відповідному обліковими інтервалам автоматизованої системи контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ).

Мета та завдання. Складання балансу електричної енергії в мережах передбачає врахування втрат енергії в балансовій зоні.

Матеріал і результати досліджень.

При розрахунку навантажувальних втрат електроенергії за с середньоінтервальними потужностями не враховують розкид значень потужності (дисперсія) на інтервалі вимірювання. Це означає, що коефіцієнт форми графіка навантаження на розрахунковому інтервалі приймається рівним одиниці, а навантажувальні втрати електричної енергії отримують твором відповідних середньоінтервальних втрат потужності на величину розрахункового інтервалу часу.

$$\Delta W_{\text{н}} = \Delta P_{\text{н ср}} \Delta t \tag{1}$$

де $\Delta P_{\text{н ср}}$ - середньоінтервальні втрати потужності, отримані розрахунком СР;

Δt - інтервал часу.

Розрахунок навантажувальних втрат в балансових зонах мережі з контрольованими в усіх гілках струмами проводиться відповідно до [1,2].

Розрахунок навантажувальних втрат в балансових зонах мережі з неконтрольованими або частково контрольованими струмами в гілках проводиться на основі облікових даних про електроенергію, що витрачається на власні потреби шляхом розрахунку електричного режиму за його актуальної моделі.

Розрахунок умовно-постійних втрат і втрат проводиться згідно [1,2], а також з урахуванням величини облікового інтервалу і на основі наявних сучасних розробок з визначення втрат не модельованих в моделі СР [3,4].

Актуальна модель режиму балансової зони враховує комутаційне стан схеми мережі на обліковому інтервалі, погодні умови, виміряне значення напруги в одному або декількох вузлах зони.

При відсутності виміряної напруги, розрахунок виконується з використанням номінального або середньо експлуатаційних значень напруги. Проводиться оцінка можливої при цьому похибки.

Розрахункові значення активних опорів проводів повітряної лінії (ПЛ) R_n визначаються з урахуванням температури, що залежить від середньої за розрахунковий період температури навколишнього повітря $t_в$ і щільності струму в проводі j, А/мм^2:

$$R_n = R_{20}\left[1 + 0,004\left(t_в - 20 + 8,3^2 j^2 \sqrt{F/300}\right)\right], \qquad (2.)$$

де R_{20} - опір проводу при перетином F, мм2 при температурі навколишнього середовища 20 ° С.

У разі відсутності даних по температурі навколишнього повітря можна брати середньо сезонну температуру для кліматичного району, де прокладена ПЛ.

Задача розрахунку усталеного режиму в балансових зонах без надмірності вимірювань, тобто в схемах заміщення електричної мережі з недостатніми, за критеріями спостережності, числом вимірювань режимних параметрів, не може бути вирішена. Як наслідок, без додаткових методів стає неможливим і вирішення пов'язаних завдань, таких як моніторинг та діагностика системи обліку електроенергії.

Додатковим методом, що дозволяє зробити оцінку якості роботи системи обліку електроенергії, може служити перевірка кореляційних зв'язків значень потоків потужності (або пропуску енергії), що надходять з вимірювального каналу (ВК), з попередніми вимірюваними значеннями. Застосування кореляційних залежностей допустимо внаслідок істотної інерційності навантаження, найчастіше складається з великої кількості різних за характером споживачів електроенергії, а також схожістю графіків навантаження через певні проміжки часу. Про допустимість ступеня неузгодженості поточного і попереднього значень можна судити на основі прогнозу пропуску (або споживання), оперативно складеного для даної точки обліку та аналізованого облікового інтервалу.

Таким чином, в рамках оцінки правильності поточного свідчення системи обліку, що надходить по ВК, необхідно вирішити два завдання:

– перевірити ступінь взаємозв'язку поточного інтервального показання з показанням, здійсненим в попередньому інтервалі, що може бути зроблено за допомогою автокореляційної функції;

– у разі слабкої кореляції поточного показання з попереднім інтервальним значенням, здійснити на поточний обліковий інтервал прогноз пропуску (або споживання) по перевіреній точці поставки електроенергії, після чого провести порівняння поточного показання та прогнозного значення.

В рамках вирішення першого завдання необхідно визначити ступінь неузгодженості поточного і попереднього свідчень. Визначимо міру неузгодженості як:

$$\Delta = \frac{W_{\text{вим } i} - W_{\text{вим } i-1}}{W_{\text{вим } i}} \cdot 100\% \qquad (3)$$

де $W_{\text{вим } i}$, $W_{\text{вим } i-1}$ - вимірювана енергія в інтервалах i і i-1 відповідно.

Порівнюючи величину Δ з граничним рівнем похибки ВК, можна винести судження про правильність поточного свідчення системи обліку. Межі допустимої неузгодженості, в рамках яких показання ВК можна вважати правильними, слід прийняти на основі експертної оцінки.

Рішення другого завдання необхідно в разі виходу за допустимі межі неузгодженості величини Δ з граничною похибкою ВК. Зазначений випадок відповідає інтервалах часу з частою зміною споживаної потужності приєднаного навантаження (або пропуску через розтин). Винести рішення про правильність показань системи обліку можна на основі порівняння поточного облікового показника і відповідного йому прогнозного значення, отриманого за допомогою використання обраної моделі прогнозування. Як найбільш простий варіант, в якості прогнозу може бути прийнято значення подібного облікового інтервалу попередньої доби, з урахуванням особливостей у зміні схеми мережі внаслідок комутацій і відмінностей між вихідними (святковими) та робочими днями тижня. Додатково, можливе застосування моделей прогнозу, в тому числі досить простих і ефективних, наприклад, моделі прогнозу, на основі виділення трендової складової та моделювання залишків статистичних значень рядами Фур'є. У разі залучення прогнозних значень, величина Δ прийме вигляд:

$$\Delta = \frac{W_{\text{вим } i} - W_{прогноз}}{W_{\text{вим } i}} \cdot 100\% - \alpha , \qquad (4)$$

де α - середньостатистична точність методу прогнозування, у відсотках.

Даний метод розв'язання задачі моніторингу, природно, менш точний, оскільки не грунтується на балансових співвідношеннях, що випливають із закону збереження енергії, але дозволяє в схемах без надмірності вимірювань дати оцінку якості роботи системи обліку. Значним обмеженням використання методу виявлення кореляційних зв'язків з попередніми показаннями системи обліку електроенергії слід визнати його малу придатність для перерізів обліку, за якими контролюється транзитна передача електроенергії з частою непрогнозованою зміною обсягів поставки електроенергії, або для точок обліку, встановлених на часто комутованих приєднаннях. У зазначених випадках метод може призводити до істотних похибок у визначенні облікових показників.

Слід зазначити, що точність методу виявлення кореляційних залежностей з попередніми показаннями системи обліку електроенергії можна значно підвищити, якщо його використовувати спільно з інформацією про перемиканнях, що відбулися, даними по планованих перетоках електроенергії, характеру приєднаного навантаження.

Висновок. Рішення про використання розрахункових облікових показників, отриманих на основі кореляційних залежностей з попередніми значеннями системи обліку електроенергії можна прийняти, грунтуючись на статистиці використання методу, який може бути використаний у тому випадку, коли розрахункове значення по кореляційній моделі статистично достовірно збігається з виміряними значеннями і немає значної похибки в прогнозі пропуску електроенергії.

Список використаної літератури

1. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38-150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії ГНД 34.09.104-2003.
2. Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Методика. Нормативний документ Міненерговугілля України
3. Железко, Ю. С. Методика расчёта нормативов технологических потерь электроэнергии в электрических сетях [Текст] / Ю. С. Железко // В сб. международного научно-технического семинара «Нормирование, анализ и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях – 2004». М. : ЭНАС, 2004
4. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии в оборудовании сетей и подстанций [Текст] / Ю. С. Железко // Электрические станции. -2005. - № 7. – С. 40-49. – ISSN 0201-4564.

УДК 621.31

Нікулін О.А.
Кафедра електропостачання

ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПИВОВАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

В науковій статті розглянуто основні проблеми підвищення ефективності споживання електроенергії пивоварних підприємств України (на прикладі ПАТ "Оболонь"), та запропоновано методи їх вирішення.

У першому розділі "Аналіз стану пивоварної промисловості України" досліджено динаміку виробництва продукції протягом 2000-2017 років, визначено фактори найсуттєвішого впливу на це, виявлено наявність прямої залежності обсягів споживання електроенергії від обсягів виробництва продукції. В розділі також висвітлено актуальність проблеми підвищення ефективності споживання електроенергії та виявлено ряд факторів, що стимулюють та стримують процес.

У другому розділі "Аналіз технологічного процесу як групи споживачів електроенергії" проаналізовано електричний баланс типового пивоварного підприємства, ідентифіковано суттєві споживачі електроенергії та режими їх споживання. На основі цього розглянуто можливі джерела та методи підвищення ефективності їх енергоспоживання.

У третьому розділі наукової статті " Практична реалізація потенціалу підвищення ефективності споживання електроенергії підприємством" запропоновано заходи щодо зменшення енергетичних витрат найсуттєвіших груп споживачів та доведено доцільність їх застосування відповідними розрахунками.

Сформовано загальні висновки по виконаній роботі, згідно тематики дослідження та порушених проблем.

Ключові слова: енергетична ефективність, споживання, електроенергія, пивоварне підприємство, динаміка виробництва, електричний баланс, режими споживання, суттєві споживачі, методи підвищення ефективності, потенціал енергозбереження.

The article deals with the main problems of increasing the efficiency of electricity consumption of brewing enterprises of Ukraine (for example, PJSC "Obolon"), and the methods of their solution are proposed.

In the first section "Analysis of the state of the brewing industry in Ukraine" was investigated the dynamics of production during 2000-2017 years, were determined the factors of the most significant influence on it, was revealed the direct dependence of the volumes of electricity consumption on the volumes of production. The section also highlights the relevance of the problem of increasing the efficiency of electricity consumption and identifies a number of factors that stimulate and restrain the process.

In the second section "Analysis of the technological process as a group of consumers of electric power" was analyzed the electrical balance of a typical brewer's enterprise, and significant consumers of electricity were identify. On the basis of this, were consider possible sources and methods of increasing the efficiency of their energy consumption.

In the third section of the scientific article "Practical realization of the potential for increasing the efficiency of electricity consumption by the enterprise" have been proposed

measures to reduce the energy costs of the most significant groups of consumers and prove the feasibility of their application by appropriate calculations.

The general conclusions about the performed work were forme, according to the research topic and the problems which were raise.

Key words: energy efficiency, consumption, electricity, brewery, production dynamics, electric balance, consumption patterns, essential consumers, methods of increasing efficiency, energy saving potential.

ВСТУП

В наш час питанням раціонального споживання паливо-енергетичних ресурсів приділяється багато уваги. Досить актуальними є дослідження, що присвячені аналізу енергетичного комплексу України, розробці і реалізації сучасних енергозберігаючих технологій і проектів; техніко-економічному аналізу ефективності їх використання; стандартизації і нормуванню показників споживання паливо-енергетичних ресурсів; розробці і застосуванню енергетичного менеджменту на підприємствах.

Питання підвищення ефективності споживання електроенергії для нашої країни є досить гострим, оскільки показники енергоємності ВВП в нас як мінімум втричі вищі, ніж середні показники країн ЄС. Необхідність розвитку та активізації процесів енергозбереження в Україні обумовлена наявністю стійких негативних тенденцій зростання енергоємності валового внутрішнього продукту як основного показника ефективності використання енергетичних ресурсів. За останні роки енергоємність вітчизняної економіки зросла, крім того ростуть втрати енергетичних ресурсів при виробництві та транспортуванні електричної і теплової енергії через старіння та несвоєчасний ремонт обладнання. Наслідком цього є завищені тарифи, що призводить до збільшення частки енергетичних витрат в структурі собівартості продукції промислових підприємств. Це приводить до того, що собівартість виготовлення продукції зростає, і вона втрачає конкурентну спроможність. Як наслідок ціни зростають, купівельна спроможність громадян падає, і відповідно попит на продукцію знижується. А із зниження попиту деякі виробники можуть банкротувати, що призведе до зменшення надходжень до держбюджету, збільшенню рівня безробіття, інфляції.

Енергозбереження як фактор підвищення ефективності діяльності промислового підприємства може бути обумовлено наступними обставинами:

- фактором підвищення конкурентоспроможності продукції промислових підприємств за рахунок зниження собівартості її виробництва в частині зменшення енергетичних витрат;
- енергозбереження може розглядатися як фактор додаткового залучення інвестицій, що сприяє оновленню технологічного обладнання та підвищенню якості продукції, що випускається промисловими підприємствами;
- енергозбереження є фактором, який стабілізує попит на енергетичні ресурси в напрямку його скорочення, що сприяє зниження екологічного навантаження в районах діяльності промислових підприємств. Таким чином, підвищення ефективності споживання електроенергії є досить актуальною та гострою проблемою для України. Розглянемо цю проблему на прикладі пивоварних підприємств.

Метою цієї статті є висвітлення актуальних проблем з підвищення ефективності споживання електроенергії пивоварними підприємствами, ідентифікація факторів, що стимулюють та стримують процес, виявлення суттєвих споживачів електроенергії, практична реалізація потенціалу підвищення енергетичної ефективності.

Основні завдання:

- Проаналізувати стан пивоварної промисловості України.
- Визначити фактори, що впливають на реалізацію заходів з підвищення енергоефективності.
- Провести пошук найсуттєвіших споживачів.
- Дослідити режими енергоспоживання.
- Визначити можливі джерела та методи скорочення енергетичних витрат.
- Розрахувати економічні вигоди від впровадження енергозберігаючих заходів.

1. Аналіз стану пивоварної промисловості України

В Україні пиво виготовляють як великі компанії, що випускають продукцію відомих торгових марок, так і невеликі регіональні пивоварні, які варять напій за власними рецептами. З 2013 року почалося скорочення обсягів виробництва пива. Також відчутне падіння виробництва пива припало на період кризи 2008 року. На сьогодні однією з головних причин скорочення обсягів виробництва продукції в Україні, є втрата частини виробничих потужностей, що розміщені на сході країни, а також на кримському півострові. Крім того, експерти ринку стверджують про спад зовнішньоекономічної діяльності в зв'язку з забороною на торгівлю з Росією, починаючи з 2014 року. Це призвело до значного зменшення експорту продукції в період з 2012 по 2016 роки. Зниження обсягів споживання пива в Україні спровоковано ще й загальним падінням доходів населення.

Починаючи з 1 липня 2015 року пиво було прирівнено до алкогольних напоїв. Через це українські виробники пива зазнали істотних збитків. До кінця року ринок впав на 20%. Значні зміни торкнулися правил реклами та отримання ліцензій на випуск продукції. Збільшення цін на пиво сприяло підвищенню акцизної ставки на 100% (за період з 2014 року ставка акцизу зросла в 3 рази – з 0,78 грн / л до 2,48 грн / л). Зважаючи на це, можна зробити висновок, що обсяги виробництва пива в майбутньому можуть залежати від податкових ставок – подальше значне збільшення акцизу може стати причиною нового зниження обсягів виробництва. Проте є й деякі позитивні моменти. Основною позитивною тенденцією розвитку ринку пива є зростання продажів малих виробників. Також спостерігалося зростання частки крафтового пива. У 2017 році цей вид пива зайняв приблизно 1% ринку в Україні. Крафт в даному випадку - продукція маленьких незалежних броварень, які роблять напій за традиційними рецептами. Тренд прийшов з США, де в 2017 році крафтового пиво зайняло чверть обсягів виробництва.

У поточному році можемо очікувати подальшого збільшення обсягів продукції, що випускається міні-пивзаводами. До того ж, пивоварні підприємства з річним обсягом виробництва не більше 300 тисяч літрів позбавили необхідності покупки дорогої оптової ліцензії, знизивши її вартість до 30 тис гривень. Для багатьох підприємців це обмеження виступало основним бар'єром для розширення власного бізнесу. Зменшення вартості ліцензії призведе до збільшення кількості дрібних і середніх виробників, що, в свою чергу, сприятиме збільшенню обсягів виробництва в цілому. На рисунку 1.1 зображено діаграму виробництва пива протягом 2000-2008 років. На рисунку 1.2 зображено динаміку виробництва пива після кризи 2008 року.

З представлених діаграм чітко видно тенденцію підвищення виробництва пива Україною протягом 2000-2008 років (період розквіту), та постійного зниження виробництва протягом 2008-2017 років (період занепаду). Це пояснюється наступними факторами:

1. Криза 2008 року.
2. Втрата частини виробничих потужностей, розташованих на сході країни, а також в Криму в 2013 році.
3. Скорочення зовнішньоекономічної діяльності в силу заборони на торгівлю з Росією з 2014 року, що стало причиною істотного скорочення експорту.
4. Загальне падіння доходів населення.
5. Підвищення акцизу.
6. Збитки, пов'язані з тим, що пиво було прирівнено до алкогольних напоїв з 1 липня 2015 року.
7. Девальвація національної валюти.
8. Значне підвищення цін на сировину, що використовується у виробництві пива.

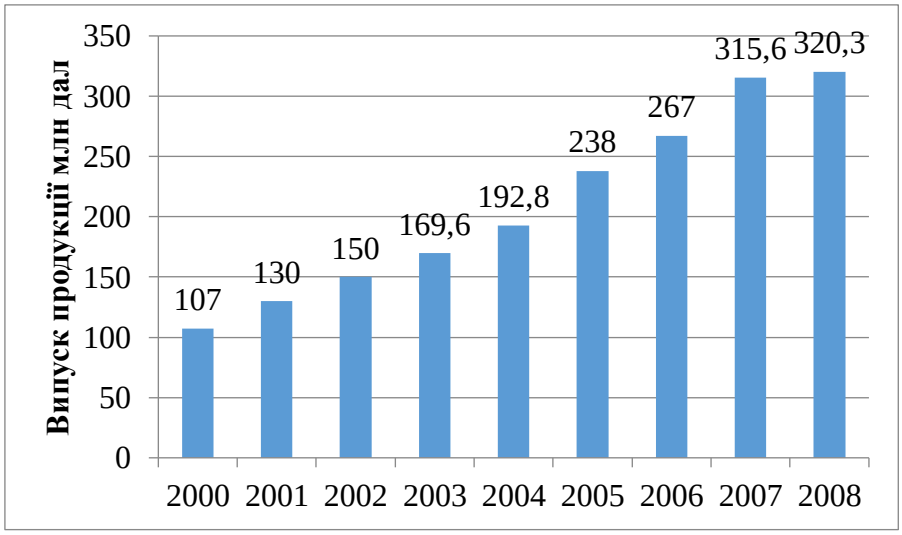


Рисунок 1.1 – Виробництво пива Україною протягом 2000-2008 років.

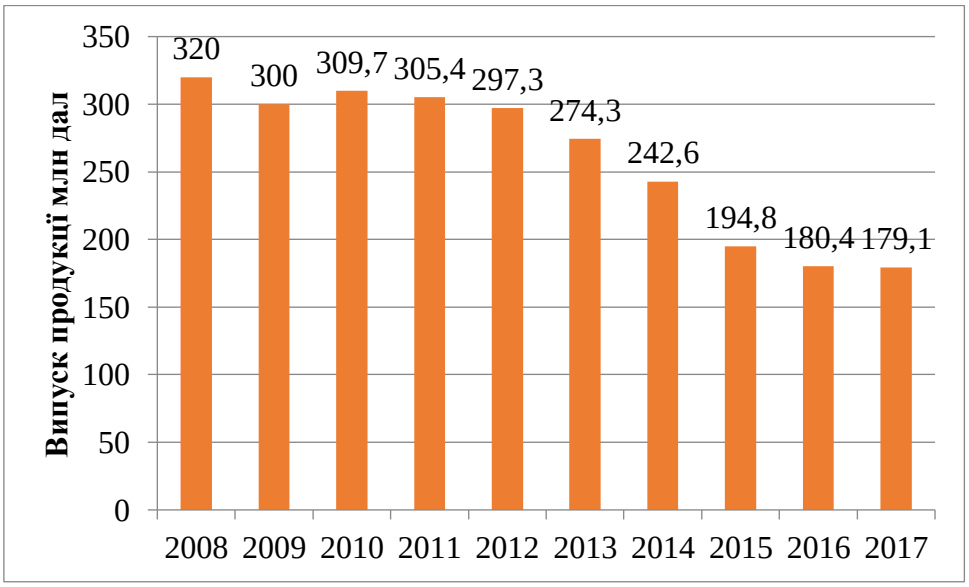


Рисунок 1.2 – Динаміка виробництва пива в Україні після кризи 2008 року.

Як бачимо, пивоварна промисловість України переживає часи занепаду, що спричинено суттєвим зниженням попиту на продукцію, що в свою чергу обумовлено вищезгаданими причинами.

Споживання електроенергії пивоварними підприємствами прямо залежить від обсягів виробництва продукції, чим більше виготовлено продукції – тим більше електроенергії на це затрачено. Для того, щоб підвищити рівень конкурентоспроможності продукції та збільшити попит на неї, необхідно вжити заходів з підвищення ефективності споживання електроенергії. Але, для того щоб мати змогу правильно визначити їх, необхідно дослідити фактори, що стимулюють та стримують процес.

У західній науковій літературі широко обговорюється проблема невідповідності реального рівня енергетичної ефективності та рівня, максимально досяжного з технологічної та економічної точки зору, що отримала назву проблема «розриву енергоефективності» ("Energy efficiency gap"). Під «розривом енергоефективності» розуміється парадокс уповільненого поширення і впровадження економічних енергоефективних технологій, що сприяють зростанню ефективності виробничого процесу. Наявність так званого «розриву енергоефективності» обумовлено існуванням ряду факторів, що стримують процес підвищення енергетичної ефективності. При цьому подолання виявленого «розриву енергоефективності» представляється можливим тільки за допомогою ідентифікації та аналізу цих бар'єрів. Аналізу факторів, що стримують процес підвищення енергоефективності, а також перешкоджають поширенню енергоефективних технологій, присвячена значна частина наукових публікацій останніх років. Перші публікації з даної проблематики з'явилися в зарубіжній науковій літературі ще в 1980 рр., і на сьогоднішній день можна знайти безліч різних підходів до аналізу, ідентифікації та класифікації існуючих бар'єрів. Усі існуючі класифікації засновані на аналізі природи походження бар'єрів (зовнішні / внутрішні; організаційні /поведінкові / економічні), а також характер їх впливу. Необхідно відзначити, що всі класифікації, представлені в науковій літературі, є уніфікованими і не відображають галузевої специфіки. Однак в рамках даного дослідження одним з поставлених завдань є аналіз факторів, що стримують підвищення енергетичної ефективності, актуальних для української пивоварної промисловості. Одним з ключових етапів роботи, крім екстенсивного аналізу академічної літератури, стало проведення емпіричного дослідження за допомогою інтерв'ювання менеджменту компанії «Оболонь», яка є основним об'єктом даного дослідження. Основним завданням проведення емпіричного дослідження з допомогою інтерв'ювання є застосування теоретичних підходів, запропонованих в академічній літературі, а також виявлення галузевих бар'єрів.

Результатом проведеного дослідження стало виявлення ряду специфічних факторів, що стримують процес підвищення енергетичної ефективності. Всі виявлені фактори були згруповані в сім категорій - ринкові, фінансові, технологічні, мотиваційні, організаційні, інституційні та інформаційні бар'єри. (Таблиця 1).

Таблиця 1.1 – Структура стримуючих факторів.

Бар'єри	**Ринкові**	Ризик простоїв і перебоїв у виробництві - вартісні втрати Нестабільність цін на енергоресурси Висока вартість реалізації проекту
	Фінансові	Відсутність доступу до ринку капіталу Довгий термін окупності Високі інвестиційні ризики Недостатній рівень прибутково-сті Складність оцінки проектів Значні початкові інвестиції
	Технологічні	Жорсткий складний технологічний процес Технологічні ризики Складний процес аналізу та обліку енергоспожива-ння
	Мотиваційні	Відсутність стратегічного пріоритету питань енерго-ефективності Низький пріоритет екологічної складової виробництва Опір змінам
	Організаційні	Відсутність кваліфікованого персоналу Відсутність компетентної підтримки менеджменту компанії Відсутність системи аналізу та оцінки енергоспожива-ння Відсутність досвіду в сфері енергоменедж-менту Низький рівень інноваційної активності
	Інституційні	Відсутність державного стимулювання Недосконала правова система в сфері енергоспоживання Відсутність механізмів державного регулювання
	Інформаційні	Відсутність інформаційної підтримки з боку держави Необізнаність про можливості підвищення енергоефективності Відсутність єдиної галузевої методологічної моделі проведення оцінки та аналізу енергоспоживання

Група бар'єрів ринкового характеру узагальнює чинники, так чи інакше пов'язані з дією ринкового механізму. До цієї групи належать недосконалості ринкового механізму, що роблять негативний вплив на мотивацію промислових компаній реалізовувати проекти по підвищенню енергетичної ефективності. Також в цю групу входять всі бар'єри, прямо або побічно пов'язані з ринком або надають вплив на становище компанії на ринку. Так, до цієї категорії можна віднести ризики простоїв і перебоїв, зумовлених модернізацією виробничого обладнання, нестабільність ринкових цін на енергоресурси, а також високу вартість виробничо-технологічних рішень щодо підвищення енергоефективності.

Нераціональне споживання традиційних енергоресурсів, що супроводжується екстенсивними викидами парникових газів, безпосередньо пов'язане з екологічною ефективністю діяльності компанії. Так, якщо для підприємства питання екологічної ефективності виробничого процесу не є важливими, то і питання ефективності

використання енергоресурсів не розглядатимуться як пріоритетні. До групи мотиваційних бар'єрів також можна віднести опір змінам, виражене у відсутності мотивації технологічного персоналу, а також менеджменту нижчої ланки до будь-яких змін в усталеному організаційно-технологічному процесі. Бар'єри організаційного характеру являють собою широку групу бар'єрів, обумовлених відсутністю експертизи в сфері ефективного енергоспоживання серед співробітників і менеджерів компанії, а також відсутністю налагоджених організаційних механізмів управління системою енергоспоживання. До цієї групи можна віднести відсутність досвіду і компетенції у сфері аналізу та моніторингу енергоспоживання, а також управління енергоспоживанням (енергоменеджменту), низький рівень інноваційної активності підприємств, а також відсутність кваліфікованих кадрів, що володіють глибокою базою знань в сфері підвищення ефективності споживання енергоресурсів. Інституційні бар'єри обумовлені недосконалістю існуючого інституційно-правового середовища.

До цієї категорії бар'єрів можна віднести відсутність відпрацьованої правової системи в сфері енергоспоживання, а також відсутність ефективних механізмів державного регулювання даної сфери. Відсутність механізмів державної підтримки використання більш ефективних енергетичних технологій поряд з відсутністю інструментів державного регулювання сфери промислового енергоспоживання в деякій мірі визначають низьку енергоефективність промислового виробництва, а також незацікавленість підприємств інвестувати значні кошти в цю сферу.

Група бар'єрів інформаційного характеру обумовлена відсутністю широкої обізнаності менеджерів промислових підприємств про можливості підвищення ефективності використання енергоресурсів. В значній мірі існування даних бар'єрів пов'язано з відсутністю інформаційної підтримки з боку держави, а також відсутністю галузевої методологічної моделі проведення оцінки та аналізу промислового енергоспоживання. Проведений аналіз показав, що процес підвищення енергетичної ефективності пивоварного підприємства стримується низкою факторів, систематизованих в рамках даного дослідження в сім категорій.

Для українських промислових підприємств одним із вагомих факторів, що стримують процес підвищення енергетичної ефективності, є відносно низька ціна і доступність енергоресурсів. У зв'язку з цим багато компаній пов'язують капіталомісткі заходи щодо підвищення енергетичної ефективності з додатковими вартісними витратами, які ведуть за собою зниження конкурентоспроможності. Бар'єри фінансового характеру обумовлені недосконалістю механізму розподілу фінансових і інвестиційних ресурсів. Як показало проведене дослідження, одним з ключових факторів, стримуючих реалізацію заходів щодо підвищення енергетичної ефективності, є складність фінансування подібних проектів, пов'язані з високою капіталоємністю, а також тривалим терміном окупності. Основним інструментом оцінки проектів в процесі прийняття інвестиційних рішень, є класичний інвестиційний аналіз. При цьому проекти з підвищення енергетичної ефективності, характеризуються високою капіталоємністю та не завжди відповідають його вимогам. У зв'язку зі сформованою останнім часом нестабільною економічною ситуацією найчастіше фінансування отримують проекти, термін реалізації яких становить не більше 2 років, в той час як проекти по підвищенню енергетичної ефективності характеризуються більш довгим терміном окупності. Довгостроковий характер реалізації, а також тривалий термін окупності, визначають також високі інвестиційні ризики проекту, пов'язані з неможливістю достовірного прогнозування цін на енергоресурси в довгостроковій перспективі, а значить - неможливістю довгострокового прогнозування ефекту від реалізації проекту.

Технологічна специфіка пивоварного виробництва визначає високу капіталомісткість заходів щодо підвищення енергетичної ефективності. При цьому для пивоварного підприємства набагато важливішим є інвестування в проведення ремонтних робіт зношеного обладнання. В даному контексті капіталомісткі заходи щодо підвищення енергетичної ефективності не володіють стратегічним пріоритетом, в зв'язку з чим, часто поступаються в конкуренції за інвестиційні ресурси. Іншим суттєвим бар'єром, що належить до групи фінансових бар'єрів, є складність повної і точної оцінки економічної ефективності проектів з підвищення енергетичної ефективності. Даний бар'єр може бути розглянуто як один з ключових, так як неможливість справедливої оцінки вигод і ефектів від реалізації заходів щодо підвищення енергетичної ефективності не дозволяє визначити повну цінність проекту, тим самим знижуючи мотивацію бізнесу інвестувати в подібні проекти. Бар'єри технологічного характеру пов'язані з жорсткістю і складністю технологічного процесу.

Специфічною особливістю пивоварної промисловості є пряма залежність рівня енергоспоживання від кількості попиту на продукцію. Всі технічні рішення і процеси визначаються на стадії проектування пивоварного підприємства, внаслідок чого виникають певні складності технологічної модернізації вже працюючого підприємства.

Крім факторів, що стримують процес підвищення енергетичної ефективності, існує ряд факторів, які є свого роду драйверами процесу підвищення енергетичної ефективності. У рамках даного дослідження всі виявлені чинники були розділені на внутрішні і зовнішні по відношенню до підприємства. При цьому під внутрішніми факторами, мотивуючими компанію до реалізації заходів щодо підвищення енергетичної ефективності, розуміються множинні вигоди, одержувані підприємством при реалізації таких проектів. Комплексне розуміння всього спектру ефектів і вигод, придбаних підприємством в результаті підвищення енергетичної ефективності, стимулює активність і зацікавленість бізнесу в реалізації заходів щодо підвищення ефективності промислового використання енергоресурсів. До зовнішніх стимулюючих факторів відносяться різні механізми державного регулювання сфери промислового енергоспоживання, що сприяють зміцненню зацікавленості бізнес-кіл в реалізації заходів щодо підвищення енергетичної ефективності виробничого процесу. В рамках даного дослідження представляється необхідним розглянути і проаналізувати обидві категорії виявлених стимулюючих факторів.

Заходи щодо підвищення енергетичної ефективності спрямовані, в першу чергу, на оптимізацію енергоспоживання, що тягне за собою зниження енерговитрат підприємства. Однак в науковій літературі можна знайти безліч досліджень, які підтверджують, що ефекти від підвищення енергетичної ефективності не обмежуються лише прямою економією енерговитрат, а в деяких випадках значно перевершують її. Так, в різних зарубіжних джерелах можна зустріти такі терміни як "cobenefits", "ancillary benefits", "non-energy benefits", "multiple benefits", що визначають спектр ефектів від підвищення енергетичної ефективності, що виходять за межі зниження витрат на енергоресурси. В рамках даного дослідження такі ефекти названі "множинні вигоди", що є прямим перекладом прийнятого в зарубіжній літературі терміна "multiple benefits". Виявлення множинних ефектів і вигод від реалізації проектів по підвищенню енергетичної ефективності набуває особливої важливості в світлі необхідності проведення комплексної оцінки проекту, що дозволяє підвищити його цінність і ефективність для компанії. як було зазначено раніше, значна кількість виявлених бар'єрів, стримуючих процес підвищення промислової енергоефективності, пов'язане саме з проведенням економічної оцінки подібних проектів. Крім того, результат

проведення економічної оцінки є визначальним фактором, що стимулює компанію реалізовувати заходи і проекти, націлені на оптимізацію енергоспоживання.

З точки зору підприємства, найбільший інтерес представляє підвищення ефективності всього виробничого процесу, в зв'язку з чим представляється необхідним проаналізувати вплив підвищення енергетичної ефективності на виробничий процес в цілому. Можна виділити шість основних категорій ефектів, що визначають ключові сфери впливу підвищення енергоефективності в контексті промислового виробничого процесу (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Основні категорії ефектів від підвищення енергоефективності

Втрати	Викиди	Експлуатація і технічне обслуговування
▪ Більш раціональне використання палива, тепла, газу ▪ Скорочення обсягу стічних вод ▪ Зменшення обсягу токсичних відходів ▪ Скорочення обсягу використовуваних матеріалів	▪ Зниження викидів пилу ▪ зниження викидів CO, CO_2, NO_x, SO_x	▪ Зниження потреби в інженерному контролі ▪ Зниження вимог до охолодження ▪ Підвищення надійності обладнання ▪ Зменшення зносу обладнання ▪ Зниження потреб в робочій силі
Виробництво	**Умови праці**	**Інше**
• Збільшення випуску продукції • Поліпшення показників роботи обладнання • Скорочення тривалості виробничого циклу • Підвищення якості продукції, що випускається • Підвищення надійності продукції, що випускається	• Скорочення потреби в засобах індивідуального захисту • Поліпшення освітлення • Скорочення рівня шуму • Поліпшення системи контролю температури • Поліпшення якості повітря	• Зменшення зобов'язань • Зміцнення позитивного іміджу компанії • Відстрочка і скорочення капітальних витрат • Вивільнення додаткового простору • Поліпшення морального духу працівників

Проаналізувавши Таблицю 1.2, можна зробити висновок, що вплив підвищення енергетичної ефективності не обмежується зниженням енерговитрат, а має значно ширший спектр ефектів. Однак більшість виявлених ефектів носять якісний характер, в зв'язку з цим їх вартісна оцінка не завжди є можливою. Тим не менше, якісний аналіз розглянутих ефектів може сприяти збільшенню цінності реалізації проекту з підвищення енергетичної ефективності для компанії.

Проведений аналіз показав, що підвищення енергетичної ефективності робить істотний позитивний вплив на весь виробничий процес, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності компанії, а також підвищенню рівня екологічної

ефективності бізнесу. Незважаючи на очевидну складність економічної оцінки виявлених ефектів, їх якісний аналіз може справити позитивний вплив на результати оцінки проекту, виступаючи тим самим фактором, що стимулює процес підвищення промислової енергоефективності.

2. Аналіз технологічного процесу як групи споживачів електроенергії.

Для визначення потенціалу підвищення ефективності споживання електроенергії підприємством, перш за все слід ідентифікувати найбільш суттєві споживачі. Електрична енергія на пивоварному підприємстві необхідна для:

- Виробництва холоду;
- Отримання стисненого повітря;
- Роботи електродвигунів, насосів і вентиляторів;
- Роботи приводів розмішувачів і транспортерів;
- Ввімкнення електроприводів та керування ними;
- Роботи ліній зв’язку для обробки даних;
- Освітлення.

Провівши дослідження було виявлено, що холодильне обладнання споживає найбільшу частку електроенергії пивоварного підприємства: 17,5млн. кВт*год/рік, що становить 42% усієї спожитої підприємством електроенергії. На другому місці по обсягах споживання стоїть обладнання з виробництва стисненого повітря: 8,4 млн. кВт*год, що становить 20% загального споживання. Далі йде електропривід насосів і вентиляторів: 7,6 млн. кВт*год, або 18% від загального та електропривід розміщувачів і транспортерів: 5 млн. кВт*год, або 12% від загального. Решту складають такі дрібні споживачі як освітлення, автоматика, офісна техніка та допоміжне обладнання.

Отже, провівши дане дослідження ми визначили найбільш суттєві споживачі пивоварного підприємства. Для зменшення енергетичних витрат слід звернути особливу увагу на методи енергозбереження холодильного обладнання, компресорного устаткування та електроприводу. А також, розглянути доцільність заміни зношених силових трансформаторів, оскільки через них проходить значна частина електроенергії, а їх неефективна робота може призвести до значних втрат електроенергії. Крім того, зважаючи на велику кількість індуктивних споживачів на підприємстві, варто розглянути застосування установок компенсації реактивної потужності. Для наочного представлення електричного балансу побудуємо кругову діаграму (Рисунок 2.1).

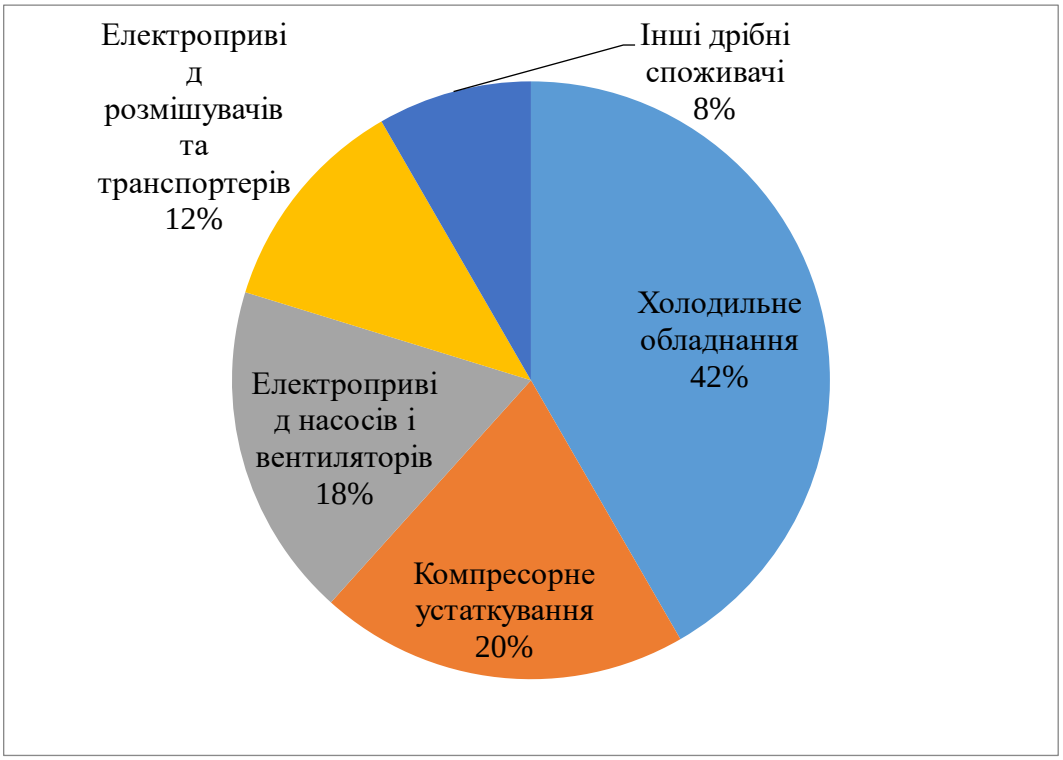


Рисунок 2.1 – Електричний баланс типового пивоварного підприємства.

Для аналізу режимів енергоспоживання було проведено збір даних. Отримані результати по щомісячному споживанню електроенергії за 2014-2016 роки зведемо до таблиці 2.1, і графічно проілюструємо отримані результати на Рисунку 2.2.

Таблиця 2.1 Щомісячне споживання електроенергії ПАТ “Оболонь” протягом 2014-2016рр.

	2014	2015	2016
Місяць	Споживання еенргії кВт*год		
Січень	1,80	1,97	1,75
Лютий	2,23	2,11	2,04
Березень	3,31	2,96	2,92
Квітень	3,74	3,80	4,08
Травень	5,17	4,93	3,79
Червень	5,32	4,79	4,08
Липень	4,89	4,36	3,79
Серпень	4,46	3,80	3,50
Вересень	3,16	2,39	2,48
Жовтень	2,59	1,97	2,04
Листопад	2,66	2,39	2,04
Грудень	2,69	2,53	2,48

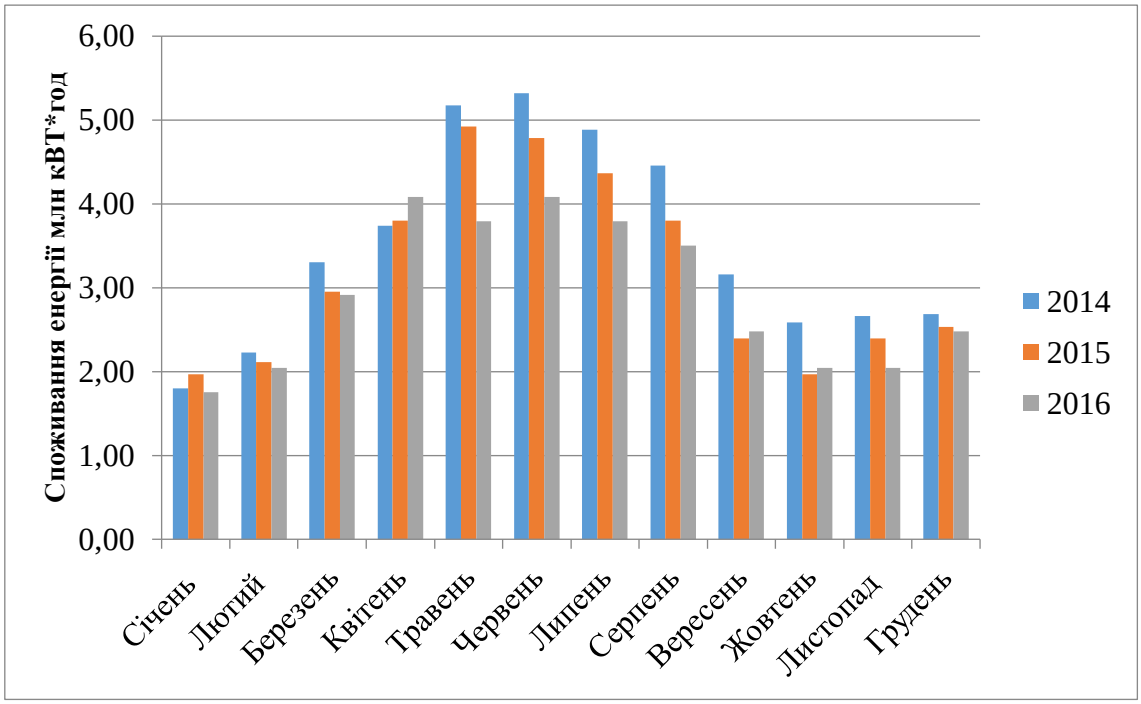


Рисунок 2.2 – Діаграма щомісячного споживання електроенергії на підприємстві протягом 2014-2016рр.

Для побудови графіка добового навантаження підприємства було зібрано дані в таблиці 2.2. На основі цих даних побудуємо графік добового навантаження енергосистеми підприємства (Рисунок 2.3).

Таблиця 2.2 – Досліджені дані погодинного навантаження енергосистеми підприємства.

Навантаження, кВт	Час доби
3840	0
3840	1
3840	2
3840	3
3840	4
3840	5
4263	6
4690	7
5329	8
5595	9
5702	10
5649	11
5542	12
5489	13

5595	14
5436	15
5382	16
5329	17
5222	18
5063	19
4903	20
4476	21
4263	22
4050	23

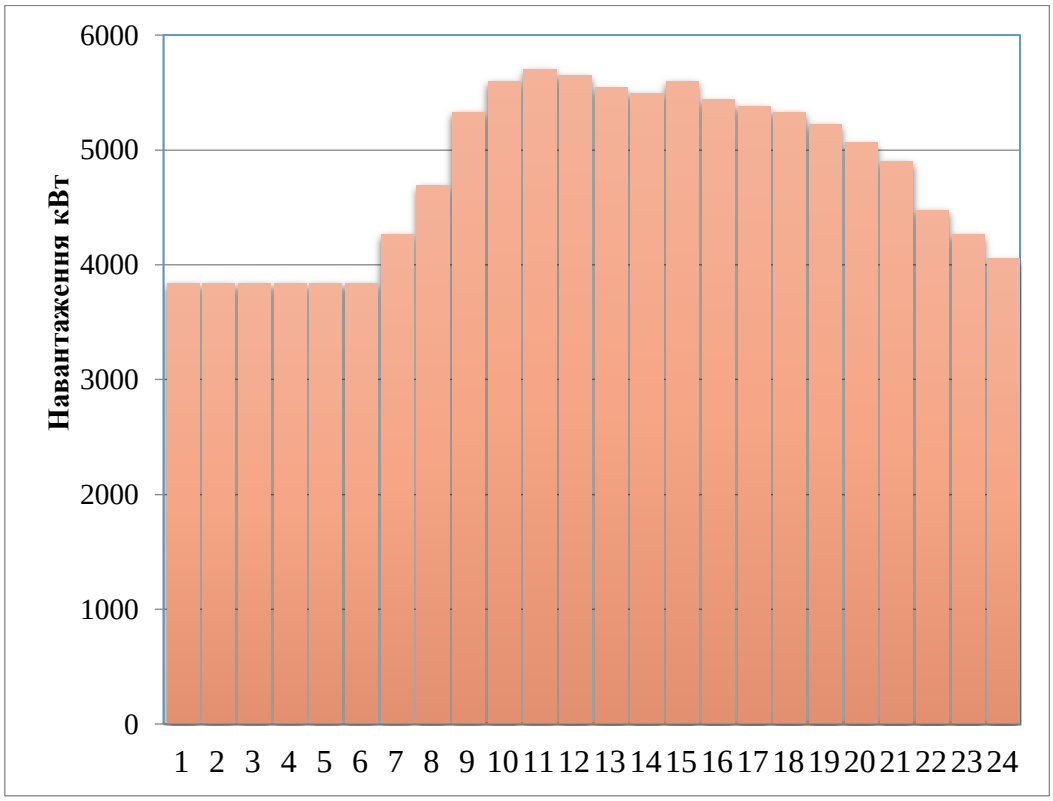


Рисунок 2.3 – Діаграма добового навантаження енергосистеми ПАТ “Оболонь”.

Отже, дослідивши графіки місячного та добового навантаження енергосистеми ПАТ “Оболонь”, можемо зробити висновок про те, що споживання електроенергії на підприємстві є нерівномірним. Найбільше споживання енергії припадає на період березень-серпень, і значно спадає в період вересень-лютий. Це пояснюється сезонністю споживання продукту. Також на графіках чітко видно тенденцію до щорічного зменшення споживання електроенергії протягом 2014-2016 років, що пов’язано зі зменшенням кількості виготовленої продукції.

З графіка добового навантаження чітко видно, що енергосистема має сталий мінімальний рівень споживання енергії, що знаходиться на позначці в 3840 кВт. Це пояснюється тим, що деяке обладнання підприємства постійно знаходиться в роботі

(холодильне обладнання, система стисненого повітря, деякі електродвигуни), для забезпечення процесу безперебійного виготовлення продукції. Графік добового навантаження є нерівномірним, та умовно поділяється на такі зони: пік (09.00-20.00), напівпік (07.00-09.00; 20.00-00.00) та нічний провал (00.00-07.00). Ця нерівномірність пояснюється графіком роботи персоналу та технологічними особливостями виробництва.

3. Практична реалізація потенціалу підвищення ефективності споживання електроенергії підприємством

На основі проведених вище досліджень ми зіштовхнулися з проблемою пошуку методів та засобів підвищення ефективності споживання електроенергії. Ця проблема базується на жорстких критеріях відбору, оскільки для промислового підприємства такої потужності капіталоємність та терміни окупності є чи не найголовнішими показниками, які впливають на доцільність застосування заходів з підвищення ефективності споживання електроенергії.

Серед вищезгаданих стримуючих факторів є фінансовий, який має найбільший вплив на рішення про реалізацію того чи іншого заходу з енергозбереження. У зв'язку зі сформованою останнім часом нестабільною економічною ситуацією найчастіше фінансування отримують проекти, термін реалізації яких становить не більше 2 років, в той час як проекти по підвищенню енергетичної ефективності характеризуються більш довгим терміном окупності. Технологічна специфіка пивоварного виробництва визначає високу капіталомісткість заходів щодо підвищення енергетичної ефективності. При цьому для пивоварного підприємства набагато важливішим є інвестування в проведення ремонтних робіт зношеного обладнання, оскільки від цього прямо залежить якість виготовленої продукції, та як наслідок – попит на неї. В даному контексті капіталомісткі заходи щодо підвищення енергетичної ефективності не володіють стратегічним пріоритетом, в зв'язку з чим, часто поступаються в конкуренції за інвестиційні ресурси.

Отже, перед нами постало складне завдання: запропонувати найбільш вигідні заходи з підвищення ефективності споживання електроенергії в умовах незначного фінансування. Серед таких заходів пропонується: встановлення установки компенсації реактивної потужності, зниження робочого тиску системи виробництва стисненого повітря, керування навантаженням системи холодопостачання.

Залежно від виду використовуваного устаткування електричне навантаження підрозділяється на активне, індуктивне і ємнісне. Найчастіше споживач має справу із змішаними активно-індуктивними навантаженнями. Відповідно, з електричної мережі відбувається споживання як активної, так і реактивної енергії. Активна енергія перетвориться в корисну – механічну, теплову та ін. енергії. Реактивна енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, індукційних печах, зварювальних трансформаторах, дроселях і освітлювальних приладах. Показником споживання реактивної енергії (потужності) є коефіцієнт потужності cosφ, який показує співвідношення активної потужності P і повної потужності S, споживаній електроприймачами з мережі:

$$P = S \cdot cos\varphi.$$

Значення коефіцієнта потужності незкомпенсованого устаткування наведені в таблиці 3.1. В оптимальному режимі показник повинен прямувати до одиниці і відповідати нормативним вимогам.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти потужності некомпенсованого обладнання.

Асинхронний електродвигун до 100 кВт	0,6-0,8
Асинхронний електродвигун 100-250 кВт	0,8-0,9
Індукційна піч	0,2-0,6
Зварювальний апарат змінного струму	0,5-0,6
Електродугова піч	0,6-0,8
Лампа денного світла	0,5-0,6

Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії.

Проведемо розрахунок конденсаторної установки для розливного і компресорного цеху пивоварного підприємства.

Цехи заводу обладнані такими двигунами:

• асинхронний двигун P1=75 кВт, cosφ1= 0,78 — кількість 8 шт;
• асинхронний двигун P2=35 кВт, cosφ2= 0,75 — кількість 13 шт;
• асинхронний двигун P3=7,5 кВт, cosφ3= 0,68 — кількість 35 шт;
• асинхронний двигун P4=5,5 кВт, cosφ4= 0,66 — кількість 42 шт;
• асинхронний двигун P5=1,5 кВт, cosφ5= 0,63 — кількість 51 шт.

Розрахуємо сумарну активну потужність цехів за формулою:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{5} n_i \cdot P_i;$$

$$P_{\Sigma} = 8 \cdot 75 + 13 \cdot 35 + 35 \cdot 7{,}5 + 42 \cdot 5{,}5 + 51 \cdot 1{,}5 = 1625(\text{кВт}).$$

Розрахуємо сумарну реактивну потужність цехів за формулою:

$$Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{5} \frac{P_i \cdot sin\varphi_i}{cos\varphi_i};$$

$$Q_{\Sigma} = \frac{8 \cdot 75 \cdot 0.63}{0.78} + \frac{13 \cdot 35 \cdot 0.66}{0.75} + \frac{35 \cdot 7.5 \cdot 0.73}{0.68} + \frac{42 \cdot 5.5 \cdot 0.75}{0.66} + \frac{51 \cdot 1.5 \cdot 0.78}{0.63} = 1524(\text{кВАр}).$$

Обчислимо загальну потужність цехів за формулою:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2};$$

$$S = \sqrt{1625^2 + 1524^2} = 2227{,}8(\text{кВА}).$$

Звідси, діючий cosф в системі обчислимо за формулою:

$$cos\varphi = \frac{P}{S};$$

$$cos\varphi = \frac{1625}{2227{,}8} = 0{,}72.$$

Далі розрахуємо потужність конденсаторної установки. Для цього, знаючи значення бажаного коефіцієнта потужності (cosφ_бажаний=0,95), та значення діючого коефіцієнта потужності (cosφ_діючий=0,95) знайдемо необхідний для розрахунку коефіцієнт перерахунку F за таблицею 3.2:

Таблиця 3.2 – Коефіцієнт перерахунку F.

Діючий cosφ	Потрібний cosφ								
	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.95
0.30	2,43	2,48	2,53	2,56	2,61	2,67	2,72	2,78	2,85
0.35	1,93	1,98	2,03	2,06	2,11	2,16	2,22	2,28	2,35
0.39	1,61	1,66	1,72	1,74	1,79	1,85	1,91	2,03	2,03
0.44	1,29	1,34	1,42	1,42	1,47	1,53	1,59	1,71	1,71
0.49	1,03	1,08	1,16	1,16	1,21	1,27	1,32	1,45	1,45
0.53	0,85	0,9	0,98	0,98	1,03	1,09	1,14	1,27	1,27
0.58	0,65	0,71	0,78	0,78	0,84	0,89	0,95	1,08	1,08
0.62	0,52	0,57	0,65	0,65	0,7	0,75	0,81	0,94	0,94
0.67	0,36	0,41	0,49	0,49	0,54	0,6	0,65	0,78	0,78
0.72	0.21	0.27	0.32	0.34	0.40	0.45	0.51	0.57	0.64
0.76	0.11	0.16	0.21	0.24	0.29	0.34	0.40	0.46	0.53
0.81		0.03	0.08	0.10	0.16	0.21	0.27	0.33	0.40
0.86					0.03	0.08	0.14	0.20	0.26
0.90							0.03	0.09	0.16

Отже, потужність конденсаторної установки складає:

$$Q = P \cdot F = 1625 \cdot 0.64 = 1040(\text{кВАр}).$$

Знаючи необхідну потужність, виберемо для встановлення установку компенсації реактивної потужності компанії Ducati energia 1600-R 1040кВАр, вартістю 850 тис.грн.

Оскільки ми застосували установку компенсації реактивної потужності, значення коефіцієнта потужності, а відповідно і реактивної потужності змінилося. Для оцінки економічної доцільності даного заходу знайдемо нове значення повної потужності цехів:

$$S' = \frac{P_\Sigma}{cos\varphi} = \frac{1625}{0.95} = 1710(\text{кВА}).$$

Економія електроенергії цехами за рік:

$$\Delta W = (S - S') \cdot T \cdot k_{\text{в}} = (2227.8 - 1710) \cdot 8760 \cdot 0{,}35 = 1{,}6(\text{млн кВт} \cdot \text{год}).$$

Отже, при діючому тарифі на електроенергію в 2,28грн/кВт*год, термін окупності даного заходу становить:

$$\text{Т}_{\text{ок}} = \frac{\text{К}}{\text{Т} \cdot \Delta W} = \frac{850000}{2{,}28 \cdot 1600000} = 0{,}25 \text{ років, або 3 місяці.}$$

Зважаючи на досить низький термін окупності даний захід є обов’язковим для застосування.

Провівши дослідження на ПАТ “Оболонь” було з‘ясовано, що на підприємстві встановлено обладнання, яке підтримує постійне значення тиску в системі на рівні 7 бар. Проте такий тиск є надмірним, оскільки максимальне необхідне значення тиску для виробничих процесів становить 5 бар. Завищений тиск є негативним явищем в системі стисненого повітря, оскільки:

- Призводить до збільшення витоків повітря з системи.
- Створює перевитрату електроенергії на виробництво стисненого повітря.
- Забезпечує неефективне використання енергоносія.

Враховуючи вищезгадані фактори пропонується знизити робочий тиск системи до значення 5 бар.

Далі варто оцінити економічну доцільність даного заходу. Для цього обчислимо величину роботи, яка необхідна для стиснення повітря від значення атмосферного тиску до 7 бар (A_1), та до 5 бар відповідно (A_2) за формулою:

$$A_1 = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right];$$

$$A_1 = \frac{1{,}4}{1{,}4-1} \cdot 286{,}6 \cdot (273+20) \cdot \left[\left(\frac{7}{1} \right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} - 1 \right] = 218560 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right);$$

$$A_2 = \frac{1{,}4}{1{,}4-1} \cdot 286{,}6 \cdot (273+20) \cdot \left[\left(\frac{5}{1} \right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} - 1 \right] = 171590 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right);$$

Знайдемо різницю в роботі для стиснення повітря до величини 7 бар, та величини 5 бар у відсотковому відношенні:

$$\Delta A = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \cdot 100\% = \frac{218560 - 171590}{218560} \cdot 100\% = 21.5\%.$$

За формулою спожитої компресором потужності:

$$N = \frac{G \cdot A}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{дв}}},$$

можемо зробити висновок про те, що ми отримаємо економію електроенергії в 21,5%, оскільки потужність компресора прямо пропорційна роботі на виконання стиснення повітря в ньому.

Обчислимо річну економію електроенергії, знаючи що система стисненого повітря за рік споживає 8,4 млн кВт*год електроенергії:

$$\Delta W = \Delta N \cdot W_{\text{річне}} = 0{,}215 \cdot 8{,}4 = 1{,}8(\text{млн кВт} \cdot \text{год}).$$

Оскільки встановлене на підприємстві обладнання з виробництва стисненого повітря передбачає регулювання тиску в даному діапазоні, даний захід будемо вважати безкоштовним, тому він окупиться відразу ж.

Обчислимо річну економію коштів пивоварним підприємством згідно існуючого тарифу 2,28грн/кВт*год:

$$E = \text{Т} \cdot \Delta W = 2.28 \cdot 1.8 = 4.1(\text{млн грн}).$$

Отже, зважаючи на те що даний захід з енергозбереження є практично без затратним, легким та швидким у виконанні та досить ефективним з економічної точки зору, зменшення робочого тиску в системі стисненого повітря з 7бар до 5бар є доцільним для застосування.

У процесі приготування пива потрібне охолодження наступних продуктів:

- Гарячого охмеленого сусла (охолоджується до температури початкового сусла);

- Молодого пива в стадії бродіння (охолоджується в стадії бродіння і дозрівання);
- Пива, що охолоджується на стадії глибокого охолодження, від 0 до -2 ° С;

Крім того, охолодження потребують приміщення:

- Форфасного відділення;
- Бродильно-табірного відділення і складських приміщень.

Приведемо діаграму використання холоду підприємством на рисунку 3.1.

Так як холодильна установка є, безсумнівно, найбільш великим споживачем електроенергії на пивоварному підприємстві, то необхідно постійно пам'ятати про економічність її експлуатації.

Для цього необхідно, щоб компресор залежно від витрати холоду, виконував стиснення на одному встановленому рівні. Це здійснюється за рахунок системи керування (регулювання постійного тиску), завдяки чому шляхом відключення окремих ділянок конденсатора постійно підтримується розрахункова напруга при низьких температурах навколишнього повітря або при невеликій витраті холоду. В даний час в пивоварстві перевага віддається централізованими холодоагрегатам з безпосереднім випаровуванням аміака. Так як з боку всмоктування компресора необхідні різні температури випаровування, застосовують регулятори тиску на всмоктуванні, підтримуючу напругу на найнижчому рівні. Таким чином, компресори постійно працюють при найнижчому тиску всмоктування та найвищому тиску конденсації.

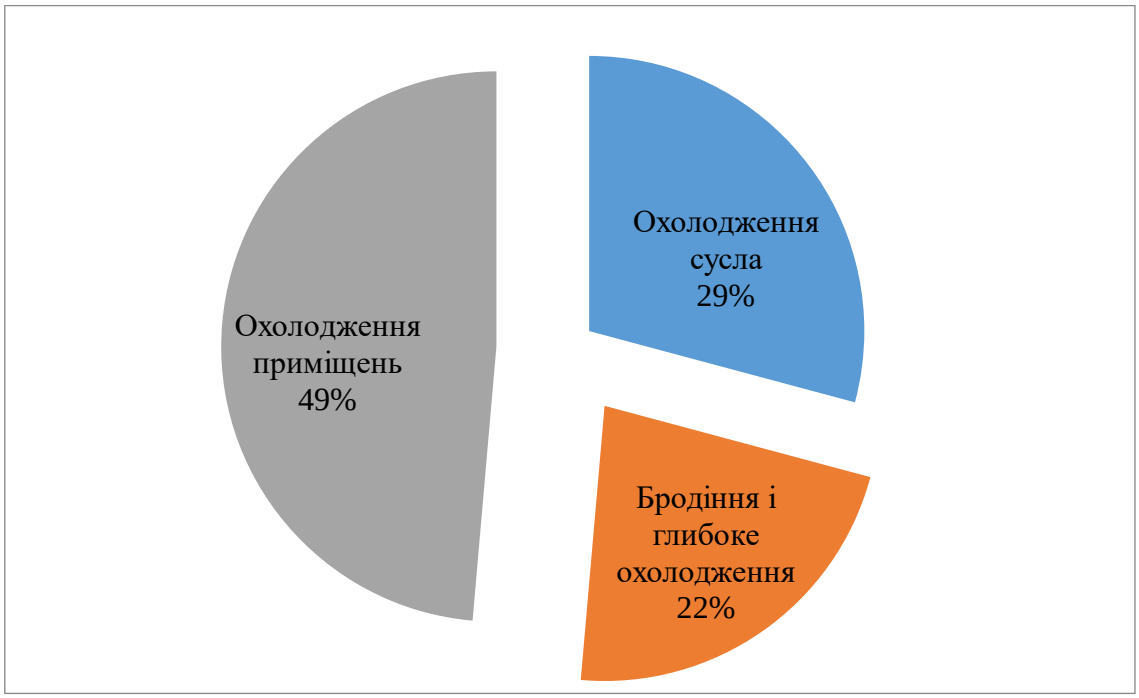


Рисунок 3.1 - Використання холоду підприємством.

Так як холодильна установка є, безсумнівно, найбільш великим споживачем електроенергії на пивоварному підприємстві, то необхідно постійно пам'ятати про економічність її експлуатації.

Для цього необхідно, щоб компресор залежно від витрати холоду, виконував стиснення на одному встановленому рівні. Це здійснюється за рахунок системи керування (регулювання постійного тиску), завдяки чому шляхом відключення окремих ділянок конденсатора постійно підтримується розрахункова напруга при низьких температурах навколишнього повітря або при невеликій витраті холоду. В даний час в

пивоварстві перевага віддається централізованими холодоагрегатам з безпосереднім випаровуванням аміака. Так як з боку всмоктування компресора необхідні різні температури випаровування, застосовують регулятори тиску на всмоктуванні, підтримуючу напругу на найнижчому рівні. Таким чином, компресори постійно працюють при найнижчому тиску всмоктування та найвищому тиску конденсації.

Приведена потужність знижується:

- на 2,5% з кожним градусом зниження температури конденсації,
- на 3% з кожним градусом підвищення температури випаровування.

У результаті дії різних температур і завантаження холодильної установки постійно відбуваються зміни умов її роботи, які, тим не менше, піддаються вимірюванню і співставленню між собою. З цього витікає можливість програмованої за допомогою комп'ютера оптимізації роботи холодильної установки, що в даний час набуває застосування на багатьох пивоварних підприємствах. Так як холодильна установка є найбільшим споживачем електроенергії, то інвестиції в заходи щодо її економії окуповуються досить швидко.

У зв’язку з технологічними особливостями виробництва пива, ми не можемо змінювати температури бродіння, температури глибокого охолодження та температури охолодження сусла, отже варто звернути увагу на можливості енергозбереження при охолодженні приміщень. Згідно технологічних норм, температура повітря приміщень повинна бути на рівні 2-6˚С. На підприємстві встановлено температури приміщень на рівні 3-4˚С протягом всього року. Це говорить про те, що ми можемо економити за рахунок незначного (на 1-2˚С) збільшення температури внутрішнього приміщення, цим самим зменшуючи навантаження на систему холодопостачання. У зв’язку з тим, що в київській області досить холодний опалювальний період (з середньою температурою -0,1˚С), маємо змогу збільшити температуру внутрішнього повітря приміщень на 2˚С в опалювальний період, та 1˚С в неопалювальний період. Для такого регулювання необхідне застосування програмованої автоматики.

Знаючи, що збільшення температури на 1˚С зменшує навантаження системи холодопостачання на 3%, а опалювальний сезон Києва триває 187 діб, можемо обчислити економію від впровадження такого заходу.

$$E_{\%} = \frac{K_{\text{оп}}}{365} \cdot \Delta t_1 \cdot 3\% + \frac{365 - K_{\text{оп}}}{365} \cdot \Delta t_2 \cdot 3\% = \frac{187}{365} \cdot 2 \cdot 3\% + \frac{365 - 187}{365} \cdot 1 \cdot 3\% = 4.55\%.$$

Тепер, знаючи що на охолодження приміщень йде 49% потужності всього холодильного обладнання, яке в свою чергу споживає 42% електроенергії по всьому підприємству, можемо знайти річну економію електроенергії:

$$E_{\text{кВт·год}} = W_{\text{заг}} \cdot 0.42 \cdot 0.49 \cdot E_{\%} = 42 \cdot 0.42 \cdot 0.49 \cdot 0.0455 = 0.4(\text{млн кВт} \cdot \text{год}).$$

Дане програмування планується виконувати на базі реле ТР-101, кількістю 24шт. Загальна вартість обладнання разом з установкою та налаштуванням становить 58000 грн.

Отже, знаючи вартість застосування автоматичного регулювання температури в залежності від температури зовнішнього середовища, можемо обчислити термін окупності даного заходу:

$$\text{Т}_{\text{ок}} = \frac{\text{К}}{\text{Т} \cdot \Delta W} = \frac{58000}{2{,}28 \cdot 400000} = 0{,}07 \text{ років, або 1 місяць.}$$

Виходячи з того, що даний проект є недорогим, відносно простим у виконанні, та з невеликим терміном окупності, можемо зробити висновок про його економічну доцільність.

Висновки

Виходячи з того, що насьогодні спостерігається тенденція поступового підвищення енергоємності ВВП, питання підвищення енергоефективності промисловості України стоїть досить гостро. Особливо це спостерігається в галузі пивоваріння, оскільки виробництво продукції з 2008 року знизилося майже вдвічі. В межах даної статті було визначено фактори найсуттєвішого впливу на скорочення обсягів виробництва продукції, проаналізовано фактори, що стримують та стимулюють процес підвищення енергоефективності підприємств.

Крім цього, на основі аналізу технологічного процесу як групи споживачів електроенергії, було проаналізовано електричний баланс типового пивоварного підприємства, ідентифіковано суттєві споживачі електроенергії та режими їх споживання. Виходячи з цього розглянуто можливі джерела та методи підвищення ефективності їх енергоспоживання: встановлення установки компенсації реактивної потужності, зниження робочого тиску системи виробництва стисненого повітря, керування навантаженням системи холодопостачання.

Обрані заходи з підвищення ефективності споживання електроенергії є рекомендованими для застосування, оскільки мають низькі терміни окупності, володіють невисокою капіталоємністю, відносно прості та швидкі у застосуванні, не потребують особливих навичок чи залучення стороннього персоналу, дають відчутний економічний ефект, не впливають на якість виготовленої продукції, не шкодять технології виробництва вцілому.

Перелік використаної літератури

1. А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко и др. Энергетический менеджмент. - К.: НТУ "КПИ", 2001, 471с.

2. Kyivenergo.ua [Електронний ресурс] .– Режим доступу: http://kyivenergo.ua/.

3. А.Шевцов, М.Земляний та ін. Енергетична безпека України. Стратегія та механізми забезпечення. ДФ НІСД, - 2002.

4. В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, П.В. Кульбачний Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник. – К.: Освіта України, 2009.

5. ДБН В 2.6-31-2006 «Теплова ізоляція будівель».

6. ДСН 3.3.6.042-99 Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

7. Uea.com [Електронний ресурс] .– Режим доступу: http://uea.com.ua/uploads/files/1453382420_prezentaciya-transformatoriv-2013.pdf.

8. pro-consulting.ua [Електронний ресурс] .– Режим доступу: https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-piva-ukrainy-2018-god.

9. informator.news [Електронний ресурс] .– Режим доступу: https://informator.news/v-ukrajini-skorochujetsya-vyrobnytstvo-pyva/.

10. koloro.ua [Електронний ресурс] .– Режим доступу: https://koloro.ua/blog/issledovaniya/marketingovoe-issledovanie-rynka-piva-v-ukraine-2015g.html.

11. В. Кунце “Технология солода и пива”.

12. obolon.ua [Електронний ресурс] .– Режим доступу: http://obolon.ua/ua.

13. Jaffe A.B., Stavins R.N. The energy-efficiency gap What does it mean? // Energy Policy. –1994. –Vol. 22. – no. 10. – pp. 804-810

14. Allcott H., Greenstone M. Is There an Energy Efficiency Gap? // Journal of Economic Perspectives. – 2012. – Vol. 26. – No. 1 (Winter). – pp. 3-28.

15. Chai K., Yeo C. Overcoming energy efficiency barriers through systems approach - a conceptual framework // Energy Policy. – 2012. – Vol. 46. – pp. 460-472.

16. Cagno E., Worrell E., Trianni A., Pugliese G. A novel approach for barriers to industrial energy efficiency // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – Vol. 19. – pp. 290-308.

17. International Energy Agency. Energy Management Programmes for Industry. Policy Pathways [Электронный ресурс] / – OECD/IEA, Paris. – 2012.

18. Nehler T., Rasmussen J. How do firms consider non-energy benefits? Empirical findings on energy-efficiency investments in Swedish industry // Journal of Cleaner Production. – 2016. – Vol. 113. – pp. 472-482.

19. Pye M., McKane A. Making a stronger case for industrial energy efficiency by quantifying non-energy benefits // Resources, Conservation and Recycling. – 2010. – Vol. 28. – No. 3. – pp. 171-183.

Лазарєв В.В.
Кафедра електропостачання

СУЧАСНІ КОМПОНЕНТИ КОМПЛЕКСНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМТСВІ В МЕРЕЖІ 0.4 кВ

У статті наведені основні методи для реактивної потужності компенсації, а саме встановлення конденсаторної установки на промисловому підприємстві « СІМОЛ» .Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивній потужності (конденсаторних установок). Використання конденсаторних установок дозволяє: розвантажити живлячі лінії електропередачі, трансформатори і розподільні пристрої; зменшити витрати на оплату електроенергії; при використанні певного типу установок знизити рівень вищих гармонік; подавити мережеві перешкоди, понизити несиметрію фаз; зробити розподільні мережі надійнішими і економічнішими.

Ключові слова : енергозбереження, компенсація, реактивна потужність, енергофективність.

In the framework of the aforementioned fundamental method for reactive pososticity of compensation, the self-installed condenser unit "VEM" at the "SIMOL" Industrial Enterprise. The most effective and effective way to reduce the consumption of reactive power is the use of reactive power compensation systems (condenser units). The use of condenser units allows: to relieve the eaters of electrotechnics, transformers and distributive devices; Changing the stained glass to pay for electricity; in the Virgin type of installations, zinit riven higher harmonics; suppress the smallest and reduce the asymmetry of the phases; make distributive networks more reliable and more economical.

Key words: energy saving, commenscination, reactive power, energy efficiency

Вступ. Мета дослідження : аналіз сучасних систем і комплексів компенсації реактивної потужності та алгоритмів їх функціонування, дослідження зниження втрат електричної енергії в мережах, а також керування компенсувальними установкам.

Предмет дослідження : способи компенсації реактивної потужності, енергетичні характеристики режимів роботи джерел реактивної потужності.

Використання конденсаторних установок.

Одинична компенсація – краща там, де: потрібна компенсація потужних (понад 20 кВт) споживачів; потужність, яка споживається постійна протягом тривалого часу.

Групова компенсація – застосовується для випадку компенсації декількох індуктивних навантажень, які розташовані поруч і вмикаються одночасно, підімкнених до одного розподільного пристрою і які компенсуються однією конденсаторною батареєю.

Централізована компенсація. Для підприємств, які потребують змінної реактивної потужності постійно ввімкнені батареї конденсаторів не прийнятні, оскільки при цьому може виникнути режим недокомпенсації або перекомпенсації. У цьому випадку конденсаторна установка оснащується спеціалізованим контролером і комутаційно-захисною апаратурою. При відхиленні значення $cos\varphi$ від заданого значення контролер вмикає або відмикає ступені конденсаторів. Перевага централізованої компенсації полягає в наступному: ввімкнена потужність конденсаторів відповідає спожитій в конкретний момент часу реактивній потужності без перекомпенсації або

недокомпенсації [1] .

При виборі конденсаторної установки необхідна потужність конденсаторів визначається як :

$$Q_C = P \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)\,,$$

де $tg\varphi_1$ – коефіцієнт потужності споживача до встановлення компенсувальних пристроїв;

$tg\varphi_2$ – коефіцієнт потужності після встановлення компенсувальних пристроїв (бажаний або коефіцієнт, який задає енергосистема).

Режим роботи конденсаторних установок повинен виключати можливість роботи підприємств із випереджальним коефіцієнтом потужності. У зв'язку із цим найдоцільнішим є застосування автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок за напругою, за часом доби і за іншими параметрами.

Для розрахунку параметрів компенсаторної установки в мережі знімають характерні добові графіки навантаження і текуче значення $cos\varphi$, за якими визначають середнє значення коефіцієнта потужності за період. Знаючи фактичний і потрібний (за умовами компенсації) коефіцієнт потужності, а також споживання активної електроенергії, можна розрахувати потрібну потужність конденсаторної установки.

Синхронні компенсатори.

Синхронні компенсатори є синхронними двигунами полегшеної конструкції без навантаження на валу. Вони можуть працювати як в режимі генерації реактивної потужності (при збудженні компенсатора), так і в режимі її споживання (при недозбудженням). В даний час вітчизняна промисловість виготовляє синхронні компенсатори потужністю від 5000 до 10 000 квар .Втрати активної потужності в синхронних компенсатори при їх повному завантаженні в залежності від номінальної потужності коливаються в межах 0,013-0,015 кВт / квар.

Недоліки:

- подорожчання і ускладнення експлуатації (у порівнянні, наприклад, з конденсаторними батареями);
- значний шум під час роботи.

Позитивними властивостями:

- можливість плавного і автоматичного регулювання;
- незалежність генерації реактивної потужності від напруги на їх шинах;
- достатня термічна і динамічна стійкість обмоток компенсаторів під час к.з .;
- можливість відновлення пошкоджених синхронних компенсаторів шляхом проведення ремонтних робіт.

Питома вартість синхронних компенсаторів значно збільшується при зменшенні їх номінальної потужності. Висока питома вартість синхронних компенсаторів невеликих потужностей і великі втрати активної потужності в них обумовлюють застосування синхронних компенсаторів лише значних потужностей на великих підстанціях.

Таким чином, синхронний компенсатор є синхронний двигун полегшеної конструкції, призначений для роботи на холостому ходу. При роботі в режимі перезбудження СК є генератором реактивної потужності. Найбільша потужність СК в режимі перезбудження називається його номінальною потужністю. При роботі в режимі недозбудження СК є споживачем реактивної потужності. За конструктивним умовам СК зазвичай не може споживати з мережі таку ж реактивну потужність, яку він

може генерувати. Зміна струму збудження СК зазвичай автоматизується. При роботі СК з мережі споживається активна потужність близько 2-4%.

Синхронні двигуни .

Синхронний двигун при певних умовах може генерувати реактивну потужність. Її величина залежить від завантаження двигуна активною потужністю, що підводиться напруги і технічних даних двигуна:

$$Q_{СД} = k_{прм} \cdot \frac{P_{ном} \cdot tg\varphi_{ном}}{k_{пд}} ,$$

де $P_{ном}$ - номінальна активна потужність двигуна; $k_{прм}$ - коефіцієнт перевантаження по реактивній потужності (визначається за довідником) .

Додаткові активні втрати в двигуні, пов'язані з генеруванням реактивної потужності, визначаються за виразом:

$$\Delta P = k_1 \cdot \frac{Q_{сд}}{Q_{ном}} + k_2 \cdot \frac{Q_{сд}^2}{Q_{ном}^2},$$

де k_1, k_2 - розрахункові коефіцієнти, залежать від потужності, к. п. д. двигуна і приводяться в довідниках.

Технічно - економічно обгрунтований нижньою межею номінальних потужностей синхронних двигунів становить 500-600 кВт. Синхронні двигуни з частотою обертання 1000 об / хв і нижче випускаються з явнополюсними шихтованими роторами з демпферного обмоткою. Синхронні двигуни потужністю понад 12 500 кВт з частотою обертання 1500 об / хв виконують, як правило, з масивними полюсами без спеціальної демпферного (пусковий) обмотки[2].

Синхронні двигуни з частотою обертання 3000 об / хв - турбодвигуни - мають неявно виражене виконання полюсів ротора. Ротори цих двигунів виконують з масивної поковки так само, як ротори турбогенераторів.

Синхронні двигуни випускають в основному на напругу 6000 і 10000 В. Номенклатура низьковольтних двигунів на напругу 380 В, мають потужність до 320 кВт, послідовно скорочується, і вони замінюються на більш економічні асинхронні двигуни.

Більшість типів синхронних двигунів випускають як машини загального призначення. Багато серії і типи синхронних двигунів призначені для приводу конкретних типів механізмів: компресорів, різного роду млинів, вентиляторів, гумозмішувачах і грануляторів, екскаваторних агрегатів і ін.

За формою виконання в окрему групу виділяють вертикальні двигуни, які застосовують для приводу насосів. Горизонтальні двигуни можуть мати виконання з двома і одним підшипником і консольне виконання.

Важливими класифікаційними характеристиками синхронних двигунів є ступінь захисту і система вентиляції та охолодження. За цією ознакою синхронні двигуни підрозділяють на: відкриті або бризгозахищеність, закриті з розімкненим циклом вентиляції, закриті із замкнутим циклом вентиляції і вбудованими водяними охолоджувачами, закриті із замкнутим циклом вентиляції з вбудованими повітряними охолоджувачами, закриті вибухозахищені продуваються під надлишковим тиском .Більшість двигунів мають самовентиляцією, проте в машинах великих габаритів для охолодження застосовують і вентилятори-наїзники. В даний час для збудження синхронних двигунів застосовують тільки напівпровідникові статичні системи

збудження.

Статичні збудники, як правило, харчуються від стороннього джерела. Випускаються двигуни, які мають для харчування збудження додається спеціальна підставка обмотку в пазах статора.

Без щіткові збудники зазвичай вбудовують в конструкцію двигуна. У серіях СТД і СТДП застосовують безщіткового збуджувальне пристрій, який є самостійним виробом і прилаштовується до двигуна. У синхронних двигунах малих габаритів широко використовують підшипники кочення, в великих - підшипники ковзання.

Діапазон габаритів синхронних двигунів досить широкий: зовнішні діаметри сердечників статорів наростають від 740 до 4500 мм. В даний час проектують надпотужні двигуни. Найбільш поширені серії явнополюсних синхронних двигунів мають наступну структуру позначення:

$$\frac{X}{1}-\frac{X}{2}-\frac{X}{3}-\frac{X}{4}$$

в якій: 1 - умовна назва серії і номер модифікації; 2 - умовне позначення габариту; 3 - довжина сердечника статора, см; 4 - число полюсів.

Таким чином, синхронні двигуни є елементами "пасивної" компенсації реактивної потужності, іншими словами, при використанні деякої кількості синхронних двигунів замість асинхронних споживана з мережі реактивна потужність зменшується, що зменшує і витрати на компенсацію, але з іншого боку, збільшує витрати на утримання і обслуговування синхронних електродвигунів[3].

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КРП У МЕРЕЖАХ 0.4 кВ ВИРОБНИЧИХ СПОЖИВАЧІВ

Поряд з технічними показниками найважливішим критерієм оцінки роботи електроустановок є їх економічність. Одним з напрямків скорочення втрат електроенергії є КРП безпосередньо в електромережах споживачів. Відомо, що при змінному графіку навантаження електроспоживання для цієї мети доцільно застосування регулювання потужності КУ , що пояснюється не тільки технічними (підвищення якості електроенергії в мережі підприємства), й економічними факторами, пов'язаними з розрахунками з енергосистемою. Багато споживачів по договору з електропостачальною організацією оплачують споживану (або розрахункову) реактивну енергію (потужність), тому цю складову треба враховувати при вирішенні питань КРП[4].

При відсутності компенсації сумарні витрати підприємства: від споживання РП - $B_{\sum}$ складаються з декількох складових: позначимо власний коефіцієнт потужності підприємства $tg\varphi_{\text{вир.}}$ і введемо поняття ступеня компенсації n як частки РП, компенсованої КУ ($Q_{\text{ку}}$) від фактично спожитої підприємством активної $P_{\text{ф}}$ і РП ($Q_{\text{Ф}}$).

$$Q_{\text{ку}} = nQ_{\text{Ф}} = nP_{\text{ф}}tg\varphi_{\text{вир.}}$$

Скомпенсована реактивна енергія $W_{\text{комп.}}$ при цьому буде дорівнює:

$$W_{\text{комп.}} = nQ_{\text{Ф}} = nP_{\text{ф}}T_m tg\varphi_{\text{вир.}} ,$$

де T_m - річне число годин використання найбільшого навантаження.

Витрати на оплату економічних значень компенсувати потужності і енергії $B_{\text{рп}}$, виражені через значення договірних (економічних) тарифів за РП і енергію ($C_Q^{\text{ек}}$ і $C_W^{\text{ек}}$) складуть (3.1), (3.2):

$$В_{рп} = C_Q^{ек} Q_{ку} + C_W^{ек} W_{комп.} = nP_ф tg\varphi_{вир.}\left(C_Q^{ек} + T_m C_W^{ек}\right).$$

Іншою складовою $В_\Sigma$ будуть витрати $В_{\Delta U}$, пов'язані з втратами електроенергії в мережах підприємства від точки розрахункового обліку до місця установки КУ, через наявність реактивної складової струму навантаження, за винятком споживання активної потужності конденсаторами:

$$В_{\Delta U} = C_p W_A k_{ек}\left(tg\varphi_{вир.} - tg\varphi\right) - \Delta C Q_{ку},$$

де C_p середньореалізаційний (за розрахунковий період) тариф оплати електроенергії (грн. / кВт·год), W_A- споживання активної енергії за розрахунковий період (кВт·год) , $k_{ек}$. - економічний еквівалент РП, що залежить від кількості ступенів трансформації до точки підключення КУ (орієнтовно дорівнює 0,05, 0,08, 0,12, відповідно при одній, двох або трьох ступенях трансформації), $tg\varphi_{вир.} - tg\varphi$ - різниця коефіцієнтів РП до і після компенсації, ΔC - питомі втрати активної потужності в конденсаторах

(КВт / квар) .

Таким чином, з огляду на (3.3) і (3.4), $В_\Sigma$ розраховують таким чином:

$$В_\Sigma = В_{рп} + В_{\Delta U} = nP_ф tg\varphi_{вир.}\left(C_Q^{ек} + T_m C_W^{ек}\right) + C_p W_A k_{ек}\left(tg\varphi_{вир.} - tg\varphi\right) - \Delta C Q_{ку}.$$

Ефективність використання КУ визначається умовою:

$$В_\Sigma \geq В_{КУ}$$

Річні наведені витрати $В_{КУ}$ на монтаж та експлуатацію КУ:

$$В_{ку} = (1/T_{ок} + A) Q_{ку}\, k_{0.ку}. \ ,$$

де $T_{ок}$ - термін окупності КУ (рік), А- коефіцієнт амортизаційних відрахувань, $k_{0.ку}$ - питома вартість КУ (грн. / квар).

У разі експлуатації нерегульованих КУ необхідно брати до уваги додаткові витрати $В_д$, пов'язані з надмірним підвищенням рівня напруги і складаються з витрат від зайвих втрат активної потужності в КУ і можливих витрат від сплати надбавок до тарифу за генерацію W_Q^e в мережу в години малих навантажень енергосистеми. Величина $В_д$ віднімається від значення $В_\Sigma$, зменшуючи тим самим ефективність використання КУ [5].

Таблиця 1. Співвідношення діапазонів регулювання КУ невеликої потужності

Тип КУ, підприємство-виробник	Потужності КУ, $Q_{ку}$, (квар)	Потужності ступенів регулювання, $Q_{ступені}$ (квар)	Середнє відношення $Q_{ступені}$ ДО $Q_{ку}$
«VEM»	70,110,140	10,20	12,6%
КРМ-0,4 «LOVATO»	35,50,75,100, 112,5, 150	2,5,5,10,12,5,25	16,3%
АКУ 0,4 EPCOS AG (Siemens Matsuchita)	50,75,100,150	10,20	15%

Виділимо величину терміну окупності $T_{ок}$ з виразу (3.7) і розглянемо основні критерії, що визначають його величину:

$$T_{\text{ок}} = \frac{Q_{\text{ку}}\, k_{0.\text{ку}}}{\text{В}_{\text{КУ}} - AQ_{\text{ку}}\, k_{0.\text{ку}}}.$$

Беручи до уваги співвідношення (3.5), бачимо, що $T_{\text{ок}}$ визначається вартістю КУ, що дійсною величиною тарифів на електроенергію C_p і можливої оплати РП . Так само на $T_{\text{ок}}$ впливає характер графіка електроспоживання, при його ущільненні $T_{\text{ок}}$ зменшується. Підвищення T_{max} з 3000 до 6000 годин, можливе при збільшенні змінності роботи підприємства, призведе до зниження $T_{\text{ок}}$ регульованою КУ на 85% . Обробка типових графіків навантаження сільських ТП 0,4 кВ, виконана для найбільш поширених груп споживачів, показала, що значення їх T_{max} знаходиться в межах від 1300 до 3000 годин . Однак, деякі сільськогосподарські споживачі (маслозавод «ПП СІМОЛ») мають коефіцієнт заповнення добового графіка електроспоживання 60-70% .

При цьому для найбільш завантаженого зимового періоду, частки нічного і пікового електроспоживання складають відповідно 30 ... 40%, і 10 ... 15% від сумарного, а значення T_{max} в середньому буде близько 6000 годин, що робить високоефективним установку саме регульованих КУ. Розрахований за даних умов $T_{\text{ок}}$ регульованих КУ, наведених у таблиці 3.1, склав 1,5 ... 1,8 року.

МЕТОДИ ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖІ 0,4 кВ ВІД НЕСИМЕТРІЇ І ПЕРЕТОКІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

У сумарному балансі технологічних втрат при передачі електроенергії з розподільчих мереж 0,4 кВ присутні складові, обумовлені наявністю фазної нерівномірності навантажень - $\Delta W_{\text{фз}}$ і перетікання РП - $\Delta W_{\text{рп}}$. У той же час економічна оцінка цих складових, як правило, є приблизною, через складність обліку всього різноманіття факторів, що характеризують дані режими. Так рекомендується визначати $\Delta W_{\text{фз}}$ за формулою:

$$\Delta W_{\text{фз}} = \Delta W_{\text{А}}(k_{\text{н1}} - k_{\text{н2}}),$$

де $\Delta W_{\text{А}}$ абсолютні втрати електроенергії в мережі 0,4 кВ при відсутності несиметрії; $k_{\text{н1}}$, $k_{\text{н2}}$ - коефіцієнти несиметрії по зворотній або нульовій послідовності до і після вирівнювання навантажень фаз, що визначаються за висловом:

$$k_{\text{н}} = \frac{3(I_A^2 + I_B^2 + I_C^2)}{I_{A+}I_{B+}I_C} \cdot \left(1 + 1{,}5\frac{R_0}{R_{\text{Ф}}}\right) - 1{,}5 \cdot \frac{R_0}{R_{\text{Ф}}},$$

де I_A, I_B, I_C - середні значення струмів фаз за період з 17 до 23 год (не менше трьох вимірів); $R_0/R_{\text{Ф}}$ - співвідношення опорів нульового і фазного дроту .

У сільських розподільних мережах 0,4 кВ з великою часткою комунально-

-побутового електроспоживання і низькою щільністю розподілення ділення однофазних навантажень, втрати від несиметрії об'єктивно високі. При передачі електроенергії по мережах низької напруги втрати потужності в разі нерівномірного розподілу струмів по фазах може бути в три-чотири рази більше, ніж при симетричному режимі . Якщо 8 ... 10 років тому більш 2/3 загального навантаження мереж 0,4 кВ становили трифазні потреби, то в даний час вони складають менш 1/3 . Тому більш точно оцінити величину $\Delta W_{\text{фз}}$ можна через коефіцієнт втрат потужності - $k_{\text{втр}}$, початковий (до симетрування, $k_{\text{рп}}$) і кінцевий (після симетрування або схемного вирівнювання фазних навантажень, $k_{\text{рк}}$):

$$k_{\text{рп}} = \frac{\Delta W_{\text{п}}}{\Delta W_s};\ k_{\text{рк}} = \frac{\Delta W_{\text{к}}}{\Delta W_s},$$

де $\Delta W_{\text{п}}$, $\Delta W_{\text{к}}$ - втрати електроенергії в мережі при початковій і кінцевій величині несиметрії; ΔW_s - втрати електроенергії в тій же мережі при симетричному режимі .

Тоді зниження втрат в мережі за рахунок зменшення коефіцієнта $k_{\text{втр}}$:

$$\Delta W_{NS} = \Delta W_{\text{п}} - \Delta W_{\text{к}} ,$$

а кінцеві втрати - $\Delta W_{\text{к}}$, поле зменшення несиметрії складуть:

$$\Delta W_{\text{к}} = k_{\text{рп}} \cdot \Delta W_s = k_{\text{рп}} \frac{\Delta W_{\text{п}}}{\Delta W_{\text{рп}}} .$$

Підставивши цей вираз в попередню формулу, отримаємо вираз для визначення втрат електричної енергії, обумовлене зниженням коефіцієнтів зворотного -k_{2U} і нульовий - k_{0U} і послідовності в лінії і трансформаторах ТП споживачів:

$$\Delta W_{NS} = \Delta W_{\text{п}} - \frac{k_{\text{рк}}}{k_{\text{рп}}} \cdot \Delta W_{\text{п}} = \Delta W_{\text{п}} \left(1 - \frac{k_{\text{рк}}}{k_{\text{рп}}}\right).$$

Коефіцієнти втрат потужності до - $k_{\text{рп}}^{\varphi}$ і після - $k_{\text{рк}}^{\varphi}$ КРП в мережі, можна уявити як:

$$k_{\text{рп}}^{\varphi} = \frac{1}{cos^2\varphi_{\text{п}}};\ k_{\text{рк}}^{\varphi} = \frac{1}{cos^2\varphi_{\text{к}}},$$

де $cos^2\varphi_{\text{п}}$ і $cos^2\varphi_{\text{к}}$ Значення коефіцієнта потужності до і після компенсації.

Висловивши коефіцієнти втрат через відповідні втрати електроенергії - $\Delta W_{\text{рп}}$ отримаємо вираз для зниження втрат електроенергії в мережі за рахунок КРП, повністю ідентичне (3.14):

$$\Delta W_{\text{рп}} = \Delta W_{\text{п}} - \frac{k_{\text{рк}}^{\varphi}}{k_{\text{рп}}^{\varphi}} \cdot \Delta W_{\text{п}} = \Delta W_{\text{п}} \left(1 - \frac{k_{\text{рк}}^{\varphi}}{k_{\text{рп}}^{\varphi}}\right).$$

Для більш точного визначення втрат, отриманих за попередніми виразами, з ΔW_{NS} і $\Delta W_{\text{рп}}$ слід відняти власні втрати в симетричних або компенсуючих пристроях . Річний економічний ефект ($\text{Е}_{\text{рік}}$) від зменшення несиметрії та КРП в загальному випадку можна визначити за виразом :

$$\text{Е}_{\text{рік}} = \frac{\text{В}_{\text{КУ}}}{T_{\text{ок}}} \cdot (1 - 0{,}12 \cdot T_{\text{ок}}) ,$$

а $T_{\text{ок}}$ буде залежати від обсягу зниження втрат електроенергії [6].

Висновки

1. Після проведення аналізу методів при комплексній компенсації реактивної потужності було виявлено , що найдоцільніше встановлювати конденсаторну установку на промисловому підприємстві (в даному випадку маслозавод «ПП СІМОЛ» .

2. Ефективність техніко-економічних показників роботи КУ визначається сукупністю оптимальних для кожного з вузлів навантаження значень потужності КУ, числа ступенів, місця приєднання і функції регулювання.

3. Сучасне конструктивне виконання дозволяє використовувати регульовані КУ-0,4 кВ при невеликих необхідних значеннях потужності компенсації (150 квар і менш), що характерно для сільськогосподарських споживачів і раніше вважалося неефективним.

Список використаної літератури

1. Мінін Г.П. Реактивна потужність. М .: Енергія. 1978. 88с.

2. Желєзко Ю.С. Застосування технологічних знижок (надбавок) – один із способів зниження тарифів на електроенергію. // Електрика. 2001. №6. G. 12-15.

3. Reactive Power and Distortion Power // Intern. Electro technical Conunission, Technical Committee № 25. Working Group 7. 1979. Document 25. Rep. 113.

4. Красник В.В. Автоматичні пристрої по компенсації реактивної потужності в електромережах підприємств. М .: Вища школа, 1983. 136с.

5. Вказівки щодо компенсації реактивної потужності в розподільних мережах. М .: Енергія, 1974. 73с.

6. Вказівки по вибору засобів регулювання напруги і компенсації реактивної потужності при проектуванні тваринницьких комплексів і електричних мереж сільськогосподарського призначення. Керівні матеріали з проектування електропостачання сільського господарства, 1978. 89с.

УДК 621.31

Кожушко Я. М.
Кафедра електропостачання

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Анотація

В роботі проведено визначення базової та питомої генерації сонячних електростанцій (СЕС), встановлені залежності базової та питомої генерації електроенергії СЕС від кроку між сонячними панелями та кута їх нахилу на прикладі проекту в Одеській області. Для моделювання та аналізу процесів, що протікають у фотоелектричних системах використовувалося програмне забезпечення PVSyst. Для аналізу результатів моделювання використаний пакет "Аналіз даних" MS Excel.

Ключові слова: сонячна електростанція, інвертор, базова генерація, питома генерація, крок між панелями, кут нахилу.

Abstract

The research identified the basic and specific generation of solar power plants (SPP), set up dependence of the SPP basic and specific power generation on the distance between solar panels and their slope, based on the project in Odessa Region. The modeling and analysis of the ongoing processes in the photoelectric systems has been provided by PV Syst software. Analysis of the modeling results has been performed using the "Data Analysis" pack of MS Excel.

Key words: solar power plant, invertor, basic generation, specific generation, distance between the panels, slope.

Вступ

Енергетичною стратегією України до 2030 року [3] та Енергетичною стратегією України до 2035 року [4] передбачається досягнення частки відновлювальних джерел енергії 11% до 2020 року, половина з яких має припадати на СЕС та ВЕС. На сьогодні ця частка, за даними НКРЕКП [6], не перевищує 2%, чому перешкоджає цілий ряд бар'єрів. Поряд з проблемами нормативно-правового характеру та недостатньої пропускної здатності інфраструктури енергомереж, однією з проблем, що стримує інвестиції в галузь сонячної енергетики, є низька доходність проектів (IRR нижче 10%) та занадто високий період їх окупності (більш як 10 років) внаслідок неоптимального розміщення панелей та нераціонального співвідношення між ціною та ефективністю панелей.

Підвищенням ефективності сонячних електроустановок займаються вчені з усього світу [1, 10, 11]. Зокрема, запропоновано встановлювати на установки концентратори сонячної енергії. Також розроблено проекти сонячних електроустановок із слідкуючим приводом для автоматичного орієнтування сонячних панелей відповідно до положення сонця. Одним з недоліків таких установок є їхнє значне подорожчання. В цих роботах не визначалися оптимальні кути нахилу сонячних панелей при їх стаціонарному

розміщенні. Також не встановлений оптимальний крок між панелями для покращення енергоефективності.

Дана стаття присвячена визначенню оптимального розміщення сонячних панелей, що дозволить покращити показники базової генерації, питомої генерації, і як наслідок – підвищити доходність проектів СЕС та скоротити рівень їх окупності.

Мета та завдання роботи.

Мета - підвищення ефективності генерації сонячної енергії сонячними електростанціями. Визначення базової та питомої генерації сонячних електростанцій, встановлення залежності базової та питомої генерації електроенергії СЕС від кроку між сонячними панелями та кута їх нахилу до горизонту на прикладі проекту в Одеській області.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні завдання: проводився підбір найбільш оптимальних варіантів конфігурації проектів сонячних електростанцій, а саме проводився розрахунок базової та питомої генерації сонячних електростанцій для визначеного діапазону кроків між панелями та кутів нахилу, встановлювалась залежність базової та питомої генерації електроенергії СЕС від кроку між сонячними панелями та кута їх нахилу, розраховувались економічні показники проектів (NPV, IRR, ROI), визначались кроки між панелями та кути нахилу, для яких технічні та економічні показники проектів були максимальними.

Матеріали та результати досліджень

Вихідні дані

Дослідження проведено для проекту СЕС Одеської області, з річним рівнем інсоляції 1276,8 кВт*год/м^2, на земельній ділянці площею 20 гектарів.

Проведено розрахунок базової та питомої генерації електроенергії для кроків між панелями від 5,5 м до 10 м, та оптимальних кутів нахилу від 14 до 27 градусів за допомогою програмного забезпечення PVSyst [14], проведено кореляційно-регресійний аналіз та встановлено залежність базової та питомої генерації електроенергії від кроку між сонячними панелями і кута їх нахилу.

Тип панелей: з полікристалічного кремнію, двоповерхові, модель Hanwa Q Cell тип Q/PLUS L-G4/2 330 Si-pole, потужність 330Wp.

Тип інверторів: SMA, тип Sunny Tripower 60-10 TL потужність 60 кВт.

Матеріали досліджень

Результати моделювання в PVSyst представлені в Таблицях 1-2, та на Рис.1-4.
В Таблиці 1 представлені показники базової генерації електроенергії СЕС при різних кроках між панелями кутах їх нахилу, в Таблиці 2 – показники питомої генерації електроенергії. На Рис. 1 представлений графік залежності базової генерації від кроку між панелями, на Рис. 2 – базової генерації від кута нахилу панелей, на Рис. 3 – питомої генерації від кроку між панелями, на Рис. 4 – питомої генерації від кута нахилу.

Таблиця 1. Базова генерація електроенергії СЕС, кВт*год в рік

Кут, град.	Крок між панелями, м									
	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
14	24942	23538	22054	20523	18969	18196	17418	16636	15850	15060
15	24952	23566	22090	20558	19009	18239	17462	16681	15896	15105
16	24952	23586	22125	20599	19053	18283	17508	16727	15942	15150
17	24943	23596	22147	20634	19092	18324	17547	16765	15979	15190
18	24924	23596	22162	20665	19125	18360	17584	16799	16014	15227
19	24899	23588	22168	20680	19146	18387	17614	16829	16042	15257
20	24865	23568	22166	20688	19163	18406	17635	16854	16067	15279
21	24829	23549	22156	20688	19170	18418	17649	16870	16084	15295
22	24778	23519	22135	20683	19172	18429	17663	16886	16101	15313
23	24726	23479	22117	20669	19168	18431	17670	16895	16112	15323
24	24665	23429	22083	20650	19157	18427	17671	16899	16118	15330
25	24600	23380	22047	20625	19141	18416	17666	16898	16119	15332
26	24528	23327	22005	20595	19118	18401	17657	16892	16116	15331
27	24451	23271	21960	20558	19091	18380	17642	16882	16108	15326

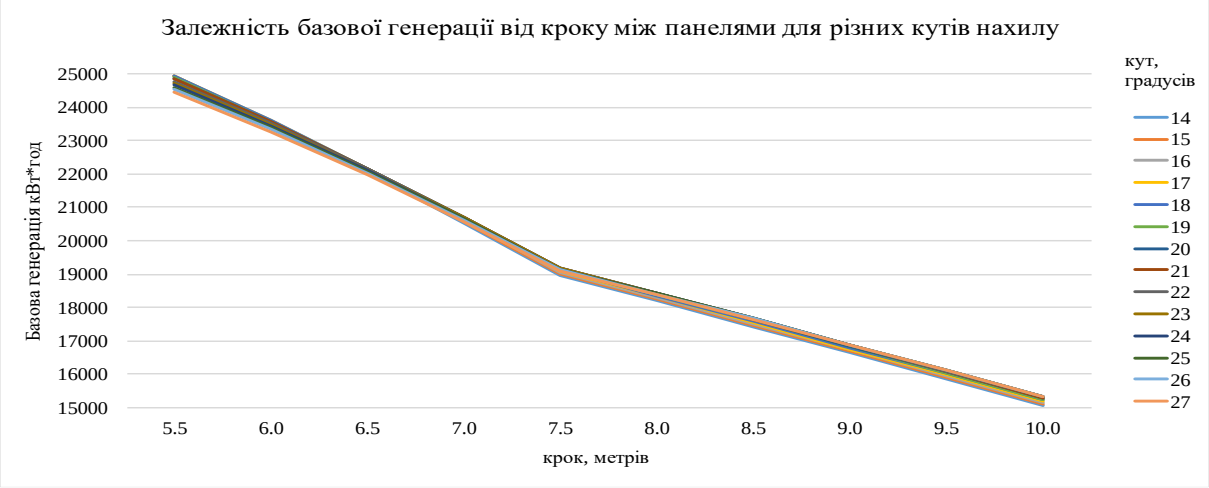


Рисунок 1 – Залежність базової генерації електроенергії від кроку між панелями

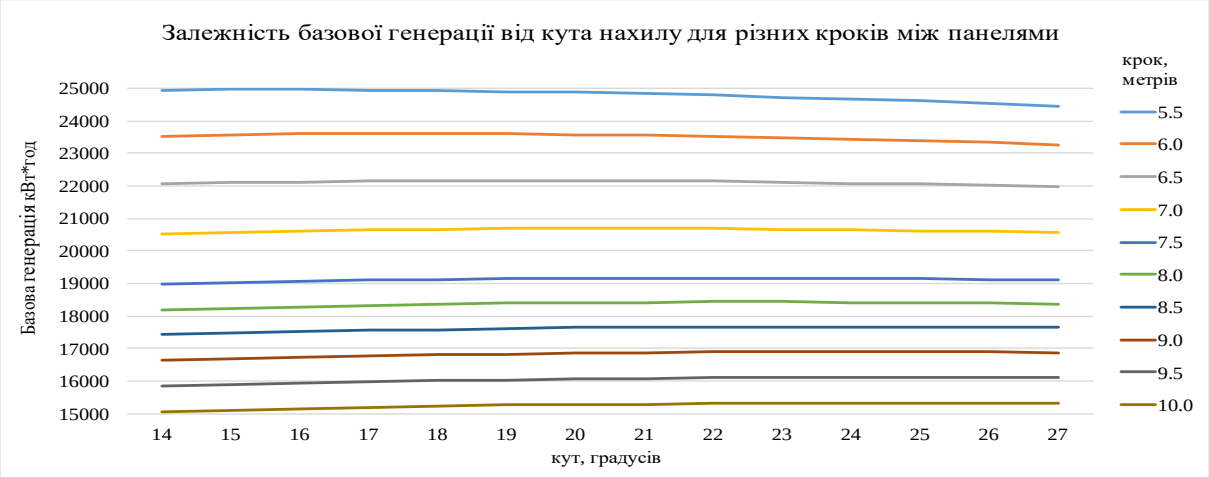


Рисунок 2 – Залежність базової генерації електроенергії від кута нахилу панелей

Таблиця 2. Питома генерація електроенергії СЕС, кВт*год/кВт-пік

Кут нахилу	Крок між панелями, м									
	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
14	1192,9	1200,8	1205,5	1208,1	1209,6	1210,8	1211,7	1212,4	1212,9	1213,1
15	1193,4	1202,2	1207,4	1210,1	1212,2	1213,7	1214,8	1215,7	1216,4	1216,7
16	1193,4	1203,2	1209,3	1212,5	1215,0	1216,6	1218,0	1219,0	1219,9	1220,3
17	1192,9	1203,8	1210,5	1214,6	1217,5	1219,3	1220,7	1221,8	1222,8	1223,6
18	1192,0	1203,8	1211,4	1216,4	1219,6	1221,7	1223,3	1224,3	1225,4	1226,5
19	1190,8	1203,3	1211,7	1217,3	1220,9	1223,5	1225,3	1226,5	1227,6	1229,0
20	1189,2	1202,3	1211,6	1217,8	1222,0	1224,8	1226,8	1228,3	1229,5	1230,7
21	1187,5	1201,4	1211,0	1217,8	1222,5	1225,6	1227,8	1229,5	1230,8	1232,0
22	1185,1	1199,8	1209,9	1217,5	1222,6	1226,3	1228,7	1230,6	1232,1	1233,5
23	1182,6	1197,8	1208,9	1216,7	1222,3	1226,4	1229,2	1231,3	1232,9	1234,3
24	1179,6	1195,2	1207,0	1215,5	1221,6	1226,2	1229,3	1231,6	1233,4	1234,8
25	1176,5	1192,7	1205,1	1214,1	1220,6	1225,4	1229,0	1231,5	1233,5	1235,0
26	1173,1	1190,0	1202,8	1212,3	1219,1	1224,4	1228,3	1231,1	1233,2	1234,9
27	1169,4	1187,2	1200,3	1210,1	1217,4	1223,0	1227,3	1230,3	1232,6	1234,5

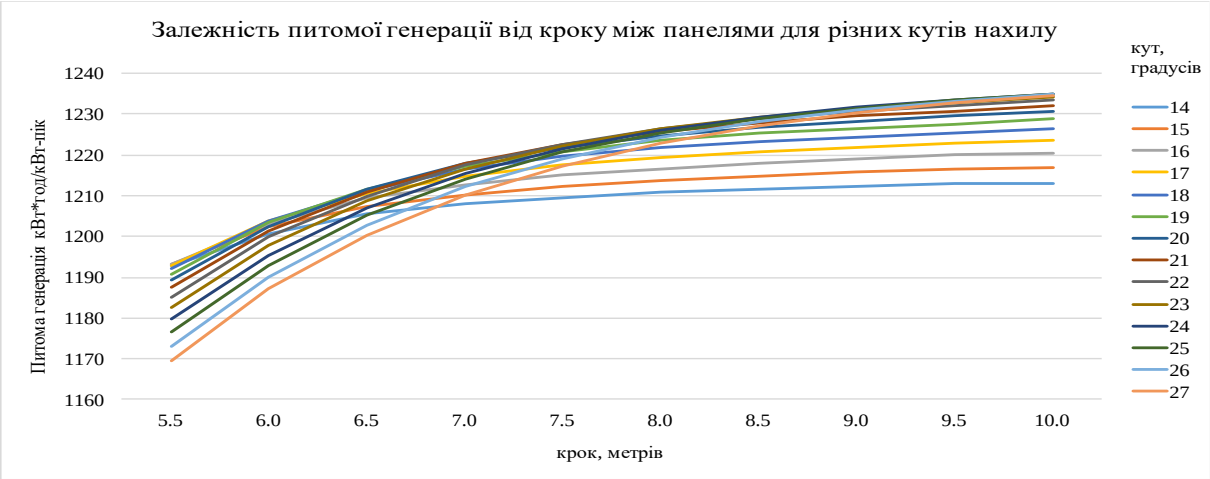


Рисунок 3 – Залежність питомої генерації від кроку між панелями

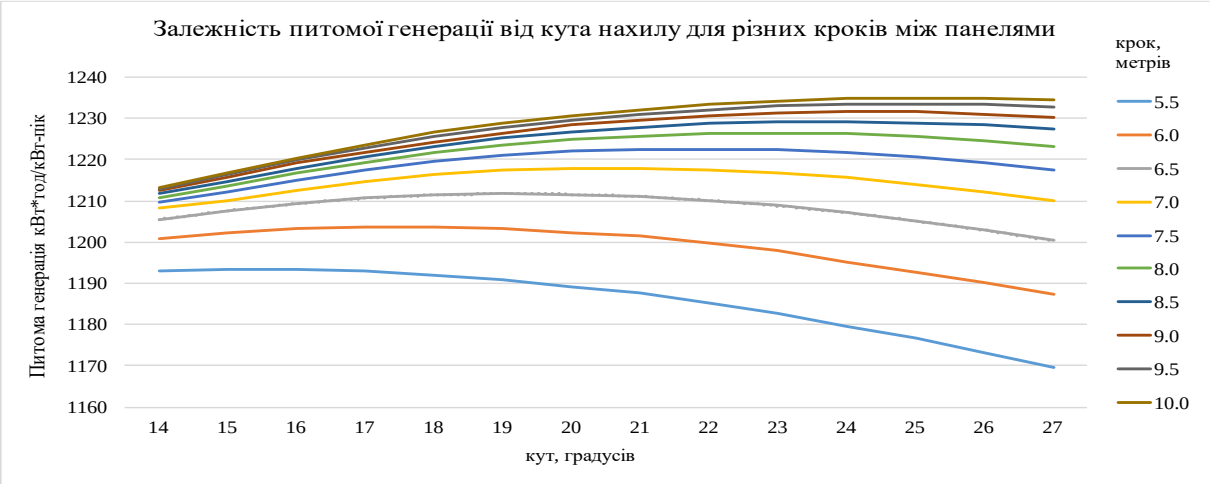


Рисунок 4 –Залежність питомої генерації електроенергії від кута нахилу панелей

Розрахунок економічних показників проекту [13] проведено за допомогою розробленої фінансової моделі MS Excel та аналізу чутливості до зміни обсягів базової генерації, кількості необхідних панелей та інверторів для різних варіантів кроків між панелями з оптимальним кутом нахилу, вони представлені в Таблиці 3. Розраховані наступні показники: NPV (чиста теперішня вартість, на період 11 та 20 років), IRR (внутрішня норма доходності, на період 11 та 20 років), ROI (прибутковість інвестицій, на період 11 та 20 років), DPP (дисконтований період окупності), PP (простий період окупності).

Таблиця 3. Економічні показники проекту для різних кроків між панелями з оптимальним кутом нахилу

Показник	Крок між панелями, м									
	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
Оптимальний кут, градусів	16	18	19	21	22	23	24	24	25	25
Баз. генер., кВт*год	24952	23596	22168	20688	19172	18431	17671	16899	16119	15332
Пит. генер., кВт*год/кВт-п	1193,4	1203,8	1211,7	1217,8	1222,6	1226,4	1229,3	1231,6	1233,5	1235,0
NPV 20 р. млн. євро	3,70	3,52	3,30	3,04	2,77	2,64	2,50	2,36	2,21	2,05
NPV 11 р. млн. євро	1,38	1,33	1,24	1,13	1,00	0,95	0,88	0,81	0,74	0,66
IRR 20 р., %	16,15%	16,20%	16,18%	16,11%	16,00%	15,95%	15,87%	15,78%	15,67%	15,53%
IRR 11 р., %	13,28%	13,34%	13,33%	13,25%	13,12%	13,07%	12,99%	12,89%	12,76%	12,61%
ROI 20 р., %	13,04%	13,08%	13,07%	13,01%	12,91%	12,87%	12,81%	12,73%	12,63%	12,52%
ROI 11 р., %	14,64%	14,69%	14,69%	14,64%	14,56%	14,52%	14,47%	14,40%	14,31%	14,20%
DPP, років	9,409	9,380	9,385	9,419	9,480	9,503	9,542	9,592	9,652	9,725
PP, років	6,693	6,680	6,680	6,693	6,717	6,726	6,741	6,761	6,785	6,814

За допомогою пакету “Аналіз даних” MS Excel виведено основні формули залежностей базової та питомої генерації від кроку між панелями та кута нахилу. Це поліноми шостого ступеню, при цьому R^2 не нижче 0,99964. Наведемо основні з них для кроку 6 метрів та кута нахилу 18 градусів:

- для залежності базової генерації від кроку між панелями, кута 18 градусів: $y = 0{,}2755x^6 – 8{,}5626x^5 + 98{,}907x^4 – 517{,}79x^3 + 1245{,}1x^2 – 2653{,}2x + 26755$; або для кроків від 5,5 до 7,5 м: $y = -1452.9x + 26453$, а для кроків від 7,5 до 10,0 м: $y = -780.37x + 19916$;
- для залежності базової генерації від кута нахилу, крока 6 метрів: $y = 0{,}0001x^6 – 0{,}0049x^5 + 0{,}0585x^4 – 0{,}2239x^3 – 4{,}8411x^2 + 44{,}569x + 23498$;
- для залежності питомої генерації від кроку між панелями, кута 18 градусів: $y = -0{,}0001x^6 + 0{,}0032x^5 – 0{,}0569x^4 + 0{,}6220x^3 – 4{,}6062x^2 + 21{,}9329x + 1174$;
- для залежності питомої генерації від кута нахилу, крока 6 метрів: $y = 0{,}00001x^6 – 0{,}00025x^5 + 0{,}00298x^4 – 0{,}01142x^3 – 0{,}24697x^2 + 2{,}27371x + 1{,}198$.

Також для функції базової генерації виведено наступну формулу залежності як від кроку між панелями, так і від кута нахилу:

– z=35722,92-2112,73x+3,49y, де x – крок між панелями, y – кут нахилу.

Середнє арифметичне відхилення зазначеної лінійної функції від фактичних значень не перевищує 2%.

Висновки

В результаті дослідження встановлено зворотню залежність базової генерації від кроку між панелями. При цьому залежність базової генерації від кроку між панелями можна описати як поліномом шостого ступеню, так і двома лінійними функціями: при кроках від 5,5 до 7,5 м лінійна функція більш стрімка (що викликано вищім рівнем затінення), а при кроках від 7,5 до 10,0 метрів більш полога (через менший рівень затінення). Максимальний обсяг генерації можемо досягнути при кроці між панелями 5,5 м (24942 кВт*год), а мінімальний – при кроці між панелями 10 м (15326 кВт*год). Кут нахилу в меншій мірі випливає на базову генерацію електроенергії, аніж крок між панелями, і описується поліноміальною функцією (поліном шостого ступеню).

Залежність питомої генерації електроенергії СЕС від кроку між панелями пряма і описується поліноміальною функцією (поліном шостого ступеню). Мінімального значення питома генерація (яка по своїй суті є коефіцієнтом ефективності панелей) досягає при кроці 5,5 м (1192,9 кВт*год/кВт-пік), а максимального значення при 10 м (1234,5 кВт*год/кВт-пік). Залежність питомої генерації СЕС від кута нахилу сонячних панелей, теж не є лінійною і описується поліноміальною функцією (поліном шостого ступеню).

Для максимізації обсягів базової річної генерації електроенергії при обмеженій площі та високій вартості земельної ділянки найкраще підійде конфігурація з кроком 5,5 м та кутом нахилу 16 градусів.

Для максимізації питомої генерації електроенергії (коефіцієнта ефективності панелей) при відсутності обмежень по площі земельної ділянки, низькій вартості землі і високій вартості сонячних панелей найкраще підійде конфігурація з кроком 10,0 м та кутом нахилу 25 градусів.

Для максимізації доходності інвестора на капіталовкладення в проекти СЕС (за показниками IRR, ROI, DPP, PP) найоптимальнішим є крок між панелями 6,0 метрів та кут 18 градусів. Для максимізації доходності інвестора (за показником NPV) найоптимальнішим є крок 5,5 метрів та кут 16 градусів.

Використані джерела

1. Базарова Е.Г. Повышение эффективности использования солнечной энергии в энергетических установках с концентраторами: дис. канд. техн. наук: спец. 05.14.08 / Базарова Елена Геннадиевна. Москва, 2008. – 142 с.

2. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. / Г.Б. Двайт - М.: Наука, 1978.-228 с.

3. Енергетична стратегія України до 2030 року, затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №1071.

4. Енергетична стратегія України до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. №605-р.

5. Захидов Р.А. Теория и расчет гелиотехнических концентрирующих систем / [Р.А. Захидов, Г.Я. Умаров, А.А. Вайнер] - Ташкент: ФАН, 1977. -144 с.

6. Огляд розвитку сектору ВДЕ за III квартал 2018 року, НКРЕКП, 28 вересня 2018 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nerc.gov.ua/?news=8023, вільний. – Назва з екрана.

7. Перспективы развития альтернативной энергетики и её воздействие на окружающую среду / [Алексеев В.В., Рустамов Н.А., Чекарев К.В., Ковешников Л.А.] – Москва-Кацивели: МГУ им. Ломоносова, НАН Украины, Морской гидрофизический интститут, 1999. С. 92-129.

8. Пути использования солнечной энергии. / [Алферов Ж.И., Андреев В.М., Задиранов Ю.М. и др.] - Тез. докл. конф. ИХФ АН СССР/ - Черноголовка, 1981, С. 10-11.

9. Стребков Д.С. Энергетические технологии для третьего тысячелетия / Д.С. Стребков. - Энергия: экономика, техника, экология. 2001. №3. С. 25-28.

10. Тхеин Лин У. Исследование и разработка автоматических систем управления мобильных солнечных энергетических установок в условиях длительного затенения: дис. канд. техн. наук: спец. 05.13.06 / Тхеин Лин У. Москва:, 2010. – 158 с.

11. Ярмухаметов У.Я. Солнечные энергетические установки с системой слежения за солнцем для энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: дис. канд. техн. наук: спец. 05.20.02 / Ярмухаметов Урал Рашитович. Москва, 2008. – 178 с.

12. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Application / Charnes A. et al. – Kluwer Academic Publishers, 1994. – p. 3-5.

13. A Primer to Public-Private Partnerships in Infrastructure Development. 4.6. Financial Indicators [Електронний ресурс] // United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific: [офіційний веб портал]. – Режим доступу: https://www.unescap.org/ttdw/ppp/ppp_primer/46_financial_indicators.html/, вільний. – Назва з екрана.

14. PVSyst Photovoltaic Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.pvsyst.com/en/, вільний. – Назва з екрана.

УДК 620.9:658.26

Гаврик Н.В.
Кафедра електропостачання

СИСТЕМА ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ЕЛЕКТРОПЕРЕДВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ

Метою є розроблення теоретичного–методичного інструментарію енергетичного менеджменту на електропередавальній організації, що сприяє реалізації принципів енергоефективності на стратегічному рівні.

Актуальність теми дослідження. Проблеми енергоефективності поряд з підвищенням екологічної безпеки виробництва і посиленням соціальної відповідальності стають основним об'єктом досліджень сучасної теорії і практики управління підприємствами.

Електропередавальна організація на сьогодні веде боротьбу з втратами під час передачі електроенергії, отже, має значний потенціал, як для застосування комплексних технологій енергозбереження, так і для вироблення нових принципів енергоменеджменту, які акцентують увагу на проблемах навчання персоналу і на створенні сприятливого соціально-трудової атмосфери, сприяє розвитку потенціалу в сфері енергетики та підвищення ефективності.

Актуальними залишаються питання вдосконалення універсальних принципів енергоефективності і розробка інструментарію економічного аналізу енергетичної інфраструктури електропередавальних організвцій.

Ключові слова: система енергетичного менеджменту, електропередавальна організація, енергозбереження, втрати електроенергії.

The aim is to develop a theoretical-methodical toolkit for energy management at a power transmission company that promotes the implementation of energy efficiency principles at the strategic level.

Relevance of research topic. Problems of energy efficiency along with increased environmental safety of production and increased social responsibility become the main object of research of modern theory and practice of enterprise management.

Today, the power transmission company is combating losses during the transmission of electricity, therefore, it has considerable potential both for the application of integrated energy saving technologies and for the development of new principles of energy management, which emphasize the problems of personnel training and the creation of a favorable socio-labor atmosphere, promotes capacity development in the field of energy and efficiency.

Issues of improving the universal principles of energy efficiency and developing tools for economic analysis of the energy infrastructure of transmission companies remain pressing.

Key words: energy management system, power transmission organization, energy saving, electric power losses

Вступ. Електропередавальна організація на сьогодні веде боротьбу з втратами під час передачі електроенергії, отже, має значний потенціал, як для застосування комплексних технологій енергозбереження, так і для вироблення нових принципів енергоменеджменту.

Мета та завдання:

1.Дослідити розвиток концепції енергетичного менеджменту в Україні та за кордоном на основі практичного досвіду впровадження СЕМ.

2. Визначити підходи до розвитку СЕМ та стратегії енергозбереження і сформувати особливості цих підходів до електропередавальної організації.

3. Проаналізувати існуючий рівень енергоефективності на ПрАТ «Київобленерго».

4. Розробити стратегію впровадження системи енергетичного менеджменту на основі моделі підвищення енергоефективності підрозділів організації.

Матеріал і результати досліджень. Сфера стратегічного управління енергоефективністю та енергозбереженням є сполучною ланкою між національної та регіональної енергетичної політики і локальними системами енергоменеджменту на підприємствах [1]. Саме тому важливим критерієм реалізації процесів стратегічного менеджменту в галузі планування, організації споживання і контролю енергоресурсів є збалансований аналіз внутрішнього і зовнішнього середовища. Серед факторів зовнішнього середовища велику роль відіграють цінова політика регіональних енергетичних компаній [2], постачальників електричної енергії, динаміка цін на основні промислові енергоносії, такі як нафта і її продукти, газ та вугілля. Тому електропередавальна організація зазнає значні фінансові проблеми, через втрати транспортування електроенергії.

Для більшості сучасних підприємств характерний системний підхід, реалізація якого здійснюється на основі міжнародних стандартів в області енергетичного менеджменту. Найбільш поширеним міжнародним стандартом, який використовується в практиці, є стандарт серії ISO [3], який дозволяє організаціям розробити внутрішні системи і процеси, необхідні для поліпшення енергоефективності. Однією з особливостей механізмів побудови системи енергетичного менеджменту, що лежать в основі стандарту, є їх екологічна спрямованість за умови економії ресурсів підприємств. Стандарт використовується в цілях сертифікації, контролю поточної і стратегічної діяльності та проведення аудиту систем.

Енергетичне планування на стратегічному рівні включає вхідні дані: відомості про надходження електроенергії та корисний відпуск, що застосовуються у районних підрозділах. У ході енергетичного планування також проводиться спеціальний аналіз, метою якого є виявлення та ранжування джерел енергоспоживання за масштабом і ідентифікація шляхів поліпшення енергетичної результативності за даним напрямком.

Енергоменеджмент в українському сьогоденні зі стратегічних позицій здійснюється в несприятливих умовах зовнішнього середовища, пов'язаних з низкою базових проблем в національному енергетичному господарстві. Серед фундаментальних проблем регіональних енергетичних систем відзначаються недостатнє інформаційне забезпечення, застарілі технічні засоби і методики, недостатня підготовленість технічного і диспетчерського персоналу і т.п.

Енергоаналіз - розділ економічного аналізу, що займається визначенням та оцінкою ключових показників ефективності енергоспоживання і енергозбереження в прив'язці до стратегічних цілей і завдань підприємства. Енергоефективність електропередавального підприємства відображає ступінь транспортування електроенергії з найменшими втратами. Одним з ключових показників енергоефективності є енергоємність транспортування, яка визначається як відношення кількості закуплених енергетичних ресурсів до відпущенних енергетичних ресурсів, за які оплачено. За даними внутрішнього аналізу, структура споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) на районних підрозділах ПрАТ "Київобленерго" не

змінювалася в 2017 році по відношенню до 2016 та 2015 роках. Основними споживачами електроенергії є Броварський район (13,17% від загального обсягу споживання), Києво-Святошинський район - споживає 13,44% від загального обсягу та Білоцерцівський підрозділ - 10,61% від загального обсягу.

Втрати електроенергії в електромережі - це витрати електричної потужності при проходженні електричного струму через ЛЕП та електрообладнання системи електропостачання споживачів. У нашій країні втрати в електричних мережах сягають 12-14 %. Перш за все, це обумовлено відсутністю систем обліку, що дозволяє використовувати її майже без обмежень, застарілим обладнанням електромереж, крадіжками обладнання. Глобальною проблемою є градіжки електроенергії шляхом прямої дії на лічильник. Таким приладом є генератор високочастотного струму, використання якого занижає показники використаної електроенергії на 50-70%. Також користується популярністю дооблікове підключення «під штукатуркою».

Енергетичний менеджмент формується на перехресті менеджменту та технологій. Система енергетичного менеджменту підприємств, установ, організацій впроваджується на підставі національного стандарту Системи енергетичного менеджменту ISO 50001:2015. Основою якісного аналізу внутрішнього середовища є побудова спеціального організаційного профілю енергоменеджменту, який дозволяє мотивувати керівників до вдосконалення існуючої системи, показує укрупнені напрямки подібного вдосконалення. Аналіз організаційного профілю ПрАТ «Київобленерго», виконаний на основі авторського дослідження, показав, що підприємство знаходиться на середньому рівні розвитку. В цілому організаційний профіль енергоменеджменту досить низький. За результатами аналізу рекомендовані зміни, спрямовані на перепрофілізацію залучення інвестицій по боротьбі з втратами технічними на комерційні. Важливим напрямком роботи також є створення внутрішньої інформаційної системи, яка дозволила б раціонально вимірювати ефективність досягнуту в різних областях заощадження енергетичних ресурсів.

Перспективним напрямком реалізації процесу стратегічного енергетичного менеджменту є формування енергоефективного людського капіталу, боротьба з постійними втратами електроенергії під час транспортування з ухилом на комерційні втрати. Було запропоновано наступні заходи по боротьбі з втратами: заміна лічильників на підстанції 110/35 кВ на АСКОЕ, вивід прилада обліку на опору, заміна індукційних лічильників на багатотарифні з модулем дистанційного зчитування типу SMART, встановлення антивандальних шаф.

Висновки:

Ключовими проблемами енергетичного менеджменту є подолання низького рівня енергоефективності та підвищення пріоритетів вкладень в різні програми енергозбереження за рахунок раціонального обґрунтування управлінських інвестиційних рішеньОсновою якісного аналізу внутрішнього середовища є побудова спеціального організаційного профілю енергоменеджменту, який дозволяє мотивувати керівників до вдосконалення існуючої системи, показує укрупнені напрямки подібного вдосконалення. У роботі були відображені основні дії з планування, розвитку заходів, які сприяють підвищенню енергоефективності. Зробивши розрахунки можна сказати, що всі запропоновані заходи з енергозбереження є економічно вигідними для підприємства та всередньому мають термін окупності 6 років. Впровадження ключових заходів з енергоефективності, дозволить відобразити результативність інвестицій підприємства в реконструкції і модернізації застарілого обладнання.

Список літератури:

1. Дабдіна О.В., Даниленко О.Г. Про реалізацію державних програм з енергоефективності та енергозбереження –2012. – № 2 (42). – С. 9–18.
2. Окостів В.Р. Інтелектуальні енергетичні системи: технічні можливості та ефективність. / Академія енергетики – №3 (35) . – 2010. – с. 74–82.
3. Стандарт ISO 50001: 2015 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосовування.
4. Основи енергетичного менеджменту: посібник з курсу / Компанія ЕНІЗАН. – М.: 1997. – 55 с.
5. Енергоаудит. Навчальний посібник для слухачів освітніх курсів з енергетичного менеджменту / Державний комітет України з енергозбереження. - Електронний ресурс: http://www.necin.com.ua

УДК 504.064.3

Динька Н.Ю.
Кафедра електропостачання

МОНІТОРИНГ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ ГАЗОВИХ ПЕЧЕЙ

У статті розглянуто питання моніторингу газових печей . Описано важливість харчових виробництв у житті людини. Досліджено сутність поняття моніторингу. Обґрунтовано необхідність застосування множинного регресійного аналізу для кількісної оцінки взаємозалежностей між статистичними ознаками.

Ключові слова: енергоефективінсть, моніторинг , хлібопекарська галузь, кондитерська піч, енергоспоживання, регресійний аналіз.

The article deals with monitoring of gas furnaces. The importance of food production in human life is described. The essence of the concept of monitoring is investigated. The necessity of applying multiple regression analysis for quantitative estimation of interdependence between statistical features is substantiated in order to increase the accuracy of the forecast and reduce the variability of the indicator.

Key words: energy efficiency, monitoring, baking industry, confectioner's oven, energy consumption, regression analysis,

Вступ. Важливе місце в житті людини посідає хлібобулочна продукція, оскільки вона потрібна для задоволення фізіологічних потреб. Хлібопекарська галузь України на сьогоднішній день здатна забезпечити населення різними видами виробів за допомогою своїх виробничих потужностей та механізації технологічних процесів. Оскільки хліб забезпечує добову потребу людини в енергії та потребу рослинного білка, то його харчова цінність має велике значення. У наш час шляхом запровадження новітніх енергоефективних технологій та розробки обладнання, яке відповідає вимогам та потребам сьогодення можливо вирішити проблему підвищення ефективного використання ПЕР. Ця проблема є дуже актуальною, оскільки ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів у нашій країні є низька, а енергоємність внутрішнього продукту, порівняно з розвиненими країнами світу, в три-п’ять разів вища. Сучасна енергетична політика набуває нові риси, стимулює прогресивні структурні зрушення в реальному виробництві та впливає на енергоефективність діяльності. Проблема ефективного управління енергоспоживанням харчових підприємств у сучасних умовах розвитку економіки набуває особливої актуальності оскільки наслідки невірно обраної стратегії та тактичної діяльності підприємства в умовах обмеженості енергетичних ресурсів стають критичними та загрожують існуванню підприємства. Тому, обґрунтування нових аспектів керування енергоспоживанням як основи підвищення енергоефективності й енергозбереження на нинішньому етапі розвитку є дуже актуальним.

Мета та завдання дослідження. Завданням та метою дослідження є побудова регресійної моделі базової лінії для підвищення рівня енергоефективності хлібопекарських виробництв.

Результати дослідження. Одне з важливих місць в житті людини посідає хлібобулочна продукція, оскільки вона потрібна для задоволення фізіологічних потреб. Хлібопекарська галузь України на сьогоднішній день здатна забезпечити населення різними видами виробів за допомогою своїх виробничих потужностей та механізації

технологічних процесів. Оскільки хліб забезпечує добову потребу людини в енергії та потребу рослинного білка, то його харчова цінність має велике значення.

Зважаючи на те, що продукція хлібопекарських підприємств є стратегічною, ринок хліба і хлібобулочних виробів має бути регульованим і прогнозованим. Отже, діяльність хлібопекарських підприємств має бути контрольованою з боку держави, звітні дані таких підприємств мають бути реальними. Сьогодні в Україні функціонує велика кількість продуктових супермаркетів, які спеціалізуються по випуску власної хлібопекарської продукції, однак обсяги її зазвичай не обліковуються, і це є ще одним аргументом недостовірної статистичної інформації.

Хлібопекарська промисловість – одна з найбільших галузей харчової промисловості. Її підприємства оснащені різнотипним обладнанням та виробляють велику кількість різних видів виробів. Важливим питанням даної галузі є використання паливно-енергетичних ресурсів, оскільки при виникненні недоліків в роботі підприємства відбуваються наднормативні втрати ПЕР.

У державній енергетичній політиці в Україні останнім часом все більше уваги приділяється поняттям «енергозбереження» та «енергоефективність».

Енергетична ефективність є одним із пріоритетів в сучасних умовах. Проблема управління енерговикористанням має цілісний характер і вимагає урахування як явних, так і прихованих причинно-наслідкових зв'язків. Забезпечення підвищення загальної ефективності функціонування складної виробничої системи є можливим за умови забезпечення ефективного використання енергоресурсів в усіх її структурних об’єктах.

З розвитком науки та технологій, що супроводжується зміною людських потреб, цінностей та зростанням можливостей, суспільство все частіше стикається з проблемою вичерпності ресурсів, у тому числі енергетичних. З початком першої енергетичної кризи в 1972 році країни Заходу вперше усвідомили необхідність енергозбереження.

У більшості випадків головним чинником підвищення рівня ефективності ПЕР є енергозбереження, тому поняття «енергоефективність» та «енергозбереження» є взаємопов’язаними. Енергоефективність містить не лише напрями енергозбереження, а й непрямі заходи, що призводять до зниження споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Управління енергією є важливою функцією кожної організації. Найкращим рішенням для прямого та швидкого скорочення споживання енергії є енергетичне управління. Протягом останніх декількох десятиліть досліджується альтернативні джерела, такі як енергія сонця, води та біомаси. Проте більше уваги слід приділяти оптимальному використанню енергії, покращенню енергоефективності та якісному управлінню енергетичними ресурсами, а саме вже існуючих джерел та фактичного споживання.

Основними задачами енергоменеджменту є зменшення споживання ПЕР, захист клімату, економія коштів та зменшення витрат на постачання енергії. Одним із способів впровадження енергоменеджменту є ефективне використання енергії для максимізації прибутку шляхом мінімізації витрат. Енергоуправління допоможе заощадити до 70% споживання енергії в будівлях, підприємствах або заводах.

Управління енергією є важливим енергетичним ресурсом, що допоможе задовольнити майбутні енергетичні потреби та стане запорукою економії енергії. Енергетичне управління – це процес моніторингу, контролю та збереження енергії у галузі.

Термін «моніторинг» вперше з'явився у 1972 перед проведенням конференції ООН у Стокгольмі по навколишньому середовищу. Це поняття сприймалося як суто спостереження за станом об'єктів і виявлення негативних тенденцій. З розвитком технологій моніторинг почали трактувати як інформаційне забезпечення процесу прийняття рішень. Під цим розуміється збір загальної інформації про об'єкт та динаміку його розвитку, а також пошук проблем і прийняття управлінських дій щодо їх вирішення і подальшого розвитку об'єкта. Таким чином випливає можливість запобіганню впливу негативних чинників і посилення дії сприятливих факторів.

Слово «моніторинг» походить від латинського слова «monitor» - спостерігати, наглядати, тобто отримувати інформацію для подальших дій.

Моніторинг ефективності енерговикористання створений для забезпечення визначення стану об'єкта, стану організації технологічного процесу , а також створення передумов для підвищення його якості функціонування. Основною задачею є безперервність контролю за об'єктами, отримання результатів спостережень, аналіз та обробка даних та прийняття рішень щодо удосконалення процесу. Одним із важливих інструментів отримання якісної та достовірної інформації є вимірювання. За допомогою якого отримується доступна інформація для спостереження як щодо обсягів енергоспоживання, так і щодо технологічних характеристик підприємсва.

З розвитком новітніх технологій для забезпечення ефективної роботи підприємства процес збору інформації має бути автоматизованим. Відповідно до стандарту ISO 50001 передбачається впровадження автоматизованих систем обліку даних. Їх наявність передбачає контроль над технологічними процесами, що являються частиною моніторингу. Ці системи спрощують збір та обробку параметрів по об'єкту. Зв'язок між пунктами об'єктів управління та центральним сервером підприємства забезпечить підключення до мережі Інтернет. За допомогою WEB-технологій створюються системи обліку енергоспоживання різного масштабу, забезпечується створення великих баз даних. Комп'ютерний моніторинг енергоресурсів дозволяє контролювати енергоефективність кожного об'єкту, а також їх втрати й витрати. Моніторинг може адекватно оцінювати процес на всіх етапах, виявляти ключові показники енергоефективності, а також методи, що вимірюють ці дані, аналізувати позаштатні ситуації та розробляти план дій щодо запобігання повтору подібних проблем надалі.

Дотримуючись усіх принципів моніторингу отримаємо повноцінне і ефективне функціонування системи моніторингу, зокрема принципами енергоефективності та системності. За допомогою принципів оптимальності та достовірності можна зібрати правильні дані для подальшого опрацювання. Для оцінки, аналізу, контролю або прогнозу показників результативності потрібні принципи часової відповідності, компарабельності та гнучкості, принципи конфіденційності та цілеспрямованості.

Після проведення моніторингу фахівці, які зацікавлені у покращенні діяльності підприємства на основі результатів приймають остаточні рішення. Саме ці працівники або власники підприємства є субєктами енергетичного моніторингу. Також ними можуть бути інвестори. Вони приймають рішенння щодо здійснення інвестицій. Основна різниця між ними полягає в тому,що перших цікавать діяльність

підприємства, а других – фінансовий результат.

Обєктом енергетичного моніторингу являються показники діяльності підприємства, що підлягають подільшій обробці.

Метою моніторингу є спостереження за ключовими показниками діяльності підприємства для того щоб своєчасно виявити проблему, а також їх відхилення від безових значень. Мета досягається при виконанні основних завдань моніторингу: збір та обробка даних, контроль ,аналіз та оцінка показників діяльності обєкта, розробка баз даних та ведення значень результативності підприємства.

Енергетичний моніториг розуміють як фіксування споживання ПЕР за окремий період. Реєстреють його з початку спостереження протягом тижня, місяця, кварталу, року та щорічно. Отримані результати порівнюють з цільовими. Якщо виявляють відхилення, то вживають заходи щодо їх уникнення.

Енергетичний моніторинг на підприємстві передбачає такі завдання:

1.Облік кількості та якості енергоносіїв, що використовуються;

2.Аналіз показників енергоємності, що зібрані протягом місяця або року. В результаті встановлюються норми витрати ПЕР на одиницю вироюбленої продукції;

3.Знаходження відхилення від критичних значень у використанні ПЕР по окремим одиницям обладнання або по обєкту в цілому;

4.Розробка пропозицій щодо заходів управління.

При вровадженні енергомоніторигу фахівці підвищують свої навички щодо збереження енергії та стимулюються до відповідальності за виконання поставлених задач. В основному за допомогою моніторингу економія досяється до 8-15%.

Обєктом дослдження є Київський булочно-кондитерський комбінат, створений у 1976 р. на базі хлібозаводу №3, що знаходився на вул. Чорновола, та хлібозаводу №8 на вул. Л. Толстого. Дане підприємвто посідає провідні позиції на ринку кондитерської продукції.

Печі є головним обладнанням кожного хлібозаводу, власне робота печей визначає не тільки асортимент та якість продукції, але й значною мірою впливає на економічні показники підприємства. Хлібопекарські та кондитерські печі є основним технологічним модулем, який обумовлює тип і виробничу потужність підприємств, що виробляється. Промислові печі, застосовувані для випічки хлібобулочних, борошняних кондитерських і спеціальних виробів розрізняються конструкцією, способом обігріву пекарної камери, продуктивністю, асортиментом виробів, що випікаються і т.д. Від правильної експлуатації печей залежить смак і аромат готових виробів. На даному об’єкті найбільше споживання газу зафіксоване в печі моделі ПХС-25

Піч хлібопекарська Г4-ПХС-25М - каркасна, тунельного типу, конвеєрна з сітчастим подом. Складається з восьми секцій. Усередині секцій проходять канали газоходи 10, по яких циркулюють продукти згоряння газу. Всі канали печі знаходяться під розрідженням, створюваним двома відцентровими вентиляторами. Піч має приводний і натяжну станції, на барабанах яких натягнута сітка , виконує роль пода.

Пекарна камера являє собою тунель прямокутної форми. Піч має два незалежних контури обігріву (I і II зони). У першому газовому контурі, що обігріває вхідну ділянку пекарної камери, продукти згоряння, що виходять з топки, змішуються в камері змішання з рециркулюючими газами і охолоджуються до температури 400-600 ° С. З камери змішання через вертикальний газохід гази підводяться в верхні і нижні транспортуючі канали, з яких потім потрапляють в канали обігріву пекарної камери. Другий газовий контур обслуговує середню та вихідну ділянки пекарної камери.

Піч забезпечена парозволожуючим пристроєм, що живиться від парової мережі. . Охолоджені гази відводяться коробом, приєднаним до всмоктуючого патрубка вентилятора рециркуляції. На виході з вентилятора газовий потік розділяється: частина газів видаляється в димову трубу, а частина по горизонтальному газоходу знову прямує в камеру змішання. Пекарна камера обладнана оглядовими вікнами з підсвіткою, витяжними пристроями і заслінками.

Першим кроком при створенні моделі був вибір факторів, які необхідно враховувати при складанні прогнозу і які впливають на прогноз, облік великої кількості чинників при складанні прогнозу підвищує точність прогнозу. Серед безлічі факторів були відібрані ті, які могли впливати на досліджуване значення. Ця оцінка не була остаточною. Можливі ситуації, коли відібраний в процесі аналізу фактор, який, на перший погляд, може мати суттєвий вплив, в результаті розрахунку виявляється малоназначимим. І навпаки, незначний з точки зору фактор в реультат розрахунків показує значний вплив на досліджуваний об'єкт в конкретному випадку. Для більш точного результату необхідно було проаналізувати якомога більшу кількість таких чинників. При цьому увага була приділена їх доступності. Деякі дані легко доступні, наприклад, їх можна витягти з існуючих інформаційних систем, вони зберігаються в архівних базах і прості до отримання. Але є інформація, яку не просто зібрати, в тому числі і інформація за давно минулі роки, які необхідно було вивчити для дослідження динаміки зміни процесів . В результаті експертного відбору факторів вирішено було залишити наступні: хмарність, вологість, атмосферний тиск, день тижня, сезонність, температура повітря, тривалість світлового дня, споживання злектроенергіі в кВт.год Аналіз кореляції факторів показує, що безпосередньо на зміну обсягів електроенергії впливають сезонність, температура повітря навколишнього середовища та тривалість світлового дня. Грунтуючись на цих даних, можна спрогнозувати споживання електроенергії. Другим кроком створення моделі є вибір статистичного методу, який буде використаний в математичної моделі для побудови прогнозу. В даний час статистичних методів відома велика кількість і всі вони мають свої переваги і недоліки.

Вибір статистичного методу - дуже важливий етап в завданні планування і прогнозування. Його необхідно вибирати під завдання і вимоги конкретного підприємства. Неможливо використовувати один метод вирішуючи різні завдання, з різними поставленими умовами. При складанні прогнозів вибирають такий метод, який може враховувати специфіку підприємства і давати прогнози з заданою точністю.

Для цілей аналізу і планування діяльності підприємства широко застосовується регресійний аналіз. Регресійний аналіз - класичний метод стохастичного моделювання господарської діяльності. Він вивчає взаємозв'язки показників господарської діяльності, коли залежність між ними не є строго функціональною і спотворена впливом сторонніх, випадкових факторів. У цих моделях виділяють факторні і результативні показники (ознаки). Регресійний аналіз призначений для вибору форми зв'язку і типу моделі для визначення розрахункових значень залежної змінної (результативної ознаки).

Основним методом для складання прогнозу є методи регресійного аналізу. Цей метод включає в себе методи дослідження регресійної залежності між величинами за статистичними даними. Мета регресійного аналізу полягає у визначенні загального вигляду рівняння регресії, побудові оцінок невідомих параметрів, що входять в рівняння регресії, і перевірці статистичних гіпотез про регресію. У методах регресійного аналізу розрізняють лінійну і множинну регресію. Завдання побудови регресії зводиться до визначення регресійних коэффіцієнтів на основі наявних даних про об'єкт прогнозу і факторів, що впливають на нього. Таким чином, регресійні

методи можуть враховувати вплив широкого набору параметрів на вихідну прогнозну величину енергоспоживання. У той же час отримання прогнозів з допомогою багатофакторних регресійних моделей передбачає незмінність значень коефіцієнтів цих моделей в часі . А, як відомо, в процесі роботи підприємства можлива поява нової інформації, що вимагає коректування значень регресійних коефіцієнтів його прогнозної моделі. Таке коригування є вельми трудомісткою процедурою, що вимагає великої кількості вихідних даних і обсягів обчислень. У ряді випадків вимоги прогнозної моделі до вихідної інформації для реальних спостережень виявляються нездійсненними, тому одержувані оцінки виявляються неффективними, а прогноз - неточним. Досить складною є проблема вибору незалежних факторів, що впливають на споживання для регресійній моделі. Найбільш часто використовувана множинна лінійна модель регресійного аналізу має вигляд:

$$Y_i = a + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_n x_n$$

Де a і b – параметри регресійної моделі

Розглянемо фактори, що впливають на газоспоживання даної печі. На підприємстві працює дві печі типу ПХС-25М. Кожна в середньому на місяць працює 300 годин.

Споживання газу печами ПХС щомісяця протягом року представлена на рисунку 1.

Рисунок 1- Споживання газу печами ПХС

Розглянемо фактори, що впливають на газоспоживання, зведемо їх в таблицю 1.

Таблиця 1 - фактори, що впливають на газоспоживання

	Лінія №61 КБКК	Лінія №62 КБКК	гр/д	аз
	X1	X2	3	
май.17	7166,6	7144,92	3	4026
июн.17	6169,66	5271,53	22	2590
июл.17	6772,2	5615,99	51	3270
авг.17	6741,668	5339,833	97	3220
сен.17	6272,284	5225,768	8	2990
окт.17	7372,415	8005,559	3	5541
ноя.17	7484,288	7922,725	60	6064
дек.17	9352,213	9332,443	58	8896
янв.18	8301,319	7848,373	66	8085
фев.18	8716,183	8879,863	45	8458
мар.18	8040,257	7641,196	32	7896
апр.18	5083,791	5298,791	27	1023
май.18	6987,27	6494,115	62	3734

Результатом обробки даних, за допомогою Excel методом регресійного аналізу, отримана багатофакторна модель матиме вид:

$$Y=1,98X1+1,9X3+113,08$$

Висновок.У ході аналізу було виявлено, що фактор X3 має незначний вплив на результативну ознаку.Дане рівняння показує залежність споживання газу(У) від випуску продукції(X1,X2). Коефіцієнти рівнянь показують кількісний вплив кожного фактора на результативний показник при незмінності інших.

Перелік використаної літератури

1. http://dspace.nuft.edu.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11781/1/10.pdf
2. vestnik-econom.mgu.od.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2015/10-2015/19.pdf
3. energomanagementpro.com [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://energomanagementpro.com/biblioteka/energeticheskij-monitoring.html
4. desktop.arcgis.com/ru [Електронний ресурс] – Режим доступу:

http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/regression-analysis-basics.htm
5. www.economyandsociety.in.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.economyandsociety.in.ua/journal/2_ukr/24.pdf
6. Сєдак В.С. Надежность и качество процесов регулирования современніх систем газоснабжения: монографія/ В. С. Сєдак, В.Н, Супонєв, Н.Д. Каслін та ін.: під заг. ред. В. С. Седака.
7. by.odb-office.eu [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://by.odb-office.eu/files/docs/Monitoring-i-ocenka.pdf
8. msn.khnu.km.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу:https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/246946/mod_resource/
9. pravo.gov.ru [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?doc_itself=&backlink=1&nd=102167112&page=1&rdk=1#I0
10. studopedia.su [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://studopedia.su/10_136318_pechi-hlebopekarnie-marki-phs-m-phs-m.html
11. Печи хлебопекарного и кондитерского производств : (Устройство и эксплуатация) / А. А. Михелев, А. В. Володарский. - Киев : Техніка, 1974. - 184 с

УДК 62.51

Парфененок Д.Ю.
Кафедра електропостачання

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

В науковій статті розглянуто декомпозицію задачі управління режимами електроспоживання промислового підприємства, задачу визначення величини максимальної активної півгодинної потужності, рекомендованої для заяви підприємством енергосистемі; задачу побудови нормативних графіків активного навантаження підприємства і енергоємних підрозділів; задачу регулювання активної півгодинної потужності підприємства; задачу регулювання реактивної потужності підприємства; задачу підтримки напруги в вузлах електромережі підприємства в межах встановлених норм.

Сформовано загальні висновки по виконаній роботі, згідно тематики дослідження.

Ключові слова: активна півгодинна потужність, режими електроспоживання, промислове підприємство, споживач, автоматичне регулювання, електрична енергія.

The scientific article deals with the decomposition of the problem of control modes of power consumption of an industrial enterprise, the problem of determining the maximum active half-hour power recommended for the application of the enterprise power system; the problem of building regulatory schedules of the active load of the enterprise and energy-intensive units; the problem of regulating the active half-hour power of the enterprise; the problem of regulating the reactive power of the enterprise; the problem of maintaining the voltage in the nodes of the enterprise within the established norms.

The General conclusions on the work performed, according to the subject of the study.

Keywords: active half-hour power, power consumption modes, industrial enterprise, consumer, automatic adjustment, electric energy.

ВСТУП

Особливої актуальності автоматизація управлінням режимами електроспоживання промислового підприємства набуває в умовах дефіциту потужності в енергетичній системі. В цьому випадку промислове підприємство несе збитки в результаті вимушених відключень технологічного обладнання, яке безпосередньо бере участь у виробничому процесі.

На величину активної півгодинної (усередненої за 0,5 години) потужності (навантаження) підприємства енергетичною системою встановлює обмеження, в якості якого в нормальних умовах функціонування підприємство виступає поквартально заявленою ним в енергосистемі максимальна півгодинна потужність.

Якщо максимальне за добу активне півгодинне навантаження підприємства в години максимуму енергетичної системи протягом кварталу перевищує заявлену, то підприємство зазнає примусового відключення (одного або декількох введень електроенергії в підприємство). Підприємству не вигідно занижувати значення

заявлявленої потужності, так як при її завищенні підприємством оплачується фактично невикористана потужність.

У зв'язку з вищевикладеним виникає задача визначення оптимального значення заявленої в енергосистемі активної півгодинної потужності (обмеження по активній потужності) і регулювання величини активної потужності з метою запобігання її виходу за встановлене обмеження (заявлену в енергосистемі максимальну півгодинну потужність або більш жорстке обмеження, встановлене енергосистемою в зв'язку з дефіцитом генеруємої потужності). Для оперативного управління активним навантаженням використовуються спеціально виділені споживачі-регулятори (СР) електричної енергії підприємства. В якості СР зазвичай використовуються окремі енергоємні споживачі і групи споживачів електроенергії, для яких по умовах їх експлуатації можливі короткочасні перерви в електропостачанні. Відключення здійснюються шляхом впливу на комутаційний аппарат СЕПП.

Тимчасове відключення установок споживачів електричної енергії може здійснюватися також енергосистемою в умовах виникнення аварійних режимів в їх роботі і в випадках необхідності прийняття невідкладних заходів із запобігання або ліквідації аварії в системі.

Для забезпечення економічно-вигідних режимів функціонування енергосистема встановлює обмеження на рівень реактивної потужності споживачів електроенергії: максимальне і мінімальне значення реактивної потужності. Дані обмеження зазвичай диференціюються за часом доби (є функціями поточного часу).

Напруга на затискачах електроприймачів при цьому не повинна виходити за допустимі межі: максимальне і мінімальне значення, установлені нормативними документами (коливання напруги на електропровідниках допускається, як правило, в межах ± 5% або від -5% до +10 % від номінальної напруги).

Необхідно також прагнути до мінімізації втрат електроенергії в електричній мережі, що виникають в ній через перетоки реактивної енергії. До недавнього часу завданням управління режимами електроспоживання промислового підприємства вирішувалися за рахунок організаційно-технічних заходів з мінімальним залученням технічних засобів, таких як енергодиспетчерський щит, дистанційне керування комутаційної апаратурою СЕПП, селекторний зв'язок,, локальна автоматика.

В даний час здійснюється перехід до використання в енергетиці підприємств апаратно-програмних засобів. У зв'язку з бурхливим розвитком обчислювальної техніки широке поширення отримали методи штучного інтелекту (ШІ), зокрема, штучні нейронні мережі (ШНМ) і генетичні алгоритми (ГА), використані як новий напрямок для вирішення завдань оптимізації, синтезу і управління в електроенергетиці .

Розвиток теорії штучного інтелекту показало, що інтелектуальні системи на основі нейронних мереж дозволяють з успіхом вирішувати проблеми розпізнавання образів, виконання прогнозів, оптимізації, асоціативної пам'яті та управління.

Завдання управління реактивною потужністю в процесі експлуатації електромереж підприємства пов'язані з найбільш повним і економічним використанням наявних коштів. В процесі поточних змін параметрів режиму електричної мережі потрібно проводити відповідні заходи, що поліпшують режим реактивного електроспоживання. При цьому оптимізація режиму реактивного електроспоживання підприємства повинна здійснюватися по одному або декільком критеріям, з виконанням великої кількості обмежень і з урахуванням взаємодії даного завдання з іншими тісно пов’язаними з нею завданнями.

Основною функцією, яка реалізується існуючими АСКУЕ, є отримання достовірної інформації про кількість електроенергії і потужності, відпущеної енергопостачальною організацією, розподіленої по виробничим підрозділам підприємства і спожитої ним. Ця інформація дозволяє промисловому підприємству: здійснювати контроль активних і реактивних навантажень (в тому числі, усереднених за різні інтервали часу) і електроспоживання окремих споживачів і підприємства в цілому в реальному часі; визначати всі складові балансу електроенергії підприємства з метою подальшої їх оптимізації.

Деякі АСКУЕ реалізують завдання прогнозування електричного навантаження підприємств і здійснюють автоматичне регулювання споживаної ними потужності в години максимуму енергосистеми.

Однак для прогнозування використовуються найпростіші лінійні і квадратичні регресивні моделі, які не забезпечують необхідної точності результатів прогнозу в умовах функціонуючої електроенергетики підприємства. Управління активним навантаженням, в кращому випадку, здійснюється шляхом реалізації жорстко встановлених пріоритетів у відключенні електрообладнання підприємства, що в умовах глибоких обмежень по навантаженню малоефективне.

Для багатьох задач управління електроенергетикою промислового підприємства характерна повторюваність, стандартність застосування в тих чи інших виробничих ситуаціях, що є їх істотною особливістю, що дозволяє уніфікувати і типізувати як самі завдання, так і одержувані за допомогою їх вирішення.

Непередбачені випадкові обурення, що діють на об’єкт управління і систему управління, можуть привести до аварійних ситуацій і зниження оптимальних показників якості роботи системи. У таких випадках діють швидкодіючі пристрої автоматики і захисту, локалізуя область і розмір можливої аварії. Реєстрація та класифікація, відповідних їм ситуацій необхідна для навчання та адаптації моделей, наприклад, за допомогою штучних нейронних мереж.

Метою цієї статті є підвищення ефективності управління режимами електроспоживання промислового підприємства за рахунок автоматизації процесу управління ними на основі використання сучасних технічних засобів, математичних моделей і методів.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішуються такі основні задачі:

1) Декомпозиція задачі управління режимами електроспоживання промислового підприємства;
2) Задача визначення величини максимальної активної півгодинної потужності, рекомендованої для заяви підприємством енергосистемі;
3) Задача побудови нормативних графіків активного навантаження підприємства і енергоємних підрозділів;
4) Задача регулювання активної півгодинної потужності підприємства;
5) Задача регулювання реактивної потужності підприємства;
6) Задача підтримки напруги в вузлах електромережі підприємства в межах встановлених норм.

1. Декомпозиція задачі управління режимами електроспоживання промислового підприємства

Відповідно до інформаційно-логічної схеми основний зміст завдання управління режимами електроспоживання підприємства складають :

• завдання визначення величини максимальної активної півгодинної потужності, рекомендованої для заяви підприємством енергосистемі;

• завдання побудови нормативних графіків активного навантаження підприємства і енергоємних підрозділів;
• завдання регулювання активної півгодинної потужності підприємства;
• завдання регулювання реактивної потужності підприємства;
• завдання мінімізації втрат в електричній мережі підприємства від перетоків реактивної потужності;
• завдання підтримки напруги в вузлах електромережі підприємства в межах встановлених норм.

Задача визначення величини максимальної активної півгодинної потужності, рекомендованої для заяви підприємством енергосистемі.

На величину активної півгодинної потужності (навантаження) підприємства енергетичної системи встановлюється обмеження $P_{обм}$, в якості якого в нормальних умовах функціонування підприємства виступає поквартально, заявлена ним в енергосистемі потужність $P_{S\,jk}$ (j = 1,4 - поточний номер кварталу; k = 1, К - порядковий номер року).

Якщо максимальне за добу активне півгодинне навантаження підприємства в години максимуму енергетичної системи протягом кварталу перевищує $P_{S\,jk}$ то підприємство сплачує енергосистемі штраф або зазнає примусового відключення (одного або декількох введень електроенергії в підприємство). Тому підприємству невигідно занижувати значення заявленої потужності. При завищенні цієї потужності підприємством оплачується фактично невживана потужність. При цьому воно також зазнає збитків. Виникає запитання щодо визначення величини максимальної активної напівгодинної потужності, рекомендованої для заяви підприємством енергосистемі.

Задача побудови нормативних графіків активного навантаження підприємства і енергоємних підрозділів.

Нормативні графіки активного навантаження є плановими траєкторіями споживання електроенергії виробничими підрозділами і підприємством в цілому. Регулювання режиму активного електроспоживання пропонується виконувати на основі побудови і відстеження з мінімальним збитком даних графіків для виробничих підрозділів і промислового підприємства в цілому.

Нормативні графіки навантажень для споживачів електроенергії будуються шляхом усереднення ансамблів реалізацій навантажень по ним за минулий період (як правило, місяць, квартал).

Оптимізація режимів електроспоживання досягається за рахунок дотримання енергоємними підрозділами і підприємством встановлених для них нормативних графіків навантажень.

Задача регулювання активної півгодинної потужності підприємства.

Особливої актуальності автоматизація управління електроспоживання підприємства набуває в умовах дефіциту потужності в енергосистемі. В цьому випадку промислове підприємство несе збитки в результаті вимушених відключень ТО, яке безпосередньо бере участь в виробляючому процесі.

З метою виключення перевищення активної півгодинної (усередненої за 0,5 години) потужністю підприємства $P\ (t)$ обмеження $P_{обм}$, встановленого енергосистемою, через фіксовані проміжки часу Δt проводиться контроль значень цієї потужності енергетичної службою підприємства. При попаданні $P\ (t)$ в область $(1\text{-}\delta)P_{обм} \le P(t) \le P_{обм}$ (величина δ зазвичай становить 0,05) виникає необхідність в заходах з регулювання активного навантаження шляхом зміни режимів роботи спеціально виділених електроприймачів споживачів-регуляторів активного електричного навантаження підприємства.

При вирішенні даного завдання вибір споживачів-регуляторів електричного навантаження здійснюється за критерієм мінімуму шкоди для промислового підприємства:

$$y\ (\Delta P,\ t_{обм}) \text{ —» } \min,$$

де y - збиток, який несе промислове підприємство в результаті регулювання активного навантаження; ΔP - глибина зниження навантаження підприємством; $t_{обм}$- тривалість перебоїв в електропостачанні електроприймачів.

В якості обмеження при цьому виступає кількість перемикань електричної мережі підприємства.

До збитку призводить не тільки зміна режимів роботи основного та технологічного обладнання. Тривале і часте відключення допоміжного обладнання також може призводити до істотного розладу ТП. Так відключення синхронних електродвигунів компресорів приводить до перерви ТП. Тривалість перерви ТП складається з часу, необхідного на наступний пуск обладнання і часу доведення технологічного режиму до номінального рівня.

Відключенню, в першу чергу, підлягають електроприймачі виробничих підрозділів, які порушили заданий режим електроспоживання.

Якщо $P(t) < (1\text{-}\delta)\ P_{обм}$ і не всі СР (споживачі-регулятори) електричного навантаження включені, то виконується аналіз можливості їх підключення і якщо це можливо, вибір підключаючих електроприймачів. В першу чергу підключається обладнання, від відключення якого збиток максимальний.

Прийняття остаточного рішення щодо зміни режимів роботи ТО здійснюється енергодиспетчером служби головного енергетика в контексті з рішенням інших завдань управління електроспоживання.

Для виключення участі в зниженні активного навантаження одних і тих же електроприймачів, передбачається тимчасове виключення їх зі складу СР електричного навантаження підприємства. Тимчасова заборона на використання цих електроприймачів для регулювання активного навантаження підприємства накладається диспетчером промислового підприємства.

В неординарних ситуаціях на електроенергетичних об'єктах підприємства рішення енергодиспетчером приймаються на основі рекомендацій, виданих експертної системою.

Для вирішення завдання використовуються наближені методи цілочисленого програмування і генетичні алгоритми .

Задача регулювання реактивної потужності підприємства.

Реактивна потужність промислового підприємства з дискретним і дискретнобезперервним характером виробництва, як показав аналіз становить 70-90% від активного навантаження. Максимуми активного і реактивного навантаження для підприємства, як правило, або дещо зміщені, або практично збігаються. Дана обставина дозволяє в багатьох випадках використовувати для управління реактивним навантаженням вже розроблені для управління активним навантаженням моделі і методи, зокрема, процедури оперативного прогнозування навантаження, визначення лімітів (обмежень) його споживання (генерування) і ін.

Для забезпечення економічно вигідних режимів функціонування енергосистема встановлює обмеження на рівень реактивної потужності споживачів електроенергії: максимальне $Q_{макс}(t)$ і мінімальне $Q_{мін}(t)$ значення реактивної потужності. Дані обмеження зазвичай диференціюються за часом доби (є функціями поточного часу t) •

Задача мінімізації втрат в електричній мережі підприємства від перетоків реактивної потужності.

Необхідно також прагнути до мінімізації втрат електроенергії в електромережі підприємства, що виникають в ній через перетікання реактивної електричної потужності. При цьому для регулювання реактивного навантаження промислового підприємства можуть бути використані нерегульовані (НБК) і регульовані (РБК) батареї статичних конденсаторів, тиристорні ІРМ, синхронні компенсатори (СК). Найбільшого поширення в даний час для регулювання реактивного навантаження на середніх і великих промислових підприємствах з дискретним і дискретно безперервним характером виробництва отримали РБК. Це обумовлено багато в чому економічними міркуваннями і простотою реалізації управління.

До того ж використання РБК для регулювання реактивного навантаження на підприємстві зазначеного типу робить це регулювання відносно автономним, в мінімальному ступені залежним від інших параметрів електропостачання підприємства, його виробничого процесу. Завдача вирішується за допомогою наближених методів цілочисельного програмування.

Задача підтримки напруги в вузлах електромережі підприємства в межах встановлених норм.

Напруга на затискачах електроприймачів при цьому не повинна виходити за допустимі межі: максимального $U_{макс}$ і мінімального $U_{мін}$ значення, встановлені нормативними документами (коливання напруги на електроприймачах допускається, як правило, в межах ± 5% або від -5% до + 10% від номінальної напруги). Вихід напруги за ці межі нерідко призводить до значних збитків для промислового підприємства.

Відхилення напруги в даний час, переважно, підтримується за рахунок зміни коефіцієнтів трансформації трансформаторів на ТП і засобів локального регулювання реактивної навантаження за допомогою ШРМ.

Останній спосіб підтримки напруги в вузлах електромережі підприємства в допустимих межах обумовлений тим, що значення напруги сильно корельовано із реактивною потужністю.

Загальновідомо, що зниження напруги тривалістю 0,3 с і більше може викликати зупинку синхронних електродвигунів компресорів. Зупинка компресорів призводить до порушення нормального ходу виробничого процесу.

Підтримка напруги і регулювання реактивної потужності в вузлах електромережі підприємства з огляду на їх сильну взаємозалежність доцільно здійснювати в рамках однієї задачі.

При реалізації наведених вище задач автоматизованого управління електроспоживання промислового підприємства необхідно мати на увазі, що результати їх вирішення тісно пов'язані між собою.

Так, наприклад, при регулюванні активної потужності промислового підприємства змінюється її реактивна складова, напруга на затискачах електроприймачів і характер електроспоживання. Тому з метою погодження результатів вирішення цих завдань необхідно їх спільний розгляд.

ВИСНОВОК

Основні результати виконаних досліджень можна сформулювати наступним чином:

Проведено аналіз існуючих методів, моделей і технічних засобів управління режимами електроспоживання промислового підприємства, який показав, що вони мають недостатньо високою ефективністю і не можуть в повній мірі задовольнити постійно зростаючі вимоги до якості управління. Одним із шляхів підвищення якості управління режимами електроспоживання промислового підприємства є впровадження

на основі системного аналізу об'єктів управління досконалих математичних моделей, методів і засобів управління.

Перелік використаної літератури

1. Серков А.Б. Про порядок обмеження або тимчасового відключення потреб-телей електричної енергії / А.В.Серков // Енергетик. 2000. №8. С. 10
2. Автоматизація диспетчерського управління ЄЕК Росії / В.Г.Орнов, В.І. Решетов, Ю.І.Моржин, Д.С. Савваітов // Енергетик. 2001. №2. С.8-10.
3. Лысюк С.С. Автоматизована система диспетчерського управління Гродненських електричних мереж / С.С. Лысюк // Енергетик. 1997. №8. С.19-20.
4. Кустов А.А. Автоматизація управління раціональним електропотреблем-нием / А.А.Кустов. М .: Наука, 1990.282 с.
5. Еремин ЛІ.М. Очерки з електроенергетики Японії / Л.М.Еремін // Енер-гетик. 2000. № 8. С. 17-20.
6. Еремин ЛІ.М. Очерки з електроенергетики Японії / Л.М.Еремін // Енер-гетик. 2001. №2. С.14-16.
7. Степура І.І. Про деякі можливості регулювання електропотребле-ня заводу / І.І.Степура // Промислова енергетика. 1975. №3. С. 28-31.
8. Антоневич В.Ф. Автоматизація обліку і контролю споживання електро-енергії на промислових підприємствах / В.Ф.Антоневіч // Автоматизовані системи управління в енергогосподарстві промислових підприємств: Матеріали конф. М., 1976. С. 103-106.

УДК 631.171

Соколенко О.О.
Кафедра електропостачання

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПТАХОФАБРИКИ

В науковій статті розглянуто розробку методики багатокритеріальної оцінки безлічі заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності системи теплопостачання птахофабрики з використанням методів багатокритеріального аналізу (МАІ і АСФ) для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів в СТПП.

У першому розділі застосування методу МАІ для вирішення задачі оптимізації споживання теплової енергії в системі теплопостачання птахофабрики.

У другому розділі розглянуто застосування методу АСФ для вирішення задачі оптимізації споживання теплової енергії в системі теплопостачання птахофабрики.

Сформовано загальні висновки по виконаній роботі, згідно тематики дослідження.

Ключові слова: енергетичні витрати, багатокритеріальна оцінка, метод МАІ, метод АСФ, підвищення енергетичної ефективності, заходи з енергозбереження, системи теплопостачання птахофабрики.

The article deals with the development of the methodology of multicriteria estimation of the set of energy saving measures and energy efficiency improvement of the poultry farms system with the use of multicriteria analysis methods (MAI and ASF) for assessing the effectiveness of energy saving measures in the STPP.

In the first section of the application of the MAI method for solving the problem of optimization of heat energy consumption in the poultry supply system.

In the second section, the application of the ASF method for solving the problem of optimization of heat energy consumption in the heat supply system of the poultry farm is considered.

The general conclusions about the performed work are formed according to the research topic.

Key words: energy expenditures, multicriteria assessment, MAI method, ASF method, energy efficiency improvement, energy saving measures, poultry farms system.

ВСТУП

Високі енергетичні витрати знижують конкурентоспроможність і інвестиційну привабливість економіки країни. Зниження енергоспоживання, для можливості конкурування з іноземними виробниками, є одним з найважливіших умов сучасної ринкової економіки.

Для інвестиційної оцінки заходів з енергозбереження необхідна розробка об'єктивних методів багатокритеріальної оцінки енергетичної ефективності - енергозбереження по приватним показниками енергоефективності (наприклад, витрати на придбання та обслуговування) не дають системних оцінок. Потрібно вдосконалення

методів комплексного аналізу заходів з енергозбереження за різними критеріями якості - технологічним, економічним, споживчим та екологічним.

Значним потенціалом з енергозбереження в нашій країні мають системи теплопостачання. Це пов'язано з високим ступенем зношеності генеруючого обладнання, теплових мереж та огороджуючих конструкцій будівель.

Актуальною є проблема багатокритеріальної оцінки заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності в системах теплопостачання промислових підприємств.

Метою цієї статті є розробка методики багатокритеріальної оцінки безлічі заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності. Формування складу критеріїв і альтернатив, спрямованих на підвищення ефективності СТПП.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішуються такі основні завдання:

- розробка математичної моделі оптимізації споживання теплової енергії в системі теплопостачання птахофабрики;
- розробка методики багатокритеріальної оцінки безлічі заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності;
- використання методів багатокритеріального аналізу (МАІ і АСФ) для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів в СТПП.

Функціонування та подальший розвиток теплоенергетичних систем вимагає вирішення широкого кола завдань. Пріоритетними є: мінімізація питомих витрат енергоресурсів, забезпечення споживача тепловою енергією, необхідної кількості і якості, і підвищення екологічної безпеки.

При величезному обсязі вихідних даних і наявності безлічі приватних цілей розвитку енергетичних систем існують різні рішення сформованих завдань. При цьому стоять завдання вибору серед можливих альтернативних рішень (які істотно складні з огляду на те, що теплоенергетичні системи, як правило, характеризуються відсутністю достатньо повної інформації як про них самих, так і про їх взаємодію з іншими системами) оптимального.

Будь-яке енергетичне обстеження промислового підприємства починається з побудови моделі досліджуваного підприємства. Для вирішення завдання побудови моделі СТПП необхідно спочатку відобразити статичний стан системи, для цього зробити вивчення структури паливно-енергетичної системи, виконати аналіз її компонентів і виявити взаємозв'язки між окремими елементами.

Далі для визначення динамічного стану системи необхідно провести збір даних про функціонування системи і досліджувати її енергетичні та інформаційні потоки (виміри параметрів теплоносія, мікроклімату в приміщеннях, вивчення структури обліку енергетичних ресурсів).Після виконання двох вище описаних етапів, для дослідження і аналізу виробничої системи необхідно побудувати адекватну формалізовану модель. Вибір типу моделі залежить від попередньо узгодженого з замовником технічного завдання на виконання робіт.

На сучасному етапі дослідження складних виробничо-економічних систем широко використовуються наступні типи математичних моделей [2, 3]:

- функціональні моделі, що описують поведінкові властивості виробничих об'єктів;
- процедурні моделі, що визначають порядок і послідовність протікання виробничих процесів;

- моделі елементарних процесів, що описують зв'язки між внутрішніми і зовнішніми параметрами і характеристиками об'єкта;
- функціонально-вартісні моделі, що визначають залежність між виробничо-технологічними цілями управління об'єктом і економічними показниками діяльності;
- балансові моделі, що описують систему балансів виробництва і розподілу продукції.

Після того як модель побудована, засвідчується її схожість з реальною досліджуваної системою. З цією метою виконується ряд операцій: перевірка адекватності моделі, процесу або об'єкта для яких вона побудована, перевірка несуперечності, невизначеності, чутливості, реалістичності і працездатності моделі.

Завдання формування критеріїв вирішується безпосередньо після того, як сформульовані цілі енергетичного обстеження. Зазвичай формування критеріїв відображає мету, яку ставить замовник (птахофабрика).

Грошові, матеріальні та часові ресурси, це стандартні критерії та обмеження які враховуються при проведенні енергетичного обстеження.

Наступний етап, енергетичного обстеження є створення безлічі можливих способів досягнення сформульованої мети - альтернатив. Труднощі етапу обумовлена необхідністю створення досить повного безлічі альтернатив. На даному етапі становиться перелік організаційних і технічних заходів з енергозбереження та підвищення енергоефективності, які можуть бути впроваджені на обстежуваному підприємстві.

Після ретельного опрацювання проблемної ситуації настає завершальний етап - етап прийняття рішення. Процедура прийняття рішення являє собою дію над безліччю заходів з енергозбереження та підвищення енергоефективності, в результаті якого виходить підмножина вибраних заходів які задовольняють встановлені критерії і обмеження.

Після вибору підмножини альтернатив дані заходи включаються в інвестиційну програму або енергосервісний договір з модернізації системи теплопостачання птахофабрики для виділення коштів на їх реалізацію.

Таким чином, етапи створення повного безлічі заходів з енергозбереження та прийняття рішення щодо вибору їх оптимальної підмножини при проведенні енергетичного обстеження птахофабрики є ключовими для замовника. На підставі ефективності виконання даних етапів можна оцінити якість робіт з проведення енергетичного обстеження та досягти максимального зниження споживання енергетичних ресурсів на підприємстві.

1. Застосування методу МАІ для вирішення задачі оптимізації споживання теплової енергії в системі теплопостачання птахофабрики.

Метод аналізу ієрархій (МАІ) знайшов широке застосування в задачах багатокритеріального прийняття рішень, стратегічного планування та розподілу ресурсів, а так само в задачах вирішення конфліктів [9]. МАІ застосовується для виведення шкал відносин як дискретних, так і з безперервних парних порівнянь в багаторівневих ієрархічних структурах. Особливістю МАІ є можливість отримання ранжируваних оцінок на основі суб'єктивних експертних висновків.

МАІ полягає в декомпозиції проблеми на все більш прості частини і елементи, а потім в подальшій обробці методами матричної алгебри послідовності суджень експертів, які дають оцінки при обробці попарних порівнянь, що становлять основу МАІ.

МАІ відповідає таким умовам: по-перше, для здійснення парних порівнянь об'єктів, а точніше їх показників, що задаються як якісно, так і кількісно, необхідне введення зручною для різних додатків єдиної шкали відносин. По-друге, необхідний формальний метод виявлення неузгодженості суджень не тільки при окремих порівняннях, але і дає оцінку того, як сильно порушена узгодженість при оцінюванні для даної задачі в цілому. По-третє, необхідна формальна процедура оцінювання переваги вихідних альтернатив для завдання в цілому, яка враховувала б зазначені вище аспекти в прийнятті рішень.

Виділяються наступні основні етапи при використанні методу аналізу ієрархій:

1) Визначення мети дослідження (формулювання задачі).
2) Побудова ієрархії даної задачі.
3) Проведення експертного оцінювання на основі попарного порівняння компонентів ієрархії.
4) Математична обробка отриманих суджень - обчислення локальних пріоритетів і оцінка якості експертних суджень.
5) Синтез глобальних пріоритетів.

На початку XX ст. з'явилися перші роботи В. Парето по проблемі багатоцільової оптимізації [6]. Поняття множини оптимальних по Парето рішень є основоположним в сучасній теорії прийняття рішень.

В останні десятиліття для аналізу діяльності систем широкого поширення набула методологія - Data Envelopment Analysis (DEA) [1, 4] або Аналіз Середовища Функціонування (далі - АСФ). Засновниками даного підходу були А.Чарнес і В. Купер. Перевагою цієї методології є високий ступінь формалізації і мінімальна присутність суб'єктивного фактора при отриманні інтегральних оцінок ефективності.

Суть даного підходу щодо оцінки ефективності складних систем полягає в тому, що досліджується складний об'єкт з безліччю входів (витрат) і виходів (випуском продукції) і аналізується його діяльність у навколишньому середовищі функціонування.

Інтегральна ефективність об'єкта в базовій моделі методології АСФ, для системи з одним вхідним X і одним вихідним фактором Y, оцінюється як продуктивність вхідного ресурсу X:

$$k = \frac{Y}{X}$$

Непараметричний підхід, що реалізується в методі АСФ, використовується для визначення узагальненої ефективності багатовимірних об'єктів і характеризується перетворенням декількох видів вхідних ресурсів в певне число вихідних факторів. Об'єкти з найбільш ефективними технологіями мають максимальний коефіцієнт, який дорівнює одиниці. Вони є оптимальними за масштабом діяльності і формують кордон ефективності. Метод АСФ визначає порівняльну ефективність кожного об'єкта по відношенню до інших порівнянних об'єктів. При цьому визначається ступінь неефективності, «віддаленості» їх від ефективних об'єктів.

В якості вхідних і вихідних змінних можуть виступати енергетичні, технологічні, технічні, управлінські, економічні, екологічні та інші фактори, що дозволяють ранжувати процеси і виробництва в комплексі єдиної виробничо-економічної системи [7].

У системному аналізі одним з найбільш ефективних методів прийняття рішень є метод аналізу ієрархій (МАІ) [10]. Особливо корисно застосування даного методу при прийнятті компромісних рішень на підставі розгляду як формалізованих, так і неформалізованих факторів, вплив яких на процес прийняття рішення не має описів аналітичної залежності.

МАІ заснований на попарному порівнянні об'єктів даної групи по відношенню до деякого заздалегідь обраниму показнику, характеристиці або до мети прийняття рішення. Ці порівняння потім обробляються методами матричної алгебри до тих пір, поки не буде отримана підсумкова оцінка прийняття рішення [5].

Метод аналізу ієрархій не забезпечує оптимальності по Парето. Додавання нової альтернативи в набір або, навпаки, виключення з нього, як правило, змінює порядок ранжируваних раніше альтернатив і ця зміна є наслідком зміни уподобань. Порівняння можна провести на основі реальних вимірів або за допомогою фундаментальної шкали (таблиця 1), яка відображає відносну силу переваг і відчуттів.

У МАІ процедура парного порівняння застосовується до пар однорідних елементів. Неоднорідні елементи розподіляються на взаємопов'язані групи (кластери), що містять однорідні елементи. У прийнятті рішень розрізняють шкали безперервних і дискретних оцінок, шкали кількісних і якісних оцінок. Застосовуються шкала порядку, шкала різних інтервалів (інтервальна шкала), шкала пропорційних оцінок (ідеальна шкала). Найчастіше використовуються порядкові шкали і шкали пропорційних оцінок. Для експертної оцінки досліджуваних енергозберігаючих заходів на основі сформульованих цілей і обраного безлічі оціночних критеріїв будується порядкова шкала оцінок за цими критеріями.

Фундаментальна шкала абсолютних значень для оцінки сили суджень приведена в таблиці 1. Згідно першоджерела [9] ефективність даної шкали була перевірена в багатьох додатках, а так само шляхом порівняння з іншими шкалами при вирішенні практичних завдань, результати яких були заздалегідь відомі. Числа з цієї шкали використовуються, щоб показати, наскільки елемент з більшою оцінкою переваги домінує над елементом з меншою оцінкою щодо загального для них критерію або властивості.

Таблиця 1 - Фундаментальна шкала МАІ [9].

Ступінь переваги	Визначення	Коментарі
1	Рівна перевага	Дві альтернативи однаково кращі з точки зору мети
2	Слабка ступінь переваги	Проміжна межа між рівною і середньою перевагою
3	Середній ступінь переваги	Досвід експерта дозволяє вважати одну з альтернатив трохи краще іншої

4	Перевага вище середнього	Проміжна градація між середньою і помірно сильною перевагою
5	Помірно сильна перевага	Досвід експерта дозволяє вважати одну з альтернатив явно краще іншої
6	Сильна перевага	Проміжна градація між помірно сильною і дуже сильною перевагою
7	Дуже сильна перевага	Досвід експерта дозволяє вважати одну з альтернатив набагато краще іншої: домінування альтернативи підтверджено практикою
8	Дуже, дуже сильна перевага	Проміжна градація між дуже сильною і абсолютною перевагою
9	абсолютна перевага	Очевидність пригнічуючої переваги однієї альтернативи над іншою має незаперечне підтвердження
Зворотні значення оцінок переваги	Якщо дії *i* при порівнянні з дією *j* присвоюється одне з наведених вище чисел, то дія *j* при порівнянні с *i* присвоюється зворотнє значення	-

Є кілька причин для встановлення верхньої межі фундаментальної шкали відносин, рівного дев'яти [10]:

1. Якісні відмінності значимі на практиці і мають елемент точності, коли величина порівнюваних предметів одного порядку або предмети близькі щодо властивості, використаного для порівняння.

2. Досліджено, що здатність людини виробляти якісні розмежування добре представлена п'ятьма визначеннями: рівний, слабкий, сильний, дуже сильний і абсолютний. Можна прийняти компромісні визначення між сусідніми визначеннями, коли потрібна велика точність. Отримана в результаті шкала добре застосовна на практиці.

3. Психологічну межу 7 ± 2 предмета при одночасному порівнянні підтверджує, що якщо взяти 7 ± 2 окремих предмета, які відповідають опису (1), і якщо всі вони злегка відрізняються один від одного, то знадобиться 9 точок, щоб розрізнити їх.

Метою застосування методу МАІ є отримання з кількісних суджень групи (тобто з відносних величин, що асоціюються з парами об'єктів) безлічі ваг, що асоціюються з окремими об'єктами.

Розглянемо сукупність об'єктів C_1, ..., C_n нижнього рівня ієрархії представленої на рисунку 1. Необхідно визначити ваги ($\omega_1,\ldots,\omega_n$) їх впливу на певний елемент наступного рівня. Основним інструментом буде матриця чисел, що представляє судження про парні порівняння.

Нехай C_1, C_2 , C_n - сукупність об'єктів (критеріїв). Кількісні судження про пари об'єктів (C_i,C_j) представляються матрицею розміру *n* x *n* :

$$A=(a_{ij}),(i,j = 1,2,\ldots,n). \qquad (1)$$

Оцінки експертів розташовуються в квадратній матриці А розмірністю n x n (число аналізованих об'єктів). За прийнятою в МАІ угодою порівняння сили фактора завжди проводиться для дії і предмета, який стояв у лівому стовпчику, по відношенню до дії або предмету, що стоїть у верхньому рядку матриці.

Елементи a_{ij} визначаються за такими двома правилами:

1) Если $a_{ij} = a$, то $a_{ji} = 1/a$, $a \neq 0$.
2) Якщо судження такі, що C_i, має однакову з C_j відносну важливість, то $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$; зокрема $a_{ii} = 1$ для всіх i. В результаті матриця А має вигляд:

$$A=\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a1_n \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a2_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \qquad (2)$$

Після представлення кількісних суджень про пари (C_i, C_j) в числовому вираженні через a_{ij}, завдання зводиться до того, щоб n можливим об'єктам C_1, C_2 ...,C_n зіставити у відповідність безліч числових вагів $\omega_1, \omega_2 \dots, \omega_n$, які відповідали б зафіксованим судженням.

Завдання визначення умов, які накладаються на шукані ваги, вирішується щодо отриманих суджень.

Якщо судження результат точних фізичних вимірювань, то в разі точного вимірювання відносини між вагами ω_1 і судженнями a_{ij} - виражаються у вигляді:

$$\frac{\omega_i}{\omega_j} = a_{ij} (\text{для } i, j = 1,2, \dots, n), \qquad (3)$$

i

$$A=\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \qquad (4)$$

В більшості випадків це рішення є не допустимим, зважаючи на відсутність можливості чисельного визначення значень деяких критеріїв, а так само з тим, що навіть фізичні вимірювання не бувають точними, отже, похибка вимірювань повинна бути прийнята до уваги.

Якщо судження абсолютно при всіх порівняннях (a_{ik}=$a_{ij}a_{ik}$ для всіх i,j,k), то матриця А узгоджена.

Для узгодженої матриці, коли порівняння засновані на точних вимірах, матричне рівняння описується наступним чином:

$$A_w = n\ w, \qquad (5)$$

яке еквівалентно :

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} w_j = nw, i = 1,2, \dots n\,. \qquad (6)$$

У теорії матриць формула (6) відображає те, що w - власний вектор матриці А з власним значенням n.

Звернемося до конкретного випадку, в якому a_{ij} засновано не на точних вимірах, а на суб'єктивних судженнях, що може бути застосовано в нашому випадку (наприклад, зручність в експлуатації). В даному випадку якщо a_{ij} буде відхилятися від ідеальних відносин про w_i/w_j, то для знаходження вектора пріоритетів потрібно знайти вектор w, який задовольняє [10]:

$$A_w = \lambda_{max} w \qquad (7)$$

де A - матриця значень парних порівнянь;

λ_{max} - найбільше власне значення.

Так як малі зміни в a_{ij} викликають малу зміна λ_{max}, відхилення останнього від n, то індекс узгодженості: $(\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ розглядається як показник «близькості до узгодженості». У загальному випадку, якщо це число $\leq 0{,}1$, то судження задовільні.

При розгляді понад 9 альтернатив або критеріїв одного рівня ієрархії рекомендується виконувати групування елементів відповідно до їх відносної важливості і тоді можна мати кластер, куди увійшли елементи одного рівня важливості, інший кластер, що складається з елементів менш значущих, третій кластер - з елементів ще менш важливих [8, 10]. Після аналізу кластерів елементи в кожному з них попарно порівнюються, причому якщо їх занадто багато, то знову утворюються кластери і, таким чином, можливі ситуації, коли деякі елементи належать кільком кластерам і отримують з усіх них кілька ваг. Подібний процес групування і декомпозиції забезпечує прийнятну узгодженість, незважаючи на розмірність задачі, що значно перевищує 9.

2. Застосування методу АСФ для вирішення задачі оптимізації споживання теплової енергії в системі теплопостачання птахофабрики.

В даний час метод Аналізу Середовища Функціонування (англ. Назв. Data Envelopment Analysis - DEA [11, 12, 13, 14]) знаходить широке застосування в усьому світі для аналізу діяльності складних соціальних і економічних систем, таких як галузі економіки, регіони, великі компанії, банки, торгові центри, муніципальні освіти, медичні та навчальні комплекси, університети і т.д.

Підхід, втілений в методі АСФ, не вимагає, щоб виконавець призначав ваги, які повинні бути прикріплені до кожного вхідного і вихідного значенням функції, як в звичайних підходах індексування, також даний метод не вимагає приписи функціональних форм, які необхідні в підходах статистичного аналізу.

При реалізації даного методу використовуються сучасні досягнення в області математичного програмування, теорії і методів вирішення завдань оптимізації великої розмірності, які можуть звертатися з великою кількістю змінних і накладаються обмежень, що послаблює вимоги, до кількості вхідних і вихідних параметрів функції.

Метод АСФ дозволяє будувати багатовимірну безліч виробничих можливостей, знаходити оптимальні траєкторії розвитку об'єктів, обчислювати важливі кількісні та якісні характеристики об'єктів (еластичність, граничні норми заміщення і трансформації, ефект масштабу), моделювати різні ситуації (зміна структури об'єктів, злиття, поглинання і т.д .). У нашій країні цей метод маловідомий, і в даний час українською мовою практично відсутня докладний його опис, тому основним джерелом інформації по методу АСФ була закордонна наукова література [15, 16].

Однією з базових моделей методу АСФ є *CCR* модель, яка і буде застосовуватися в подальшому для вирішення поставленого завдання.

У загальному випадку виробничий об'єкт (Decision Making Unit - DMU) розглядається як об'єкт, в якому здійснюється перетворення вхідних параметрів у вихідні і чиї дії повинні бути оцінені. У нашому випадку виробничим об'єктом є захід з

енергозбереження та підвищення енергоефективності СТПП (системи теплопостачання птахофабрики).

Для кожного об'єкта ми формуємо віртуальні входи (x_m) і виходи (y_s), які характеризуються відповідними вагами v_m і u_s:

$$X = v_1 x_{1o} + \ldots + v_m x_{mo}, \quad (8)$$

$$Y = u_1 y_{1o} + \ldots + u_s y_{so}. \quad (9)$$

Для визначення ваги кожного входу і виходу об'єкта використовуємо нелінійне програмування, щоб знайти максимум функції:

$$k = \frac{Y}{X} \quad (10)$$

Для розв'язання задачі оцінки заходів з енергозбереження та підвищення енергоефективності системи теплопостачання за сукупністю всіх восьми приватних характеристик – x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 побудована модель, представлена на рисунку 1 .

Рис.1 - Структурна модель оцінки заходів з енергозбереження

При вирішенні поставленого завдання у нас є n об'єктів: DMU_1, $DMU_{2,\ldots,}$ DMU_n. Вхідні і вихідні змінні для кожного DMU_n. визначаються згідно з такими правилами:

1) Чисельні значення доступні для кожної вхідної і вихідної функції, за умови, що всі вони позитивні.
2) Елементи методу АСФ (вхідні, вихідні функції і вибір безлічі об'єктів), які в подальшому будуть застосовуватися в порівняльній оцінці ефективності розглянутих об'єктів повинні відображати погляд дослідника на досліджувану задачу.
3) Основний принцип методу АСФ полягає в мінімізації значень вхідних функцій і збільшення кількості вихідних показників.
4) Одиниці виміру вхідних і вихідних значень не обов'язково повинні бути порівняні. Таким чином, значення можуть відображати обсяг зекономленої теплової енергії (Гкал), грошових коштів (тис. грн.), якісні оцінки і т.д.

Далі, з огляду на вихідні дані, ми визначаємо ефективність кожного об'єкта, для чого необхідно виконати n оптимізацій, по одній для кожної об'єкта – DMU_j. Припустимо, що об'єкт DMU_j , який оцінюється на поточній ітерації, буде

позначатися, як DMU_0 , де o = 1,2, ..., n .Для цього вирішується нелінійна задача математичного програмування по знаходженню граничних умов для вхідних (v_i , де i = 1, ..., m) і вихідних (u_r, де r = 1,…., s) величин:

$$\max_{v,u} \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \cdots u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \cdots + v_m x_{mo}}, \qquad (11)$$

$$\text{при обмеженнях :} \quad \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \cdots u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \cdots + v_m x_{mj}} \leq 1 (j = 1, \dots, n),$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0,$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0.$$

У задачі (11) x_{mj} і y_{sj} представляють собою спостерігаючі показники вхідних і вихідних функцій для заходів з енергозбереження. Індекс o відповідає одному із заходів з енергозбереження та підвищення енергоефективності, який в даний момент оцінюється. Змінні v_m і u_s є ваговими оцінками вхідних і вихідних змінних.

Міра ефективності в задачі (11) визначається як відношення зваженої суми вихідних змінних до зваженої сумі вхідних змінних. Завдання, таким чином, полягає в максимізації ефективності заданого виробничого об'єкта за умови, що аналогічні відносини для інших виробничих об'єктів не перевищують заданої норми.

Перетворимо рішення нелінійної неопуклої задачі математичного програмування (11) до вирішення лінійної задачі оптимізації за допомогою перетворення Чарнеса і Купера для задач дробово-лінійного програмування [4]. В результаті виходить наступна задача оптимізації:

$$\max_{\mu\gamma} \theta = \mu_1 \gamma_{1o} + \cdots + \mu_s \gamma_{so}, \quad (12)$$

$$\text{при обмеженнях} \quad \gamma_1 \gamma_{1o} + \cdots + \gamma_m x_{mo} = 1,$$

$$\mu_1 \gamma_{1j} + \cdots + \mu_s \gamma_{sj} \leq \gamma_1 x_{1j} + \cdots + \gamma_m x_{mj} \quad (j = 1, \dots, n),$$

$$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m \geq 0,$$

$$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s \geq 0.$$

Виробничий об'єкт (X_0, Y_0) є ефективним за вихідної моделі *CCR*, якщо в результаті рішення задачі (12) $\Theta^* = 1$ і існує принаймні одне оптимальне рішення (v^*, u^*), де $v^* > 0$ і $u^* > 0$, інакше виробничий об'єкт є неефективним по вихідний моделі *CCR*.

Таким чином, (v^*, u^*) - набір найбільш відвовідних ваг для виробничого об'єкта в напрямку максимізації шкали відносин, яка обчислюється на підставі наступної формули:

$$\theta^* = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r^* y_{ro}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^* y_{io}} \qquad (13)$$

У формулі (13) представлена вихідна модель *CCR*, в якій для підвищення ефективності об'єкта вектор вихідних змінних пропорційно збільшується.

Однак з виробничої точки зору буває доцільніше, навпаки, зменшувати вхідні показники системи. Наприклад зменшення експлуатаційних витрат або зниження терміну реалізації за допомогою впровадження організаційних заходів, дозволить більш

швидше отримати позитивні результати, ніж максимізація вихідних змінних, в такому випадку застосовується вхідна модель *CCR*:

$$\min_{\mu,\gamma} \lambda = \gamma_1 x_{1o} + \cdots + y_m x_{mo}, \qquad (14)$$

$$\text{при обмеженнях} \quad \mu_1\gamma_{1o} + \cdots + \mu_s y_{so} = 1,$$

$$\mu_1\gamma_{1j} + \cdots + \mu_s\gamma_{sj} \le \gamma_1 x_{1j} + \cdots + \gamma_m x_{mj} \quad (j = 1, \dots, n),$$

$$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m \ge 0,$$

$$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s \ge 0.$$

Виробничий об'єкт (X_0, $У_0$) є ефективним за вхідною моделлю *CCR*, якщо в результаті рішення задачі (14) $\lambda^* = 1$ і існує принаймні одне оптимальне рішення (v^*, u^*), де $v^* > 0$ і $u^* > 0$, інакше виробничий об'єкт є неефективним по вхідний моделі *CCR*.

При наявності великої кількості напрямків підвищення ефективності СТПП, за результатами виконання розрахунку методом АСФ, пропонується найбільш ефективне рішення по підприємству складати з сукупності *N* рішень по окремим взятим *i* – цехам

$$D_{max} = \cup_{i=1}^{N} D_i, \qquad (15)$$

де D_{max} - безліч обраних по всьому підприємству енергозберігаючих заходів, що дають максимальну ефективність від свого застосування;

D_i - підмножина відібраних в *i*-тому цеху заходів, що забезпечують в ньому максимальну ефективність.

Задамо показник ефективності C_E, як частка від ділення відносного ефекту ($E_{отн} = E / K$) поточного рішення до максимального відносного ефекту ($E_{отн\ max}$), знайденому в заданому інтервалі зміни величини фінансових вкладень:

$$C_E = \frac{E_{отн}}{E_{отн\ max}}. \qquad (16)$$

В результаті аналізу цієї формули випливає, що чим ефективніше прийняте рішення, тим ближче його C_E до 1.

На підставі вищевикладеного, критерій ефективності для загального прийнятого рішення визначається наступним чином:

$$C_E = \prod_{i=1}^{N} C_{Ei} \qquad (17)$$

де для найкращого рішення $C_E = 1$.

Таким чином, при обмеженій множині цехів і адміністративних будівель на птахофабриці, і заданій множині пропонованих заходів з енергозбереження, загальне ефективне рішення задачі оптимізації теплових втрат складається з ефективних приватних рішень по окремих дільницях підприємства. Тому при виконанні роботи виконавець повинен попередньо отримати по кожній ділянці певну область рішень при встановленому обсязі фінансування, а потім розподіляти кошти так, щоб сумарний ефект по підприємству був максимальний.

Висновок

Виконана стаття присвячена підвищенню енергетичної ефективності систем теплопостачання птахофабрики шляхом розробки методу багатокритеріальної оцінки заходів, спрямованих на оптимізацію споживання теплової енергії. В результаті роботи було представлено та обґрунтовано використання методів багатокритеріального аналізу

(МАІ та АСФ) для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів у системі теплопостачання птахофабрики.

Перелік використаної літератури

1. Дилигенский, Н.В. Построение и идентификация математических моделей производственных систем / Н.В. Дилигенский, А.А. Гаврилова, М.В. Цапенко - Самара: «ОФОРТ», 2005. -126 с.
2. Иозайтис, В.С. Экономико-математическое моделирование производственных систем / В.С. Иозайтис, Ю.А. Львов. - М.: Высш. шк., 1991. - 192 с.
3. Иордон, Э. Структурные модели в объектно-ориентированном анализе и проектировании: Пер. с англ. / Э. Иордон, К. Агрил. - М.: Лори, 1999. - 264 с.
4. Кривоножко, В.Е. Анализ деятельности сложных социально- экономических систем / В.Е. Кривоножко. - М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010. - 208 с.
5. Мокроусов, В.С. Способы многокритериального оценивания направлений повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения/ В.С. Мокроусов // Известия Юго-Западного государственного университета. - Курск: 2012 - №2, - С. 334-339.
6. Подиновский, В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. - М.: Наука, 1989. - 256 с.
7. Посашков, М.В. Многокритериальное оценивание и направления повышения системной энергетической эффективности теплоснабжения от автономных энергоисточников: дис. ... канд. тех. наук.: 05.13.01 / Посашков Михаил Викторович. - Самара, 2011. - 179 с.
8. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер.с анг. / Т. Саати, К. Керне. - М.: Радио и связь, 1991. - 342 с.
9. Саати, Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т.П. Саати. - М.: Изд-во ЛКИ, 2008. - 360 с.
10. Саати, Томас Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. - М.: Радио и связь, 1993. - 278 с.
11. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis// Management Science. 1984. Vol.30, no. 9. Pp. 1078-1092.
12. Banker R.D., Maindiratta A. Piecewise loglinear estimation of efficient production surfaces // Management Science. 1986. Vol. 32, no.l. Pp. 126-135.
13. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring of efficiency of decision making units // European Journal of Operation Research. 1978. Vol. 2, no. 6. Pp. 429444.
14. Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. Data Envelopment Analysis. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
15. Ramanathan. R. An Introduction to data envelopment analysis: A tool for performance measurement. New Delhi.: Sage Publications, 2003. 203 p.
16. William W. Cooper. Data Envelopment Analysis. Second Edition. NY.: Springer Science, 2007. 513 p.

УДК 62-69

Коломієць В.П.
Кафедра електропостачання

УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

В даній статті розглядається методика визначення додаткових грошових витрат енергоблоків теплових електростанцій внаслідок впливу генерації об'єктів сонячної енергетики. Розглянута методика дозволяє оцінити грошові витрати енергоблоків ТЕС ГК внаслідок застосування їх в регульованій частині графіку електричного навантаження.

Ключові слова: сонячна енергетика, графік електричного навантаження, енергоблоки ТЕС ГК.

This article discusses the method of determining the additional cash costs of power units of thermal power plants due to the influence of the generation of solar energy facilities. The technique makes it possible to estimate the monetary cost of units as a result of their use in the regulated part of the schedule of electric load.

Key words: solar energy, schedule of electric load, power generating units.

Вступ. Використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України, спрямованої на заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів та покращення екологічної ситуації в країні. Збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії в енергетичній системі України сприятиме підвищенню диверсифікації джерел енергоносіїв, що, в свою чергу, сприятиме зміцненню енергетичної незалежності країни [1]. В Україні активно розвивається генерація електроенергії від сонця та вітру. Зокрема, на початок 2018 загальна встановлена потужність об'єктів сонячної енергетики складає 741,893 МВт [2]. З огляду на інтенсивний розвиток сонячної енергетики гостро потає проблема покриття нерівномірностей добових графіків електричної енергії. При впровадженні СЕС виникає питання адоптації генеруючих потужностей ОЕС для забезпечення вимог адекватності.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є покращення режимів використання енергоблоків теплових електричних станцій шляхом управлінням режимами генерації об'єктів сонячної енергетики. Завданням дослідження є визначення методики оцінки додаткових грошових витрат енергоблоків ТЕС ГК внаслідок безконтрольної генерації сонячних електричних станцій.

Результати досліджень. Для дослідження впливу генерації СЕС на режими роботи енергоблоків ТЕС ГК скористаємося сценаріями розвитку встановленої потужності СЕС: 1)сценарій №1 - встановлена потужність СЕС станоном на 2020р. складає 9040 МВт; 2)сценарій №2 - встановлена потужність СЕС станоном на 2020р. складає 1204 МВт; 3)сценарій №3 - встановлена потужність СЕС станоном на 2025р. складає 18000 МВт; 4)сценарій №4 - встановлена потужність СЕС станоном на 2040р. складає 25000 МВт;

Вважаємо, що обсяги споживання електричної енергії для різних сценаріїв залишаються незмінними. Графік генерації електричної енергії СЕС за 4-ма сценаріями, при різних значеннях встановленої потужності СЕС. На рисунку 1 зобразимо графіки генерації ТЕС ГК та генерацію СЕС за 4-ма сценаріями.

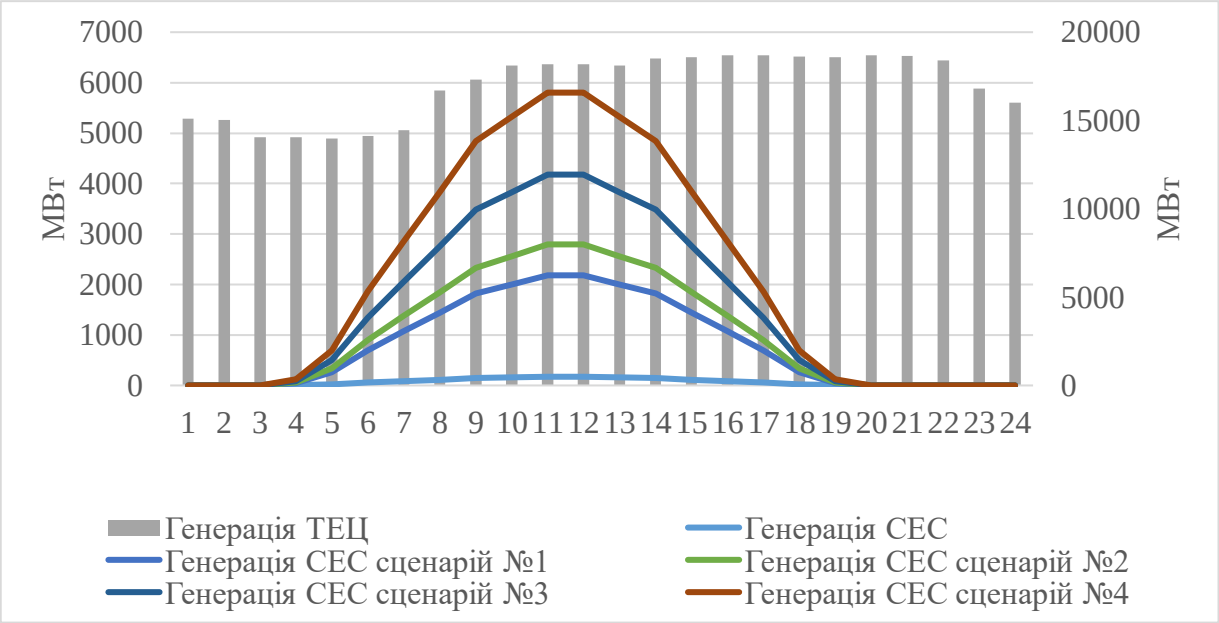


Рисунок 1 - Графік генерації ТЕС та СЕС за 4-ма сценаріями за режимний день 21.06.2017

Для забезпечення відповідність обсягів виробництва електричної енергії та її споживання, при збільшенні частки виробленої електричної енергії від сонячних електричних станцій виникає необхідність у адоптації традиційних генеруючих потужностей для забезпечення відповідності попиту і пропозиції електричної енергії. Як зазначалося вище, в Україні, основними маневреними потужностями являються енергоблоки теплових електричних станцій та гідроакумулюючі електричні станції. Гідроакумулуючі електричні станції в основному використовуються для покриття вечірного максимуму споживання та нічного провалу. В свою чергу, внаслідок специфіки роботи сонячної енергетики, максимум генерації СЕС припадає на період з 11:00 до 16:00, тобто для забезпечення відповідності генерації як маневрені потужності використовуються енергоблоки ТЕС ГК. Відпуск електричної енергії енергоблоками ТЕС ГК внаслідок генерації СЕС графічно представлений на рисунку 2.

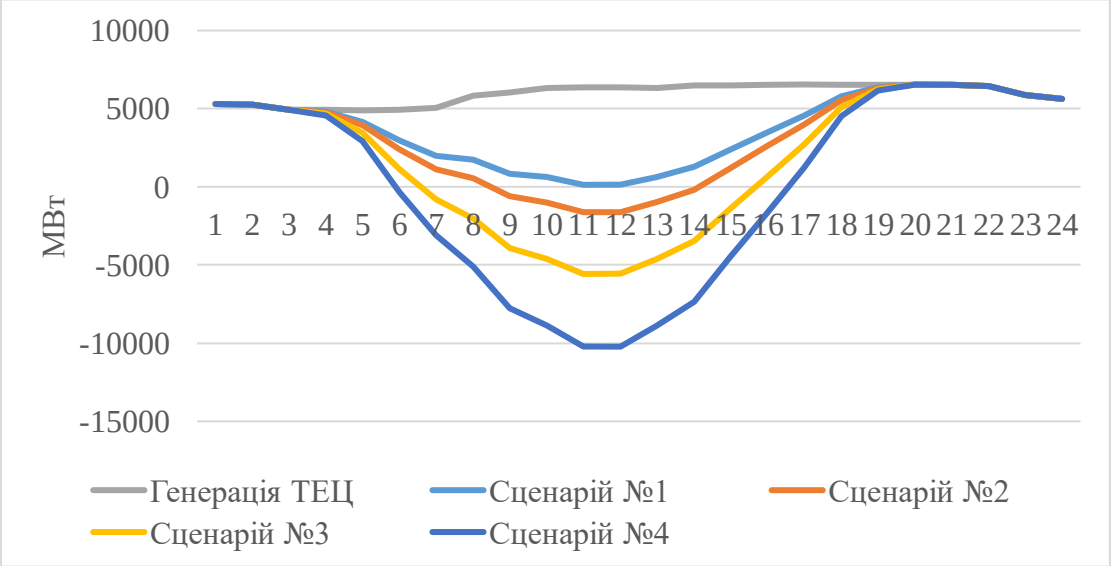


Рисунок 2 – Графік генерації ТЕС ГК внаслідок генерації СЕС за режимний день 21.06.17

Аналіз режимів роботи ТЕС ГК для сценаріїв №1-№4 представимо у табличному вигляді.

Таблиця 1 – Режим роботи енергоблоків ТЕС ГК при сценарію №1 (9,4ГВт встановленої потужності СЕС).

Період	Приріст ТЕС $\Delta_{ТЕС}$ (МВт)	Приріст СЕС $\Delta_{СЕС}$ (МВт)	Надлишок (-) /дефіцит(+) генерації (МВт)	Спосіб регулювання		
				Маневреність	Зупинка енергоблоку	Пуск енергоблоку
04:00 - 05:00	-32	614	-582	582		
05:00 - 06:00	58	1253	-1195	1195		
06:00 - 07:00	108	1065	-957	957		
07:00 - 08:00	788	1057	-269	269		
08:00 - 09:00	209	1081	-872	872		
09:00 - 10:00	280	516	-236	236		
10:00 - 11:00	31	516	-485	485		
11:00 - 12:00	3	0	3	3		
12:00 - 13:00	-31	-516	485	485		
13:00 - 14:00	146	-516	662	662		
14:00 - 15:00	17	-1081	1098	1098		
15:00 - 16:00	43	-1057	1100	1100		
16:00 - 17:00	5	-1065	1070	1070		
17:00 - 18:00	-30	-1253	1223	1223		
18:00 - 19:00	-8	-614	606	606		

При такому сценарію, забезпечення відповідності між обсягом виробництвом та споживанням електричної енергії в повній мірі забезпечується за рахунок маневрених можливостей енергоблоків ТЕС ГК.

Аналіз режимів роботи енергоблоків ТЕС ГК при сценарію №2, коли встановлена потужність СЕС становить 12,04 ГВт представлена в таблиці 2.

Період	Приріст ТЕС $\Delta_{ТЕС}$ (МВт)	Приріст СЕС $\Delta_{СЕС}$ (МВт)	Надлишок (-) /дефіцит(+) генерації (МВт)	Спосіб регулювання		
				Маневреність	Зупинка енергоблоку	Пуск енергоблоку
04:00 - 05:00	-32	787	-755	755		
05:00 - 06:00	58	1605	-1547	1347	200	
06:00 - 07:00	108	1364	-1256	1256		
07:00 - 08:00	788	1354	-566	566		
08:00 - 09:00	209	1385	-1176	1176		

09:00 - 10:00	280	661	-381	381		
10:00 - 11:00	31	661	-630	630		
11:00 - 12:00	3	0	3	3		
12:00 - 13:00	-31	-661	630	630		
13:00 - 14:00	146	-661	807	807		
14:00 - 15:00	17	-1385	1402	1402		
15:00 - 16:00	43	-1354	1397	1397		
16:00 - 17:00	5	-1364	1369	1369		
17:00 - 18:00	-30	-1605	1575	1575		
18:00 - 19:00	-8	-787	779	779		

За такого сценарію, забезпечення відповідності між обсягом виробництвом та споживанням електричної енергії забезпечується за рахунок маневрених можливостей енергоблоків ТЕС ГК та зупинкою одного енергоблоку ТЕС ГК потужністю 200 МВт.

Аналіз режимів роботи енергоблоків ТЕС ГК при сценарію №3, коли встановлена потужність СЕС становить 18,00 ГВт представлена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Режим роботи енергоблоків ТЕС при сценарію №3 (18,00ГВт встановленої потужності СЕС).

Період	Приріст ТЕС $\Delta_{ТЕС}$ (МВт)	Приріст СЕС $\Delta_{СЕС}$ (МВт)	Надлишок (-) /дефіцит(+) генерації (МВт)	Спосіб регулювання		
				Маневреність	Зупинка енергоблоку	Пуск енергоблоку
04:00 - 05:00	-32	1177	-1145	1145		
05:00 - 06:00	58	2400	-2342	1142	1200	
06:00 - 07:00	108	2039	-1931	1331	600	
07:00 - 08:00	788	2024	-1236	1236		
08:00 - 09:00	209	2071	-1862	1462	400	
09:00 - 10:00	280	988	-708	708		
10:00 - 11:00	31	988	-957	957		
11:00 - 12:00	3	0	3	3		
12:00 - 13:00	-31	-988	957	957		
13:00 - 14:00	146	-988	1134	1134		
14:00 - 15:00	17	-2071	2088	1688		400
15:00 - 16:00	43	-2024	2067	1667		400
16:00 - 17:00	5	-2039	2044	1644		400
17:00 - 18:00	-30	-2400	2370	1570		800
18:00 - 19:00	-8	-1177	1169	1169		

За такого сценарію, забезпечення відповідності між обсягом виробництвом та споживанням електричної енергії частково забезпечується за рахунок маневрених можливостей енергоблоків ТЕС ГК та за рахунок пуску 2000 МВт потужності ТЕС ГК і виведення в резерв 2200 МВт потужності ТЕС ГК.

Аналіз режимів роботи енергоблоків ТЕС ГК при сценарію №4, коли встановлена потужність СЕС становить 25,00 ГВт представлена в таблиці 4.

Таблиця 4 – Режим роботи енергоблоків ТЕС при сценарію №4 (25,0ГВт встановленої потужності СЕС)

Період	Приріст ТЕС $\Delta_{ТЕС}$ (МВт)	Приріст СЕС $\Delta_{СЕС}$ (МВт)	Надлишок (-) /дефіцит(+) генерації (МВт)	Спосіб регулювання		
				Маневреність	Зупинка енергоблоку	Пуск енергоблоку
04:00 - 05:00	-32	1634	-1602	1202	400	
05:00 - 06:00	58	3333	-3275	1275	2000	
06:00 - 07:00	108	2832	-2724	1324	1400	
07:00 - 08:00	788	2811	-2023	1423	600	
08:00 - 09:00	209	2876	-2667	1467	1200	
09:00 - 10:00	280	1373	-1093	1093		
10:00 - 11:00	31	1373	-1342	1342		
11:00 - 12:00	3	0	3	3		
12:00 - 13:00	-31	-1373	1342	1342		
13:00 - 14:00	146	-1373	1519	1519		
14:00 - 15:00	17	-2876	2893	1693		1200
15:00 - 16:00	43	-2811	2854	1454		1400
16:00 - 17:00	5	-2832	2837	1637		1200
17:00 - 18:00	-30	-3333	3303	1703		1600
18:00 - 19:00	-8	-1634	1626	1626		

За такого сценарію, забезпечення відповідності між обсягом виробництвом та споживанням електричної енергії частково забезпечується за рахунок маневрених можливостей енергоблоків ТЕС ГК та за рахунок пуску 5400 МВт потужності ТЕС ГК і виведення в резерв 5600 МВт потужності ТЕС ГК.

Основними складовими грошових витрат енергоблоків теплових електричних станцій являються:

- витрати на пуски та зупинки енергоблоків ТЕС для регулювання графіка навантаження внаслідок генерації СЕС;

$$З_{п_пуск} = N_{рег_тес} \cdot 110 \cdot 214 \cdot Ц_{п.г}, \quad (1)$$

де, Зп_пуск – витрати на паливо для пусків енергоблоків (грн);

110 – середня кількість природнього газу необхідна для пуску одного енергоблоку (тис. куб. м.) ;

214 – розрахунковий період квітень – жовтень;

Цп.г – ціна природного газу, грн/тис. куб. м.

- витрати ТЕС ГК, частина енергоблоків яких задіяна для покриття генерації СЕС, виникає в зв'язку з енергетично неефективними режимами роботи цих енергоблоків

$$\Delta З_{дод_реж} = W_{вир_тес} \cdot C_{п_тес} \cdot b_{у_п}, \quad (2)$$

де, $W_{вир_тес}$ – кількість електроенергії виробленої на ТЕС протягом певного періоду, весна – осінь (кВт·год);
$C_{п_тес}$ – середня величина паливної складової в собівартості електричної енергії, виробленої тепловими енергоблоками (грн/ кВт·год) [ ];
$b_{у_п}$ - питома витрата палива (т.у.п./кВт·год).
В свою чергу, питома витрата палива визначається за формулою:

$$b_{у_п} = A + B \cdot КВВП, \quad (3)$$

де, *КВВП* – коефіцієнт використання встановленої потужності енергоблоків ТЕС (%),
A, B – параметри (константи) рівняння регресії, *A* = 572,8098, *B* = 6,20397 [3].

Для визначення коефіцієнт використання встановленої потужності енергоблоків ТЕС (КВВП), необхідно для існуючого графіку генерації ТЕС, розрахувати середню потужність усіх теплових енергоблоків ($P_{існ_тес}$), які задіяні для покриття цього графіку.

Загальна встановлена потужність енергоблоків ТЕС в Україні становить 28700 МВт, відповідно середня величина коефіцієнта використання встановленої потужності енергоблоків ТЕС для існуючого графіка генерації буде визначатися:

$$КВВП_{існ} = \left(\frac{P_{існ_тес}}{28700}\right) \cdot 100\%, \quad (4)$$

Результати розрахунку зведемо у табличний вигляд.

Таблиця 5 – Додаткові грошові витрати енергоблоків ТЕС ГК пов’язані зі щоденними їх пусками в період з квітня по жовтень.

№	Сценарій	$З_{дод\ пуск}$, млн. грн/рік
1	Сценарій №1 (09,40 ГВт)	0
2	Сценарій №2 (12,04 ГВт)	0
3	Сценарій №3 (18,00 ГВт)	3433,5444
4	Сценарій №4 (25,00 ГВт)	9720,569880

Таблиця 6 – Додаткові грошові витрати енергоблоків ТЕС ГК пов'язані з енергетично неефективними режимами їх роботи в період з квітня по жовтень.

№	Сценарій	Здод_реж, млн. грн/рік
1	Сценарій №1 (09,40 ГВт)	10249,27464
2	Сценарій №2 (12,04 ГВт)	8710,648008
3	Сценарій №3 (18,00 ГВт)	4872,729323
4	Сценарій №4 (25,00 ГВт)	277,9612865

Висновки: Розроблено методику визначення оцінки додаткових грошових витрат енергоблоків ТЕС ГК внаслідок безконтрольної генерації сонячних електричних станцій. Обґрунтовано необхідність управління з боку ОЕС України процесами створення та використання СЕС. Зроблено оцінку впливу режимів генерації електроенергії СЕС на режими роботи енергоблоків ТЕС ГК.

Список використаних джерел

1. Кабінет Міністрів України. Розпорядження від 1 жовтня 2014р. №902-р. Про національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року.

2. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей, УКРЕНЕРГО.

3. Находов В.Ф. Оцінка потенціалу зниження витрат енергосистеми в результаті вирівнювання добових графіків навантаження [Текст] / В. Ф. Находов, А. І. Замулко, Мохамад Аль Шарарі, В. В. Чекмакова . // вісник НТУ «ХПІ» . – 2016.-№4.(1176) – С.21.31.

Віюк О.М.
Кафедра електропостачання

УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У СПОЖИВАЧІВ

У роботі обґрунтовано необхідність додаткового стимулювання енергозбереження у споживачів та необхідність здійснення управління процесами підвищення енергоефективності з боку ОЕС України. Зроблено оцінку економії витрат палива та коштів, яка виникає в енергетичній галузі в результаті підвищення ефективності використання електричної енергії споживачами.

The work substantiated the necessity of stimulating energy saving among consumers and the need to manage energy efficiency improvement processes on the part of the UES of Ukraine. An assessment was also made of the savings in fuel and energy costs that arise in the energy sector as a result of an increase in the efficiency of the use of electric energy by consumers.

Ключові слова: стимулювання енергозбереження, обсяги електроспоживання, витрата умовного палива, ефективність використання електроенергії, капіталовкладення у розвиток електроенергетики, електроємність ВВП.

Постановка проблеми.

На сьогодні в Україні не досягнуто бажаних результатів енергозбереження. Причина в тому, що жоден з учасників цього процесу достатньою мірою не заінтересований займатися цим питанням, оскільки економія витрат на оплату енергоресурсів, яка одержується в результаті енергозбереження, визначається тільки рівнем тарифів на енергію. При цьому терміни окупності витрат на впровадження заходів з енергозбереження часто складають 10 і більше років.

Таким чином, метою дослідження є створення умов для посилення заінтересованості споживачів електричної енергії у підвищенні ефективності її використання шляхом побудови та використання механізму додаткового стимулювання енергозбереження.

Результати дослідження.

Відомо, що в зарубіжній практиці енергозбереження у споживачів стимулюється не лише тарифами на енергію, але ще й такими способами як:

- Надання податкових пільг (Наприклад, у США для споживачів, які хочуть підвищити ефективність використання енергії коштом уряду, проводиться енергетичний аудит до та після впровадження енергозберігаючих заходів, та за результатами отриманими внаслідок перевірки надається податкова пільга в розмірі 30%. Така ж процедура існує і в Німеччині, щоправда там пільга надається у розмірі 20%).
- Відшкодування витрат на енергозбереження (Наприклад, у Франції споживачам, які встановлюватимуть альтернативні джерела енергії та підвищуватимуть ефективність використання енергоресурсів, надається кредит та право на відшкодування витрат у розмірі до 50% залежно від рівня енергоефективності. У Японії ж при встановленні сонячних батарей уряд відшкодовує третину їх вартості) [1].

Зарубіжний досвід свідчить, що такі методи економічного стимулювання енергозбереження мають довготривалий ефект та приносять вагомі результати. При

цьому варто зазначити, що згаданий вище спосіб відшкодування витрат має цільове призначення, тобто зекономлені в результаті підвищення енергоефективності кошти розподіляються безпосередньо між споживачем, що підвищив енергоефективність, енергетичною галуззю та державою у певних пропорціях, що підвищує заінтересованість в енергозбереженні не лише споживачів, але й інших учасників цього процесу.

Враховуючи те, що в Україні рівень енергоефективності у порівнянні з економічно розвиненими країнами є дуже низьким і протягом тривалого часу суттєво не змінюється, доцільним та необхідним слід вважати здійснення додаткового економічного стимулювання енергозбереження за прикладом зарубіжних держав, але з врахуванням особливостей українського енергетичного сектору та рівня економічного розвитку України [2].

Визначення припустимого розміру економічного стимулювання споживачів до підвищення ефективності використання енергоресурсів, зокрема електроенергії, має базуватися на розрахунку можливого обсягу економії витрат електроенергетичної галузі, суспільства, яка виникає в наслідок підвищення рівня ефективності використання електроенергії.

Основними складовими цієї економії є:

- зменшення витрат умовного палива, необхідного для виробництва потрібних обсягів електроенергії, і відповідно, економія грошових витрат на це паливо;
- економія коштів на підтримку, модернізацію та розвиток генеруючих потужностей і електричних мереж, що виникає за рахунок сповільнення динаміки відповідних капіталовкладень.

Розмір зазначених складових економії коштів можна оцінити шляхом виконання наступних розрахунків.

Економія витрат умовного палива може бути визначена на основі порівняння прогнозованих обсягів його витрати при існуючому рівні ефективності використання електричної енергії (електроємності ВВП у 2015 році) та за умови прогнозованого підвищення рівня енергоефективності (табл.1 та табл.2) .

Прогнозоване споживання електроенергії визначається на основі обсягу ВВП та електроємності ВВП за наступною формулою:

$$E = \text{ВВП} \cdot e^{\text{ВВП}},$$

де Е – прогнозований обсяг споживання для кожного року,

ВВП – прогнозований обсяг ВВП для кожного року,

$E^{\text{ВВП}}$ – прогнозована електроємність ВВП для кожного року.

Дані, наведені у зазначених таблицях свідчать, що в умовах прогнозованого підвищення рівня енергоефективності (зменшення електроємності ВВП) очікуваний обсяг споживання електричної енергії в Україні у 2030 році буде меншим більше ніж у 2 рази порівняно з обсягом електроспоживання без підвищення ефективності використання електроенергії.

Це дозволяє припустити, що завдяки підвищенню ефективності використання електроенергії обсяги витрати умовного палива у тому ж 2030 році також будуть значно меншими у порівнянні з ситуацією, коли електроємність ВВП залишатиметься на сучасному рівні.

Розрахувати цю економію можна знаючи вартість 1 т у.п., яка на сьогодні складає 3085,65 грн. Результати розрахунку наведені в таблиці 3.

Таблиця 1 – Прогнозовані обсяги споживання електроенергії в Україні та витрат умовного палива при існуючому рівні енергоефективності

	Споживання е/е, млрд кВт*год	електроємність ВВП, кВт*год/грн	Витрати умовного палива, млн т у.п.
2015	163,7	0,083	64,8
2020	369,4	0,083	143,66
2025	582,75	0,083	216,75
2030	795,6	0,083	284,9

Таблиця 2 – прогнозовані дані споживання та витрат умовного палива при підвищенні рівня енергоефективності

	Споживання е/е, млрд кВт*год	електроємність ВВП, кВт*год/грн	Витрати умовного палива, млн т у.п.
2015	163,7	0,083	64,8
2020	243	0,054	94,5
2025	278	0,039	103,4
2030	315	0,033	112,8

Таблиця 3 – економія витрат умовного палива

Рік	паливо, млн т у.п	млрд грн
2020	49,16	151,69
2025	113,35	349,76
2030	172,1	531,04

Як видно з таблиці 3, економія умовного палива на 2030 рік складе 172,1 т, що дозволить зекономити близько 531 млрд грн.

Наступною складовою економії є економія за рахунок сповільнення витрат.

Економія за рахунок сповільнення витрат на підтримку та модернізацію існуючих потужностей визначається рівнем капіталовкладень необхідних при існуючому рівні енергоефективності та після його підвищення.

Для проведення розрахунку економії за рахунок сповільнення витрат необхідно знати прогнозовані капіталовкладення необхідні для підтримки та модернізації існуючого обладнання, а також з урахуванням необхідності побудови нових генеруючих потужностей, оскільки існуючих буде недостатньо для забезпечення такого рівня споживання. На даний момент існуючих генеруючих потужностей може вистачити не більше як на 250 млрд кВт·год, саме тому до суми капіталовкладень на підтримку та модернізацію існуючих потужностей при перевищенні рівня споживання в 250 млрд кВт·год було додано вартість побудови нових потужностей. Необхідний капітал на побудови нових станцій був розрахований за середніми питомими

капіталовкладеннями, значення яких на сьогодні становить 3 тис дол./кВт потужності, з врахуванням коефіцієнта використання та незмінній структурі генерації електроенергії.

$$К = \frac{E^{ф} - E^{max}}{8760 \cdot k_{в}} \cdot К^{пит},$$

де К- капіталовкладення на побудову нових потужностей,

$E^{ф}$ – фактичне споживання електроенергії,

E^{max} – максимально можливе споживання при існуючих потужностях (250 млрд кВт*год),

$k_{в}$ – коефіцієнт використання,

$К^{пит}$ – питомі капіталовкладення на одиницю нової потужності (3 тис дол./кВт).

У таблицях 4 та 5 наведені прогнозовані рівні капіталовкладень при сучасному рівні енергоефективності та його підвищенні.

Таблиця 4- Прогнозований рівень капіталовкладень при існуючому рівні енергоефективності.

	Споживання е/е, млрд кВт*год	електроємність ВВП, кВт*год/грн	капіталовкладення, млрд грн
2015	163,7	0,083	3213,3
2020	369,4	0,083	11086,4
2025	582,75	0,083	20202,7
2030	795,6	0,083	29613

Таблиця 5- Прогнозований рівень капіталовкладень при підвищенні рівня енергоефективності.

	Споживання е/е, млрд кВт*год	електроємність ВВП, кВт*год/грн	капіталовкладення, млрд грн
2015	163,7	0,083	3213,3
2020	243	0,054	9330,8
2025	278	0,039	15859,9
2030	315	0,033	22523,4

Як видно з наведених вище таблиць при підвищенні енергоефективності необхідний рівень капіталовкладень значно менший порівняно з рівнем без підвищення енергоефективності, адже необхідність у побудові нових генеруючих потужностей переноситься на пізніший термін і розмір необхідної нової потужності також зростає повільнішими темпами.

В таблиці 6 наведено результати розрахунку економії за рахунок сповільнення витрат на підтримку та модернізацію існуючих потужностей та побудову нових без врахування коефіцієнту дисконтування. Даний розрахунок був проведений на основі прогнозованих даних з таблиць 4 та 5.

Таблиця 6 – економія капіталовкладень без врахування коефіцієнту дисконтування.

Економія	капіталовкладення до підвищення енергоефективності, млрд грн	капіталовкладення після підвищення енергоефективності, млрд грн	розмір економії, млрд грн
2020	11086,4	9330,8	1755,6
2025	20202,7	15859,9	4342,8
2030	29613	22523,4	7089,6

З таблиці 6 видно, що при підвищенні рівня енергоефективності ми можемо сповільнити ріст необхідних капіталовкладень.

Економію отриману за рахунок сповільнення витрат на підтримку та модернізацію існуючих потужностей та будівництво нових, з урахуванням коефіцієнту дисконтування наведено в таблиці 7.

Економія з врахуванням коефіцієнту дисконтування визначається за формулою:

$$E_{\Sigma} = (E_{2020} \cdot \text{КД}_{2020}) + (E_{2025} \cdot \text{КД}_{2025}) + (E_{2030} \cdot \text{КД}_{2030}),$$

де E_{Σ} – сумарна економія,

E_{2020}, E_{2025}. E_{2030} – економія капіталовкладень по роках,

КД_{2020}, КД_{2025}, КД_{2030} – Коефіцієнт дисконтування для відповідного року.

Таблиця 7 – економія витрат з урахуванням коефіцієнту дисконтування

Рік	Економія капітолавкладень по роках	Коефіцієнт дисконтування для відповідного року	Економія витрат з урахуванням коефіцієнту дисконтування
2020	1907,29	0,718	1369,43422
2025	4692,56	0,191	896,27896
2030	7620,64	0,084	640,13376
		Сумарна економія	2905,84694

Як бачимо сумарна економія з урахуванням коефіцієнту дисконту за період в 15 років становитиме 2905,8 млрд грн.

Ці кошти можна буде за прикладом зарубіжних країн частково повернути споживачам, завдяки яким рівень енергоефективності було підвищено. Також варто частину зекономлених коштів надати електроенергетичній галузі на продовження впровадження необхідних заходів задля підвищення рівня енергоефективності.

Висновок

1. Існує потреба в додатковому стимулюванні енергозбереження в Україні за прикладом зарубіжних держав, задля підвищення рівня заінтересованості учасників процесу енергозбереження в підвищенні енергоефективності.
2. Економічні методи стимулювання передбачають надання знижок учасникам процесу енергозбереження, а розмір цих знижок можна визначити виходячи з оцінки економії отриманої шляхом підвищення ефективності використання електричної енергії.
3. Знижка, що надається повинна мати цільовий характер. Для визначення розміру знижки та порядку її розподілу між всіма учасниками процесу енергозбереження необхідно розробити спеціальний механізм стимулювання енергозбереження у споживачів.

Література

1. «Управління енерговикористанням» збірник доповідей 2002р – 260с.
2. М.П.Ковалко, С.П.Денисюк «Енергозбереження – пріорітетний напрямок державної політики України» 1998р – 279с.

Саблін О.Л.
Кафедра електропостачання

ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Вступ. На даний момент в Україні найбільшого розвитку набули в використанні такі альтернативні джерела енергії як сонячна, вітрова, гідроенергетика та енергія біомаси. Застосування сонячної енергії використовується як головний елемент отримання енергії. В даній роботі об'єктом впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) є фотогальванічна електростанція.

Основні технічні рішення. Проектними рішеннями встановлюється, що видача електроенергії (150 кВт) в мережу відбувається від шин 0,4кВ ТП-10/0,4кВ та має дві точки обліку (ТО):

- ТО-1, Віддача - РУ-10кВ ТП-10/0,4кВ;
- ТО-2, Генерація - РУ-0,4кВ ШО встановлюється в ТП-10/0,4кВ;

Структура системи АСКОЕ (рисунок 1).

Програмно-технічні засоби системи утворюють два рівні:

1) Нижній рівень АСКОЕ, що включає в себе: точки обліку; об'єкти обліку;
2) Верхній рівень АСКОЕ, що включає в себе: центральний пункт системи; автоматизовані робочі місця;

Під час побудови кожних із рівнів системи використовуються відповідні програмні забезпечення на основі сучасного мікропроцесорного обладнання та техніки.

Рішеннями передбачено встановлення на об'єкті локального устаткування збору та обробки даних до складу якої входять ТС, ТН, лічильники обліку електроенергії та відповідних комунікаційних центрів, що в свою чергу створюють КТЗ.

Клас точності ТС відповідно [1] - 0,5S.

Облік електроенергії забезпечується лічильниками типу ZMG 405 [2], функції якого включають забезпечення зберігання облікової інформації під час відключення живлення на протязі 10 років. Довжина ліній зв'язку 10м.

Забезпечення обміну даними між верхнім та нижнім рівнем підсистеми здійснюється за допомогою:

1) локальної мережі;
2) GSM із використанням стандартних GPRS/EDGE/GSM-терміналів.

Передача даних основного та резервного каналу між лічильниками обліку електроенергії і системою збору АСКОЕ відбувається за допомогою GSM/GPRS мережі мобільного зв'язку.

Функціонування із суміжними автоматизованими системами.

АСКОЕ будується як відкрита система функціонування та використовує в своєму комплексі стандартизовані документовані інтерфейси передачі даних з можливістю обміну інформацією з іншими системами обліку відповідно вимог до відкритих систем обліку електроенергії.

Суміжність із іншими автоматизованими системами забезпечується за допомогою архітектури «сервер-клієнт» протоколами TCP/IP та відповідної мови запитів основної бази даних. Передача даних з автоматизованої системи в умовах ОРЕ України відбувається на основі встановленого формату передачі даних.

Здійснення передачі даних енергопостачальній компанії відбувається: експортом файлів; доступом до лічильників обліку електроенергії.

Експорт файлів відбувається автоматично за допомогою електронної пошти в формах відповідно до встановлених вимог: за календарний місяць; добове споживання; годинний та півгодинний період;

Файли передачі даних надаються в текстовому форматі MS Excel відповідно встановлених зразків та вимог.

Рішеннями передбачається передача інформації щодо перетікання електричної енергії до ІОК Головного оператора мережею Internet технологією VPN.

Якість ручної чи автоматизованої передачі даних, що формуються починаючи із рівнів обліку електроенергії та передачею даних на вищі рівні забезпечуються програмними та технічними засобами АСКОЕ.

Зв'язок між лічильниками обліку електроенергії здійснюється за допомогою інтерфейсу RS-485. Комунікаційний модуль який в свою чергу здійснює передачу даних на сервери зацікавлених сторін створюється за допомогою інтерфейсу RS-485/RS-232 та GSM/GPRS модему [3].

Основний склад функцій АСКОЕ в залежності від рівня системи.

На верхньому рівні виконуються наступні функції: контроль над станом мереж збору даних від лічильників обліку; під час ремонту чи заміні елементів обліку введення недообліку перетікання електроенергії; зміна періоду зчитування інформації з лічильників обліку; точність в часі та його синхронізацію у всіх підсистемах та устаткуваннях обліку; збір інформації про перетікання електроенергії з всіх лічильників обліку включених в АСКОЕ; зберігання відповідних даних з кожної групи і точки обліку на даній системі; надання можливості доступу до інформації та бази даних відповідно до повноважень користувачів; можливість в автоматичному режимі на встановленому дисплеї по запиту оператора відображення даних перетікань електроенергії; виконання відповідних розрахунків щодо втрат електричної енергії в елементах мережі та устаткуваннях; створення системи паролів та обмеження доступу до системи АСКОЕ; можливість за допомогою інтерфейсу користувача вводу інформації з лічильників обліку електроенергії; друк інформації щодо перетікань електричної енергії за запитами відповідних користувачів; за допомогою інтерфейсу користувача надаються можливості використання інформації про збір даних та статистики, а також налаштування та діагностика самої системи.

На нижньому рівні виконуються наступні функції: зчитування інформації з приладів обліку в встановлений період; погодинний облік та зчитування інформації у встановлену порядку.

Відображення даної інформації в системі; вимірювання кількості перетікань електричної енергії за допомогою багатофункціональних лічильників обліку; створення графіків активної та реактивної потужності з заданим періодом інтеграції 5, 10, 15, 30, 60 хвилин; формування та збереження первинної бази даних з приладів обліку не менше 3 місяців; забезпечення проведення по запиту внутрішньої діагностики; зв'язок для передачі даних з приладів обліку електроенергії; обмін інформацією та маршрутизація даних.

Комплекс технічних засобів системи АСКОЕ.

Дана автоматизована система є інтегрованою та згідно відповідних структур та розміщення приладів обліку включає в себе підсистеми НР і ВР:

- передача та збір інформації з нижчого рівня (НР) , підстанції АСКОЕ

НР, що включають:

а) лічильники обліку електричної енергії ZMG 405 CR.4;

б) технічні засоби мобільного зв'язку VPN та GSM- мережі для взаємодії між компонентами системи. Надання прямого доступу до лічильників обліку електроенергії;

- формування бази даних, контроль та облік електроенергії - верхній рівень (ВР).

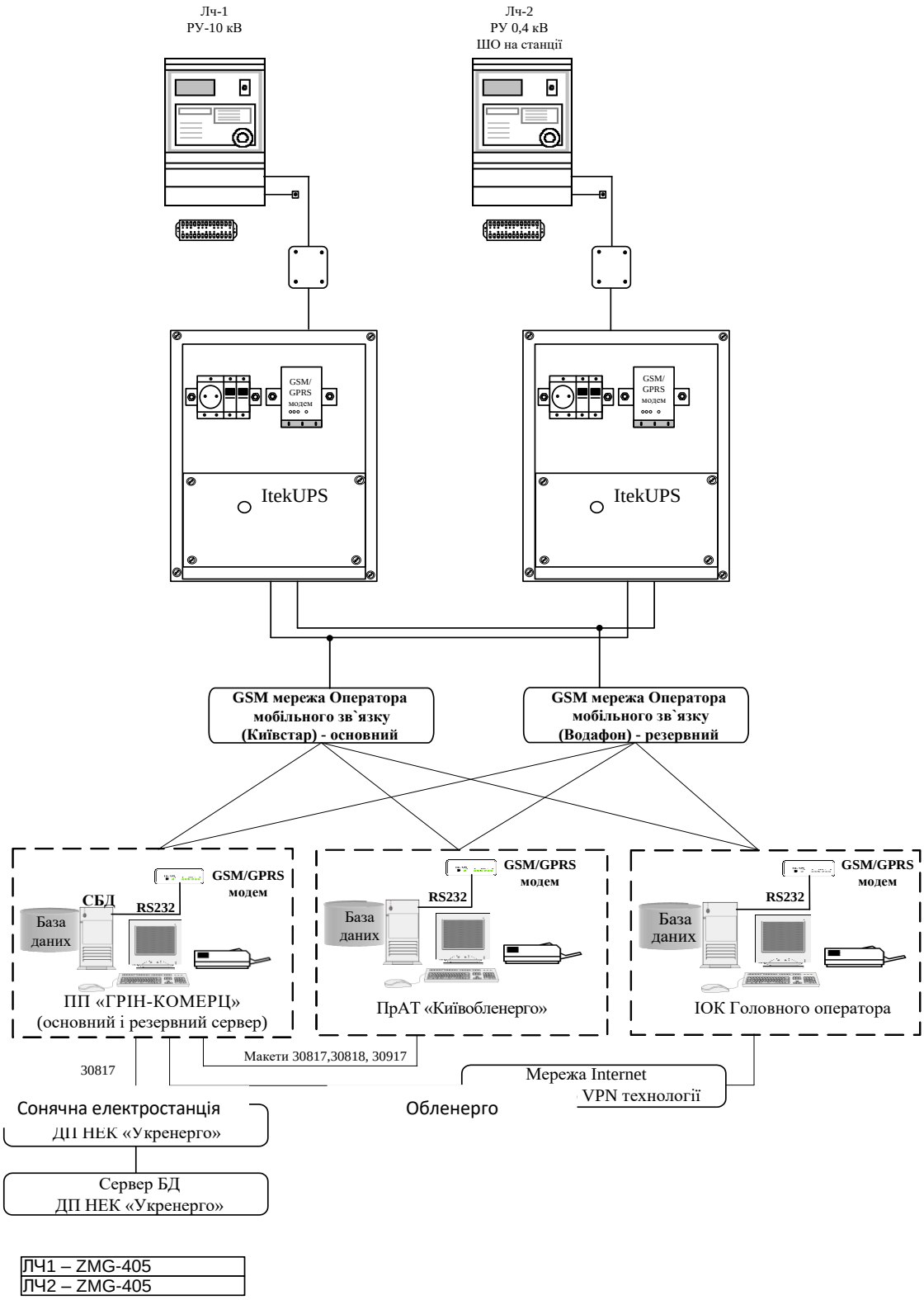


Рисунок 1. Структурна схема АСКОЕ сонячної електростанції.

Режими функціонування системи АСКОЕ:

Функціонування системи відбувається безперервно та цілодобово з фіксованими періодами ремонту роботи і зупинками системи та проведенням огляду комплексу.

Зчитування інформації з точок обліку електроенергії та самодіагностика комплексу системи відбувається автоматично. Деякі системи комплексу потребують проведення комплексної діагностики за допомогою окремого переносного комп'ютера та оператора.

Програмне забезпечення надає можливість системі синхронізацію сервера, приладів та пристроїв обліку за протоколом NTP.

Інформаційне забезпечення системи:

База інформаційного забезпечення будується за допомогою взаємопов'язаних баз даних нижнього та верхнього рівня як сукупність різних засобів і методів, що діляться на інформаційні масиви.

Дане інформаційне забезпечення системи надає можливість ведення обліку з наступними показниками: повнота; - достовірність; - своєчасність; - синхронність; надійність; збереження необхідної інформації; взаємообмін; зручність в наданні необхідної інформації.

База інформаційного забезпечення складається з: первинної база даних, знаходиться в складі лічильників обліку; масиву копії первинної бази даних, як необхідність дублювання; інформації при роботі в аварійних ситуаціях; нормативно довідкової інформації; масиву даних ручного введення; форм звітності та макети даних; протоколів діагностики та роботи; даних ручного введення; даних обробленої інформації згідно окремих груп точок обліку
електроенергії;

Програмне забезпечення системи АСКОЕ.

Програмне забезпечення, що надає можливість повному функціонуванню системи та зв'язку між масивами даних складається з: прикладного програмного забезпечення; спеціального програмне забезпечення; системи та засобів програмного забезпечення, що розширюють можливості роботи системи;

Програмне забезпечення системи використовує операційну систему на основі ліцензійної Microsoft Windows 10.

Для можливості реалізації функціональної діяльності системи використовують прикладні програмні забезпечення на основі ліцензійної Microsoft Office.

В склад спеціальних програмних забезпечень входять комплекс засобів «ELECTRO».

Спеціальний програмний засіб «ELECTRO» надає наступні можливості: внесення змін та їх реєстрацію в спеціальному журналі; копіювання в архів та відновлення з архіву необхідної інформації; тестування функціонування програмно-технічного забезпечення системи; захист системи за допомогою паролів, захист від стороннього втручання, стирання чи змінення даних системи.

Висновок, Запропоновані технічні рішення реалізації системи комерційного обліку електроенергії сонячної електростанції, що задовольняють вимогам основних нормативних документів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Про затверд-ження правил улаштування електроустановок», 2017, №476, ст.759.

2. Технічні рекомендації щодо вибору розрахункових засобів обліку електричної

енергії до ЛУЗОД та АСКОЕ юридичних споживачів/ Затверджено комерційним директором ПАТ «Волиньобленерго», Іванов Д.О., 2012, 4с.

3. Реалізація зв'язку з системою АСКОЕ через GSM мережу/ В.А. Святний, О.М. Мірошкін, В.В. Гриша// Вісник НТУ "ХПІ», 2017, 8с.

Федорчук І.І.
Кафедра електропостачання

КОНТРОЛЬ ПОДАЧІ ПОВІТРЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ ПРИМУСОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Витрати на опалення і вентиляцію складають значну частину витрат на експлуатацію будівлі. Щоб їх скоротити, необхідно оснастити будівлю ефективною системою вентиляції з утилізацією тепла і регулюванням витрати повітря відповідно до потреби. Це призведе до економії електроенергії в будинку і, отже, до скорочення загальних витрат. Дорожча установка швидко окупається за рахунок зниження витрат на електроенергію. Запропоновано рішення по підвищенню рівня енергоефективності в системах примусової вентиляції за рахунок використання контролю подачі повітря в приміщння.

Ключові слова: енергоефективність, система вентиляції, вентиляційні системи зі змінною та постійною витратою повітря, регулятор VAV, VAV-терміналу, клас енергоефективності, холодопостачання, тепло притоки, мінімально допустима витрата повітря, санітарні норми, експлуатаційні затрати, капітальні затрати.

The cost of heating and ventilation is a significant part of the cost of operating the building. In order to reduce them, it is necessary to equip the building with an effective ventilation system with heat utilization and air flow control as needed. This will save energy in the house and, consequently, reduce overall costs. The more expensive installation quickly pays off by reducing the cost of electricity. The decision on increase of level of energy efficiency in systems of forced ventilation by the use of control of air supply in the premises is offered.

Енергетична криза 70-х років допомогла зрозуміти, наскільки обмежені ресурси нашої планети. Ми почали економити і знижувати енергоспоживання будь-якими способами. І це, як вважали багато, було добре. Але були і недоліки. Ось один з них : будинки були герметизовані настільки, що повністю припинявся витік повітря через стіни, вікна та двері. Однак така ізоляція не супроводжувалася поліпшенням вентиляційних систем, що призвело до значного погіршення мікроклімату приміщень, а отже, до проблем зі здоров'ям у безлічі людей. Несвіже повітря і вогкість стали серйозними проблемами і в новобудовах, і в старих будівлях.

Правильно спроектована вентиляційна установка не споживає багато електроенергії. Навпаки, в будівлях з примусовою вентиляцією (споживає електроенергію) загальне споживання електроенергії скорочується в порівнянні з будівлями, обладнаними вентиляцією на природній тязі.

Сьогодні ми стали набагато більше думати при вкладенні коштів. Витрати на опалення і вентиляцію складають значну частину витрат на експлуатацію будівлі. Щоб їх скоротити, необхідно оснастити будівлю ефективною системою вентиляції з утилізацією тепла і регулюванням витрати повітря відповідно до потреби. Це призведе до економії електроенергії в будинку і, отже, до скорочення загальних витрат. Дорожча установка швидко окупається за рахунок зниження витрат на електроенергію.

Вибір оптимальної системи кондиціонування повітря для загальних будівель здаються важкою та неоднозначною задачею. Це пояснюється тим великим вибором схем вирішення та важкістю оцінки їх з фінансової сторони.

Система VAV являється багатозональною системою кількісно якісного регулювання. При максимальному споживанні в холоді кожна зона обслуговування приміщення отримує від такого центрального кондиціонера розрахункову кількість повітря з постійною температурою 9-12. Зональний довідник контролює цю витрату . По мірі зниження споживання в холоді в даній зоні зменшується кількість подавального холодного повітря, поки ця величина не знизиться до санітарної норми.

VAV- Variable Air Volume- вентиляційні системи зі змінною витратою повітря працюють в режимі зміни кількості повітря, що подається. Зміни теплового навантаження приміщення компенсується шляхом зміни об'єму припливного та витяжного повітря при його постійній температурі, подавальної від центральної припливної установки.

Найбільш істотні переваги вентиляційних систем VAV є:

- індивідуальне регулювання параметрів повітря в окремих приміщеннях;
- можливість використання датчиків руху, датчиків CO2, реле часу і ручних регуляторів для зміни витрати повітря;
- зниження витрат на виробництво і монтаж мережі повітроводів, і зниження вартості обладнання для підготовки повітря;
- зниження споживання електроенергії;
- спрощення процесу запуску і настройки вентиляційної мережі;
- можливість безперервного контролю величини кількості повітря в окремих відгалуженнях мережі повітряних каналів;
- можливість централізованого управління витратою повітря в установці;
- можливість переобладнання вентиляційної системи відповідно до нових умов.

Головним елементом, який підтримує задану температуру і витрата повітря в приміщенні, є регулятор VAV, який називають також терміналом VAV.

Завданням терміналу є підтримка заданої кількості припливного і витяжного повітря в залежності від поточної потреби. Необхідна величина витрат визначається значенням зовнішнього керуючого сигналу. Цей сигнал надходить на регулятор від встановлених в приміщеннях будівлі температурних регуляторів, датчиків CO2 або інших елементів системи управління.

На вимірювальних елементах VAV-терміналу (рис.1), встановлених у вентиляційному каналі виникає перепад тисків, величина якого залежить від швидкості повітря. Значення цього перепаду подається на вимірювальний перетворювач, в якому визначається фактичні витрати повітря в залежності від площі поперечного перерізу терміналу, потім значення поточної витрати повітря порівнюється з заданим. Виходячи з цього порівняння, формується величина відхилення параметра системи регулювання, на підставі якого генерується сигнал для зміни положення дросельної заслінки.

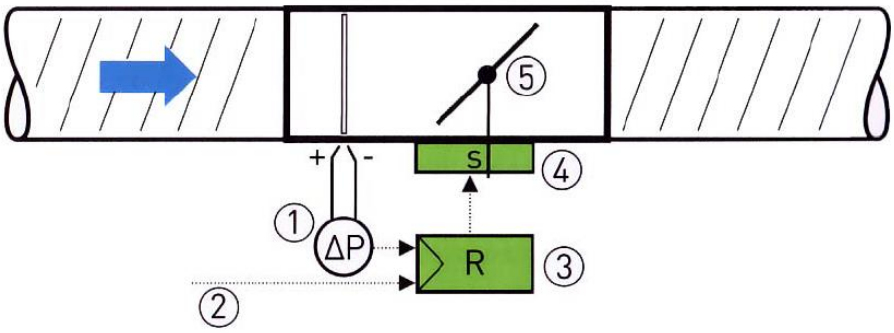


Рисунок. 1. Конструктивні елементи регулятора витрати VAV:

1 - перетворювач перепаду тисків;
2 - зовнішній управляючий сигнал;
3 - VAV регулятор;
4 - електропривод дросельної заслінки;
5 - дросельна заслінка.

Об'єктом дослідження є будівля офісного центру . Має 14 поверхів, 2 рівні підземного паркінгу та технічний поверх, який розташований під покрівлею.

У будівлі використовується припливно-витяжна система вентиляції. На кожному поверсі організована вентиляційна камера, де розташоване все необхідне обладнання.

Теплопостачання комплексу здійснюється від дахової котельні, що розташовується на покрівлі. Розрахунковий температурний графік роботи котельні 90-70°С. Для теплопостачання комплексу передбачаються два приміщення теплового пункту. Таке рішення забезпечує розділення гідравлічних систем на дві зони по статичному тиску. В кожному тепловому пункті будуть розташовуватися насосні групи, високоефективні теплообмінники та інше обладнання. Для кожної групи споживачів передбачаються вузли обліку теплової енергії.

Вентиляція офісних та громадських приміщень передбачена центральна механічна припливно-витяжна з подачею санітарної норми кількості повітря на лю дину. Вентиляційні установки розміщуються в поповерхових венткамерах, з встановленням одного вентиляційного агрегату на кожному поверсі. Установки передбачені з рекуперацією тепла, підігрівом та передохолодженням повітря. Забір та викид повітря організовано з фасаду споруд.

Провівши енергетичне обстеження отримали річні витрати на експлуатацію системи ОВ, які звели в рис.2.

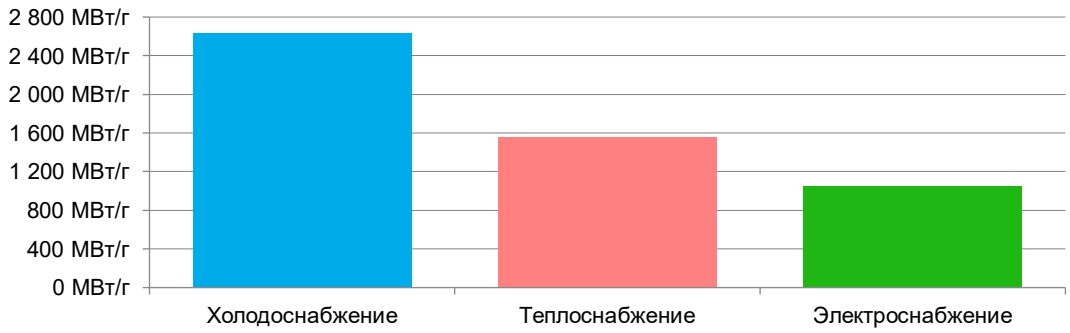


Рисунок 2. Річні витрати на експлуатацію системи ОВ.

Було проведено обстеження вентиляційних уставок та встановлення їхньої відповідності до європейських норм. В результаті чого можна зробити висновок, що всі припливні установки не відповідають нормам. Згідно вимог EUROVENT все устаткування має клас енергоефективності Е (табл. 1).

Розглянемо типовий поверх для прорахунку використання вентиляційної системи зі змінною подачею повітря. Оскільки дане офіс типу «open space» то належать враховувати, що зовнішні стіни зорієнтовані по різних сторони світла. Обсяг припливного повітря, що подається в ці приміщення, залежить від величини теплового навантаження. При цьому для кожної зони слід враховувати тепло, яке надходить від людей, які знаходяться в приміщеннях, електричного і офісного устаткування, а також інфільтрацію через зовнішні стіни Крім того, при розрахунках загального теплового

навантаження приймається поділ на навантаження від сонячного випромінювання і на теплове навантаження від освітлення, використовуваного в різний час доби. Для прикладу, в літній період теплове навантаження окремих приміщень включає постійне теплове випромінювання від людей і електрообладнання, питома споживана потужність якого оцінюється величиною 25-35 Вт/м2.

Талбиця. 1 Клас енергоефективності вентиляційного обладнання.

Energy Efficiency Class	All units	Unit for outdoor air temperature ≤ 9°C (winter)	
	Air velocity	Heat recovery system	
	v_{class} [m/s]	η_{class} [%]	Δp_{class} [Pa]
A+ / A+↳ / A+↑	1,4	83	250
A / A↳ / A↑	1,6	78	230
B / B↳ / B↑	1,8	73[10]	210
C / C↳ / C↑	2,0	68[11]	190
D / D↳ / D↑	2,2	63[12]	170
E / E↳ / E↑	No calculation required		
Установка	**v, м/с**	**η, %**	**ΔP, Па**
ПВ 4-5	2,9	58,4	37
ПВ 6-12	3,9	58,7	129
ПВ 13-14	3,2	56	66

У відповідності до кількості людей , що знаходиться в кожній зоні, туди повинна подаватись різна кількість свіжого повітря, так званий санітарний мінімум. Згідно з ДБН ця кількість повітря не повинна бути меншою ніж 30 м3/год. Виходячи з цього мінімально допустима витрата повітря через регулятор VAV в окремих зонах складає :

$$V_{min} = n \times V_{г};$$

n – кількість осіб, які перебувають в обслуговуваній зоні,

$V_{г}$ – кількість свіжого повітря на одну людину згідно з санітарними нормами.

Приймаючи для нашої будівлі , що в кожному офісному приміщення типу «open space» знаходиться 85 людей (6 м2 на одну людину) та виходячи з кількість свіжого повітря 30 м3/год) отримаємо $V_{min} = 2550$ м3/год. В неробочий час вентиляція працює також і на провітрювання, подаючи мінімальну кількість повітря. Регулювання потоку повітря проводиться за допомогою зональних терміналів VAV які управляються за допомогою сигналів від кімнатних температурних регуляторів, при цьому в кожному приміщенні типу «open space», орієнтованих по різних сторонах світла встановлено по одному регулятору. Така конфігурація дозволяє оптимізувати роботу вентиляційної системи в цілому при одночасному забезпеченні комфортного мікроклімату в кожному приміщенні. У зимовий період процес регулювання температури повітря здійснюється дещо іншим принципом - у міру зниження тепло надходжень зменшується обсяг припливного повітря, що подається в приміщення, аж до заданого мінімального значення. Важливим фактором є також метод регулювання оборотів витяжн0го вентилятора Найбільш ефективним рішенням в даному випадку є управління по датчику тиску в обслуговуваному приміщенні в залежності від атмосферного тиску.

Порівняльний аналіз використання двох систем зі змінною (VAV) та постійною (VWV) витратою повітря зведемо в таблицю 2.

Таблиця 2 - – Потреби в кількості холоду для двох систем

Зона зовнішнього клімату	Температурні границі зони	Тривалість стану параметрів зовнішнього клімату, год	VAV система кВт/год	VWV система кВт/год
Теплий період року				
Зона 1	вище +28 °С	199	186 010	186 010
Зона 2	+28…+25 °С	1335	1 190 806	1 190 806
Зона 3	+25…+15 °С	765	361 235	638 888
Зона 4	+15…–15 °С	1810	0	614777
Зона 5	–15…–30 °С	41	0	0
Всього за рік		3 600	1 738 051	2 630 481

Як видно з таблиці 2, система VAV на 34% споживає менше електроенергії ніж система з постійною витратою повітря, тобто експлуатаційні затрати будуть значно меншими. Якщо ж порівняти капітальні затрати (рис. 3), то одразу помітно, що витрати на систему зі змінною подачею повітря будуть значно більшими ніж на систему з постійною подачею повітря.

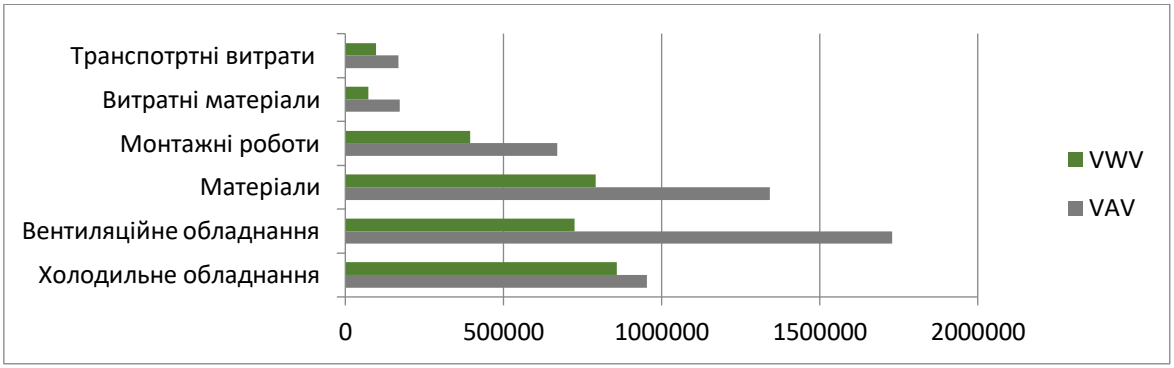


Рисунок. 3. Капітальні затрати на системи VAV та VWV

Отже, отримуємо , що на систему VAV капітальні затрати складають 5036784 грн, а на VWV – 2940769 грн.

Розрахувавши термін окупності отримаємо, що через 5 років експлуатаційні затрати на систему зі змінною подачею повітря окуплять капітальні затрати і система почне приносити економію. При значних теплових надлишках в будівлі система центрального кондиціонування VAV істотно ефективніше системи VWV, так як дозволяє забезпечити економію холоду протягом року і тепла в холодний період року, Крім того, істотною перевагою першої системи є той факт, що холодильна установка використовується тільки в теплий період року при температурі зовнішнього повітря вище + 15 ° С.

Список використаної літератури:

1. Журнал АВОК № 7/2012

2. Е.В. Стефанов «Вентиляція і кондиціонування повітря», 2005р.
3. Г.С. Ртуняк, Р.В. Степанковський. Манографія «Регулювання аеродинамічних потоків в системах вентиляції та аспірації», 2015р.
4. Веслав Судол, Яцек Хендигер «Короткий опис VAV BELMO», 2009р.

УДК 620.9+339.133+005

Романюк І.О.
Кафедра електропостачання

ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ПОПИТУ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ ДЛЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ

У статті обґрунтовано актуальність та переваги створення типових профілів для побутових споживачів в Україні, як важливої складової програм управління попитом на електроенергію. Запропоновано потенційні профілі споживання для майбутнього побутового споживача. Розглянуто найбільш вживані електричні прилади у країнах Європейського Союзу та зроблено припущення, щодо їхнього використання в Україні у майбутньому.

The article substantiates the relevance and advantages of creating typical profiles for domestic consumers in Ukraine as an important component of demand management programs for electricity. Proposed potential consumption profiles for the future of domestic consumer. The most widely used electric devices in the European Union countries are considered and assumptions are made regarding their use in Ukraine in the future.

Ключові слова: електрична енергія, типові профілі споживання, управління попитом, графік навантаження.

Вступ. Електроенергія є одним з найбільш вагомих продуктів проміжного споживання країни. Відповідно до політики Міністерства енергетики та вугільної промисловості [1] зазначено, що в Україні збираються розробити типові профілі споживання за для кращого прогнозування попиту на електричну енергію для споживачів без інтелектуальних лічильників. В багатьох розвинених країнах типові профілі електричного навантаження є стандартним інструментом, що використовується для розрахунку погодинного обсягу споживання електроенергії споживачами, які не обладнані інтелектуальними лічильниками з можливістю дистанційного зчитування інформації. В Україні такими споживачами виступають переважна більшість населення, комунально-побутовий сектор, сфера торгівлі, обслуговування, інших малих непобутових споживачів.

Вивченню проблем управління попитом на електроенергію та підвищення ефективності споживання електроенергії присвячено багато праць як вітчизняних, так і закордонних вчених. Серед них Ю.А Веремійчук, М.П. Панасюк, А.І Замулко, М.М. Кулик, О.Є. Маляренко, Н.Ю. Майстренко, В.В. Станиціна, А.І. Спітковський, Д.П. Сас, В. Лір, О. Биконя, І.М. Сотник, Ю.М. Завдов'єва, О.І. Завдов'євий, В.Ф. Находов, Т.В. Яроцька, А.О Горбоненко, Henrik Klinge Jacobsen, Peter Wanke, Eduardo Saliby та Bart Smets [2-12]. Проте, не зважаючи на наявні наукові здобутки, дослідження процесу управління попитом на електроенергію не втрачає своєї актуальності. Зокрема, на сучасному етапі подальшого наукового обґрунтування потребується створення типових профілів споживачів.

Мета та завдання. Метою даної статті є запропонувати потенційні профілі споживання для майбутнього побутового споживача.

Матеріал і результати досліджень. У світовій і вітчизняній практиці традиційними формами управління попитом на електроенергію є: зниження піку навантаження; заповнення провалу графіка навантаження; усунення навантаження; загальне енергозбереження; загальне зростання навантаження; застосування гнучкого

графіка навантаження. Крім того, додатковими напрямами такої діяльності останніми роками виступають формування різноманітних стратегій збуту, пошук нових сфер використання енергії, розосереджене генерування та акумулювання енергії, електрифікація тощо [13].

В Україні останнім часом зберігається тенденція зросту тарифів на газ, що змушує багатьох споживачів шукати альтернативну заміну його використанню. Так як тарифи на електричну енергію є значно нижчими, то велика кількість споживачів намагається замінити споживання газу на споживання електричної енергії. Так наприклад кухонну газову плиту та опалювальну установку можна замінити на електричні. Також в Україні присутня проблема частого відключення гарячого водопостачання, що спричиняє дискомфорт споживачам, тому вони вимушені встановлювати бойлери. Спостерігаючи тенденцію зросту тарифів на газ, будівельні компанії почали будувати негазифіковані багатоквартирні будівлі, тобто у них встановлюють електроопалювальні установки, що дуже приваблює покупця, адже він зможе суттєво зекономити свої кошти.

Отже, як бачимо в Україні спостерігається суттєве збільшення використання електричних приладів, що у свою чергу призводить до збільшення споживання електричної енергії, а це несе за собою негативний вплив на графік електричного навантаження України. Тому задля підвищення точності прогнозування обсягу електричної енергії, яку електропостачальникам необхідно буде закуповувати для покриття графіка навантаження приєднаних споживачів, задля зниження небалансу електричної енергії та зменшення вартості електричної енергії для кінцевих споживачів необхідно розробити типові профілі споживання, які будуть класифікуватися по використанню електричних приладів, що є найбільш вживаними побутовими споживачами. Запропоновані типові профілі побутових споживачів представлені на рисунку 1. До водонагрівальних приладів віднесено бойлер, пральну та посудомийну машини.

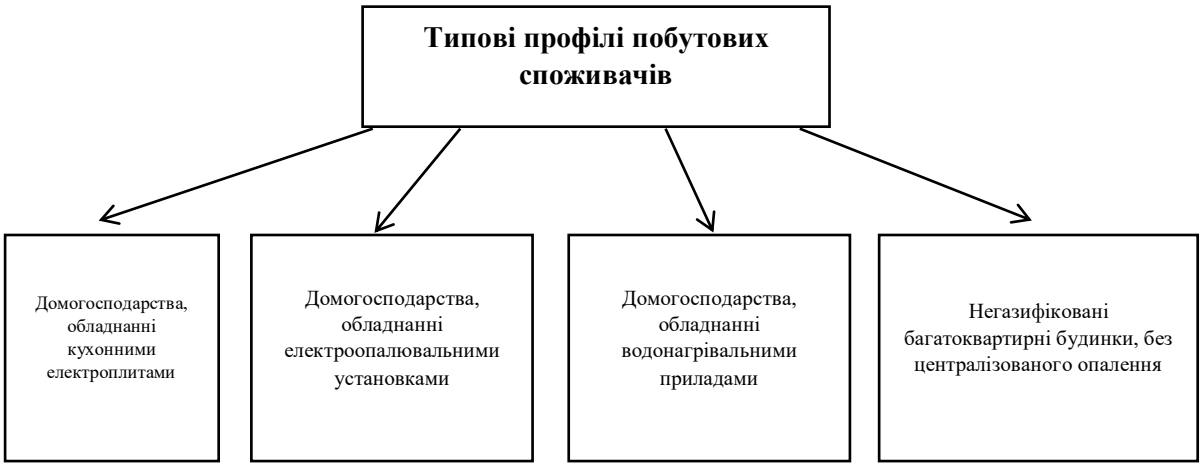


Рисунок 1. Типові профілі побутових споживачів

У майбутньому типові профілі споживання можуть додаватися, так як на українському ринку можуть з’явитися нові електричні прилади, котрі стануть суттєвими споживачами електричної енергії у домогосподарстві. Потрапити на вітчизняний ринок вони можуть із більш розвинених країн. Розглянемо, які електричні прилади є найбільш вживаними у Норвегії та на котрі альтернативні їх хочуть замінити.

Сьогодні найбільш поширеним методом гарячого водопостачання в Норвегії є використання електричного опалення та резервуарів для гарячої води. Це становить приблизно 15% загального споживання електроенергії у типовому господарстві [14].

Нова технологія, що є в наявності у Норвегії - це миттєвий електричний водонагрівач. Цей електричний прилад не зберігає гарячу воду, а нагріває лише ту кількість води, яку необхідно для використання в даний момент. Для цього він має високий попит на електричну енергію. Наскільки високий цей попит залежить від різниці температур холодної та гарячої води, а також скільки води потрібно отримати за хвилину. Даний електроприлад є малим і може бути розташований поблизу місця використання, що дає швидкий доступ до гарячої води. Значний попит на електричну енергію в домогосподарствах можна буде уникнути, якщо споживання гарячої води буде здійснюватися миттєво, оскільки не буде необхідності в її зберіганні [15].

Також на європейському ринку з’явився новий прилад, що використовує заздалегідь нагріту воду замість холодної. Він може бути використаний у пральних та посудомийних машинах. Протягом останніх років невелика кількість нових моделей, що включають "гаряче наповнення", стали доступними на ринку Європейського Союзу [16], але дане розповсюдження ще не є дуже широким. У стандартній посудомийній машині, як правило, від 60% до 70% електричної енергії використовується для нагрівання води. Залежно від моделі, прилад з гарячим наповненням зазвичай зберігає на 50% більше енергії, а ніж прилад, який використовує холодну воду [17]. У пральній машині на гаряче водопостачання може припадати до 90% електричної енергії, яку машина використовує для прання одягу і лише 10% - на електричну енергію, що використовується мотором [17]. Дослідження показують, що використання приладу з гарячим наповненням замість холодного зменшило загальне споживання електроенергії на посудомийну і на пральну машини відповідно на 38% та 67% [16].

Проаналізувавши нові електричні прилади, які входять на європейський ринок можемо припустити, що дані прилади буду популярні в Україні в найближчому майбутньому. Також в Україні з’являється попит на використання електромобілів. Тому до запропонованих типових профілів побутових споживачів можна додати ще три типи:

- домогосподарства, обладнанні миттєвими електричними водонагрівачами;
- домогосподарства, обладнанні приладами з гарячим наповненням;
- домогосподарства, які мають електромобілі.

Висновки. За результатами проведеного дослідження встановлено, що застосування типових профілів споживання в Україні дозволить підвищити точність прогнозування обсягу електроенергії, яку електропостачальникам необхідно буде закуповувати для покриття графіка навантаження приєднаних споживачів. Це повинно призвести до зниження небалансу електричної енергії, оптимізації заявок і платежів на всіх сегментах нового енергоринку і, як наслідок – до зменшення вартості електричної енергії для кінцевих споживачів. Таким чином, сформовані мною типові профілі споживання дозволять електропостачальникам запропонувати споживачам довгостроковий тариф на електричну енергію за мінімальну ціну. Потенційно типові профілі дозволять визначити резерви керування попитом для побутових споживачів з метою оптимізації їх добового графіка електричного навантаження, що сприятиме підвищенню надійності і економічності режимів роботи енергосистеми вцілому. А

також дасть можливість оцінити ефективність запровадження зонної моделі обліку електроенергії для різних категорій споживачів.

Список використаних джерел

1. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245292076&cat_id=35109

2. Веремійчук Ю. А. Аналіз ефективності розподілу споживачів електричної енергії на роздрібному ринку України / Ю. А. Веремійчук, М. П. Панасюк, А. І. Замулко // Електромех. і енергозберігаючі системи. - 2012. - Вип. 2. - С. 71-76. - Бібліогр.: 4 назв. - укр.

3. Кулик М. М. Застосування методів комплексного прогнозування для визначення перспективного попиту на первинні енергетичні ресурси / М. М. Кулик, О. Є. Маляренко, Н. Ю. Майстренко, В. В. Станиціна, А. І. Спітковський // Проблеми загальної енергетики. - 2017. - Вип. 1. - С. 5-15. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2017_1_4.

4. Сас Д. Прогнозування попиту на електричну енергію за допомогою методу UP-DOWN / Д. Сас // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – № 3(34). – С. 11–16.

5. В. Лір. Економічні механізми управління попитом на ринку електроенергії / В. Лір, О. Биконя // Економіст. - 2015. - № 2. - С. 9-13. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ_2015_2_3

6. Сотник І. М. Багатоставкові зонні тарифи в системі управління попитом на електроенергію / І. М. Сотник, Ю. М. Завдов'єва, О. І. Завдов'єв // Mechanism of Economic Regulation. - 2014. - № 2. - С. 106-115

7. В. Ф. Находов, Т. В. Яроцька, і А. О. Горбоненко, Методологія аналізу та корегування впливу диференційованих тарифів на конфігурацію графіків навантаження енергосистеми України, Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 6, с. 72-75, Лис 2010.

8. Двоетапний метод прогнозування перспективного попиту на енергетичні ресурси / М.М. Кулик, Н.Ю. Майстренко, О.Є. Маляренко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2015. — № 5-6. — С. 25-33.

9. Методи узгодження прогнозних рішень / М. М. Кулик // Проблеми загальної енергетики. - 2014. - Вип. 2. - С. 5-12.

10. Jacobsen H.K. Integrating the bottom-up and top-down approach to energy-economy modelling; the case of Denmark // Energy Economics 20. — 1998. — P. 443–461.

11. Wanke P., E. Saliby E. TOP-DOWN OR BOTTOM- UP FORECASTING? Pesqusia Operacional, Setembro a Dezembro de 2007. — Vol. 27, ¹ 3. — P. 591–605.

12. Bart Smets Investigation on Demand Side Management Techniques in the Smart Grid using Game Theory and ICT Concepts.

13. Мангараков, А. С. Регулирование спроса на электроэнергию [Електронний ресурс] – Режим доступа : http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/pdf/13/69a.pdf.

14. H. Sæle, B. A. Bremdal, T. T. Engan, V. Kristoffersen, J. A. Foosnæs, T. E. Nordal and J. M. Sletner, "Subscribed power - testing new power based network tariffs stimulating for demand response," CIRED, Lyon, 2015.

15. B. Grinden and N. Feilberg , "D10- Analysis of Monitoring Campaign in Europe,"REMODECE, 2008.

16. D. Saker, M. Vahdati, P. J. Coker and S. Millward, "Assessing the benefits of domestic hot fill washing appliances," *Energy and Buildings 93*, pp. 282-294, 15. April 2015.

17. Energy Rating, "Frequently Asked Questions – Appliances," 2014. [Online]. Available: http://www.energyrating.gov.au/products-themes/washing-drying/appliances/#faq_4. [Accessed 18. June 2015].

УДК – 620.9

Моташко А.М.
Кафедра електропостачання

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ (НА ПРИКЛАДІ М. СЛАВУТИЧ)

Анотація

Стаття складається із вступу, мети та завдання, матеріалу та результату дослідження, висновку. В тексті роботи наведено 1 таблицю

Ключові терміни та поняття: енергоефективність, електроспоживання, електрична енергія,комунальні витрати, лампи розжарювання, LED-лампи .

Summary

Article consists of the introduction, goal and task, the material and the result of the study, the conclusion. In the text of the work is given 1 table

Key terms and concepts: energy efficiency, electricity consumption, electric energy, utility costs, incandescent lamps, LED lamps.

Вступ

Підвищення енергетичної ефективності – це достатньо необхідний процес для збереження бюджетних коштів. Від вартості, кількості та якості спожитих енергоресурсів значною мірою залежить добробут громадян.

Раціональне та економічне використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), зменшення забруднюючих викидів в атмосферу, ефективне використання електро-, тепло- енергії набувають досить важливого значення у сьогоденні.

5 липня 2018 року в місті Славутич Київської області, в рамках завершення демонстраційного Грантового проекту Європейського Союзу «Пілотний проект з реалізації Плану дій сталого енергетичного розвитку м. Славутич до 2020 року».

Славутич провів колосальну роботу щодо впровадження заходів Плану дій сталого енергетичного розвитку, який був прийнятий у 2013 році, у таких секторах життєдіяльності міста, як: муніціпальні будівлі, державні будівлі, житлові будинки, муніціпальне освітлення та промисловість. Вже інвестовано з різних джерел (грантові кошти, кредитні кошти, приватні кошти, кошти державного та місцевого бюджетів) на реалізацію Плану дій на загальну суму більше 100 млн.грн. Лише за останні три роки в Славутичі впроваджено заходи з енергозбереження у 20-ти муніціпальних та державних будівлях, оснащено теплолічильниками усі багатоповерхові будинки міста, оновлено систему зовнішнього освітлення, проведено технічне переоснащення котельні та ремонт тепломереж на загальну суму більше 50-ти млн.грн.

Мета та завдання : підвищення ефективності процесу електроспоживання житлових будинків для скорочення витрат домогосподарств на оплату комунальних послуг;створення статистичної бази даних з електроспоживння житлових будинків м. Славутич [1].

Матеріал і результати досліджень.

В м. Славутич є організація, яка займається обслуговуванням житлових будинків – це комунальне підприємство «Житлово-комунальний центр». До одного з виду послуг

відноситься освітлення місць загального користування (під'їзди та підвали)та обслуговування ліфтових установок. До обслуговування електроосвітлення відноситься:

- регламентні роботи (обхід, огляд, перевірка роботи та технічного стану електромереж, силових установок, автоматичних вимикачів, освітлення тощо) ;
- ремонт електропроводки (окрім квартирної);
- ліквідація аварій .

Практично у всіх будинках міста використовуються лампи розжарювання (60 або 40 Вт). Такі лампи мають ряд недоліків, а саме найголовніші :

- низька світлова віддача;
- малий термін служби;
- досить швидке та сильне нагрівання зовнішньої поверхні лампи,

але один із головних переваг є низька ціна ламп.

Під'їзди освітлюються цілодобово, тому і електроенергія споживається в досить великій кількості.

Для прикладу можна розрахувати скільки споживається комунальної електроенергії за місяць в одному з будинків м. Славутич (Добринінський квартал будинок № 1). В даному будинку встановлено 50 ламп розжарювання. Споруда має три під'їзди, в яких розташовано 84 кватири.

Кількість спожитої електроенергії можна розрахувати за формулою :

$$\mathrm{EE} = N \times P \times n \times t,$$

де :

- N – кількість встановлених ламп розжарювання ;
- P – потужність однієї лампи ;
- n – кількість днів ;
- t – кількість годин роботи ламп за один день.

Кількість годин роботи ламп приймемо 19 год. в день

Отже, кількість спожитої електроенергії дорівнюватиме :

$$\mathrm{EE} = 50 \times 0{,}06 \times 30 \times 19 = 1710\ \text{кВт} \cdot \text{год}$$

За фактичними даними в вересні 2018 року кількість спожитої електроенергії склала 1776 кВт·год. Це є немалою кількістю, тому має місце говорити про підвищення ефективності споживання комунальної електроктроенергії в місцях загального користування житлових будинків. Зменшення електроспоживання освітлення має позитивний вплив на бюджети сімей будинку. Такого зменшення можливо досягти шляхом заміни ламп розжарювання на світлодіодні лампи. Такі лампи мають значно більший термін експлуатації (три роки, в порівнянні з лампами розжарювання – 1,5 місяці). LED-лампи є екологічними та безпечними у використанні. Але найголовнішою перевагою для жителів є те, що електроенергія цими лампами споживається приблизно в десять разів менше.

В таблиці 1 представимо споживання електроенергії за період січень-липень 2018р. одного з житлових будинків м. Славутич.

Таблиця 1 – Споживання комунальної електроенергії за 2018 р.

Місце установки	01.01	01.02	01.03	01.04	01.05	01.06	01.07
Бєлгор., буд. 2	74	119	95	94	90	57	59
Бєлгор., буд. 4	339	407	312	207	221	143	145
Белгор., буд. 6	1313	1600	749	597	473	436	438
Бєлгор., буд. 7 .1	582	659	563	532	538	386	388
Бєлгор., буд. 7.2	508	592	508	508	457	396	398
Бєлгор., буд. 8.1	746	909	1043	809	638	531	533
Бєлгор., буд. 8 .2	576	712	580	594	578	529	531
Бєлгор., буд. 9 .1	1089	1074	918	972	811	694	696
Белгор., буд. 9 .2	1150	1261	1142	1338	1405	1143	1145
Бєлгор., буд. 10	592	623	523	539	641	536	538

Згідно отриманих даних ми можемо спостерігати як може змінюватися споживання електроенергії. І ми бачимо, що воно приблизно однакове, тому можемо сказати, що кількість мешканців, пора року та час доби практично не впливає на кількість спожитої електроенергії, а тип лампи має значний вплив. Так, наприклад, в одному з житлових будинків міста були замінені звичайні лампи розжарювання на світлодіодні, і як результат ми можемо побачити що в березні 2018 р. в Бєлгородському кварталі спожита електроенергія зменшилася в два рази.

Висновки: Енергоефективність – це раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів..

Для населення енергоефективність має досить важливе значення. Оскільки завдяки раціональному використанню ресурсів можливо значно скоротити витрати на комунальні послуги. Так на прикладі одного з будинків міста Славутич можна побачити, що заміна ламп розжарювання на LED-лампи має велике значення для населення, оскільки споживається значно меша кількість електроенергії.

Список використаних джерел :

1.) Досвід міста Славутич у сфері енергозбереження [Електронний ресурс] - Режим доступу : http://mradapology.gov.ua/news/1303-dosvid_mista_slavutich_u_sferi_energozberezhennia.html

УДК 621.31

Попович М.П.
Кафедра електропостачання

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ПОСТАЧАННЯ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ

Дана стаття присвячена підвищенню рівня енергоефективності системи постачання стисненого повітря на хімічному підприємстві шляхом впровадження енергозберігаючих заходів. В результаті роботи було проаналізовано основні заходи та методи підвищення енергоефективності та представлено результати впровадження деяких з них. Запропоновано процедуру контролю результатів від впровадження заходів з енергозбереження.

Ключові слова: енергозбереження; системи стисненого повітря; витік повітря; тиск повітря; високоефективний двигун; зовнішнє повітря.

This article is devoted to raising the level of energy efficiency of the system of supply of compressed air at the chemical enterprise by introducing energy saving measures. As a result of the work, the main measures and methods of energy efficiency improvement were analyzed and the results of implementation of some of them were presented. The procedure for controlling the results from implementation of energy saving measures is proposed.

Key words: energy conservation; compressed-air systems; air leaks; air pressure; high-efficiency motor; outside air.

Вступ

Стиснене повітря є важливим ресурсом для промисловості. Однак його виробництво є дуже енергоємним. Стиснене повітря часто ставлять на четверте місце після електроенергії, газу і води. Однак, на відміну від перших трьох, стиснене повітря виробляється на місці, тому у споживача значно більше можливостей контролювати його споживання і витрати на його виробництво. Прості, ефективні і маловитратні заходи дозволяють зекономити до 30% витрат на виробництво і розподіл стисненого повітря.

Навіщо потрібні заходи по зниженню витрат в системах стисненого повітря. Є три важливих причини, задля яких варто витрачати час і сили на зниження витрат в системах стисненого повітря:

- виявлення і усунення витоків і нераціонального використання зекономить енергію і гроші;
- підвищуються надійність і експлуатаційні параметри систем стисненого повітря;
- зниження електроспоживання і, відповідно, зниження викидів вуглекислого газу зменшує шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Добре спроектована і належним чином експлуатована енергоефективна система стисненого повітря може приносити споживачеві десятки і навіть сотні тисяч гривень щорічної економії. Крім того, вона може мінімізувати ризик скорочення виробництва, забезпечуючи надійність подачі повітря, і вирішити проблеми охорони праці та здоров'я при роботі з системами, що перебувають під тиском. Кожна гривня економії на енергетичних витратах приносить постійну подальшу економію, ефективно збільшуючи прибуток.

Головною метою дослідження є підвищення ефективності використання електричної енергії в системі стисненого повітря підприємства за рахунок застосування сучасних технічних заходів та методів.

Згідно з поставленою метою в роботі вирішуються наступні задачі:

1. Аналіз та дослідження сучасних заходів з підвищення рівня енергоефективності системи постачання стисненого повітря на хімічному підприємстві
2. Енергетичне обстеження системи стисненого повітря на підприємстві і аналіз технологічного процесу виробництва стисненого повітря
3. Вибір та обґрунтування можливих заходів енергозбереження для системи стисненого повітря.
4. Оцінка та контроль рівня енергоефективності системи стисненого повітря шляхом встановлення базового рівня енергоспоживання та визначення показників енергоефективності

1. Дослідження існуючих методів та засобів підвищення рівня енергоефективності в системах постачання стисненого повітря.

З усіх енергоносіїв саме модернізація системи стисненого повітря дозволяє досягти негайної економії на будь-якому підприємстві. Крім того, більшість заходів по економії енергії не вимагає значних капіталовкладень.

На рис. 1 показано, що за 10 років експлуатації компресора вартість енергії, необхідної для роботи системи, істотно перевищує початкові капіталовкладення. На цьому малюнку видно, що на частку техобслуговування припадає 7% сукупних витрат, але воно необхідне для досягнення максимальної ефективності будь-якого компресора. На типовому промисловому підприємстві на частку стисненого повітря доводиться до 10% сукупних витрат на електроенергію, при цьому на деяких виробництвах ця частка є вищою.

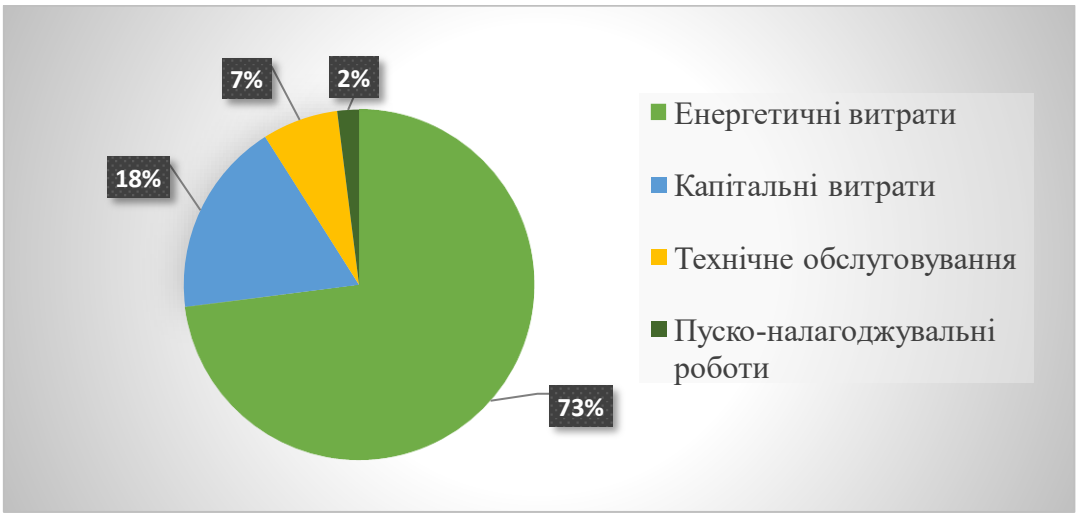


Рис.1- Затрати, пов'язані з роботою компресора за 10 років його експлуатації

Основною метою розглянутих методів є проектування або модифікація системи стисненого повітря таким чином, який дозволяє підвищити її енергоефективність. Додаткові позитивні ефекти підвищення енергоефективності можуть включати зниження рівня шуму і витрати охолоджуючої води. Термін служби систем стисненого повітря і компресорного устаткування відносно великий, внаслідок чого витрати матеріалів при заміні обладнання незначні. Підвищення енергоефективності в поєднанні з коротким терміном окупності є важливим мотивом для впровадження методів, які наведені нижче.

Найбільш ефективними методами з підвищення рівня енергоефективності є оптимізація загального устрою системи; використання приводів зі змінною швидкістю; використання високоефективних електродвигунів; утилізація тепла; скорочення витоків в системах стисненого повітря; використання холодного зовнішнього повітря для живлення компресора; оптимізація тиску системи; створення запасу стисненого повітря поблизу споживачів у яких істотно варіюється рівень споживання. Далі розглянемо більш детально деякі з методів.

1.1.Усунення витоків стисненого повітря в системі

Інвестиції, що вкладаються у виробництво стисненого повітря, яке, не виконуючи жодної корисної роботи, втрачається через витоки, є марними витратами. Ці втрати можна звести до мінімуму шляхом впровадження програми виявлення та усунення витоків. Таким чином, пропонується одна з найбільших можливостей для енергозбереження. Критична проблема полягає в тому, щоб максимально точно виявити і вказати точку, де виникають витоки повітря в системі. За рахунок зменшення цих витоків в системі можна заощадити електроенергію та гроші, також можна продовжити життєвий цикл обладнання та цілком можливо підвищити продуктивність праці. Крім втрат енергії, витоки стисненого повітря можуть також сприяти іншим операційним втратам. Витоки зазвичай спричиняють падіння тиску в системі - знижує ефективність повітроводів, а також впливає на виробництво. Змушуючи обладнання працювати більше, витоки також можуть скоротити термін служби більшості обладнання (включаючи компресор та допоміжне устаткування). Збільшений час роботи, у свою чергу, призведе до збільшення технічного обслуговування та позапланових простоїв. Зрештою, витоки також можуть призвести до додавання непотрібних потужностей компресора. Кількість втрат повітря через невеликі отвори, тріщини, герметичні муфти, з'єднання тощо в суммі досягає великих об’ємів.

Для виявлення витоків стисненого повітря найчастіше застосовується ультразвуковий детектор, який допомагає максимально точно виявити місце та розмір нещільностей в системі. Величина витоку напряму залежить від тиску в системі та діаметру отвору. Економія електроенергії за рахунок усунення витоків стисненого повітря визначаються за формулою, кВт*год [1]; :

$$\Delta W = \alpha \cdot n \cdot \omega \cdot t;$$

де α – коефіцієнт витрати повітря крізь нещільності арматури та трубопроводів, $м^3$/хв;

n – кількість точок, де необхідно усунути витоки стисненого повітря, шт;

ω - питома витрата електричної енергії на вироблення 1 м3 стисненого повітря, кВт*год;

t – час, протягом якого система знаходиться під тиском, год.

Іноді для усунення витоків досить затягнути з'єднання, але може знадобитися і заміна несправного обладнання, наприклад, муфт, ділянок трубопроводу, рукавів, компенсаторів, і конденсатовідвідників. У багатьох випадках витоку викликані неякісним ущільненням різьбових з'єднань. Ще одним можливим способом скорочення витоків є зниження робочого тиску системи. Оскільки обсяг втрат залежить від перепаду тиску в місцях витоку, це призводить до скорочення витрат стисненого повітря. При належному встановленні та обслуговуванні витоки втрати не повинні перевищувати більше 5% від загальної місткості компресора.

1.2.Встановлення сучасного енергоефективного електродвигуна з меншою потужністю

Хоча офіційного визначення високоефективного електродвигуна не існує, під цим терміном зазвичай розуміються двигуни, в яких втрати зведені до мінімально

можливого рівня. Пріоритетом при проектуванні високоефективних двигунів є мінімізація як електричних, так і механічних втрат з метою зниження енергоспоживання пристрою. Оскільки знижений рівень втрат не накладає обмежень на можливі застосування двигуна, високоефективні двигуни можуть застосовуватися практично всюди.

Економія електроенергії за рахунок встановлення двигуна з більш високим ККД визначаються за формулою, кВт*год :

$$\Delta W = (P_1 - P_2) \cdot k_в \cdot t;$$

де P_1 – потужність встановленого двигуна компресора, кВт;

P_2 – потужність нового енергоефективного двигуна компресора, кВт;

$k_в$- коефіцієнт використання;

t- час роботи компресорної установки на рік, год.

1.3.Використання двигунів зі змінною швидкістю

Компресори обладнуються приводами зі змінною швидкістю, головним чином, в умовах, коли потреби в стислому повітрі істотно варіюють протягом дня і від одного дня до іншого. Для управління роботою компресорів можуть використовуватися такі традиційні підходи, як включення / відключення, модуляція, регулювання продуктивності і т.д. Однак якщо використання подібних методів призводить до частих включень і відключень, а також тривалих періодів холостого ходу, результатом може бути зниження енергоефективності. При використанні приводу зі змінною швидкістю частота обертання електроприводу компресора плавно регулюється в залежності від зміни потреби в стислому повітрі, забезпечуючи високий рівень енергоефективності.

За даними досліджень, більшість систем стисненого повітря характеризується середніми або значними варіаціями споживання. Тому існує значний потенціал енергозбереження за рахунок оснащення компресорів приводами з регульованою швидкістю.

1.4.Використання холодного зовнішнього повітря для живлення компресора

У багатьох випадках головна компресорна установка розміщується поряд з основними споживачами стисненого повітря з метою зниження втрат при транспортуванні повітря по трубопроводах. Як наслідок, компресорні установки часто знаходяться в підземних або внутрішніх приміщеннях виробничих об'єктів. При цьому, як правило, доступ свіжого зовнішнього повітря до компресорів обмежений, і для роботи використовується повітря приміщень, температура якого зазвичай перевищує температуру зовнішнього повітря. Згідно із законами термодинаміки, стискання теплого повітря вимагає більших затрат енергії, ніж холодного. У технічній літературі наголошується, що кожні 5°C підвищення температури на вході компресора вимагають збільшення споживаної потужності приблизно на 4%. Тому зниження енергоспоживання може бути досягнуте за допомогою простої організації живлення компресора зовнішнім повітрям, особливо в зимовий період, коли в багатьох районах різниця між температурою зовнішнього повітря і температурою у приміщеннях може перевищувати 5°C у декілька разів. Підведення зовнішнього повітря до компресора може бути організовано за допомогою повітроводу. Залежно від довжини останнього, може знадобитися установка додаткового вентилятора, енергоспоживання якого має бути враховане при плануванні даного заходу. Повітрозабірна установка повинна знаходитися на північній стороні об'єкту або, принаймні, в місці, яке більшу частину часу знаходиться в тіні.

Зниження температури повітря, що поступає в компресор, за рахунок холодного зовнішнього повітря можливо практично в будь-яких умовах. Якщо ж розташування

компресорної установки робить подачу зовнішнього повітря неможливою, слід поліпшити її вентиляцію. Згідно з оцінками, подібні заходи застосовні в 50% випадків. Організація подачі холодного зовнішнього повітря не спричиняє за собою значних витрат, оскільки атмосферне повітря є безкоштовним, і пов'язана з такими економічними перевагами, як скорочення часу роботи компресорів або споживаною ними електричній потужності.

2. Енергетичне обстеження системи стисненого повітря. Вибір та обґрунтування можливих заходів енергозбереження для системи стисненого повітря.

В ході виконання роботи було розраховано та досліджено основні параметри системи стисненого повітря хімічного підприємства, досліджено графік споживання електричної енергії. Визначені гідравлічні опори повітро-провідних магістралей та їх вплив на втрати тиску в системі, тепловідвід в процесі стиснення повітря, питомі витрати енергії на стиснення повітря. На основі даних розрахунків були обрані найбільш ефективні заходи з підвищення енергетичної ефективності для даної системи постачання стисненого повітря. Для кожного заходу був проведений розрахунок економіїї електричної енергії , економії грошових витрат (згідно з діючими тарифами) та простого терміну окупності із застосуванням відповідних методик. Запропоновані заходи з підвищення рівня енергоефективності зведемо до табл.1.

Таблиця 1- Заходи з підвищення рівня енергоефективності

№ п/п	Назва заходу з енергозбереження	Річна економія електроенергії, кВт·год.	Річна економія витрат, грн.	Капітальні витрати, грн	Простий термін окупності, років
1	Заміна редуктора в системі двигун-компресор	257544	584624,88	60050	0,12
2	Використання холодного зовнішнього повітря для живлення	147168	334071,36	38000	0,13
3	Встановлення сучасного енергоефективного електродвигуна з меншою потужністю	1839600	4175892	866500	0,2
4	Утилізація теплоти, яка виділяється при виробництві стисненого повітря	-	1031379,25	598000	0,58
5	Усунення витоків стисненого повітря в системі	66225,6	150332,1	75000	0,5

Отже, за рахунок впровадження всіх заходів енергозбереження вдасться зекономити значну кількість електроенергії за рік, при достатньо малих термінах окупності.

3. Оцінка та контроль рівня енергоефективності системи стисненого повітря шляхом встановлення базового рівня енергоспоживання

Для відслідковування ефективності впровадження заходів з енергозбереження необхідно провести контроль. Пропонуємо проконтролювати результати впровадження одного з запропонованих заходів.

Спочатку для перевірки та контролю модернізації системи стисненого повітря необхідно здійснити попередній відбір факторів, які впливають на величину споживання електричної енергії системою постачання стисненого повітря. В даному випадку пропонується застосування методу експертних оцінок.

Експертні оцінки є важливим джерелом інформації у процесі вивчення технологічних об'єктів і вибору змінних, які визначають характер їх функціонування. Вони враховують досвід, інтуїцію та знання спеціалістів щодо об'єкту дослідження і формуються на основі результатів найновіших, ще не опублікованих наукових праць, виконаних кожним експертом, і незважаючи на їхню суб'єктивність, містять корисну об'єктивну інформацію, що, зокрема, надає можливість оцінити ступінь впливу кожного досліджуваного фактора.

Реалізація методу експертних оцінок передбачає виконання наступних етапів:

1. Формулювання мети дослідження й формування групи досліджуваних факторів.
2. Формування групи експертів
3. Проведення опитування
4. Математична обробка отриманих даних
5. Аналіз результатів та висновки

Для побудови моделі обсягів споживання електричної енергії системою постачання стисненого повітря доцільним є використання спеціальних професійних знань та досвіду спеціалістів, які працюють на досліджуваному об’єкті, що можуть бути узагальнені за допомогою методу експертних оцінок.

Експертам для дослідження необхідно сформувати групу факторів. Вплив на обсяги споживання електричної енергії в системах стисненого повітря можуть здійснювати наступні фактори:

- тиск повітря в трубопроводі;
- вологість повітря, що надходить до системи;
- об'єми виробництва стисненого повітря;
- температура повітря, що надходить до системи;
- коефіцієнт використання встановленої потужності;
- атмосферний тиск;
- тривалість роботи компресора за добу;
- температура зовнішнього повітря.

Далі необхідно зібрати статистичні дані та з урахуванням вибраних раніше впливових факторів побудувати багатофакторну математичну модель обсягів споживання електричної енергії за допомогою регресійного аналізу.

Будь-який метод дослідження має певну похибку. Встановлення базового рівня споживання електроенергії у вигляді рівняння регресії між витратою електричної енергії та факторами, які на неї впливають, не можна вважати абсолютно точним. З метою врахування похибки необхідно встановити довірчий інтервал: верхню та нижню межу. Знаходження фактичних значень споживання електричної енергії нижче

встановленої нижньої межі говорить про те, що протягом періоду контролю бажаний результат від впровадження заходу з енергозбереження був досягнутий.

Також для контролю впровадження заходів підвищення енергоефективності пропонується застосування графіка CUSUM. Цей графік характеризує тенденцію зміни у часі результатів енергозбереження, фактично досягнутих на об'єкті.

Висновки

В даній статті розглянуто підвищення рівня енергоефективності системи постачання стисненого повітря на хімічному підприємстві шляхом впровадження енергозберігаючих заходів. На основі розрахунків бачимо, що кожен із запропонованих шляхів модернізації системи стисненого повітря має термін окупності менше одного року. Це спричинено саме тим, що за теперішньої ціни на енергоресурси, навіть при значних капіталовкладеннях, економія, яка досягається при їх впровадженні, майже покриває їх затрати.

Перелік використаної літератури

1. Копытов Ю.В. Экономия электроэнергии в промышленности. Справочник. – М.: Энергия, 1978. – 120 с.
2. Данилов О.Л., Костюченко П.А. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберигающих проектов – М.:Технопромстрой, 2006. – 669 с
3. Анчарова Т.В., Гамазин С.И., Шевченко В.В. Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях.-М.: Высшая школа, 1990.-143 с.
4. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б. Экономия энергии в промышленности. Учебное пособие. – Н. Новгород: НГТУ, 1997.
5. Праховник А.В., Суходоля О. М., Денисюк С. П., Прокопенко В.В. Енергозбереження в промисловості Частина 2. Енергетичне обладнання. Навчальний посібник - Київ: НТУУ «КПІ», 2012. – 230 с.

УДК 621.175

Бідний А.С.
кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ДТЕЦ (ТОВ «ЕВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ)

IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF THE RETURN WATER SUPPLY SYSTEM OF DTEK (LLC "EURO-RECONSTRUCTION")

Анотація. *В роботі розглядається методи підвищення рівня енергоефективності системи зворотного водопостачання ДТЕЦ (ТОВ «Євро-реконструкція») шляхом використання сучасних високоефективних конструктивних елементів для інтенсифікації тепломасообмінних процесів. За результатами модернізації досягається покращання роботи конденсаційного устаткування ТЕЦ та зменшення обсягів підживлювальної води в системі циркуляції.*

Ключові слова: *ТЕЦ, зворотне водопостачання, градирня, енергоефективність*

Abstract. *The paper considers ways to increase the level of energy efficiency of the reverse water supply system of DTEK (Euro-Reconstruction LLC) by using modern high-performance structural elements for the intensification of heat and mass transfer processes. As a result of modernization, improvement of the work of the condensing equipment of the CHP plant and the reduction of the volume of feed water in the circulation system is achieved.*

Keywords: *CHP, reverse water supply, cooling tower, energy efficiency*

Вступ. Однією з стратегічних галузей національної економіки України є енергетика, як основа функціонування всього загальнодержавного комплексу суспільного виробництва та забезпечення прийнятних умов життя населення нашої держави. За умов загальної економічної кризи роботі електроенергетичної галузі притаманні ті ж проблеми, що і для інших базових галузей - спад виробництва, вимивання обігових коштів, катастрофічно низький рівень платежів за вироблену продукцію, відсутність коштів на модернізацію та реконструкцію обладнання і виплату заробітної плати. Головною причиною такого становища є загострення фінансово-платіжної кризи в економіці України, наслідком якої є подальше зниження рівня оплати за спожиту електричну та теплову енергію, у першу чергу в грошовій формі. Без вирішення цього ключового питання неможливо забезпечити стале і надійне енергопостачання суспільного виробництва і побутових потреб населення.

За останні роки значно зменшився обсяг фінансових коштів та матеріальних ресурсів, що виділяються на ремонт та реконструкцію ТЕЦ і теплових мереж. У критичному стані знаходяться трубопроводи теплових мереж. Періодично у різних містах трапляються серйозні аварії у системах, в наслідок яких велика кількість будинків лишається без тепла, а інколи стає паралізованим життя цілого міста. На сучасному етапі Україна не в змозі забезпечити бюджетне фінансування коштовних довгострокових програм по оновленню та реконструкції великих ТЕЦ і довгих теплових мереж. Формуються комерційні структури, які, щоправда, не мають стимулів до фінансування капітальних довгострокових програм. Взагалі існує два напрямки розвитку теплофікації:

- Традиційний, що базується на спорудженні нових великих ТЕЦ і далеко

протяжних систем централізованого теплопостачання, а також на модернізації існуючих паротурбінних теплофікаційних електростанцій, працюючих на природному газі, шляхом введення газотурбінної надбудови і перетворення їх в ПГУ великої потужності,

- Нетрадиційний, що передбачує будівництво ТЕЦ на базі ДЕС, ГТУ і ПГУ малої та середньої потужності і формування компактних систем теплопостачання.

Ці два напрямки не перечать один одному, а в оптимальних межах можуть співіснувати, тим самим обслуговуючи не лише великих, але й відносно невеликих споживачів теплової енергії, що дозволить розширити області застосування теплофікації у країні.

Великі паротурбінні ТЕЦ, які отримали широке розповсюдження в Україні мають наступні значні переваги перед малими ТЕЦ:

1. Спорудження невеликих ТЕЦ замість великих паротурбінних ТЕЦ буде приводити до різкого зниження одиничної потужності обладнання і, як наслідок цього, до зниження початкових параметрів, енергетичної ефективності і до збільшення відносних початкових затрат.
2. Для сучасних крупних енергосистем малопотужні енергоустановки не в змозі вирішувати основні проблеми по розвитку електро- та теплогенерації.
3. Застосування газотурбінних і парогазових установок дозволяє подальший розвиток теплофікації тільки тим районам, що забезпечені природним газом.
4. Зрозуміло, що децентралізація теплофікаційних установок повинна роздивлятися лише як допоміжне рішення, а не як основний напрямок розвитку теплофікації на перспективний період.

Помітну частину електричної і теплової енергії виробляють ТЕЦ загального користування, які входять до складу систем централізованого тепло забезпечення міст. Більшість ТЕЦ побудовано ще в 40-50-ті роки. Всі вони, за виключенням Київських ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6 та Харківської ТЕЦ-5, фізично і морально застарілі. У зв'язку з ускладненням режиму роботи обладнання, що проявилося в зниженні навантажень та збільшенні кількості зупинок і пусків енергоблоків, пов'язаних з погіршенням якості палива, старінням обладнання при дефіциті коштів для його реабілітації, продовжують покращуватись техніко-економічні показники. Питома витрата палива на відпущену тепловими електростанціями електроенергію по підсумкам роботи у 2015 р. становила 369 г/кВт·год. при нормі 368,5 г/ кВт·год. За шість місяців 2016 р. питома витрата палива становила 372,3 г/кВт·год. при нормі 372,4 г/ кВт·год.

Подальша експлуатація обладнання ТЕС без проведення реконструкцій та технічного переозброєння, без впровадження нових технологій може призвести до незворотного процесу деградації енергетики України, що негативно вплине на енергетичну безпеку держави.

Тому невідкладною метою для теплоенергетики є реконструкція діючих та будівництво нових, у тому числі високо маневрових енергоблоків.

Мета та завдання: Метою роботи є підвищення енергоефективності системи зворотного водопостачання ТЕЦ для забезпечення оптимальних режимів роботи конденсаційного устаткування. Завданнями роботи є:

- виконати розрахунок теплової схеми ТЕЦ для чотирьох характерних режимів роботи ТЕЦ, що повністю визначає вибір основного і допоміжного устаткування;
- проаналізувати схему зворотного водопостачання та визначити основні фактори, що впливають на ефективність її роботи;
- виконати розрахункове-аналітичне дослідження процесу в градирні для виявлення впливу режимних параметрів та конструктивних рішень;

- обґрунтувати рішення з модернізації основних елементів градирні для забезпечення високої інтенсивності тепломасообмінних процесів з урахування вимог водозбереження .

Матеріал і результати досліджень. Розрахунок теплової схеми виконано для таких режимів:

І режим - максимально-зимовий, відповідає найнижчій розрахунковій температурі зовнішнього повітря в зимовий період для опалення. Цей режим визначає максимальний виробіток пари на ТЕЦ й, відповідно, сумарну потужність парогенераторів. Опалювально-вентиляційне навантаження і навантаження технологічного пара в цьому режимі прийняті максимально-добовими, навантаження гарячого водопостачання приймається середньо годинною за тиждень.

ІІ режим - розрахунково-контрольний, цьому режиму відповідає середня температура зовнішнього повітря за найхолодніший місяць та при умові аварійного виходу з ладу одного найпотужнішого парогенератора ТЕЦ. При цьому відповідно норм технологічного проектування електростанцій повинно забезпечуватись:

1) максимально тривалий відпуск пари на виробництво;
2) середній за найхолодніший місяць відпуск тепла на опалення;
3) середньодобова витрата тепла на сантехнічні потреби.

Другий режим визначає кількість і одиничну потужність встановлених на ТЕЦ парогенераторів та водогрійних котлів.

ІІІ режим – середньо-опалювальний. Цей режим розраховується при середній за опалювальний період температурі зовнішнього повітря й відповідного опалювального навантаження. В даному режимі теплофікаційне навантаження покривається з частковим використанням водогрійних котлів. Навантаження по пару, відпущеного з ТЕЦ промисловим споживачам, приймається як зимова максимально- добова.

IV режим - літній, характеризує роботу ТЕЦ при відсутності опалювального навантаження. Навантаження по технологічному парі прийнята максимально-добова, а по гарячому водопостачанню - середня за тиждень.

Характеристика зворотного водопостачання ДТЕЦ є такою. Функціонує кругова система з градирнями, що забезпечує у літній час безперебійну роботу трьох турбін (у опалювальний період конденсатори турбін переводяться на охолодження мережною водою).

Витрата технічної води для охолодження конденсатора та допоміжного обладнання одного турбоагрегату становить приблизно 8550 м^3/год.

На ТЕЦ існує 3 баштових градирні: 2 площиною зрошення 1600 м і одна 1510м^2:

- градирня №1 у 1992 році була реконструйована з плівкової у бризкальну та знаходиться у задовільному стані;

- градирня №2 знаходиться у незадовільному стані: зрошувач повністю обвалився, обшивка башти частково зламана;

- градирня №4 - зроблена з залізобетону, у задовільному стані, їй був зроблений капітальний ремонт.

Для забезпечення циркуляції технічної води у машзалі для кожної турбіни встановлено 2 насоси типу 24НДН з подачею 4000 м^3/год та напором 16,5 м. Подача води на градирні передбачена 2-ма нитками циркуляційних водоводів діаметрами 1200 мм. Відвід води від градирні передбачено 2-ма закритими залізобетонними каналами перерізом 1,5х2 м

Підживлення зворотної системи охолодження здійснюється насосною станцією додаткової води, що розташована на обвідному каналі жилого масиву Русанівка.

Потрібний напір циркуляційних насосів декілька більше, чим при ставковій системі водопостачання і становить 0,1...0,2 МПа, так як потрібно підняти воду до

водорозподільника градирні.

На станції застосовані градирні з природною тягою, тобто потік повітря створюється витяжною баштою. Зрошувальний пристрій виконується у вигляді дерев'яних дощатих або азбоцементних пунктів, що встановлено у декілька ярусів вертикально чи з невеликим нахилом. Зрошувальний пристрій заповнює частину градирні до висоти приблизно 9...18 м .

До основних елементів в градирні відносять: водозбірний резервуар, витяжна башта, водорозподільний пристрій, зрошувач. Підвід води до градирень здійснюється по двом водоводам діаметром 1000мм кожний, які приєднано до магістральних зливних водовідводів діаметром 1600мм. Потім вода йде до центрального стояка градирні.

Перед входом напірних труб до градирні дві засувки, що дозволяють відключити периферійну або центральну частину градирні. Водорозподільна система градирні необхідна для розподілення охолоджуваної води по площі зрошувача градирні .

Водорозподільний пристрій складається з розподільчих та зрошувальних трубопроводів і розпорскувальних сопел. Сопла евольвентного типу. Розташування сопел забезпечує розподіл води пропорційно площі зрошувача і кількості повітря, що проходить через різні ділянки зрошувача. Плівковий зрошувач складається із дошкових щитів, що виконують функції великої площі охолодження. Вода що витікає із сопел потрапляє на плівку зрошувача. Охолодження води в градирні проводиться за рахунок її випаровування і передачі тепла з поверхні водяної плівки яка омиває щити зрошувача. Тобто, відбувається процес тепломасобміну від більш нагрітого тіла - вода, до менш нагрітого - повітря.

Башта градирень №1,2 виконана із металічного каркасу, обшитого шифером. Башта градирні №4 виконана із залізобетону і має гіперболічну форму.

Висота та конфігурація башти розраховані таким чином, щоб виникала самотяга навколишнього повітря для охолодження зрошувача. Повітря потрапляє в башту через вікна, що розташовані в нижній частині башти між її опорними колонами.

Для збору охолодженої води в градирні та подачі її до циркуляційних насосів є водозбірний басейн градирні і водотічні підвідні канали. Відвід води із чаші проводиться по закритим залізобетонним каналам, де на вході у кожної встановлено очисні сітки з розміром комірки 10х10 мм. Кожна градирня має переливну вирву і лінію спорожнювання в промливневу каналізацію.

В зимовий період для змивання криги з вікон градирні та нижньої частини зрошувача подається тепла вода через спеціальні отвори в трубах. Підживлення градирень здійснюється дніпровською водою з берегової насосної станції.

У опалювальний сезон, у зв'язку з малими витратами пари, охолодження здійснюється сирої водою, що надходить на ХВО або зворотною водою тепломережі. При номінальній витраті пари у конденсатор 130 т/год тепловиділення становитиме 69 Гкал/год, а температурний перепад 8,7 °С.

При проведенні випробувань у 1994 році реконструйованої градирні №1 встановлено, що вона зможе зняти теплове навантаження 83 МДж/год за конденсаційної потужності 13 МВт. Витрата охолоджуючої води 6500 $м^3$/год.

Для забезпечення нормальної роботи турбіни у конденсаційному режимі необхідно додатковий охолоджувач. З цією метою передбачено використання градирні №4. Водоохолоджувальний пристрій капельно-плівкового типу площиною 1600 $м^2$. Розрахункова продуктивність цієї градирні 1000 $м^3$/год, при цьому щільність зрошування становитиме 6,25 $м^3$/($м^2$ год). Згідно з виконаними розрахунками, при температурі повітря 26,9°С (середньо-добова температура найбільш спекотних днів) та вологості 48%, реконструйована градирня здатна відвести усі тепловиділення ТЕЦ (291 МДж/год), при температурі охолоджувальної води 31 °С.

Безповоротні витрати води у системі охолодження у літньому режимі:

- випаровування 100 $м^3$/год;
- знос вітром 40 $м^3$/год.

При роботі зворотної циркуляційної системи охолодження після конденсаторів турбін, відпрацьована вода відбирається на зрошення скруберів з витратою 383 $м^3$/год зі скиданням в золовідвал та являється продувкою оборотної системи.

Обгрунтування реконструкції водоохолоджуючого пристрою градирні №4. Метою реконструкції є інтенсифікація тепломасообміних процесів в градирні шляхом застосування сучасних високоефективних конструктивних елементів. Також вирішується задача зменшення каплевиносу для економії підживлювальної води в системі циркуляції.

Передбачається застосування поліпропіленового сітчато-плівкового зрошувача типу GEA NF-20 з косорозміщеними каналами шириною 20 мм.

Складання блоків зрошувача висотою 450 мм, шириною 600 мм і довжиною 910 мм передбачається на площадці ТЕЦ.

Встановлення блоків відповідно до технологічних розрахунків фірми GEA передбачається в два яруси загальною висотою 900 мм.

Перший ярус блоків встановлюється на запроектовані опори, а другий ярус блоків укладається з поворотом на 90˚ безпосередньо на перший ярус.

По периметру стику блоків зрошувача між відмітками + 3,390 та + 4,140, з метою усунення прориву повітря через щілини, на другий ярус блоків (відмітка 3,390) вкладається третій і четвертий яруси блоків.

Опори під зрошувач передбачаються із швелерів N8 з кроком 915 мм, які прокладаються по існуючим залізобетонним балкам на відмітці +2,410 та +3,610. В районі центрального стояку передбачаються додаткові балки із двотавра N14 на відмітці + 2,410.

Встановлення блоків зрошувача виконується без зазорів навколо колон водовловлювача, центрального стояка і по периферії градирні, для чого блоки при необхідності обрізаються по місцю.

Витрата води на технологічні потреби станції визначаються багатьма факторами, в т. ч.:

- режимом використання твердого палива – одночасна робота максимальної кількості котлів на твердому паливі протягом короткого періоду (наприклад тільки в осіньо-зимовий максимум навантажень), або робота мінімальної кількості котлів на твердому паливі протягом всього року;
- конструктивними особливостями градирень, у т.ч. наявністю чи відсутністю каплевловлювача та ефективністю його роботи;
- особливостями системи золовловлення та гідрозолошлаковидалення;
- потребами води на підживлення тепломереж та основного циклу станції.

Режим споживання твердого палива станцією останніми роками визначається необхідністю дотримання дозволених концентрацій викидів забруднюючих речовин в атмосферу, особливо золи та окислів сірки. Діючим законодавством у сфері охорони навколишнього середовища нормуються не валові викиди, а концентрації викидів. Це і визначає режим використання твердого палива – одним, максимум двома (в зимовий період) котлоагрегатами на протязі всього року.

Висновки.

Після закінчення реконструкції градирні були проведені її гарантійні

випробування. Результати гарантійних випробувань градирні показали наступне:

- градирня забезпечує проектні параметри роботи;
- градирня працює стабільно;
- градирня підтримує задану в гарантійному полі характеристику температури

охолодженої води і її охолоджуюча здатність відповідає заявленому фірмою GEA гарантійному значенню. При перепаді температур охолодженої води на градирні 12,0°С було забезпечено зниження температури охолодженої води на 3,4°С в порівнянні з азбестоцементним зрошувачем.

Реконструкція водоохолоджувального пристрою градирні №4 забезпечила можливість додатково включити в роботу один турбоагрегат типу ПТ-60 в конденсаційному режимі в літній період року.

У зв'язку з цим, збільшується період підвищеного підживлення (на 200-300 м³/год) циркуляційної системи у порівнянні з роботою станції виключно на природному газі. При цьому практично, навіть при збільшенні періоду використання твердого палива на один місяць збільшення підживлення складе 144000 м³.

З іншого боку, зменшення кількості води на підживлення циркуляційної системи, обумовлене введенням в дію градирні №4, що обладнана сучасним високоефективним каплевловлювачем, визначається періодом її роботи та різницею в коефіцієнтах каплевиносу існуючої бризкальної градирні №1 та градирні №4.

Зменшення годинного підживлення:

ΔД д.в. = Д ц.в.(К1- К2), де Д ц.в – витрата циркуляційної води, м³/год, К1 – коефіцієнт каплевиносу бризкальної градирні №1, К2 - коефіцієнт каплевиносу гр. №4.

ΔД д.в. = 8000 х (0,005 –0,001) = 32 м³/год.

Із врахуванням періоду роботи градирні №4 - 6 місяців (міжопалювальний період) зменшення підживлення складає 138240 м³.

Список використаних джерел.

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для теплоэнерг. спец. вузов. - М.-Л.: Энерги.-1987г. -400с.
2. Сосновский С.К. Оптимальные параметры работы градирен [Текст]/С.К. Сосновский//Технологический аудит и резервы производства.-2012.-№5/1(7).-С.5-6.
3. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие/ Под общ. ред. В.С. Пономаренко.- М.: Энергоатомиздат.- 1998.-376с.
4. Лаптев А.Г., Ведьгаева И.А. Устройство и расчет промышленных градирен.- Казань: КГЭУ.-2004.-180 с.
5. Розрахунки вентиляторних градирень: методичні вказівки для курсового та дипломного проектування для студентів спеціальності 144 «Тепоенергетика» усіх форм навчання / Уклад. О.Р. Пересольков, О.В. Круглякова.- Харків: НТУ «ХПІ», 2016.-56с.

УДК 697.1:34

Богоста С.В.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ ШЛЯХОМ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТІВ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОНОСІЯМИ

EDUCATIONAL INSTITUTION ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT THROUGH THE IMPLEMENTATION OF THE THERMO-MODERNIZATION PROJECT AND ENERGY MONITORING AND MANAGEMENT TOOLS

Анотація. *В даній статті розглядається підвищення загального рівня енергоефективності навчального закладу – запровадження методів енергозбереження та програмних продуктів для енергомоніторингу. Розглянутий підхід дозволяє досягти умов мікроклімату відповідно до діючої нормативної бази у сфері енергозбереження.*

Ключові слова: енергоефективність, енергомоніторинг, теплопостачання, умови мікроклімату, енергозбереження.

Annotation. This article discusses the increase of the general level of energy efficiency of an educational institution – introduction of energy saving methods and energy monitoring software products. The considered approach allows to achieve microclimate conditions in accordance with the current normative base in the field of energy saving.

Key words: energy efficiency, energy monitoring, heat supply, drainage, energy saving.

Вступ. В навчальному закладі основна теплова енергія використовується для опалення приміщень, тому максимальне споживання теплової енергії спостерігається у опалювальний період. Через недосконалість систем енергопостачання та стану будівлі з кожним роком витрачається все більше бюджетних коштів у зв’язку зі зростанням тарифів на комунальні послуги. Шляхом впровадження енергетичного менеджменту можна одержати більш докладну картину споживання енергії та доцільно впровадити заплановані заходи з енергозбереження для покращення існуючих умов для учнів та персоналу навчального закладу.

Мета та завдання дослідження. Завданням та метою дослідження є оцінка реалізації проекту термомодернізації для підвищення рівня енергоефективності навчального закладу на прикладі школи №71.

Результати досліджень. Аналіз втрат теплоти навчальним закладом №71 (рис. 1) показує, що теплові втрати обумовлені недостатньою ізоляцією вікон та дверей, поганим станом ізоляції трубопроводів. Цей показник можна знизити, запропонувавши впровадження енергоефективних заходів, без яких використання навіть найкращих енергозберігаючих технологій не дасть бажаного результату.

Об’єкт дослідження - спеціалізована школа №71 м.Києва за адресою м. Київ, провулок Польовий, 10. В школі навчаються 960 учнів з 1-го по 11 клас та працює 130 працівників і викладачів.

В ході роботи виконано детальне енергетичне обстеження, що включало: вивчення режимів експлуатації, уточнення геометричних і теплотехнічних показників

огороджень, дослідження умов мікроклімату будівель, виконання необхідних інструментальних вимірювань і розрахунків, тепловізійну зйомку.

В таблиці 1 представлено геометричні характеристики будівлі, що використовувались в розрахунках; в таблиці 2 – характеристики огороджень.

Таблиця 1 – Геометричні характеристики будівлі

Заг. площа підлоги (м²)	11 475	Кондиц. площа(м²)	11 075
Загальний об'єм (м³)	43 551	Кондиц. об'єм (м³)	38 591
Площа (проект.) підлоги м²	4120	Кількість поверхів	4
Периметр підлоги (м)	565	Чиста висота приміщення (м)	2,9

Таблиця 2– Опис конструктивних елементів будівлі

Конструктивні елементи	Детальний опис
Фундамент	Монолітний залізобетон
Стіни	Керамзитобетонні панелі, ззовні шар цементно-піщаної штукатурки, з середини шар вапняно-піщаної штукатурки
Перегородки	Керамзитобетонні панелі, оштукатурені
Міжповерхові перекриття	Монолітні залізобетонні панелі
Дах	Багатопустотна залізобетонна плита (0,22м), шар бітуму (0,01м), подвійний шар руберойду (0,01м)
Вікна	Подвійні спарені дерев'яні та пластикові
Сходи	Збірні залізобетонні площадки та сходові марші

Після виконання детальних розрахунків було запропоновано утеплення фасадів, підлоги та горища, економія від термосанації склала 475667 кВт·год/рік.

На рис.1 представлено розподіл теплових втрат через огородження.

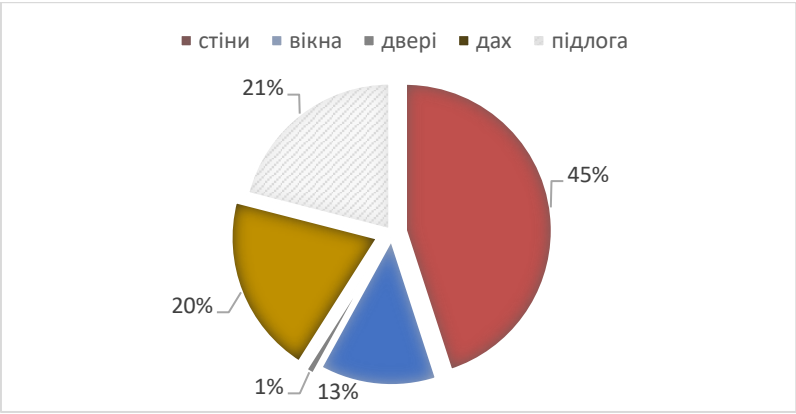


Рисунок 1 – Розподіл втрат теплоти по типу огороджувальних конструкцій

Розглянемо більш детально ефект від виконання термомодернізації огороджень.

Утеплення даху

Теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через перекриття останнього поверху (суміщений дах). Середній опір теплопередачі даху R=0,8 ($м^2$·К)/Вт значно перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі R=4,95 ($м^2$·К)/Вт. Пропонується використовувати в якості утеплювача мінераловатні плити товщиною 200мм з облаштуванням гідроізоляції даху (руберойд). Площа даху, яку необхідно вкрити тепловою ізоляцією складає 4120 $м^2$.

Утеплення зовнішніх стін

Середній опір теплопередачі існуючих стін R=0,42 ($м^2$·К)/Вт значно перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі R=3,3 ($м^2$·К)/Вт. Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити понаднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі. Площа зовнішніх стін, які необхідно вкрити тепловою ізоляцією, складає 4663 $м^2$. В якості утеплювача пропонується використовувати мінераловатні плити товщиною 120 мм. Технологія виконання – скріплена ізоляція (рис.2).

Рисунок 2 – Технологія виконання утеплення стін

Заміна дерев'яних вікон на металопластикові

Вікна знаходяться в незадовільному стані, спостерігаються нещільності між рамою та склом. Дерев'яна конструкція деяких віконних рам знаходиться в аварійному стані і частково зруйнована. Це призводить до того, що деякі вікна не можуть бути щільно закритими, збільшуючи втрати тепла на нагрів інфільтраційного повітря. Дерев'яні рами фізично вже не піддаються ремонту. Існуючі дерев'яні конструкції вхідних дверей також не забезпечують щільного прилягання, в результаті чого спостерігаються значні протяги холодного повітря в будівлю. Пропонується виконати роботи з заміни існуючих вікон в дерев'яних рамах та дерев'яних дверей на металопластикові з подвійним склопакетом. Загальна площа дерев'яних вікон – 405 $м^2$. Нові вікна та двері дозволять зменшити наднормові втрати тепла та покращити зовнішній вигляд будівлі, проте вони майже не пропускають повітря з вулиці, яке проходить через щілини в старих дерев'яних рамах. Отже, необхідно забезпечити нормативний повітрообмін в приміщенні шляхом встановлення сучасних енергоефективних систем вентиляції або, щонайменше – відкриванням вікон. Пропонуємо вікна металопластикові двокамерні з паспортними даними на рівні не нижче 1,33 Вт/$м^2$К. Заміну існуючих, раніше встановлених, металопластикових вікон з подвійним склінням (одинарний склопакет, коефіцієнт теплопередачі К=2 Вт/($м^2$·К) пропонується провести по закінченню терміну їх служби.

Для даної будівлі виконувалися також розрахунки ефекту від впровадження інших заходів з енергозбереження, узагальнені результати показано в табл. 3.

Також не слід забувати про те, що рівень розвитку технологій у сфері енергомоніторингу швидко зростає, тим самим допомагаючи побачити цілісну статистичну картину витрати енергоносіїв на потреби будівлі.

Таблиця 3– Запропоновані методи з енергозбереження

№ п/п	Назва методу енергозбереження	Інвестиції, грн	Простий термін окупності, років	Економія, грн/рік
1	Утеплення зовнішніх стін	4825000	12,1	398608
2	Утеплення даху	3300000	11	290693
3	Заміна дерев'яних вікон на металопластикові	579000	6,8	84645
4	Модернізація внутрішньої системи опалення будівлі	3320000	10,7	310409
5	Відновлення системи механічної вентиляції та встановлення рекуператорів	2820000	7	404742
6	Відбиваюча ізоляція за радіаторами опалення	2571	0,24	10620

В якості стартап-проекту пропонується розробка програмного забезпечення для системи енергетичного контролю (EMS), метою якої є відтворена візуалізація, оцінка та відображення споживання енергії в кожному будинку на основі визнаних параметрів, значень і графіків для скорочення споживання енергії та викидів CO_2. Енергоменеджмент є головним інструментом управління будівлею для енергоефективного споживання і оптимізації установок будівлі і тому є необхідним для успішного технічного менеджменту. Процес оптимізації, що складається з вимірів, моніторингу та аналізу вимагає автоматичні і стандартизовані розклади EMS для виконання директив національних і міжнародних норм сертифікації.

За допомогою професійного енергопланування визначаються цілі та показники підприємства. На підставі достовірних та безперебійних енергетичних даних і їх оцінки можна визначити фактичне використання, ефективність, а також помилкові функції автоматики будівлі, і таким чином досягти поставлених цілей. Для цього потрібні відкриті дані про енергетичні показники, а також постійне пристосування і поліпшення автоматики будівель із залученням до цього працівників експлуатаційних служб. Система енергоменеджменту візуалізує всі істотні витрати ресурсів та енергоносіїв (рис.3).

Рисунок 3 – Схема роботи системи енергетичного моніторингу

Користувач зможе без спеціальних знань в області ІТ підлаштувати для своїх щоденних завдань тип візуалізації. Програма також повинна періодично, наприклад помісячно, посилати звіти з поточними даними, від інформації до глибокого аналізу, певному колу одержувачів. Користувачі будівлі також зможуть побачити потоки і витрату енергії всередині будівлі, щоб розуміти залежність енерговитрат від власних дій.

Висновки.

Заходи для підвищення енергоефективності є доцільними, незважаючи на значні початкові капіталовкладення. Введення інструментів з енергомоніторингу для енергоменеджерів для навчального закладу дозволить в реальному часі відслідковувати потоки енергії та аналізувати внутрішні процеси. Реалізація цього інноваційного підходу дозволить проаналізувати доцільність імплементації великих проектів по економії енергії з визначенням пріоритетності виконання задач, а також використати зібрані дані для складання бюджету по енергозбереженню на наступний рік.

Список використаних джерел.

1. Розен В. П., Соловей О. І., Бржестовский С. В., Чернявский А. В. Енергетичний аудит об’єктів житловокомунального господарства – К.: ПП ВКФ «ДЕЛЬТА ФОКС», 2007, - 224 с.
2. Староверов И.Г. Справочник проектировщика. Часть 1 «Отопление, водопровод, канализация». – Москва: Стройиздат, 1975, 270 с.
3. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 30 с.
4. Тарифи - Київтеплоенерго [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: kte.kmda.gov.ua

УДК 62-69

Вдовиченко М. Ю.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЕДНЬОЇ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ №166

MODERNIZATION OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM TO INCREASE THE LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF SECONDARY SCHOOL NO. 166

Анотація. Основним питанням, що розглядається в доповіді, є можливість підвищення рівня енергоефективності шляхом модернізації системи теплопостачання будівлі на прикладі загальноосвітньої школи №166 м. Києва. Модернізація системи теплопостачання включає у себе встановлення вузла обліку з можливістю віддаленого зчитування, погодне регулювання та встановлення циркуляційних насосів.

Ключові слова: рівень енергоефективності, модульний тепловий пункт, система теплопостачання, модернізація, комфортні умови мікроклімату.

Annotation. The main issue addressed in the report is the possibility of increasing the level of energy efficiency of the modernization of the building's heat supply system using the example of secondary school No. 166 in the city. Kiev. Modernization of the heat supply system includes the installation of a metering station with the possibility of remote reading, weather control and the establishment of circulation pumps.

Keywords: energy efficiency level, modular heat point, heat supply system, modernization, comfortable microclimate conditions.

Вступ. Високий рівень енергоефективності – одна із задач, які ставлять перед собою науковці різних країн світу. У розрізі сталого розвитку енергоефективність є однією з глобальних цілей, досягнення якої поставлено до 2030 року [1]. Раціональність споживання енергії призводить до значного скорочення витрат як природних, так і грошових ресурсів. Більше того, контроль за виконанням раціонального використання провокує подальше закріплення системи енергоменеджменту, а отже, і енергозбереження в побуті чи виробництві [2]. Саме для спостереження за споживанням рекомендується використання вузлів обліку енергії [3].

Мета та завдання дослідження. Основним завданням та метою дослідження є обґрунтування необхідності модернізації системи теплопостачання середньої загальноосвітньої школи №166 та вплив модернізації на покращення умов мікроклімату в приміщеннях школи.

Результати дослідження. Система теплопостачання середньої загальноосвітньої школи №166 являє собою елеваторну систему, яка вже давно не може задовольняти умови мікроклімату у школі [4]. З огляду на це, у магістерській дисертації було розглянуто модернізацію теплового пункту як спосіб підвищення рівня енергоефективності та спосіб забезпечення учням комфортного перебування у навчальних приміщеннях[4].

Ринок обладнання для теплопостачання постійно пропонує новинки, які є компактними при установці та зручними при експлуатації – модульні теплові пункти. У модульний тепловий пункт входить все обладнання, яке необхідне для запуску та зупинки системи опалення. Здебільшого, це ділянка трубопроводів з грязьовиками,

фільтрами, циркуляційними насосами, регуляторами перепаду тиску та температури та вузлом обліку енергії.

Для більш спрощеного, але не менш якісного розрахунку, заміна грязьовиків та фільтрів існуючого теплового пункту проводитись не буде. Модернізація системи теплопостачання відбуватиметься за рахунок введення погодного регулювання, встановлення циркуляційно – змішувальних насосів замість елеваторного вузла та установки вузла обліку теплової енергії з можливістю інтерфейсного виходу.

Енергоефективна система матиме позитивний вплив лише у випадку її правильного підбору. Тому, для вибору необхідного обладнання, скористаємось вихідними даними, отриманими у навчальному закладі від дирекції (табл. 1).

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку обладнання теплового пункту

Тиск в подавальному трубопроводі	P1	0,8		МПа
Тиск в зворотному трубопроводі	P2	0,7		МПа
Температура води в подавальному трубопроводі	T1	95		^{0}C
Температура води в зворотному трубопроводі	T2	70		^{0}C
Температурний графік системи опалення	T11	**77**	T21	**59**
Теплове навантаження об‘єкту	Qоп		0,115	Гкал/год

Максимальна витрата мережевої води на опалення в опалювальний період розрахована за формулою:

$$G_o^{max} = \frac{Q_o^{max}}{(t_1 - t_2)} = \frac{0{,}115 \cdot 1000}{95 - 70} = 4{,}6 \frac{т}{год},$$

де Q_o^{max} – максимальне теплове навантаження на опалення, кВт;

t_1 – температура води в подавальному трубопроводі теплової мережі, ^{o}C;

t_2 – температура води в зворотному трубопроводі теплової мережі, ^{o}C.

$$V_{оп}^{max} = \frac{G_o^{max}}{\rho} = \frac{4{,}6}{0{,}978} = 4{,}782 \text{ м}^3/\text{год},$$

де $\rho = 0{,}978$ т/м^3 –густина води за температури 95 ^{o}C, т/м^3.

За рахунок насосної циркуляції до далеких стояків і нижніх опалювальних приладів буде доходити гаряча вода. Для забезпечення безперебійної циркуляції води проектним рішенням є встановлення двох циркуляйних насосів (один – основний, інший – резервний) компанії Wilo. Виробник є лідером на ринку насосного обладнання в Україні та світі, а також пропонує безкоштовне обслуговування протягом гарантійного терміну для покупців.

Для вибору необхідної марки насоса із запропонованого у каталозі обладнання, поставимо задачі, які повинен вирішувати вузол обв’язки насосів. Перш за все, має забезпечуватись автоматичний режим роботи, насос повинен бути простим у експлуатації та надійним. Циркуляційно – змішувальний насос з «мокрим» ротором, типу Yonos Maxo 50/0,9-9 з перетворювачем частоти має всі характеристики, що впораються з поставленими задачами. Для вибору типу насоса скористалась онлайн –

програмою підбору обладнання Wilo [5]. Робоча точка циркуляційного насоса знаходиться в 2/3 частині номограми (рис. 1), тобто при роботі насос має запас, що забезпечить безперебійну його роботу.

Рисунок 1 – Номограма насоса Yonos Maxo 50/0.5-9 (робоча точка А1 знаходиться в 2/3 кривої)

Для підтримки температури води, що надходить в систему опалення в залежності від температури зовнішнього повітря встановлено автоматику компанії Siemens. Для підбору необхідного діаметру регулятора температури скористаємось наступною формулою:

$$К_v = \frac{V_{оп}^{max}}{\sqrt{\Delta P}},$$

де ΔP – втрата тиску на клапані (приймаємо ΔP = 0,5 кгс/см^2),

$К_v$ – пропускна здатність регулятора температури, м^3/год.

$$К_v = \frac{4{,}782}{\sqrt{0{,}5}} = 6{,}76 \text{ м}^3\text{/год.}$$

Пропускна здатність регуляторів – величина стала, наведена у каталозі. Зазвичай регулятор (як температури, так і перепаду тиску) обирається того діаметру, який має найближче значення розрахованого $К_v$ до табличного $К_{vs}$. Тип регулятора – VVG41.25 – 10 є регулятором 25 діаметру з пропускною здатністю 10 м^3/год та характеризується швидким спрацюванням та невисокою ціною.

Для впевненості у правильності підбору використовують перевірку регуляторів перепаду – оцінюється відповідність діаметру вимогам швидкості [6] теплоносія на обладнанні та ступінь відкритості (не менше 30%).

$$V = \frac{4 \cdot 1000 \cdot V_{оп}^{max}}{\pi \cdot 3.6 \cdot d^2},$$

де d – діаметр регулятора перепаду, м.

$$V = \frac{4 \cdot 1000 \cdot 4{,}782}{\pi \cdot 3.6 \cdot 0{,}025^2} = 2{,}71 \text{ м/с.}$$

Ступінь відкриття X клапану визначається за формулою:

$$X = \frac{K_v}{K_{vs}} \cdot 100\%,$$

$$X = \frac{6,76}{10} \cdot 100\% = 68\%.$$

Основні умови виконуються, тому робимо висновок про правильність підбору регулятора температури.

Розрахунок регулятора перепаду тиску компанії Danfoss проведемо аналогічно. Регулятор різниці тиску фірми «Danfoss» типу AVP, з встановленням на подавальному трубопроводі.

$$K_v = \frac{V_{оп}^{max}}{\sqrt{\Delta P_{VHG}}},$$

де ΔP_{VHG} – тиск, який має втрачатися на регуляторі перепаду тиску (приймаємо , ΔP_{VHG} = 0,6 кгс/см$^{2)}$.

$$K_v = \frac{4,782}{\sqrt{0,6}} = 6,17 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Згідно розрахованої пропускної здатності, обираємо регулятор діаметру Ду25, значення K_{vs} = 8 м^3/год. Виконаємо перевірку по швидкості та ступеню відкриття.

$$V = \frac{4 \cdot 1000 \cdot 4,782}{\pi \cdot 3.6 \cdot 0,025^2} = 2,71 \text{ м/с}.$$

$$X = \frac{6,17}{8} \cdot 100\% = 77\%$$

Отже, регулятори підібрано вірно.

Моніторинг системи теплопостачання є одним із найдієвіших способів контролю за споживанням теплоти. Більше того, встановлений вузол обліку теплоти дає можливість сплати лише за власне споживання, без націнок за ділянку, яка знаходиться поза межею балансової належності.

У школі здійснюється такий моніторинг, проте він не має можливості віддаленого зчитування. Пропонується заміна старого лічильника на новий, з можливістю інтерфейсного виходу. Компанія AxisIndustries [7] давно зайняла позицію якісного виробника вузлів обліку теплової енергії за помірною ціною. Вибір вузла обліку здійснюється за фактичною витратою води. Тобто, при витраті мережевої води 4,782 м^3/год найдоцільніше буде обрати лічильник діаметру Ду25 з номінальною витратою, що дорівнює 6 м^3/год.

За такої модернізації теплового пункту роботи по демонтажу старого та монтажу нового обладнання проводитимуться набагато швидше. Регулювання температури теплоносія в залежності від температурних умов надворі – один з найсучасніших та найдоцільніших методів енергозбереження. Це дає змогу виключати перегріви в теплі дні опалювального періоду і недотопи в холодні і дозволяє підвищити комфорт в будинку і додатково заощадити до 15% на опаленні [8] (рис. 2).

Таким чином, при переведенні теплового у пункту у автоматичний режим, можемо говорити про абсолютне переключення робочих режимів в залежності від температури зовні та можливість моніторингу споживання, а отже, можливість економити.

Рисунок 2 – Графік зниження перетопів за рахунок установки регулятора перепаду температури

Висновки.

Погодне регулювання не є новинкою ринку, але точно забезпечує економію використання енергетичних ресурсів. У випадках експлуатації часто бувають моменти помилок, які не завжди можна вирішити у найближчий проміжок часу. Дослідження загальноосвітньої школи №166 показало, що енергоефективність – це, перш за все, раціональне використання енергетичних ресурсів. Для забезпечення цієї раціональності було обрано один з найпоширеніших лічильників теплоти, було проведено перехід на погодинне регулювання та встановлено циркуляційно – змішувальні насоси, які будуть працювати у будь – якому випадку (резервний насос забезпечить безперебійну роботу у випадку виходу з ладу основного).

Список використаних джерел.

1. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Цілі сталого розвитку 2016-2030 [Електронний ресурс] / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://menr.gov.ua.
2. ISO 50001:2011 «системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению» – Международный подход к энергоменеджменту. – 2012. – №3.
3. Бурый А. Коммерческий учет тепловой энергии и водоснабжения: какие требования установил новый Закон [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: http://www.osbb-inform.com.ua/ru/2017/09/25/531-2/.
4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування– К.: Мінрегіонбуд, 2013. – 138 с.
5. VOGEL S. Select 4 online - консультант по насосам [Електронний ресурс] / SOFTWARE VOGEL. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://wilo-select.com/StartMain.aspx.
6. ДБН В 2.5-39:2008. Теплові мережі – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 56 с
7. Продукты и услуги [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.axioma.eu/ru.
8. Преимущества реконструкции ИТП [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://www.otos.com.ua/rekonstruktsiya_teplovogo_punkta.

УДК 621.311.243

В'юхов А.А.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ № 477.

THE USE OF SOLAR PHOTOCELLS TO INCREASE THE LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF EDUCATIONAL INSTITUTION № 477.

Анотація. В даній статті розглядається один із методів підвищення загального рівня енергоефективності навчального закладу – використання сонячних фотоелементів. Розглянутий метод дозволяє виробляти електричну енергію на власні нужди та залишок продавати за "Зеленим тарифом" у мережу.

Ключові слова: енергоефективність, сонячні фотоелементи, електропостачання, виробляти, Зелений тариф, енергозбереження.

Annotation. This article discusses one of the methods of raising the overall level of energy efficiency in an educational institution is the use of solar photocells. The considered method allows to generate electric energy for own needs and to sell the balance in the "Green tariff" network.

Keywords: energy efficiency, solar photocells, electricity, produce, green tariff, energy saving.

Вступ. В Україні АЕС є основним джерелом електричної енергії - 52,3 % від всієї виробленої електроенергії, але в більш розвинених країни ведуть політику на скорочення кількості атомних електростанцій. Наступним джерелом електричної енергії є ТЕЦ або ТЕС, приблизно 36,6%, але даний вид електростанцій не покращує ситуацію, тому що електроенергія на ТЕЦ або ТЕС отримується за рахунок спалення природного газу та твердого палива. Попередньо перераховані енергоресурси закінчаться на протязі даного століття. Електроенергія в нашій державі видобувається також на ГЕС і сягає приблизно 5,9%. І всього 1% приходиться на альтернативні джерела виробництва електроенергії. Збільшити частку альтернативних джерел енергії можна за допомогою встановлення фотоелектричних перетворювачів.

Мета та завдання дослідження. Мета дослідження: зменшення залежності від загальної електричної мережі та поширення частки альтернативної енергетики за рахунок встановлення сонячних фотоелектричних панелей. Основні завдання які були встановленні: визначення куту нахилу сонячних панелей при якому досягається найбільша інтенсивність сонячної радіації та визначення найбільш ефективного типу сонячних панелей.

Результати досліджень. Розрахунок проводився для двоповерхової будівлі ДНЗ №477, розташованої в місті Київ. Будівля підключена до енергосистеми, а сонячні панелі планується розташувати на плоскому даху будівлі з площею 527 м^2. Живлення даного будинку буде відбуватися за наступним принципом, коли електричної енергії, виробленої сонячними панелями, буде не достатньо для живлення, то енергія буде споживатися і від мережі. А коли електричної енергії, виробленої сонячними панелями, буде більше чим необхідно для живлення споживачів, розташованих в будівлі, електрична енергія буде передаватися в мережу.

Оскільки для даної будівлі сонячні панелі є резервне джерело живлення, розрахунок будемо вести за середньорічним значенням залежності інтенсивності сонячного випромінювання від кута нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту які наведені в табл. 1 та на рис. 1 для міста Києва згідно [1].

Таблиця 1 – Середньомісячна денна кількість сонячної радіації в залежності від кута нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту

Місяць	Середньомісячна денна кількість сонячної радіації, Вт/м^2						
	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Січень	716	1658	1799	1932	2055	2168	2268
Лютий	1398	2552	2708	2851	2978	3088	3182
Березень	2348	3395	3515	3618	3701	3765	3809
Квітень	3577	4247	4298	4331	4344	4337	4311
Травень	5057	5141	5063	4959	4828	4672	4492
Червень	5606	5392	5270	5121	4949	4752	4534
Липень	5187	5111	5012	4887	4738	4566	4371
Серпень	4568	4979	4952	4897	4814	4703	4566
Вересень	2956	3853	3922	3966	3985	3979	3947
Жовтень	1809	3121	3291	3444	3577	3691	3783
Листопад	714	1605	1736	1858	1971	2072	2162
Грудень	455	1197	1312	1421	1523	1617	1702
Середнє значення	**2866**	**3521**	**3573**	**3607**	**3622**	**3617**	**3594**

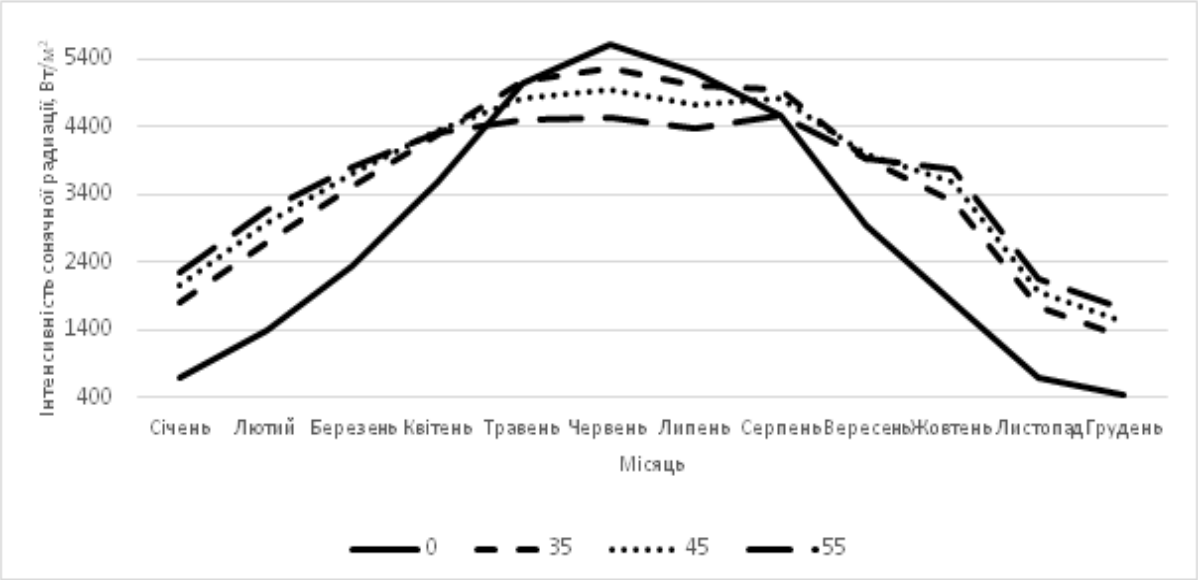


Рисунок 1 – Середньомісячна денна кількість сонячної радіації в залежності від кута нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту

Аналізуючи отримані данні можемо побачити, що кількість середньомісячної сонячної радіації помітно зростає при збільшенні куту нахилу до 35° та набуває свого піку при 45° . Потім інтенсивність сонячної радіації зменшується, але вона стає більш рівномірною протягом року (рис. 1). Також на графіку помітно, що чим більший кут нахилу сонячних панелей, тим більша інтенсивність у зимовий час, та менше у літній час, що обумовлено, кутом нахилу сонця до горизонту в ці періоди.

Для порівняння полікристалічних та монокристалічних панелей та визначення їх площі взято панелі однакової потужності 3 різних виробників. Дані для монокристалічних панелей взяти з [2], для полікристалічних з [3]. Залежність кількості сонячних панелей від кута нахилу до горизонту та результати наведені у таблиці 2-3.

Таблиця 2 – Залежність кількості монокристалічних сонячних панелей від кута нахилу до горизонту

	Кут нахилу сонячних панелей до горизонту						
Показники	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Amerisolar AS-6P30							
Кількість панелей, од.	60	40	40	40	40	40	40
Загальна площа, м^2	98	65	65	65	65	65	65
Risen RSM60-6-275P							
Кількість панелей, од.	57	38	38	38	38	38	38
Загальна площа, м^2	93	62	62	62	62	62	62
Suntech STP275-20 5BB							
Кількість панелей, од.	57	38	38	38	38	38	38
Загальна площа, м^2	93	62	62	62	62	62	62

Таблиця 3 – Залежність кількості полікристалічних сонячних панелей від кута нахилу до горизонту

	Кут нахилу сонячних панелей до горизонту						
Показники	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Amerisolar AS-6M							
Кількість панелей, од.	57	38	38	38	38	38	38
Загальна площа, м^2	93	62	62	62	62	62	62
Risen RSM60-6-290M							
Кількість панелей, од.	57	38	38	38	38	38	38
Загальна площа, м^2	93	62	62	62	62	62	62
Longi Solar LR6-60PE 300M							
Кількість панелей, од.	60	40	40	40	40	40	40
Загальна площа, м^2	98	65	65	65	65	65	65

Кількість сонячних панелей зменшується при куті нахилу 30° та далі не змінюється, це пов'язано з тим що при інших кутах інтенсивність сонця значних змін не зазнає. Також різниці між полікристалічними та монокристалічними панелями немає.

Для визначення економічної доцільності використання різних типів сонячних елементів розраховані техніко-економічні показники.

Капітальні витрати для різних монокристалічних сонячних панелей при різних кутах нахилу наведені в таблиці 4, а кількість виробленої електричної енергії - в таблиці 5.

Таблиця 4 – Капітальні витрати, грн

	Кут нахилу сонячних панелей до горизонту						
Показник	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Amerisolar AS-6P30							
Капітальні вкладення	349110	260750	260750	260750	260750	267050	267050
Risen RSM60-6-275P							
Капітальні вкладення	398133	299732	299732	299732	299732	299732	299732
Suntech STP275-20 5BB							
Капітальні вкладення	444930	374610	374610	374610	374610	374610	374610

Капітальні вкладення зменшились при куті нахилу 30° та далі залишились незмінними.

Таблиця 5 – Кількість виробленої електричної енергії, кВт·год/міс

Amerisolar AS-6M							
Місяць	Кут нахилу сонячних панелей до горизонту						
	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Січень	386	596	647	695	739	779	815
Лютий	681	829	879	926	967	1003	1033
Березень	1266	1220	1264	1301	1331	1354	1369
Квітень	1866	1478	1495	1507	1511	1509	1500
Травень	2727	1848	1820	1783	1736	1680	1615
Червень	2926	1876	1833	1782	1722	1653	1577
Липень	2797	1837	1802	1757	1703	1641	1571
Серпень	2463	1790	1780	1760	1731	1691	1641
Вересень	1543	1340	1364	1380	1386	1384	1373
Жовтень	975	1122	1183	1238	1286	1327	1360
Листопад	373	559	604	646	686	721	752
Грудень	245	430	472	511	547	581	612

Продовження таблиці 5

∑	18249	14925	15144	15284	15344	15323	15220
Risen RSM60-6-290M							
Місяць	Кількість виробленої електричної енергії кВт·год/міс						
	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Січень	366	570	618	664	706	740	775
Лютий	646	792	841	885	924	953	981
Березень	1202	1167	1208	1243	1272	1286	1301
Квітень	1771	1412	1429	1440	1444	1433	1425
Травень	2588	1766	1740	1704	1659	1596	1534
Червень	2776	1793	1752	1703	1646	1571	1499
Липень	2654	1756	1722	1679	1628	1559	1493
Серпень	2337	1711	1702	1683	1654	1606	1559
Вересень	1464	1281	1304	1319	1325	1315	1304
Жовтень	925	1072	1131	1183	1229	1260	1292
Листопад	354	534	577	618	655	685	715
Грудень	233	411	451	488	523	552	581
∑	17316	14266	14475	14609	14667	14557	14459
Longi Solar LR6-60PE 300M							
Місяць	Кількість виробленої електричної енергії кВт·год/міс						
	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Січень	379	585	635	681	725	760	795
Лютий	668	813	863	908	949	978	1007
Березень	1242	1197	1240	1276	1305	1320	1335
Квітень	1831	1450	1467	1478	1483	1471	1462
Травень	2675	1813	1786	1749	1703	1638	1575
Червень	2870	1840	1798	1748	1689	1612	1538
Липень	2744	1802	1767	1724	1671	1600	1532
Серпень	2416	1756	1747	1727	1698	1649	1601
Вересень	1514	1315	1339	1354	1360	1350	1339
Жовтень	957	1101	1161	1215	1262	1294	1326
Листопад	366	548	593	634	673	703	733
Грудень	241	422	463	501	537	567	597
∑	17903	14642	14857	14995	15053	14940	14840

З отриманих даних видно, що максимальне виробництво електричної енергії досягається при куті нахилу в 45° це обумовлено максимальною інтенсивністю сонячної радіації при даному куті. На рисунку 2 наведено, щомісячне фактичне споживання та виробництво електричної енергії.

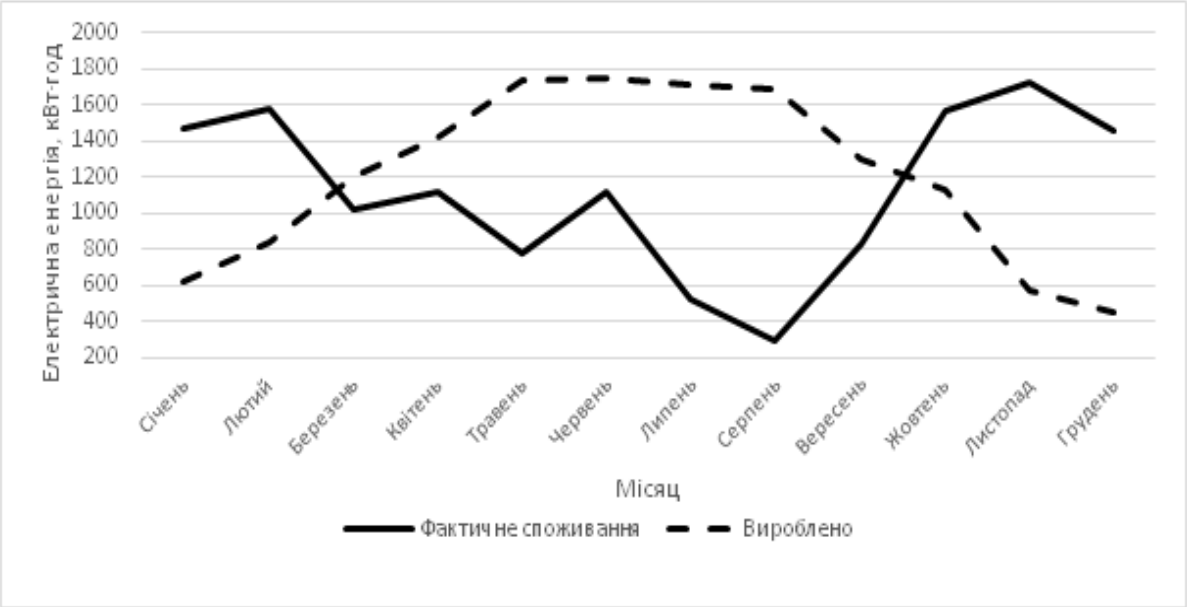


Рисунок 2 – Щомісячне фактичне споживання та виробництво електричної енергії.

З березня по жовтень вироблена електроенергія сонячними елементами перевищую спожиту на власні потреби і тому її надлишок продають за «Зеленим тарифом» у мережу. В інший період року для електрозабезпечення необхідно додатково купувати з мережі електричну енергію.

Результати кількості проданої та купленої електричної енергії зводимо до таблиці 6.

Таблиця 6 – Техніко-економічні показники

Amerisolar AS-6M							
Техніко-економічні показники	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Вироблено електричної енергії, кВт·год/рік	18249	14925	15144	15284	15344	15323	15220
Кількість купленої електричної енергії, кВт·год/рік	5122	4247	3998	3767	3558	3372	3210
Вартість купленої електричної енергії, грн/рік	9693	8038	7565	7129	6733	6381	6074
Продано за "Зеленим тарифом", кВт·год/рік	9912	5712	5682	5592	5442	5235	4970
Продано за "Зеленим тарифом", грн/рік	57983	33416	33238	32711	31837	30622	29075
Загальна економія, грн·рік	**73761**	**50850**	**51144**	**51053**	**50576**	**49713**	**48473**

Продовження таблиці 6

Risen RSM60-6-290M							
Техніко-економічні показники	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Вироблено електричної енергії, кВт·год/рік	17316	14266	14475	14609	14667	14557	14459
Кількість купленої електричної енергії, кВт·год/рік	5258	4404	4165	3945	3745	3592	3439
Вартість купленої електричної енергії, грн/рік	9951	8333	7882	7465	7086	6798	6507
Продано за "Зеленим тарифом", кВт·год/рік	9115	5209	5180	5094	4951	4689	4438
Продано за "Зеленим тарифом", грн/рік	53320	30474	30304	29800	28965	27431	25961
Загальна економія, грн·рік	**68841**	**47612**	**47894**	**47807**	**47350**	**46104**	**44926**
Longi Solar LR6-60PE 300M							
Техніко-економічні показники	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Вироблено електричної енергії, кВт·год/рік	17903	14642	14857	14995	15053	14940	14840
Кількість купленої електричної енергії, кВт·год/рік	5173	4314	4069	3843	3638	3482	3324
Вартість купленої електричної енергії, грн/рік	9789	8165	7701	7273	6885	6589	6290
Продано за "Зеленим тарифом", кВт·год/рік	9616	5496	5466	5378	5231	4962	4704
Продано за "Зеленим тарифом", грн/рік	56254	32153	31978	31461	30604	29029	27521
Загальна економія, грн·рік	**71936**	**49460**	**49748**	**49659**	**49191**	**47912**	**46702**

Вартість електричної енергії з мережі складає 1,8924 грн/кВт·год, вартість продажу електричної енергії за «Зеленим тарифом» складає 0,183€, а це 5,95 грн/кВт·год. Найбільша економія спостерігається при куті в 0° для всіх трьох видів сонячних батарей. Але це пов'язано з тим що, в нас відбувається перевироблення електричної енергії за рахунок більшої кількості сонячних панелей необхідної для покриття заданої потужності, а це впливає на капітальні витрати. Тому значеннями при 0°, потрібно знехтувати, та порівняння продовжувати від 30° до 55°. У цьому проміжку найбільша економія досягається при 35°. Це пов'язано з тим, що при цьому куті ми знаходимо баланс між кількістю купленої та проданої електричної енергії.

Термін окупності системи без урахування капітальних ремонтів кожні десять років роботи:

$$T_1 = \frac{K_1}{P_i - C_i - K_i},$$

де K1 - капітальні витрати в перший рік роботи системи;

Ki - капітальні витрати в подальші роки роботи системи;

Сі - витрати виробництва за перший рік роботи;
Рі - доходи від виробництва електроенергії за перший рік роботи.
Термін окупності з урахуванням капітальних ремонтів:

$$T_2 = \frac{K_1 + K_{fc} \cdot N_{fc}}{P_i - C_i - K_i}$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 – Термін окупності

	Кут нахилу сонячних панелей до горизонту						
Показник	0°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Amerisolar AS-6M							
ТО без урахування капітальних ремонтів, років.	5	5,5	**5,5**	5,5	5,6	5,7	5,8
ТО з урахування капітальних ремонтів, років.	5,1	5,7	**5,7**	5,7	5,7	5,8	6
Risen RSM60-6-290M							
ТО без урахування капітальних ремонтів, років.	6,1	6,7	**6,7**	6,7	6,8	7	7,1
ТО з урахування капітальних ремонтів, років.	6,3	6,9	**6,9**	6,9	7	7,2	7,4
Longi Solar LR6-60PE 300M							
ТО без урахування капітальних ремонтів, років.	6,6	7,2	**7,1**	7,1	7,2	7,4	7,6
ТО з урахування капітальних ремонтів, років.	6,8	7,4	**7,4**	7,4	7,5	7,7	7,9

Аналізуючи таблицю 6 та 7 отримали наступні результати. Найбільша економія спостерігається при куті нахилу сонячних панелей 35°. Термін окупності майже не змінюється починаючи з 30°. Тому спираючись на найбільшу економію, можемо зробити висновок що для міста Київ оптимальний кут нахилу монокристалічних сонячних панелей складає 35°. З трьох видів монокристалічних панелей найбільш вигідна Amerisolar AS-6M, термін окупності складає 5,7 роки.

Для полікристалічних панелей Amerisolar AS-6P30, Risen RSM60-6-275P, Suntech STP275-20 5BB було проведені аналогічні дослідження.

Отримали результати для полікристалічних панелей близькі за значеннями для монокристалічних, але спостерігається різниця у терміні окупності, що пов’язано з вартістю сонячних панелей. З трьох видів полікристалічних панелей найбільш вигідна Amerisolar AS-6P30, термін окупності складає 5,6 роки.

На рисунку 3 та 4 наведені залежності заощаджень та виробленої електричної енергії від кута нахилу монокристалічних та полікристалічних сонячних панелей:

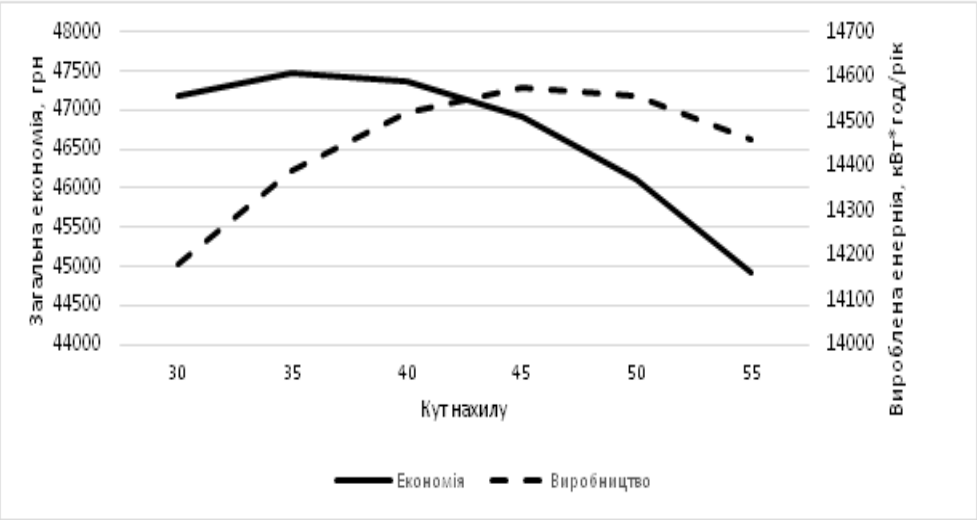


Рисунок 3 – Залежність заощаджень та виробленої електричної енергії від кута нахилу монокристалічних сонячних панелей

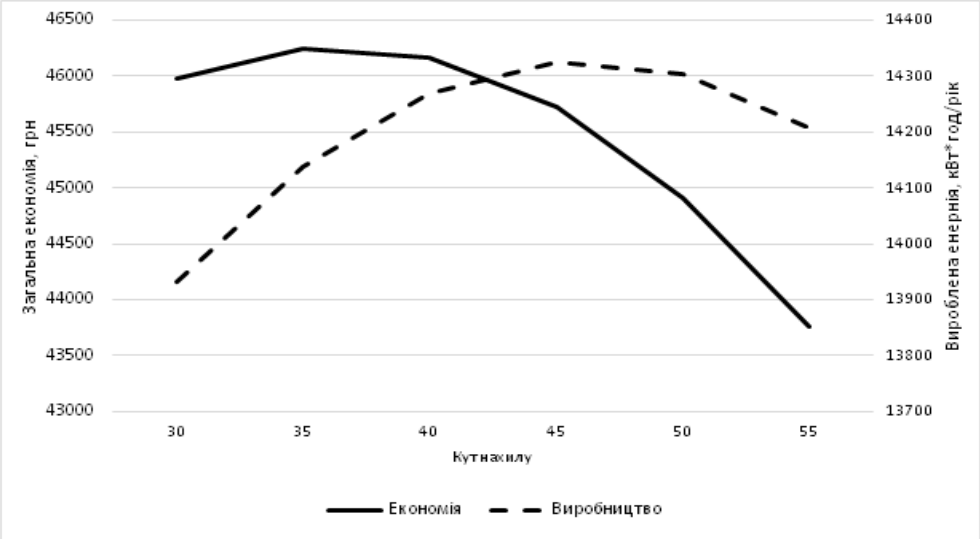


Рисунок 4 – Залежність заощаджень та виробленої електричної енергії від кута нахилу полікристалічних сонячних панелей

Найбільша економія досягається при куті нахилу 35° незалежно від типу сонячних панелей. Це пов'язано з різницею в кількості та ціні купленої і проданої електроенергії. Найбільше виробництво електричної енергії досягається при 45°, що дозволяє менше купувати електричної енергії з мережі, а це дає змогу збільшити відсоток незалежності системи від неї та зменшити кількість спожитого палива на виробництво енергії. З точки зору енергозбереження необхідний кут нахилу становить 45° для сонячної системи.

Висновки

1. З точки зору економії коштів кут нахилу сонячної панелі до горизонту оптимальний для міста Київ складає 35°. При подальшому збільшенні кута, більше сонячної енергії починає вироблятися у зимовий період та зменшується у літній час, це є добрим якщо,

у нас система автономна, але у нас система залежна від мережі, тому у нас є зацікавленість у продажі її у мережу, тариф електричної енергії складає 1,8924 кВт·год/грн, «Зелений тариф» 0,18€ за кВт·год, що дорівнює приблизно 5,95 грн за кВт·год.

2. З точки зору енергозбереження кут нахилу сонячної панелі до горизонту оптимальний для міста Київ складає 45°.

3. Різниці між монокристалічними та полікристалічними панелями щодо кута нахилу немає (табл. 8).

Таблиця 8 – Порівняння полікристалічної та монокристалічної системи при куту нахилу 35°

Техніко-економічні показники	Полікристалічна	Монокристалічна
Вартість, грн/од	3537	4103
ККД, %	17,52	17,83
Кількість панелей, од.	38	40
Загальна площа, м^2	62	65
Вироблено електричної енергії, кВт·год/рік	14137	15144
Продано за "Зеленим тарифом", грн	28818	33238
Загальна економія, грн·рік	46248	51444
Витрати на експлуатацію, грн	237336	267050
Термін окупності без урахування кап. рем., років	5,4	5,5
Термін окупності з урахування кап. рем., років	5,6	5,7

4. Монокристалічні панелі мають більшу вартість та більший ККД, ніж полікристалічні, але при невеликій площі сонячних панелей ця різниця несуттєва.

5. Встановити полікристалічні панелі на 11,1 % дешевше, а це 29,7 тис.грн., ніж монокристалічні при такій же площі, а це буде вирішальним фактором у виборі сонячної системи.

Список використаних джерел.

1. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 – [Чинний від 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 43 с. – (Національний стандарт України)
2. https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/?filter_f=12:1
3. https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/?filter_f=12:2

УДК 621.472

Дударчук Д.В.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

МОДЕРНІЗОВАНИЙ РЕГЕНЕРАТОР ДЛЯ ДВИГУНА СТІРЛІНГА УДС-1 У СОНЯЧНІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ УСТАНОВЦІ

MODERNIZED REGENERATOR FOR THE STIRLING MACHINE UDS-1 IN THE SOLAR ENERGY SYSTEM

Розглянуто питання підвищення ефективності перетворення сонячної енергії в механічну/електричну завдяки модернізованому регенератору теплоти двигуна Стірлінга у сонячній енергетичній установці «параболоїдний сонячний концентратор – двигун Стірлінга УДС-1 – електричний генератор». Наведено розрахунок впливу ступеня регенерації на ефективність роботи двигуна Стірлінга та вказано подальші заплановані дослідження.

Ключові слова: цикл Стірлінга, двигун УДС-1, регенератор.

The issue of increasing the efficiency of solar energy conversion into mechanical/electrical energy due to the modernized Stirling motor heat recovery regenerator in the solar power system "parabolic solar concentrator - Stirling engine UDS-1 - electric generator" is considered. The calculation of the effect of regeneration on the efficiency of the Stirling engine is given and further planned studies are indicated.

Keywords: Stirling cycle, engine UDS-1, regenerator.

Вступ. Регенератор двигуна Стірлінга працює як внутрішній теплообмінник, розташований між гарячими та холодними частинами двигуна. Робоча рідина тече по ньому в обох напрямках, зберігаючи тепло від одного циклу, яке буде використовуватися в наступному циклі.

Регенератор призначений для збереження теплоти всередині циклу двигуна, на відміну від викидання цієї енергії в атмосферу. Це покращує загальну ефективність і потужність.

Метою роботи є аналіз результатів модернізації процесу регенерації двигуна Стірлінга УДС-1 для сонячної енергетичної установки з метою підвищення ефективності роботи.

1. Теоретичний аналіз процесу регенерації.

Розглянемо теоретичний цикл Стірлінга без регенерації [1].

Діаграма на рис. 1 показує чотири етапи роботи двигуна:

1) Процес 1-2 – підведення тепла з постійним об'ємом v_m (підвищення температури газу від T_m до T_M). Теплова енергія, що повинна бути підведена до газу:

$$q_{12} = c_V (T_2 - T_1) \tag{1}$$

2) Процес 2-3 – розширення при постійній температурі T_M. Теплова енергія, що повинна бути підведена для підтримки температури газу T_M:

$$q_{23} = RT_2 \ln r_V \tag{2}$$

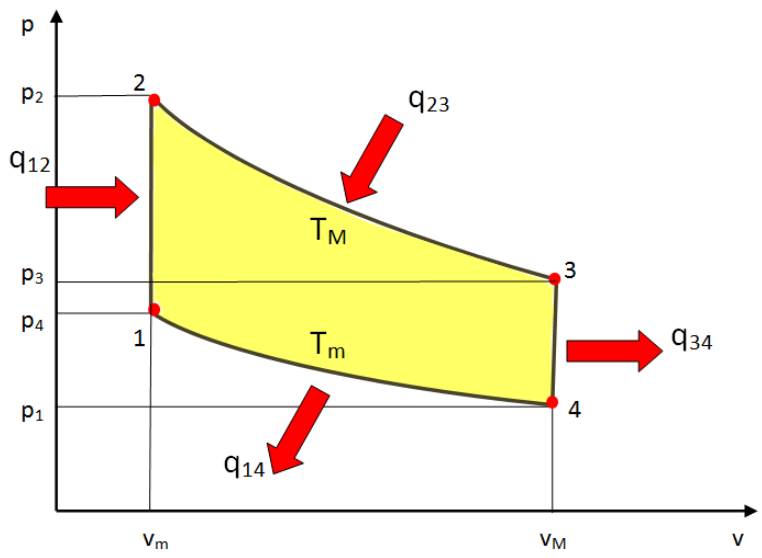


Рисунок 1 –. PV-діаграма циклу Стірлінга без регенератора

3) Процес 3-4 – охолодження при постійному об'ємі v_M (зниження температури газу від T_M до T_m). Отримана в результаті теплова енергія дорівнює:

$$q_{34} = c_V\left(T_3 - T_4\right). \tag{3}$$

Це та теплота, яка використовується для нагрівання газу при постійному об'ємі:

$$q_{34} = q_{12}. \tag{4}$$

4) Процес 4-1 – стиснення при постійній температурі T_m. На цьому етапі теплова енергія забезпечує виконання роботи, однак вона відновлює енергію:

$$q_{41} = RT_4 \ln r_V. \tag{5}$$

Відведена механічна енергія дорівнює механічній енергії, яка відновлюється під час розширення W_{23}, за винятком механічної енергії W_{41}, яка повинна забезпечувати стиснення газу. Енергія, яка відводиться протягом циклу, пропорційна площі жовтої поверхні.

Тепер, якщо узагальнити записи отримаємо:

- теплота що витрачається:

$$q_1 = q_{12} + q_{23} = RT_2 \ln r_V + c_V\left(T_2 - T_1\right) = RT_2\left[\ln r_V + \frac{1-\xi}{\gamma - 1}\right], \tag{6}$$

- корисна енергія:

$$q_2 = q_{34} + q_{41} = RT_4 \ln r_V + c_V\left(T_3 - T_4\right) = RT_4\left[\ln r_V + \frac{1-\xi}{\xi\left(\gamma - 1\right)}\right], \tag{7}$$

- коефіцієнт корисної роботи циклу становить:

$$\eta_t = \frac{T_2 - T_4}{T_2 + \dfrac{c_V\left(T_2 - T_4\right)}{R\ln r_V}} = \frac{\eta_K}{1 + \dfrac{\eta_K}{\left(\gamma - 1\right)\ln r_V}} = \eta_K\left[\frac{\left(\gamma - 1\right)\ln r_V}{\left(\gamma - 1\right)\ln r_V + \eta_K}\right], \tag{8}$$

де: ξ – відношення температур гарячого і холодного джерела теплоти;

γ – ступінь стиску газу;

η_K – ККД циклу Карно.

Тепер розглянемо теоретичний цикл Стірлінга з регенерацією.

Якщо можна було б відновити q_{34}, щоб повторно застосувати цю енергію під час нагріву в процесі 1-2, можна було б заощадити q_{12} (рис. 2).

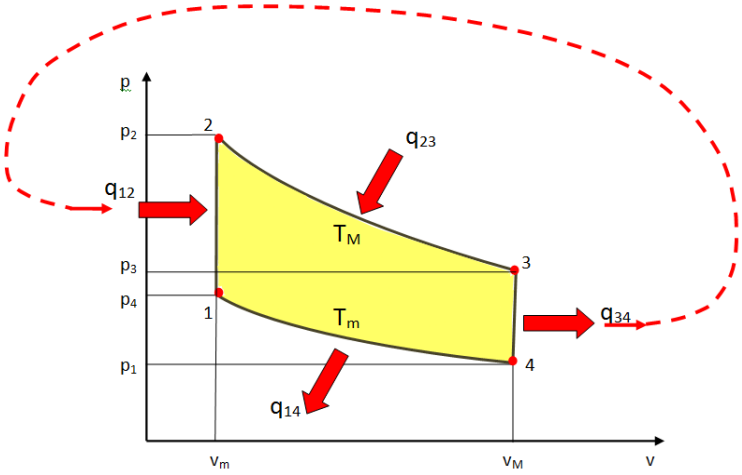


Рисунок 2 - PV-діаграма термодинамічних процесів з регенератором

Тоді узагальнені записи стануть такими:

- теплота що витрачається:

$$q_1 = RT_2 \ln r_V, \tag{9}$$

- корисна енергія:

$$q_2 = RT_4 \ln r_V, \tag{10}$$

- коефіцієнт корисної роботи циклу становить:

$$\eta_K = 1 - \xi. \tag{11}$$

Таким чином, за наявності 100-% регенерації, ефективність циклу Стірлінга дорівнює ефективності циклу Карно.

2. Конструктивна модернізація регенератора двигуна Стірлінга УДС-1.

УДС-1 представляє собою діючий макетний зразок двигуна Стірлінга гамма-модифікації, потужністю 5-10 Вт (рис. 3) [2-5]. Регенератор є ключовим компонентом, винайденим Робертом Стірлінгом, і його присутність відрізняє справжній двигун Стірлінга від будь-якого іншого двигуна замкненого циклу з гарячим повітрям. У двигуні Стірлінга УДС-1, роль регенератора виконує конструктивний зазор між зовнішньою поверхнею поршня-витискувача і внутрішньою поверхнею його циліндра. Таким чином, робоча рідина (повітря) проходить через зазор спочатку в одному напрямі і віддає теплоту поверхням зазору, які акумулюють це тепло. Рухаючись в зворотньому напрямі робоча рідина нагрівається в цьому ж регенераторі за рахунок раніше накопиченої теплоти. Даний процес повторюється циклічно.

Регенератор може бути настільки ж простий, як наприклад металева сітка або дріт, і при цьому мати високу площу поверхні, високу теплоємність та малу товщину

потоку. Його функція полягає в тому, щоб у системі зберігати теплоту, яка в іншому випадку обмінювалося б з навколишнім середовищем при температурах проміжних до мінімальних циклічних температур, що дозволило б забезпечити теплову ефективність циклу до гранично можливої, ефективності Карно.

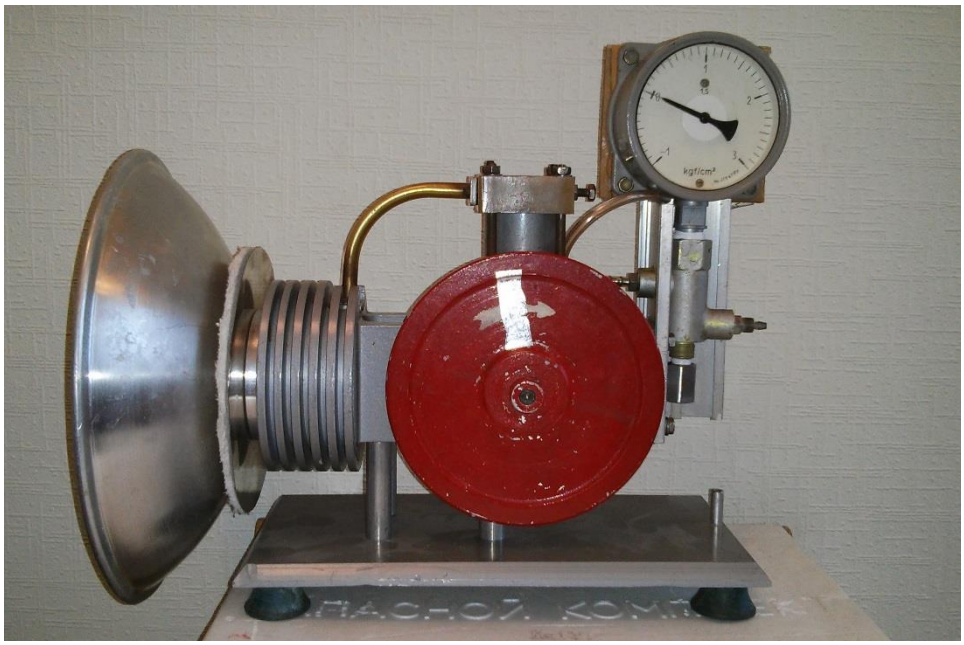


Рисунок 3 – Двигун Стірлінга УДС-1.

У роботі запропоновано провести модернізацію УДС-1 шляхом створення регенератора як окремого елемента конструкції двигуна, який представляє собою трубчастий корпус з внутрішньою дротовою насадкою для збільшення площі теплообмінної поверхні (рис.4).

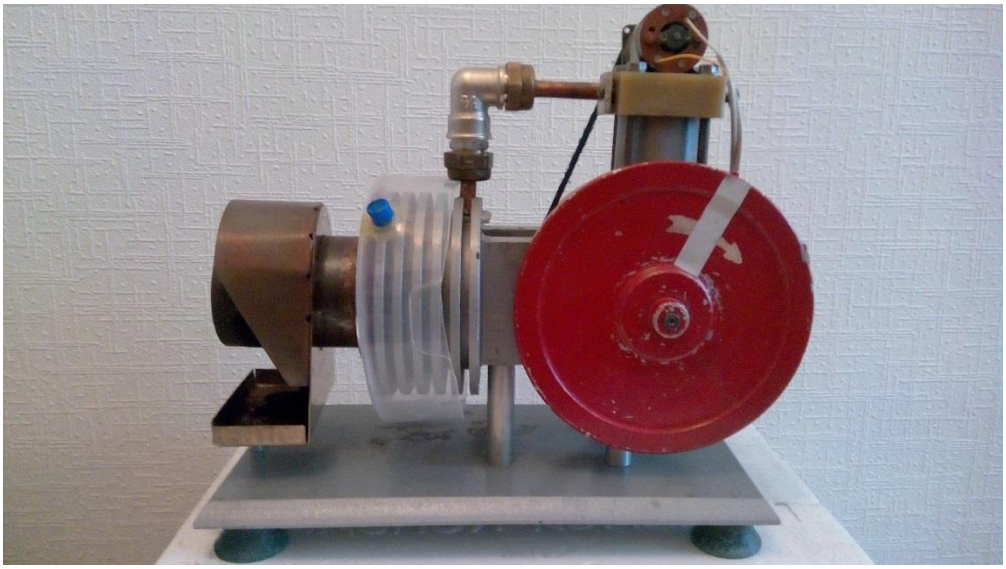


Рисунок 4 – Готовий прототип регенератора УДС-1.

Первинний ефект регенерації в двигуні Стірлінга полягає у збільшенні термічної ефективності шляхом "вторинної переробки" внутрішнього тепла, яке інакше проходить через двигун незворотнім чином. Як додатковий ефект, підвищена теплова ефективність призводить до вищої потужності регенеративних теплообмінників. Вони зазвичай обмежують теплову продуктивність двигуна. На практиці ця додаткова потужність може бути не повністю реалізована, тому що додатковий "мертвий об’єм" і втрати підчас переміщення повітря, притаманні практичним регенераторам, зменшують потенційну економію від регенерації.

Випробовування для регенератора двигуна Стірлінга УДС-1 полягає в тому, щоб забезпечити достатню теплопередачу, не вводячи занадто багато додаткового внутрішнього об'єму ("мертвого об’єму") або опору потоку. Ці властиві конструктивні конфлікти є одним з багатьох факторів, які обмежують ефективність практичних двигунів Стірлінга. При виготовлені регенератора було використано типові елементи: ½ дюймове трубчасте коліно та сітка з тонких металевих дротиків. Сітка з дротиків є з низькою пористістю для зменшення мертвого простору та провідних осей, перпендикулярних потоку газу, для зменшення провідності у цьому напрямку та максимального збільшення конвективного теплообміну.

Висновки.

1. Ступінь регенерації відіграє ключову роль у збільшенні ефективності циклу Стірлінга, наближаючи її до максимально можливої.
2. Виготовлено конструктивний варіант регенератора для двигуна Стірлінга УДС-1.
3. Підготовлено проведення експериментальних досліджень роботи УДС-1 з модернізованою регенерацією.
4. Заплановано проведення теоретичного аналізу результатів експериментальних досліджень роботи УДС-1.

Список використаних джерел.

1. Г.Ридер, Ч. Хупер «Двигатели Стирлинга» Пер с англ. – М.: Мир, 1986. – 464 с.
2. К.Е. Долганов, В.П. Лисица «Учебно– демонстрационный двигатель Стирлинга модели УДС– 1 » // Двигателестроение – 1989. – №5. – С. 28-33.
3. V.P. Stoudenets, N.N. Tsyrin, S.S. Dovgyi, N.O. Yemanova. The Characteristics of Solar Dish/Stirling System Based on UDS-1 Machine // Proceedings of 8-th International Green Energy Conference (IGEC-8). -Kyiv, June 17-19, 2013. – p.214-216.
4. В.П. Студенець, В.В Пасічний, А.А. Птуха. Базові характеристики дослідницького стенду «офсетний сонячний концентратор – двигун Стірлінга». Відновлювана енергетика, 2013, №1(32), С.31-36.
5. В.П. Студенець, В.В Пасічний, С.О. Остапенко, П.А. Миротюк. Дослідницький стенд «сонячний концентратор – двигун Стірлінга та його базові характеристики. Відновлювана енергетика, 2011, №1(24), С.5-10.

УДК 697.1:34

Іщук О.М.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ З РЕКОНСТРУКЦІЄЮ ТА ВИБОРОМ ОБЛАДНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТУ

IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF A MULTISTORY RESIDENTIAL BUILDING WITH RECONSTRUCTION AND EQUIPMENT SELECTION FOR AN INDIVIDUAL HEAT POINT

Анотація. В даній статті розглядається методи підвищення загального рівня енергоефективності багатоповерхової житлової будівлі за рахунок проведення заходів по утепленню стін, заміні вікон на сходових клітинах, встановлення терморегуляторів, встановлення за радіаторами відбивачів та реконструкцією ІТП. Розглянуті методи дозволяють досягти суттєвого зменшення затрат на енергоресурси їх ефективного використання та досягненням мікроклімату в будівлі відповідності до діючих норм.

Ключові слова: енергоефективність, індивідуальний тепловий пункт, теплопостачання, енергозбереження.

Annotation. In this article methods of increasing the overall level of energy efficiency of multi-storey residential development are considered through the implementation of measures for insulation of walls, replacement of windows on the staircase, installation of thermostats, installation of radiators for reflectors and reconstruction of ITP. Examination methods allow to achieve a significant reduction of energy costs for their efficient use and the achievement of microclimate in construction in accordance with current norms.

Key words: energy efficiency, individual heating point, heat supply, energy saving.

Вступ. Підвищення енергетичної ефективності є одним із стратегічно важливих завдань України. Основна частина житлового фонду збудована за часів радянського союзу, в якому не рахувались з витратами на енергоносії, тому енергоємність комунальних послуг на сьогодні є високою. Із зростанням вартості на паливо актуальність цієї проблеми все зростає. Комплексна термомодернізація будівель із залученням фінансування інвестицій по програмам енергоефективності житла повинна супроводжуватися проведенням якісного енергетичного обстеження будівель з визначенням енергетичних характеристик та розробкою економічно доцільних енергозберігаючих заходів.

Мета та завдання дослідження. Завданням та метою дослідження є оцінка доцільності застосування енергозберігаючих заходів та модернізації ІТП для підвищення рівня енергоефективності багатоповерхової житлової панельної будівлі серії КТ-16, збудованої за часів масових забудов.

Результати досліджень. Аналіз споживання енергоресурсів будівлі по пр-ту Правди 17а (табл. 1) за 2017 рік показує, що найбільша частка витрат енергоресурсів припадає на теплову енергію і складає 71,7% від загальних витрат, що в грошовому еквіваленті при ціні на теплову енергію у 2017 році 1417 грн/Гкал становить 1200тис. грн, 70% від загальних грошових затрат (рис. 1). Цей показник можна знизити, запропонувавши впровадження енергоефективних заходів в будівлі з урахуванням реконструкції теплового пункту.

Таблиця 1 - Структура споживання і оплати енергоносіїв будинку

Енергоресурси	Споживання			Оплата	
	натуральні одиниці	тис. кВт·год	%	тис.грн.	%
Електрична енергія	390,8 тис. кВт·год	390,8	28,3	351,72	20,4
Теплова енергія	849,10 Гкал/год	987,39	71,7	1203,144	70
Вода	10982,52 $м^3$	-	-	164,510	9,6

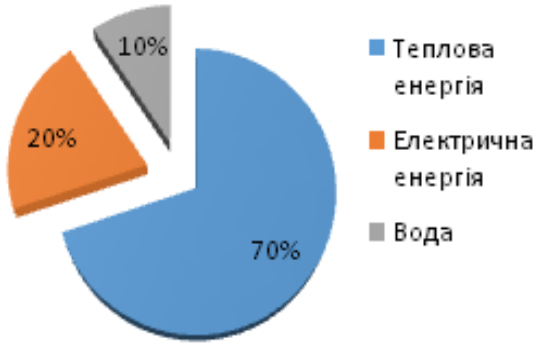


Рисунок 1 – Структура грошових витрат на енерго- ресурсозабезпечення

Для зменшення тепловтрат необхідно виконати комплексну термомодернізацію, яка включає утеплення будинку, заміну вікон на сучані енергоефективні, а також модернізацію системи теплопостачання, в якій одним з кроків є модернізація теплового пункту. Тільки при впровадженні комплексу заходів можливо отримати максимальний ефект економії тепла. Результати розрахунків тепловтрат наведено у таблиці 2.

Пропонуються наступні заходи з енергозбереження:

- утеплення стін: додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити понаднормові витрати тепла через стіни та покращити зовнішний вигляд будівлі;
- заміна існуючих старих дерев'яних вікон на металопластикові склопакети з енергоефективним напиленням, які відповідають сучасним вимогам [1];
- встановлення терморегуляторів, що дозволить економити теплову енергію в перехідні періоди і запобігти «перетопам приміщень»;
- встановлення за радіаторами відбивачів;
- модернізація теплового пункту з установкою сучасного пластинчастого обігрівача системи гарячого водопостачання, насосною залежною схемою приєднання системи опалення з автоматикою погодного регулювання.

Для можливості регулювання теплового потоку від централізованого джерела теплової енергії і можливості отримання суттєвої економії від термомодернізації будівлі в спеціальній частині пропонується провести реконструкцію теплопункту з автоматикою погодного регулювання та циркуляційним насосом. Це дозволить уникнути понаднормового збільшення температури в приміщеннях у осінньо-весняний період та зменшити втрати тепла за рахунок провітрювання. Окрім цього, реконструйований теплопункт дозволить налаштовувати режими енергоспоживання після впровадження інших енергозберігаючих заходів, оптимізуючи теплоспоживання.

Таблиця 2 - Результати розрахунків тепловтрат

№	Найменування	Позначення	Од. виміру	Значення
1	Коефіцієнт теплопередачі стін	$K_{стін}$	кВт/м^2·°С	0,6
2	Коефіцієнт теплопередачі вікон	$K_{вікон}$	кВт/м^2·°С	2,5
3	Коефіцієнт теплопередачі даху	$K_{стелі}$	кВт/м^2·°С	2,13
4	Коефіцієнт теплопередачі дверей	$K_{дверей}$	кВт/м^2·°С	1,98
5	Опір теплопередачі першої зони	$R_{1зони}$	кВт/м^2·°С	2,59
6	Опір теплопередачі другої зони	$R_{2зони}$	кВт/м^2·°С	4,74
7	Опір теплопередачі третьої зони	$R_{3зони}$	кВт/м^2·°С	10,5
8	Опір теплопередачі четвертої зони	$R_{4зони}$	кВт/м^2·°С	17,19
9	Площа стін	$F_{стін}$	м^2	3930
10	Площа вікон	$F_{вікон}$	м^2	1688,96
11	Площа підлоги	$F_{підлоги}$	м^2	608,55
12	Площа даху	$F_{дах}$	м^2	608,55
13	Висота будівлі	$H_{буд}$	м	48
14	Кількість людей	P		448
15	Розрахункова температура опалювальних приміщень	$t_{вн}$	°С	20
16	Температура зовнішнього повітря	$t_{зовн}$	°С	-22
Розрахунок				
1	Витрати тепла	$Q_{ок}$	кВт	367,81
2	Теплота на нагрів інфільтр. повітря	Q_{b1}	кВт	192,52
3	Витрати тепла на нагрівання зовнішнього повітря, яке проникає через двері тамбурів, що відчиняються	Q_{b2}	кВт	21,1
4	Сумарне теплове навантаження будівлі	$Q_{сум}$	кВт	581,43
			Гкал/год	0,499

Таблиця 3 - Зведена таблиця заходів з енергозбереження

№	Назва заходу	Економія, тис грн/рік	Економія енергоресурсів, Гкал/рік	Термін окупності, рік
1	Вікна на сходових клітинах	22,77	13,37	3,1
2	Утеплення стін	165	122,5	16
3	Терморегулятори	191,7	142	1,4
4	Відбивачі за радіаторами	12,96	9,6	0,9

Примітка: економічний ефект визначено з урахуванням сучасних тарифів [2]

Економічність, надійність та ефективність при експлуатації системи опалення та гарячого водопостачання досягнуто за рахунок впровадження в дослідженні наступних технічних рішень:

1. Застосування змішаної схеми, що дозволяє частково використати теплову енергію зворотного теплоносія після системи опалення шляхом її утилізації в 1-му ступені водопідігрівача.

2. Застосування ПІ-регулювання, що дозволяє оперативно підтримувати необхідне значення температури гарячої води (після 2-го ступеню водопідігрівача) та зменшити до мінімуму непродуктивні витрати мережної води в системі.

3. Застосування систем захисту циркуляційного насосу від режиму “сухого” ходу (датчик тиску, який встановлений на трубопроводі всмоктування циркуляційного тиску, подає команду на припинення живлення електродвигуну цього насосу при зменшенні тиску в трубопроводах всмоктування нижче значення 0,2 кгс/см^2).

4. Застосування фільтрів “тонкого” очищення, що захищає водопідігрівач, циркуляційний насос, а також робочі органи регуляторів від забруднення механічними частками.

5. Застосування установки захисту від корозії трубопроводів, що попереджує корозію внутрішніх поверхонь трубопроводів гарячої води та циркуляції.

6. Застосування сучасних ізолюючих матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності, що знижує непродуктивні втрати теплової енергії в системі та запобігає виникненню корозії зовнішніх поверхонь трубопроводів.

7. Застосування регулятора температури з пружиною повернення в положення “закрито” (захищає водопідігрівач від перегріву та закипання в ньому гарячої води у випадку зникнення електроживлення на приводі регулятора).

8. Застосування схеми включення та відключення циркуляційноного насосу в залежності від температури гарячої води в контурі циркуляції, що дозволяє економити витрату електроенергії при експлуатації циркуляційного насосу.

9. Застосування сучасного пластинчатого водопідігрівача, що підвищує економічність роботи системи ГВП завдяки високому коефіцієнту теплопередачі у процесі експлуатації.

10. Застосування частотно-регульованих приводів у насосних агрегатах підвищення тиску в системі ГВП забезпечує значну економію електричної енергії при експлуатації насосів та оперативне автоматичне підтримання необхідного значення тиску у системі ГВП.

Для розроблено теплової схеми теплопункту було виконано необхідні розрахунки та здійснено вибір обладнання, зокрема: розрахунок водонагрівальної установки ГВП (рис.2), вибір діаметрів трубопроводів у межах теплового пункту, вибір насосів, вибір регулятора перепаду тиску, розрахунок дросельної шайби, вибір фільтрів.

Необхідність роботи зі значним масивом даних під час експлуатації об’єктів ЖКГ не дозволяють вручну обробляти інформацію для існуючих будівель і потребують значних фінансових і людських ресурсів. Виходячи з даної проблематики постає потреба у автоматизації процесів. В якості стартап-проекту запропоновано впровадження єдиної системи інтелектуального управління багатоквартирними будинками, що дозволить виконувати наступні функції:

- перевірка коректності нарахувань, відстежуваня підсумків електронного голосування, можливість прийняття участі у вирішенні питань;
- моніторинг діяльності управляючої організації;
- контроль тарифів, доходів і витрат по дому;
- подання звернень, заявок на ремонтні роботи.

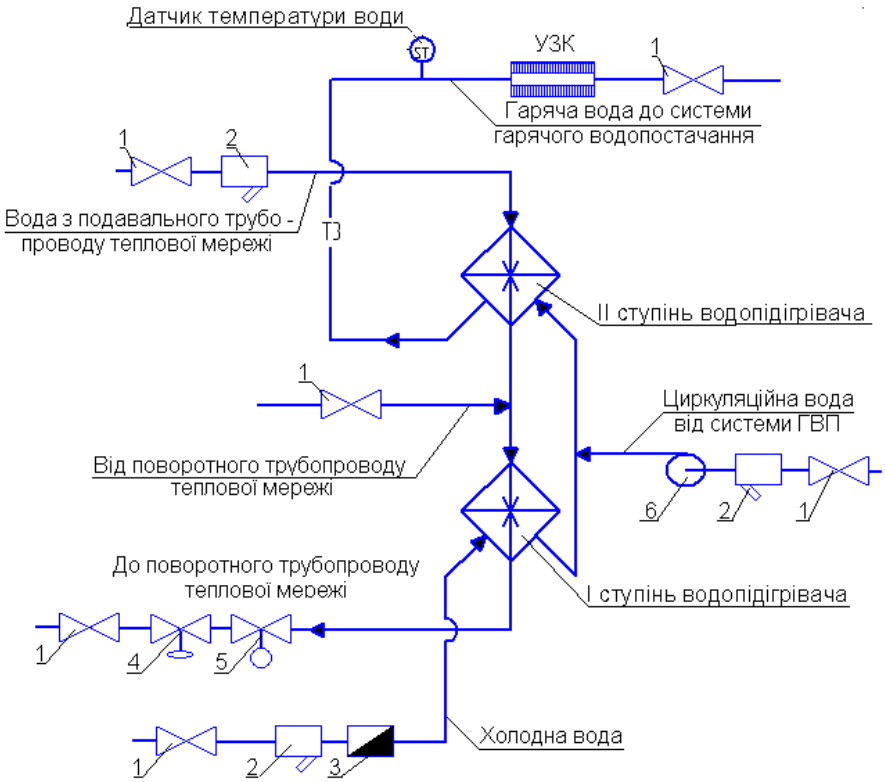


Рисунок 2 - Схема вузла гарячого водопостачання

Можливості з точки зору моніторингу енергоспоживання:

1. Налагодження автоматизованого обліку енергоресурсів;
2. Автоматизація процесу збору даних про споживання та оплату енергоресурсів.
3. Аналіз та моніторинг витрат енергоносіїв.
4. Формування бази даних енергетичних та експлуатаційних характеристик.
5. Прогнозування планових показників витрат енергоносіїв у різних часових інтервалах зі врахуванням розрахункових значень нормативних показників і прогнозних значень зовнішніх впливових факторів (клімат) за даними з різних джерел.
6. Розрахунок лімітів водо- та енергоспоживання будівель, створення звітної документації.
7. Розрахунок питомих показників енергоспоживання.
8. Отримання зведеної інформації по всіх видах показників, статистичний аналіз з метою виявлення закономірностей, залежностей, тенденцій оцінка потенціалу енергозбереження та оптимізація вибору заходів з енергозбереження.
9. Перевірка достовірності первинної інформації.

Наразі на ринку досить високий попит на подібну продукцію та сприятливі умови для входу на ринок, зважаючи на низьку конкуренцію. Прибутковість проекту має високу ймовірність через великі можливості фінансування з іноземних фондів, широку зацікавленість до напрямку розробки та динаміку зростання ринку енергозбереження та енергоефективних технологій.

Висновки.

Комплексна термомодернізація будівель із залученням фінансування інвестицій по програмам енергоефективності житла (наприклад, IQenergy від ЄБРР, державна програма "Теплі кредити", міська програма 70/30) повинна супроводжуватися проведенням якісного енергетичного обстеження будівель з визначенням енергетичних характеристик та розробкою економічно доцільних енергозберігаючих заходів. Для ефективного менеджменту мешканцям будинку запропоновано створити об'єднання співвласників багатоквартирного будинку (ОСББ) згідно законодавства України [4]. Така форма дозволяє забезпечити ефективний контроль над витратами, проводити заходи з енергоефективності, колегіально приймати рішення і втілювати їх у життя.

Список використаних джерел.

1. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 30 с.
2. Тарифи - Київтеплоенерго [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: kte.kmda.gov.ua
3. Розен В. П., Соловей О. І., Бржестовский С. В., Чернявский А. В. Енергетичний аудит об’єктів житлово-комунального господарства – К.: ПП ВКФ «ДЕЛЬТА ФОКС», 2007, - 224 с.
4. Закон України «Про об’єднання співвласників багатоквартирного будинку» від 29.11.2001 № 2866-III (Закон про ОСББ, Закон № 2866).

УДК 697.9

Кошкіна Т.М.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕФЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ШКІЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

INVESTIGATION OF OPTIONS FOR ORGANIZING ENERGY-EFFICIENT VENTILATION IN SCHOOL FACILITY

Анотація: Об'єктом дослідження є середня загальноосвітня школа №67 м. Києва. Метою проведення даного дослідження є поліпшення комфорту перебування дітей та працівників та підвищення рівня енергоефективності будівлі за рахунок встановлення системи вентиляції. За результатами розрахунків впровадження наведених заходів є технічно та економічно доцільним.

Ключові слова: вентиляція, теплоутилізація, енергозбереження.

Abstract: The object of research is secondary school № 67 of Kyiv. The purpose of this study is to improve the comfort of children and employees staying and increase the energy efficiency of the building by installing a ventilation system. According to the results of the calculations, the implementation of the above measures is technically and economically feasible.

Key words: ventilation, energy recovery, energy saving.

Вступ. Основними споживачами теплової енергії в світі, та зокрема в Україні, є громадські та житлові будівлі. При цьому значний вклад в затрати енергії будівлею вносять як тепловтрати через огороджуючі конструкції будівлі (65-70%), так організація необхідного повітрообміну в приміщеннях (30-35%). Після проведення утеплення непрозорих огороджувальних конструкцій та заміни вікон і дверей частка тепловтрат з вентиляцією може сягати 50%.

У більшості закладах освіти України система вентиляції (природна або примусова) не забезпечує рівень повітрообміну, який би відповідав національним стандартам. Зазвичай, в освітніх закладах вентиляція проводиться шляхом відкривання вікон, проте в таких приміщеннях, як актові зали, навчальні аудиторії, спортивні зали, тощо, цей спосіб вентиляції зазнає певних перешкод, особливо в холодний період року. Під час знаходження людей в приміщені вікна не відкриваються, а відповідно підвищується вологість, бракує кисню, температура в приміщенні стає некомфортною для перебування в ньому. Проте після завершення всіх заходів, зазвичай відбувається провітрювання і це призводить до значних втрат теплової енергії.

Саме тому дуже важливим є встановлення механічної контрольованої системи вентиляції.

Основною метою встановлення сучасної вентиляційної установки є:

- Забезпечення, відповідного до стандартів, якості повітря;
- Економія електроенергії, за рахунок встановлення вентиляційного обладнання з використанням енергозберігаючих двигунів;
- Зниження споживання енергії для нагрівання повітря завдяки рекуперації енергії витяжного повітря;
- Ефективна робота системи вентиляції за допомогою автоматичного управління.

Мета та завдання. Використання енергетичного моделювання будівель для оцінки техніко-економічних показників при встановленні системи вентиляції з теплоутилізацією.

Матеріал та результати досліджень

Об'єктом дослідження є загальноосвітня школа (ЗОШ) №67 м. Києва, яка знаходиться на вулиці Героїв Севастополя 9-а.

Рік побудови об'єкту – 1963.

Будівля закладу освіти виконана у Н-подібній формі з однією чотириповерховою та двома одноповерховими секціями А, Б та В відповідно (рис. 1 та 2).

Рисунок 1. – Зображення школи №67. Вид зверху

Детальні відомості про площу огороджувальних конструкцій ЗОШ №67 наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Загальна інформація щодо огороджувальних конструкцій

Огородж. конструкція	Огорожа	Площа ОК, м^2	K_o, Вт/(м^2 ·°С)
Зовнішні стіни	Цегляні ЗС1	2132,54	0,831
	Цегляні ЗС2	930,9	0,999
Вікна	Металопластикові	458,94	1,88
	Дерев'яні	423,26	2,63
	Склоблоки	208,58	5,52
Двері	Дерев'яні	5,4	4,16
	Залізні	1,8	3,34
	Металопластикові	15,84	1,66
Дах	Над опалювальним приміщенням	1166,3	2,956
	Горище	1049	0,71
Підлога	-	6 411	-

Температурний режим під час опалювального сезону знаходиться в межах 13-22°С, в залежності від типу приміщення та наявності додаткових опалювальних

приладів. Станом на 2018 рік в школі навчається 540 учнів та працює 69 робітників. Загальноосвітній заклад №67 працює з 8:00 до 18:00.

Опалення та гаряче водопостачання(ГВП) реалізуються централізовано. Встановлено 225 чавунних радіаторів. Термостатичні крани відсутні. Система теплопостачання розбалансована. Труба, по якій відбувається розведення теплоносія по стояках потребує заміни. Індивідуальний тепловий пункт (ІТП) розташований за 44 метри від будівлі школи. Труби утеплені. ІТП знаходиться в справному робочому стані, всі, передбачені проектом, системи функціонують. Також ІТП обладнаний системою автоматичного регулювання подачі теплоносія.

Енергетичне моделювання громадської будівлі було виконано в програмі DesignBuilder на базі розрахункового модуля EnergyPlus. Побудована 3-D геометрія енергетичної моделі будівлі наведено на рис. 2.

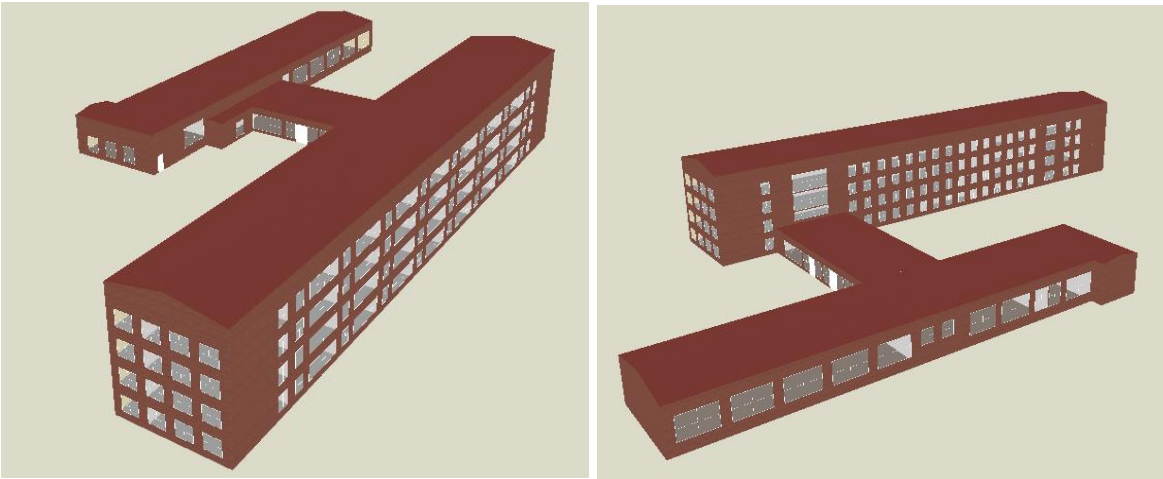


Рисунок 2 - Вигляд енергетичної моделі школи

Для верифікації енергетичної моделі проводилося порівняння фактичних даних зі споживання енергоносіїв за останні три року. Дані моделювання щодо річного споживання електричної та теплової енергії на опалення до встановлення системи вентиляції з теплоутилізацією наведено на рис. 3.

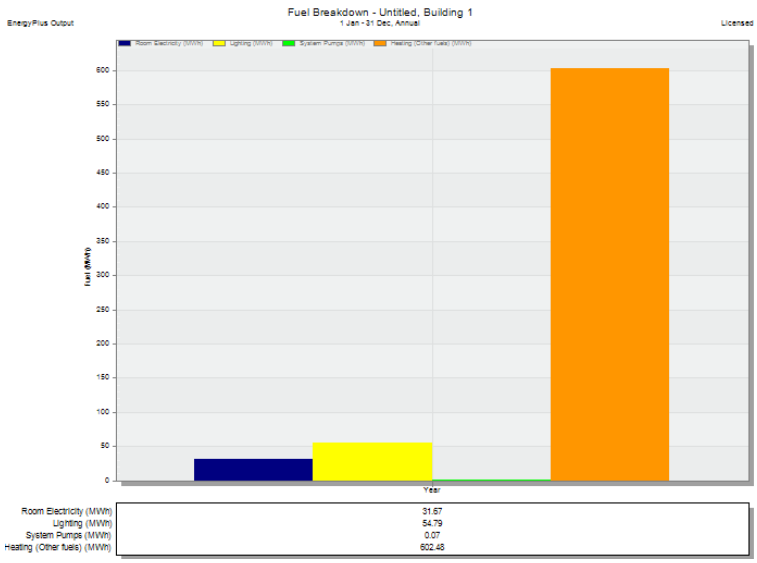


Рисунок 3 – Енергоспоживання до впровадження системи вентиляції

В програмі DesignBuilder застосовувалася водяна система опалення та припливно-витяжна система вентиляції з теплоутилізацією (рис. 4).

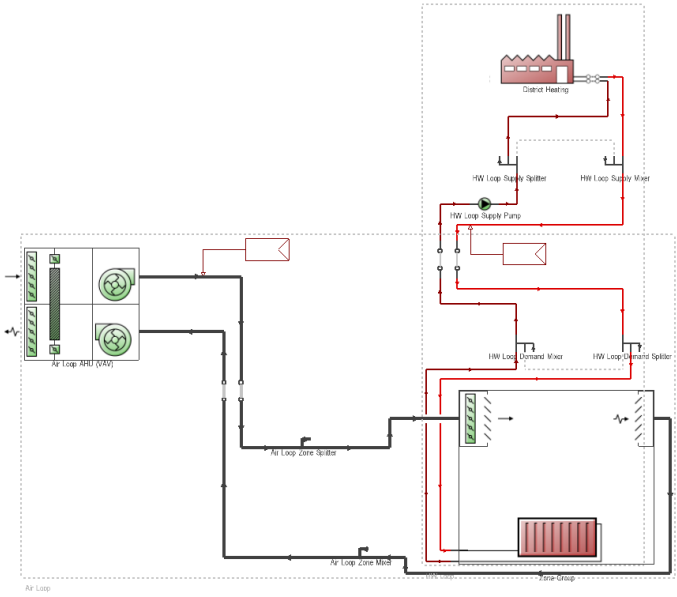


Рисунок 4 - Схема системи теплопостачання та запропонована система вентиляції з теплоутилізацією

Всього існує два підходи до систем. вентиляції: централізована та децентралізована (локальна) система вентиляції. Ці системи мають певні переваги та недоліки табл. 1.

Таблиця 1

Централізована система вентиляції	
Переваги	Недоліки
При правильному проектуванні переток повітря унеможливується	Висока вартість системи
Індивідуальне управління	Висока вартість встановлення
Можливе охолодження вхідного повітря	Висока вартість експлуатації
Забезпечує вищий рівень енергозбереження	Під час модернізації будівель використовується частково
Зменшується рівень шуму	
Децентралізована система вентиляції	
Переваги	Недоліки
Вартість нижча ніж вартість централізо-ваної системи	Ризик перетоків повітря
Використовується для модернізаціїї існуючих будівель	Охолодження можливе лише частково
Можлива рекуперація тепла	Якщо встановлюється на всю будівлю – то вартість встановлення висока
Можливе індивідуальне управління витратою повітря	В порівнянні з децентралізованою системою має вищий рівень шуму
Незначна зміна структури будівлі	Коефіцієнт утилізації може бути меншим
Можливість вентиляції окремих приміщень	

Пропонується встановлювати безканальні системи вентиляції Prana 200G для класних кімнат (по 4 установки виходячи з необхідної витрати повітря) та Вентс ВУТ 600 ЭГ ЕС для приміщень актової та спортивної зали. Результати моделювання економії теплової енергії та додаткових витрат елекричної енергії наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Техніко-економічні показники системи вентиляції з теплоутилізацією

Назва установки	К-ть	Ціна за од., грн	Електр. потужн. вентиляторів, Вт	Капітало-вкладення, грн.	Економія теплової енергії, кВт·год	Додаткова затрата електричної енергії, кВт·год	Економія, грн.	ТО, років
Prana 200G	128	6400	32	1228800	158289	7209	209623	5,9
Вентс ВУТ 600 ЭГ ЕС	2	62157	350	149177	10992	1232	12897	11,6
Всього	-	-	-	1377977	169281	8441	222520	6,2

Як видно з наведених розрахунків загальна економія теплової енергії при впровадженні енергозберігаючої системи вентиляції становить близько 28%, а додаткові затрати на привід вентиляторів – 10% від загального споживання електричної енергії.

Висновки.

Вентиляція є важливою складовою будівлі, яка створює умови повітряного середовища, сприятливі для здоров'я і самопочуття людей, збереження устаткування і будівельних, зберігання матеріалів, продуктів, книг, тощо.

По результатам розрахунків видно, що вартість вентиляційної системи дуже висока, проте загальна економія теплової енергії за рахунок її встановлення складає близько 28%.

Список використаної літератури.

1. Иванов О.П. Анализ сроков окупаемости пластинчатого и роторного теплоутилизаторов / О.П. Иванов, С.А. Тихомиров // Холодильная техника и кондиционирование. – 2007. - №1. - с. 6. - Режим доступу: http://refrigeration.ihbt.ifmo.ru/file/article/7689.pdf
2. Ватин Н.И. Технико-экономическое обоснование применения систем вентиляции с роторной рекуперацией тепла / Ватин Н.И., Смотракова М.В. – С.-П.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2003. - 75 с.
3. Дешко В.І. Техніко-економічні показники роботи системи вентиляції з мембранним рекуперативним теплообмінником в кліматичних умовах м. Києва / В.І. Дешко, І.О. Суходуб, С.О. Нагорна // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. - 2012. - №16 — с. 20 - 26.
4. О. Д., Обоснование применения утилизации теплоты вытяжного воздуха с учетом ее влияния на систему теплоснабжения / О.Д.Самарин, Ю.В. Ильинский // Вестник МГСУ. – 2011. - №7 - с. 118-123.

УДК 620.91

Крівуца А.С.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ШКОЛИ І СТУПЕНЯ № 324

USE OF A HEAT PUMP TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF A SPECIALIZED SCHOOL OF THE I DEGREE № 324

Анотація. В даній статті розглядається один із методів підвищення рівня енергоефективності навчального закладу, а саме використання теплового насосу. Даний метод дозволяє відмовитись від системи централізованого опалення та забезпечувати тепловою енергією об'єкт за допомогою альтернативних джерел енергії.

Ключові слова: енергоефективність, тепловий насос, теплопостачання, енергозбереження, тепловтрати, теплонадходження.

Annotation. In this article one of the methods of raising the level of energy efficiency of an educational institution is considered, namely the use of a heat pump. This method allows to completely abandon the centralized heating system and provide the heat energy of the facility with the help of alternative energy sources.

Key words: energy efficiency, heat pump, heat supply, energy saving, heat loss, heat transfer.

Вступ. У зв'язку з високими тарифами на теплову енергію, все більш актуальною стає тема енергозбереження. Особливо це стосується великих організацій та бюджетних установ, де споживання даних енергоресурсів є суттєвим. У XXI сторіччі стрімко розвивається використання поновлюваних джерел енергії, а саме енергія вітру, води, геотермальна енергія та енергія Сонця. Так, наприклад, у м. Києві було відкрито першу в Україні енергоефективну та «розумну» школу. Обігрів об'єкту відбувається за рахунок встановлених геотермальних теплових насосів, які, використовуючи енергію Землі, здатні повністю забезпечити школу теплотою та зробити її автономною, тобто незалежною від централізованих систем опалення.

Мета та завдання дослідження. Метою та завданням даної статті є аналіз ефективності використання теплового насосу на прикладі спеціалізованої школи І ступеня № 324, м. Києва.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження є спеціалізована школа № 324, яка має складну форму забудови та збудована у 1955 році. Будівля опалюється від центральної теплової мережі через індивідуальний тепловий пункт, що розташований в підвальному приміщенні школи, що не опалюється. В індивідуальному тепловому пункті встановлено вузол обліку теплової енергії.

За даними, які були надані Солом'янською адміністрацією, споживання теплової енергії за 2017 рік склало 640,32 Гкал.

Результати розрахунків тепловтрат та теплонадходжень будівлі наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. – Тепловтрати та теплонадходження школи

Назва	Позначення	Значення в кВт	Значення в Гкал/год
Стіни школи	-	33,71	0,028
Вікна школи	-	41,1	0,035
Двері школи	-	2,7	0,002
Стеля школи	-	11,8	0,01
Підлога школи	-	20	0,017
Загальні втрати крізь огороджувальні конструкції	$Q_{огор}$	109,31	0,093
Втрати на інфільтрацію повітря	$Q_{інф}$	70,71	0,06
Втрати теплоти у трубопроводах системи опалення	Q_2	8,95	0,0077
Втрати обумовлені орієнтацією будинку	$Q_{ст}$	6,8	0,0058
Надходження теплоти від людей	Q_3	18,78	0,016
Надходження теплоти від електрообігрівачів	Q_4	2,2	0,018
Надходження теплоти від освітлювальних приладів	Qосв	2,69	0,0023
Надходження теплоти від Сонячної радіації	Qсон	10,83	0,0093

Сумарне теплове навантаження школи визначаємо за формулою:

$$Q_{сум} = (Q_{огор} + Q_{інф}) \cdot b_1 \cdot b_2 + Q_2 + Q^{дод}{}_{ст} - Q_3 - Q_4 - Q^{осв}{}_{\Sigma} - Q_{сон},$$

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.

Отже маємо:

$$Q_{СУМ} = (0,093 + 0,06) \cdot 1,13 \cdot 1,01 + 0,0077 + 0,0058 - 0,016 - 0,0018 - 0,0023 - 0,0093 = 0,15 \frac{Гкал}{год} =$$
$$= 174,45 кВт$$

Витрату теплоти на опалення за опалювальний період визначаємо з рівняння :

$$Q_O^{РІК} = Q_O^{max} \cdot \frac{t_B - t_{СР.О.}}{t_B - t_{Р.О.}} \cdot n_O 24 = 0,15 \cdot \frac{21-(-0,1)}{21-(-22)} \cdot 176 \cdot 24 = 310,9 \frac{Гкал}{рік} = 361511,6 \frac{кВт \cdot год}{рік}.$$

Існує три основні типи теплових насосів: повітря-вода, вода-вода, ґрунт-вода. Для вибору найбільш оптимального теплового насосу проведемо порівняння між повітря – вода та ґрунт-вода та представимо у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика теплових насосів

Тепловий насос ґрунт-вода	Тепловий насос повітря-вода
Застосування	
Можуть застосовуватись у будь-якому регіоні України, навіть у найбільш холодному. Температура ґрунту є постійною, не змінюється протягом року.	Найбільш застосовується для установки в регіонах, де середня температура за опалювальний період відносно висока.
Джерело теплоти	
Теплота, накопичена в при поверхневому шарі землі. Незмінна температура протягом року.	Температура повітря, змінна протягом року.
Необхідні умови для установки	
Необхідна наявність вільної ділянки, без забудови, для прокладання горизонтального колектора або місця для декількох ґрунтових зондів , геодезія ділянки.	Проста установка зовнішнього блоку на стіні або біля стіни. Внутрішній блок - в підсобному приміщенні, в котельні або в кухні.
Коефіцієнт перетворення енергії (COP) , ефективність роботи	
Стабільний високий COP - до 5,0. Незмінна протягом всього року ефективність.	Змінюється від максимально високого до низького, COP залежить від зовнішніх температур, досягає 5,0.
Експлуатаційні витрати	
Витрати на експлуатацію та обслуговування мінімальні. Досить великий термін використання та надійності.	Низькі експлуатаційні ціни та тривалий термін служби. Прості в обслуговуванні.

Так як школа має достатньо складну форму будови та велику ділянку біля будівлі, розрахуємо два теплових насоси « ґрунт – вода» фірми VDE TH-70 потужністю 70,8 кВт (76 % від розрахункової потужності системи теплопостачання Qсум=174,45 кВт).

Характеристика теплового насосу VDE TH-70 наведена у таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристика теплового насосу VDE TH-70

Тепловий насос VDE TH-70	
Висота/довжина/ширина	1550/2550/1200 мм
COP – коефіцієнт перетворення енергії	4,37
Споживана потужність компресора	16,2 кВт
Кількість компресорів	3
Теплопродуктивність	70,8 кВт

Кількість використаної електроенергії на привод ТН знаходиться за формулою:

$$W = N \cdot n \cdot n_0 \cdot 24 = 16,2 \cdot 2 \cdot 176 \cdot 24 = 136857,6 \ \frac{кВт \cdot год}{рік},$$

де N=16,2 кВт– потужність компресора, кВт;

n=2 – кількість теплових насосів, шт.;

n_0=176 – кількість опалювальних діб.

При дуже низьких температурах повітря рекомендується підключення додаткового джерела теплоти (котел, електронагрівач тощо). Як приклад використаємо додаткове джерело теплоти у вигляді електричного котла фірми Dakon DALINE PTE 36 потужністю 36 кВт.

Додаткове джерело теплоти за опалювальний період покриває від 5 до 10% необхідної теплоти на опалення, приймаємо 7%.

$$Q_{Д.Д.} = 0,07 \cdot Q = 0,07 \cdot 361511,6 = 25305,8 \ \frac{кВт \cdot год}{рік}.$$

Економія за рахунок використання ТН та додаткового джерела теплоти після утеплення будівлі**:**

$$E = Q - W - Q_{Д.Д.} = 361511,6 - 136857,6 - 25305,8 = 199348,2 \ \frac{кВт \cdot год}{рік},$$

де Q– теплове навантаження школи за опалювальний період, (кВт·год)/рік.

Для знаходження коефіцієнта річної ефективності β , який є відношенням кількості теплоти, яку віддає ТН протягом року, до кількості електроенергії використаної на привод ТН за цей же період. використовується формула:

$$\beta = \frac{Q - Q_{Д.Д.}}{W} = \frac{361511,6 - 25305,8}{136857,6} = 2,45 .$$

Дійсна економія без врахування витрат на отримання теплоти з додаткового джерела теплоти у звязку з недотопом школи:

$$E = Q_л - W - Q_{Д.Д.} = 744558,139 - 136857,6 - 25305,8 = 582394,7 \ \frac{кВт \cdot год}{рік} = 500,8 \frac{Гкал}{рік},$$

де $Q_Л$ = 744558,139 (кВт·год)/рік – теплове навантаження школи за лічильником.

Дійсна економія в грошовому еквіваленті:

$$C_{ТН} = E \cdot Ц = 500,8 \cdot 1866,5 = 934743 \frac{грн}{рік},$$

де Ц=1866,5 грн./Гкал – дійсний тариф на теплопостачання для бюджетних організацій.

Для встановлення теплового насосу типу «грунт-вода» проведемо розрахунок горизонтального колектора. Потужність контурів ґрунтового теплообмінника теплового насоса обчислюється щодо потужності і COP обраного теплового насоса за формулою:

$$P_e = P_н \cdot n \cdot (1 - \frac{1}{COP}) = 70,8 \cdot 2 \cdot (1 - \frac{1}{4,37}) = 109,3 кВт,$$

де: $P_н$ – потужність теплового насосу, кВт;

n – кількість теплових насосів.

Необхідна довжина горизонтального теплообмінника двох теплових насосів, дорівнює відношенню необхідної потужності до потужності одного метра труби:

$$L = \frac{P_e}{q}, м,$$

де q = 20 Вт / м (середнє значення теплозйому для горизонтальних колекторів).

$$L = \frac{109,3}{0,02} = 5465 м.$$

Для нашого теплового насоса буде оптимально 28 ґрунтових контури по 200 м кожен. Визначимо площу, яку займатиме такий колектор:

$$S = L \cdot k = 5465 \cdot 0,7 = 3825 \ м^2,$$

де k – крок прокладки ґрунтових контурів.

Згідно проведених розрахунків та отриманої площі можемо зробити висновок, що встановлення теплового насосу з горизонтальним колектором потребує великої ділянки біля об'єкту. Поруч зі школою є вільне місце площею 4800 м^2 , тобто на даному об'єкті можливе використання теплового насосу з горизонтальним колектором.

Капіталовкладення на встановлення теплового насосу з горизонтальним колектором складатимуть:

$$К_{заг} = К_{ТН} + К_{мон} + К_{Д.Д} = 583463 \cdot 2 + 832060 + 33284 = 2032270 грн,$$

де: $К_{ТН}$ – вартість двох теплових насосів типу VDE TH-70;

$К_{мон}$ – вартість монтажних робіт, грн;

$К_{Д.Д.}$ – вартість робіт з встановлення додаткового джерела теплоти, грн.

Термін окупності з урахуванням утеплення школи складатиме:

$$К = К_{заг} + К_{стіни} + К_{стелі} + К_{вікон} = 2032270 + 2563321 + 1992529 + 457750 = 7045870 грн.$$

$$С = С_{ТН} = 934743 \frac{грн}{рік},$$

де: $К_{заг}$ – капіталовкладення на встановлення ТН;

$К_{стіни}$ – капіталовкладення на утеплення стіни;

$К_{стелі}$ – капіталовкладення на утеплення стелі;

$К_{вікон}$ – капіталовкладення на заміну вікон;

$С_{ТН}$ – дійсна економія в грошовому еквіваленті після встановлення ТН.

Загальний термін окупності складатиме:

$$Т = \frac{К}{С} = \frac{7045870}{934743} = 7,5 років.$$

Існує можливість встановлення вертикальних ґрунтових теплообмінників, які називаються - «Зонд». Розрахунок проводиться аналогічно горизонтальному колектору, при цьому при визначенні необхідної довжини вертикальних ґрунтових теплообмінників колектора використовується значення q в залежності від вологості породи і наявності ґрунтових вод. В середньому обирається q = 50 Вт/м.

$$L = \frac{109,3}{0,05} = 2186\,м.$$

Тобто необхідно пробурити 22 скважини глибиною в 100 м.

$$S = L \cdot k = 2186 \cdot 0,6 = 1311,6\ м^2.$$

Капіталовкладення на встановлення теплового насосу з вертикальним колектором складатимуть:

$$К_{заг} = К_{ТН} + К_{бур} + К_{мон} + К_{Д.Д} = 583463 \cdot 2 + 1573920 + 30000 + 33284 = 2804130\,грн,$$

де $К_{ТН}$ – вартість двох теплових насосів типу VDE TH-70;

$К_{бур}$ – вартість проведення робіт зі свердловинами (1200 грн/ 1 м^2);

$К_{мон}$ – вартість монтажних робіт, грн;

$К_{Д.Д.}$ – вартість робіт з встановлення додаткового джерела теплоти, грн.

Термін окупності з урахуванням утеплення школи складатиме:

$$К = К_{заг} + К_{стіни} + К_{стелі} + К_{вікон} = 2804130 + 2563321 + 1992529 + 457750 = 7817730\,грн.$$

$$C = C_{ТН} = 934743\,\frac{грн}{рік}.$$

Загальний термін окупності складатиме:

$$T = \frac{К}{C} = \frac{7817730}{934743} = 8,5\,років.$$

Для порівняння оберемо п’ять теплових насосів типу «повітря-вода» фірми EVIPOWER CH-HP31UMNM потужністю на опалення 31,1 кВт та розрахуємо його. Характеристики наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Характеристика теплового насосу EVIPOWER CH-HP31UMNM

Тепловий насос EVIPOWER CH-HP31UMNM	
Висота/довжина/ширина	1556x605x1850 мм
COP – коефіцієнт перетворення енергії	4,2
Споживана потужність компресора	7,4 кВт
Охолодження	18 кВт
Теплопродуктивність	31,1 кВт
Температурний діапазон роботи	Від -30 °C до +45 °C

Кількість використаної електроенергії на привод ТН знаходиться за формулою:

$$W = N \cdot n \cdot n_0 \cdot 24 = 7,4 \cdot 5 \cdot 176 \cdot 24 = 156288\,\frac{кВт \cdot год}{рік}.$$

Економія за рахунок використання ТН та додаткового джерела теплоти**:**

$$E = Q - W - Q_{Д.Д.} = 361511,6 - 156288 - 25305,8 = 179917,8\,\frac{кВт \cdot год}{рік}.$$

Для знаходження коефіцієнта річної ефективності β використовується формула:

$$\beta = \frac{Q - Q_{Д.Д.}}{W} = \frac{361511,6 - 25305,8}{156288} = 2,15.$$

Дійсна економія без врахування витрат на додаткове джерело теплоти:

$$E = Q_л - W - Q_{Д.Д.} = 744558,139 - 156288 - 25305,8 = 562964,2\frac{кВт \cdot год}{рік} = 484\frac{Гкал}{рік}.$$

Дійсна економія в грошовому еквіваленті:

$$C = E \cdot Ц = 484 \cdot 1866,5 = 903386\frac{грн}{рік}.$$

Капіталовкладення на встановлення ТН даного типу складатимуть:

$$K_{заг} = K_{ТН} + K_{вн.блок} + K_{монт.р} + K_{Д.Д} = 233920 \cdot 5 + 2400 \cdot 5 + 75000 + 33284 = 1289884\,грн,$$

де $K_{ТН}$ – вартість трьох теплових насосів типу EVIPOWER CH-HP31UMNM;
$K_{вн.блок}$ - вартість робіт з встановлення базового дісплея;
$K_{Д.Д}$ – вартість робіт з встановлення додаткового джерела теплоти, грн;
$K_{монт.р.}$– вартість монтажних робіт, грн;
$K_{Д.Д.}$ – вартість робіт з встановлення додаткового джерела теплоти, грн.
Термін окупності з урахуванням утеплення школи складатиме:

$$K = K_{заг} + K_{стіни} + K_{стелі} + K_{вікон} = 1289884 + 2563321 + 1992529 + 457750 = 6303484\,грн.$$

$$C = C_{ТН} = 903386\frac{грн}{рік}.$$

Загальний термін окупності складатиме:

$$T = \frac{K}{C} = \frac{6303484}{903386} = 7\ років.$$

Висновок.

Для підвищення рівня енергоефективності школи № 324 рекомендується встановити тепловий насос типу «повітря-вода» фірми EVIPOWER CH- HP31UMNM , що дозволить зменшити грошові витрати на опалення будівлі. Зовнішній блок теплонасосної установки не займає багато місця та може бути розміщений у дворі школи. Монтаж повітряних теплових насосів не вимагає спеціальних дозволів або земляних робіт, не потребує місце для ґрунтового колектора.

Список використаних джерел.

1. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 30 с.;
2. Тарифи - Київтеплоенерго [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: kte.kmda.gov.ua
3. Теплові насоси [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: romstal.ua;
4. Instal Trade [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: instaltrade.com.ua.

УДК 697.1:34

Лисенко Г.А.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ З ВИЗНАЧЕННЯМ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF A MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING WITH THE DEFINITION OF THE ECONOMIC EFFECT OF THERMO-MODERNIZATION

Анотація. В даній статті розглядається підвищення загального рівня енергоефективності житлового будинку. Розглянутий підхід дозволяє досягти умов мікроклімату відповідно до діючої нормативної бази у сфері енергозбереження.

Ключові слова: енергоефективність, енергомоніторинг, теплопостачання, умови мікроклімату, енергозбереження.

Annotation. This article discusses the increase of the general level of energy efficiency of a residential building. The considered approach allows to achieve microclimate conditions in accordance with the current normative base in the field of energy saving.

Key words: energy efficiency, energy monitoring, heat supply, drainage, energy saving.

Вступ. ЖКГ – одна із найбільш енергоємних галузей, де з кожним роком витрачається все більше коштів у зв’язку зі зростанням тарифів. Проте для існуючих серійних будівель існує великий потенціал енергозбереження, тому впровадження енергоефективних заходів з доведенням огороджувальних конструкцій до сучасниз норм дозволить значно знизити енергоспоживання.

Мета та завдання дослідження. Завданням та метою дослідження розробка заходів по термомодернізації для підвищення рівня енергоефективності багатоквартирного житлового будинку, побудованого у 1966 році, що розташований за адресою бул. Івана Лепсе,37.

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.

Аналіз втрат теплоти житловим будинком (рис. 1) показує, що теплові втрати в основному обумовлені недостатньою ізоляцією огороджувальних конструкцій. Цей показник можна знизити, запропонувавши впровадження енергоефективних заходів, без яких використання енергозберігаючих технологій не дасть бажаного результату.

Запропоновано утеплення зовнішніх стін та даху, а також заміна вікон. Розрахована економія від термосанації склала 463878 грн/рік в порівнянні з існуючою ситуацією.

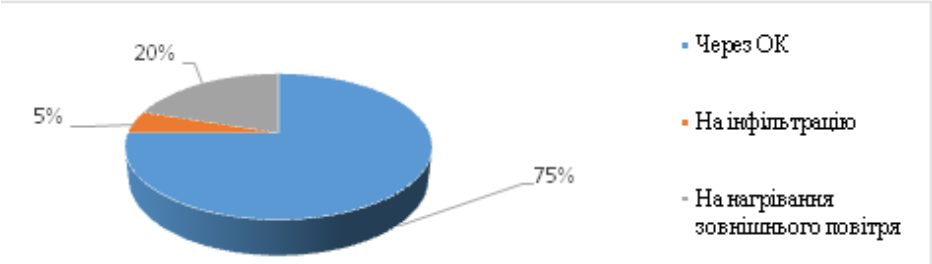


Рисунок 1 – Баланс тепловтрат

Розглянемо більш детально ефект від виконання термомодернізації огороджень.

Утеплення зовнішніх стін. Приведений опір теплопередачі стін, що розрахований за методикою, наведеною в [1] значно нижче розрахункового нормативного опору теплопередачі [2]. Площа зовнішніх стін, що підлягає утепленню, складає 1487 м^2. В якості утеплювача пропонується використовувати мінераловатні плити товщиною 100 мм. Технологія виконання – скріплена ізоляція (рис.2)

Рисунок 2 – Технологія утеплення стін

Утеплення даху. Приведений опір теплопередачі даху, що розрахований за методикою, наведеною в [1] значно нижче розрахункового нормативного опору теплопередачі [2]. Пропонується використовувати в якості утеплювача мінераловатні плити з зовнішнім шаром руберойду.

Заміна вікон. Дерев'яна конструкція деяких віконних рам не піддаються ремонту і знаходиться в аварійному стані, що призводить до збільшення інфільтраційних втрат. Для зменшення тепловтрат пропонується замінити існуючі вікна будівлі на металопластикові з подвійним склопакетом та опором теплопередачі не менше 0,7 (м^2·К)/Вт. Загальна площа дерев'яних вікон у житловому будинку – 213,15 м^2.

Також виконано необхідні розрахунки та визначено термін окупності інших енергозберігаючих заходів, що призводять до економії теплової (табл.1) та електричної (табл.2) енергії для даної будівлі.

Таблиця 1 – Енергозберігаючі заходи (теплова енергія)

МЕЗ	Економія, грн/рік	Інвестиції, грн	Термін окупності, роки
Утеплення стін	427 507	1 200 000	2,6
Заміна вікон	45 390	244 000	5,4
Утеплення даху	31 840	187 200	4,03
Хімічна очистка системи опалення	83 043	660 000	7,9
∑	587 780	2 291 200	3,89

Примітка: в розрахунках приймалися до уваги тарифи, наведені у [3].

Таблиця 2 – Енергозберігаючі заходи (електрична енергія)

№	Захід з енергозбереження	Економія електроенергії, W, $кВт \cdot год$	Економія, грн/рік	Термін окупності, роки
1	Заміна ламп ЛР на люмінесцентні	30905,28	29188,3	1,34
2	Датчики присутності на допоміжних площах	4325,1	12012,2	1,56
3	Заміна холодильників	478	803,1	11,42
4	Заміна кондиціонерів	1344	2257,9	21,3
5	Заміна електроплит	2366	3974,9	4,21
Загальна економія		48236,4		

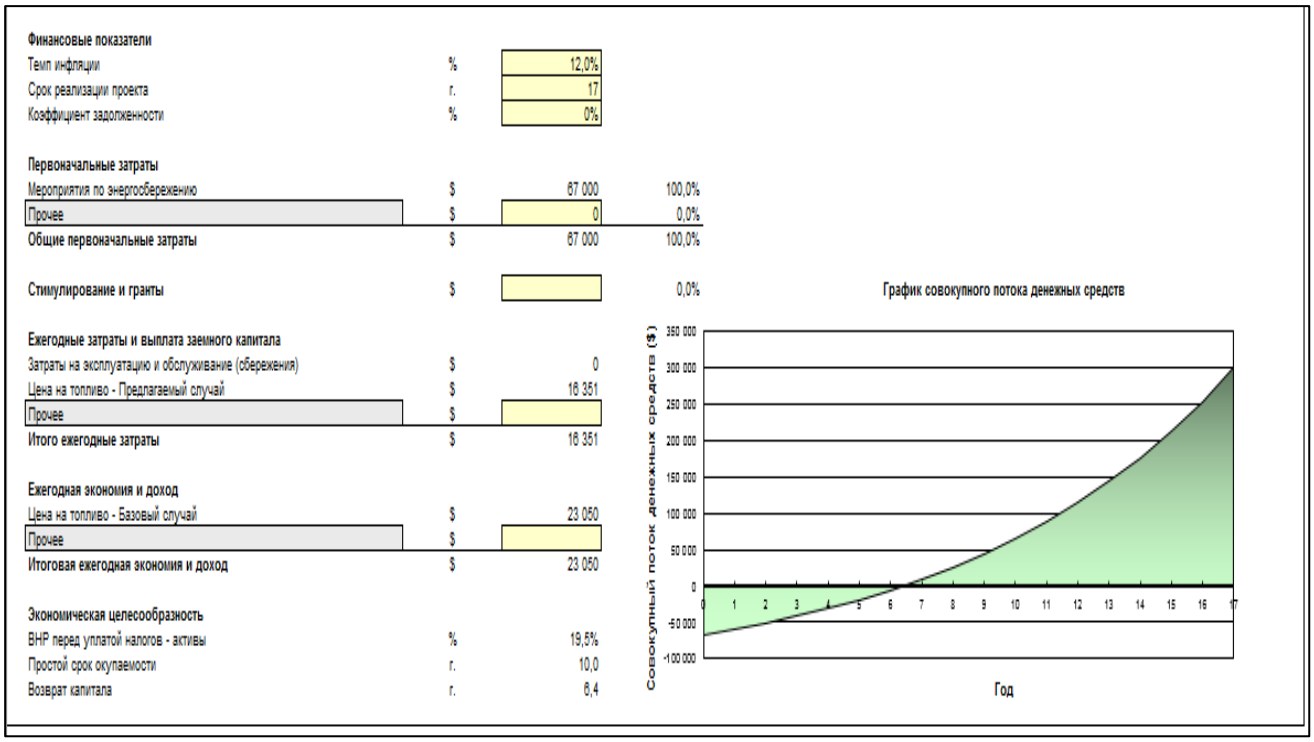
Порівняльна характеристика споживання електроенергії будівлі до та після заходів наведено на рис.3.

Рисунок 3 – Порівняльний аналіз споживання електричної енергії будівлею

Під час виконання роботи було використано RETScreen Clean Energy Management (зазвичай скорочується до RETScreen) — програмний пакет з відновлюваної енергії та енергоефективності, розроблений урядом Канади. Дане програмне забезпечення дозволяє комплексно ідентифікувати, оцінювати й оптимізувати технічну й фінансову життєздатність потенційних проектів з відновлюваної енергії та енергоефективності, а також вимірювати й перевіряти фактичну ефективність об'єктів і визначати можливості зі збереження та виробництва енергії.

В даній програмі було прораховано економічний ефект від проведеної термомодернізації, з урахуванням порівняння характеристик об’єкта у базовому та запропонованому випадках. Враховували зміни у оболонці будівлі, освітленні, у наявності певних електроприладів.

В результаті введення всіх даних отримали простий термін окупності 10 років, що показує доцільність проведення запропонованої термомодрнізації (Рис.4).



Финансовые показатели			
Темп инфляции	%	12,0%	
Срок реализации проекта	г.	17	
Коэффициент задолженности	%	0%	
Первоначальные затраты			
Мероприятия по энергосбережению	$	67 000	100,0%
Прочее	$	0	0,0%
Общие первоначальные затраты	$	67 000	100,0%
Стимулирование и гранты	$		0,0%
Ежегодные затраты и выплата заемного капитала			
Затраты на эксплуатацию и обслуживание (сбережения)	$	0	
Цена на топливо - Предлагаемый случай	$	16 351	
Прочее	$		
Итого ежегодные затраты	$	16 351	
Ежегодная экономия и доход			
Цена на топливо - Базовый случай	$	23 050	
Прочее	$		
Итоговая ежегодная экономия и доход	$	23 050	
Экономическая целесообразность			
ВНР перед уплатой налогов - активы	%	19,5%	
Простой срок окупаемости	г.	10,0	
Возврат капитала	г.	6,4	

Рисунок 4 – Робоче вікно «Фінансовий план» програмного продукту RETScreen для моделювання енергоспоживання будівель до та після термомодернізації

Контроль за використанням енергетичних ресурсів у багатоквартирних будинках завжди є актуальним питанням [4], адже плата за місця загального користування стягується від споживачів. На практиці, в платіжних квитанціях за енергетичні ресурси вказується загальноквартирна величина використання та величина за місця загального користування, яка не є відомою для споживача. Система нарахування не завжди відповідає дійсності та не є до кінця прозорою і зрозумілою. В роботі проаналізовано відмінності між діючою [5] методикою розподілу і тією, що пропонується Міністерством ЖКГ [6].

В якості стартап- проекту рекомендується створення програмного забезпечення для коректного нарахування оплати за спожиту енергію заради уникнення переплати, або навпаки, недоплати з урахуванням Методики розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг. Ця методика встановлює порядок визначення обсягів спожитої у будівлі теплової енергії на опалення житлових та нежитлових приміщень, які є самостійними об'єктами нерухомого майна, опалення місць загального користування, гаряче водопостачання, забезпечення функціонування внутрішньобудинкових систем опалення та гарячого водопостачання (за наявності циркуляції); обсягів холодної, гарячої води, витраченої на загальнобудинкові потреби; обсягів холодної та гарячої води, спожитої споживачами, приміщення яких не оснащені вузлами розподільного обліку; порядок розподілу обсягів спожитих комунальних послуг з постачання теплової енергії, постачання гарячої води, централізованого водопостачання, визначає вимоги до приладів-розподілювачів теплової енергії, поправкові коефіцієнти для розподілу обсягу. Запропоноване програмне забезпечення буде враховувати показання вузлів розподільного обліку, жилої площі, наявність додаткових опалювальних приладів тощо, а також допоможе мешканцям будуинку побачити актуальне споживання енергії та розподіл сплати.

Висновки.

Багатоквартирні будівлі мають значний потенціал енергозбереження і потребують впровадження проектів термомодернізації. Впровадження комплексу заходів для об'єкту дослідження дозволить покращити умови мікроклімату в будівлі, отримати суттєве зниження енергоспоживання.

Список використаних джерел.

1. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель
2. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель
3. Тарифи - Київтеплоенерго [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: kte.kmda.gov.ua
4. Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання»
5. Постанова КМУ №630 від 21 липня 2005 р. «Про затвердження Правил надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення та типового договору про надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення»
6. Методика розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг (проект).

УДК 697.9

Лутченко О.В.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ ЗА РАХУНОК МОДЕРНІЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

IMPROVEMENT OF BUILDING ENERGY EFFICIENCY LEVEL AT THE EXPENSE MODERNIZATION ENERGY SYSTEMS.

Анотація: В роботі розглянуто можливість та доцільність модернізації теплового пункту ДНЗ «Джерельце» для підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі.

Abstract: The article considers opportunity and expediency to upgrading of individual heat substation in the kindergarten «Dzhereltse» for improvement of building energy efficiency level.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, індивідуальний тепловий пункт, система опалення

Keywords: energy efficiency, energy saving, individual heat substation, heating system

Вступ. На сьогодні є дуже актуальним питання зменшення споживання теплової енергії, оскільки щороку ще більш гостро постає питання забезпеченості паливно-енергетичними ресурсами, погіршення стану навколишнього середовища та відповідно постійного зростання вартості теплової енергії. Також не менш важливим питанням є підтримання комфортних параметрів мікроклімату в приміщеннях будівлі.

В багатьох будинках, що були збудовані за радянських часів, абонентські вводи в будівлю облаштовані елеваторним вузлом, основна задача якого, полягає в забезпеченні відповідного коефіцієнта змішування, щоб не допустити перевищення температури у подавальному трубопроводі системи опалення будівлі вище 95°С. Ця конструкція доволі проста в експлуатації, також елеваторний вузол зменшував початкові капіталовкладення, але він не дозволяє керувати системою опалення будівлі, не дозволяє ефективно використовувати теплову енергію, також таке під'єднання залежить від параметрів теплових мереж. Ще однією причиною для реконструкцій індивідуального теплового пункту (ІТП) є невідповідність елеваторного вузла відповідним Державним будівним нормам [1,2].

Все вище сказане виступає підґрунтям для модернізації ІТП з точки зору ефективного регулювання теплопостачанням.

Мета та завдання. Метою роботи є оцінка можливості модернізації теплового пункту для підвищення рівня енергетичної ефективності інженерної системи будівлі. Завданням є порівняння можливих схем для модернізації ІТП та прогноз споживання після переоснащення теплового пункту.

Матеріал та результати досліджень

Опис об'єкту дослідження

Будівля ДНЗ «Джерельця» класифікується як громадська будівля (заклад освіти), котра була введена в експлуатацію 13 січня 1989 року. За проектною документацією садочок розрахований на 280 місць. На сьогоднішній день в садочку функціонує 10 дитячих груп, в цілому в ДНЗ зараховано 220 дітей. За групами закріплені вихователі та помічники вихователя, також є адміністрація дитячого садочку, психолог, два музичних та фізичних керівника, медична сестра, обслуговуючий персонал, отже загальна

кількість робочого персоналу складає 45 чоловік. Режим роботи ДНЗ з 7:00-19:00. Відповідно до існуючих санітарних норм, температура в яслах-садочку повинна бути 22°С.

Двоповерховий дошкільний навчальний заклад виконаний окремою будівлею. Зовнішні стіни будівлі виконані цегляною кладкою на цементно-пісчаному розчині товщиною кладки 0,38 м, зовні вкриті облицювальною плиткою. Зовнішній фасад має очевидні пошкодження. Всі вікна в садочку за програмою енергозбереження були замінені на двокамерні металопластикові склопакети взимку 2016 року. Площа одного вікна складає 1,5 м^2. Вхідні двері будівлі металопластикові. Дах плаский, знаходиться безпосередньо над опалювальними приміщеннями. Неопалювальний підвал знаходиться під всією площею будівлі. В табл. 1 занесені дані щодо площі огороджувальних конструкцій та коефіцієнти теплопередачі.

Таблиця 1 – Площа стін, в залежності від орієнтації

Огороджувальна конструкція	Площа, м^2	U-фактор, Вт/м^{2}К
Зовнішні стіни (загальна площа з вікнами і дверима)		
Північ	355,60	1,49
Схід	439,60	
Південь	355,6	
Захід	439,6	
Вікна		
Північ	33,6	1,85
Схід	67,20	
Південь	44,1	
Захід	67,2	
Дах	1270,9	1,03
Перекриття над неопалювальним підвалом	1270,9	0,59

На рис. 1 зображена схема енергетичної моделі будівлі виконаної у програмному середовищі DesignBuilder.

Рисунок 1 – Вигляд енергетичної моделі будівлі

На даний момент теплопостачання ДНЗ «Джерельце» здійснюється за допомогою місцевою котельні. Температурний графік, за яким працює котельня 150/70. Приєднання системи опалення здійснюється через елеватор, розташований в приміщенні теплового вузла, який показано на рис. 2.

Рисунок 2 – Тепловий пункт дитячого садочка

Споживання енергоносіїв до модернізації теплового пункту

Представимо споживання енергоносіїв ДНЗ «Джерельце» протягом 2017 року у табл. 2.

Таблиця 2 – Споживання теплової енергію за 2017 рік

Місяць	Теплова енергія, Гкал	Електрична енергія
Січень	101	9670
Лютий	98,68	10704
Березень	21,3	7836
Квітень	17,9	9293
Травень		7910
Червень		7852
Липень		6119
Серпень		2239
Вересень		6579
Жовтень	29,3	9909
Листопад	68,89	9522
Грудень	74,06	9534
Всього	**411,13**	**93727,73**

Модернізація теплового пункту. Можливі схеми ІТП, їх переваги і недоліки

В існуючій схемі, зміна параметрів теплоносія відбувається за допомогою місцевої котельні відповідно до прийнятого «температурного графіку» при постійній

витраті. Як було зазначено вище на абонентському вводі в будівлю садочку встановлено елеваторний вузол, тобто контур опалення будівлі підключено безпосередньо до контуру теплових мереж без елемента, котрий розділив би ці контури. Таким чином ці системи гідравлічно зв'язані між собою. Відповідно до цього регулювання якості теплоносія, тиску в системі відбувається централізовано на місцевій котельні.

Так як відсутня система автоматики, котра б контролювала залежність витрати теплоносія від актуальної потреби в тепловій енергії, система працює не ефективно. Отже модернізація теплового воду будівлі, за допомогою встановлення індивідуального теплового пункту з автоматичним регулюванням температури є основним заходом з енергозбереження.

Така концепція модернізації дозволить адаптувати споживання теплової енергії до поточної потреби в залежності від температури зовнішнього повітря та дотримання нормативної температури в приміщені. Тепловий пункт дозволяє не тільки раціонально використовувати теплову енергію, а і забезпечити підґрунтя для впровадження централізованої дистанційної системи моніторингу та управління.

Представимо порівняння двох різних схем конфігурації теплових пунктів у табл. 3, вони відрізняються наявністю теплообмінного апарату для гідравлічного відокремлення первинного / вторинного контуру системи опалення.

Таблиця 3 – Порівняння схем теплових пунктів

Експлуатаційні відмінності		
Критерій	**Залежна схема**	**Незалежна схема**
Основна конфігурація	Пряме під'єднання	Непряме під'єднання, наявний теплообмінник
Гідравлічні характеристики	Гідравлічна залежність контуру опалення будівлі та централізованого теплопостачання	Два контури не мають гідравлічну незалежність (контур опалення будівлі та контур теплових мереж)
Режим тиску	Тиск в системі опалення будівлі змінний в залежності від гідравлічних умов теплових мереж	Тиск в системі опалення будівлі постійний
Якість води	Не можна вплинути на якість мережевої води	Можливо покращення води в системі опалення будівлі
Енергоефективність	Немає значної різниці	Немає значної різниці
Температурний рівень	Відсутні температурні втрати в теплообмінному апарату	Різниця температур у первинному/ вторинному контурі
Контроль роботи	Не має значної різниці	Не має значної різниці
Експлуатація	Незначне технічне обслуговування	Необхідна чистка ТО, за яку відповідальний ДНЗ

Відмінності в експлуатації між тепловими пунктами з залежним та незалежним підключенням до теплової мережі

ІТП на базі теплообмінного апарату (незалежне підключення) дозволить гідравлічно відокремити систему опалення будівлі та мережу централізованого теплопостачання, що дає змогу змінювати витрату та тиск зі сторони вторинного контуру від необхідного рівня потреби в тепловій енергії, тому втрати тиску в будівлі можуть бути набагато нижчими. Але, температура подачі зі сторони контуру опалення будівлі буде нижча в порівнянні з залежним підключенням системи опалення до системи теплопостачання, через різницю температури між контурами теплообмінника.

Обидві запропоновані схеми регулюють споживання теплової енергії відповідно до зовнішньої температури. Суттєвої різниці в споживанні електричної енергії не очікується, оскільки модернізація теплових пунктів відбувається за допомогою сучасного енергоефективного устаткування.

Недоліком модернізації теплового пункту з незалежною схемою під'єднання є те, що експлуатаційні витрати по обслуговуванню теплообмінного апарату лягають на плечі дитячого садочку, що є неприйнятним через відсутність спеціалізованого персоналу та коштів на обслуговування адміністративних будівель.

На наступних рис. 3 та 4 зображено принципові схеми теплових пунктів з залежним і незалежним під'єднанням до теплової мережі відповідно.

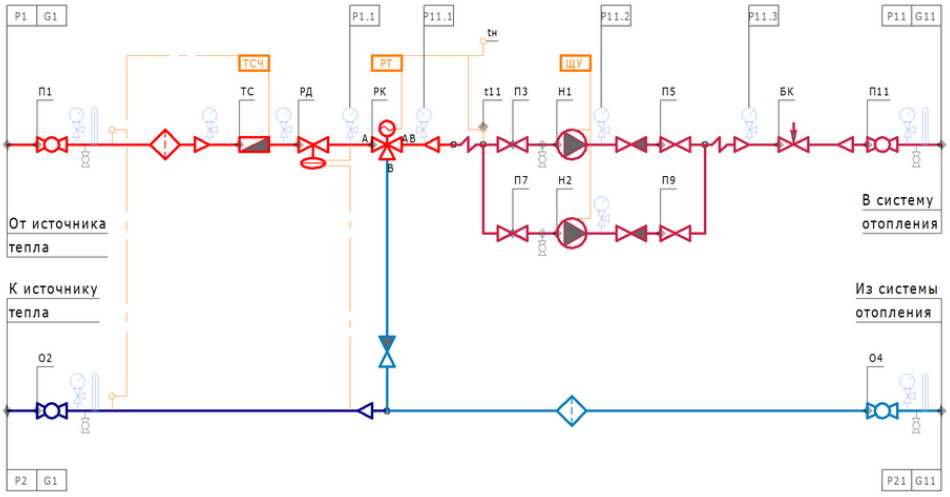


Рисунок 3 – Тепловий пункт з залежним під'єднанням системи опалення будівлі до системи теплопостачання

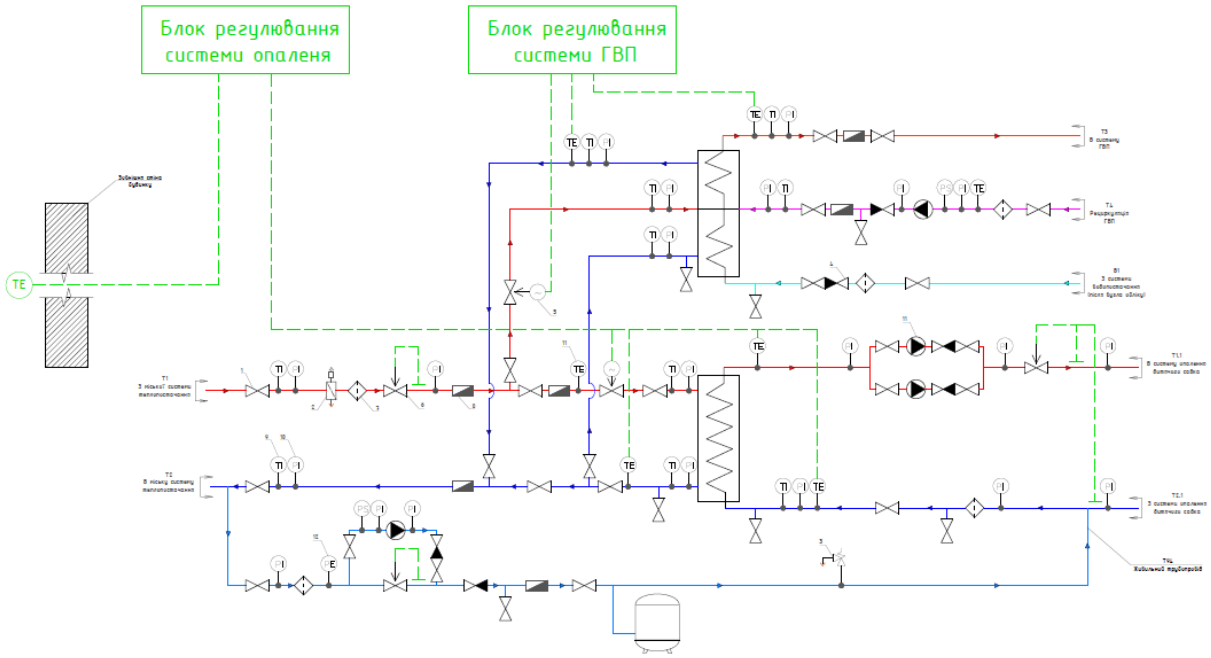


Рисунок 4 – Тепловий пункт з незалежним під’єднанням системи опалення будівлі до системи теплопостачання

Для оцінки ефекту від облаштування теплового пункту насосно-змішувальним вузлом, змоделюємо споживання до впровадження даного заходу у програмному продукті DesignBuilder, використовуючи вихідні параметри, котрі були зазначені вище. Результати розрахунку занесемо до наступної табл. 4, де зазначене споживання теплової енергії до впровадження заходу з модернізації теплового пункта.

Таблиця 4 – Споживання за результатами моделювання, до модернізації ІТП

Energy consumption category/ Категорія споживачів енергії	**Electricity [kWh] / Електрична енергія [кВт·год]**	**District Heating [kWh] / Теплова енергія [кВт·год]**
Heating / Опалення	-	477385,64
Interior Lighting / Освітлення	60091,90	-
Interior Equipment / Внутрішнє обладнання	31524,31	-
Pumps / Насоси	2111,52	-
Total End Uses / Загальне кінцеве енергоспоживання	93727,73	477385,64

Як бачимо розраховане споживання теплової енергії становить 477385,64 кВт·год, а фактичне 478144,19 кВт·год, тобто різниця становить менше 1%, що свідчить про правильність розрахунку.

Для більш наглядного прикладу, зобразимо на рис. 5 споживання енергії ДНЗ «Джерельце» для потреб опалення та електропостачання.

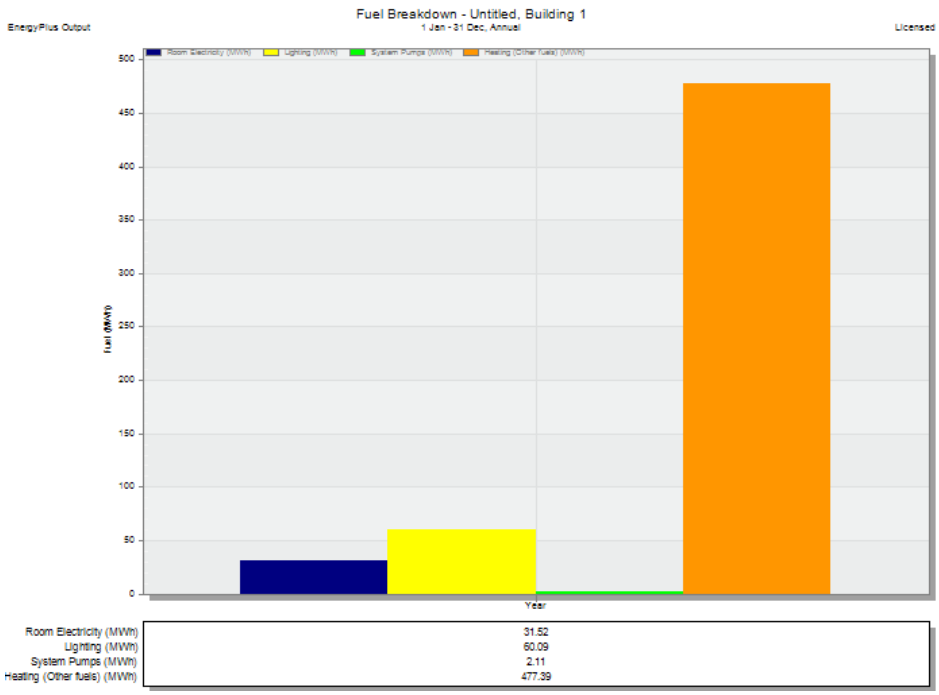


Рисунок 5 – Споживання електричної та теплової енергії до модернізації теплового ІТП

Для оцінки ефективності модернізації теплового пункту садочка за допомогою насосно-змішувального вузла, змоделюємо споживання після цього заходу. Системою автоматики буде зменшуватись температура у приміщеннях садочку у неробочі години до 17°С. Отже, як змінилось споживання теплової енергії зведено до табл. 5.

Таблиця 5 – Споживання за результатами моделювання, після модернізації ІТП

Energy consumption category/ Категорія споживачів енергії	**Electricity [kWh] / Електрична енергія [кВт·год]**	**District Heating [kWh] / Теплова енергія [кВт·год]**
Heating / Опалення	-	374214,33
Interior Lighting / Освітлення	-	-
Interior Equipment / Внутрішнє обладнання	60091,90	-
Pumps / Насоси	31524,31	-
Total End Uses / Загальне кінцеве енергоспоживання	1589,34	-
Heating/Опалення	93205,55	374214,33

Як бачимо споживання після заходу буде складати 374214,33 кВт·год, а до становило 477385,64 кВт·год, отже економія складатиме 103171,31 кВт·год (88,7 Гкал), що у відсотках складає 21,6%.

Покажемо споживання енергії після заходу у графічному вигляді на рисунку 6.

Оцінено термін окупності насосно-змішувального вузла. Тариф на теплову енергію станом на листопад 2018 року для бюджетних установ становить 1382,48 грн/Гкал, отже економія в грошовому еквіваленті складатиме 122 639 грн/рік.

Проаналізувавши ринок, середня вартість переоснащення ІТП буде становити 319 260 грн. Отже термін окупності складає 2,6 років.

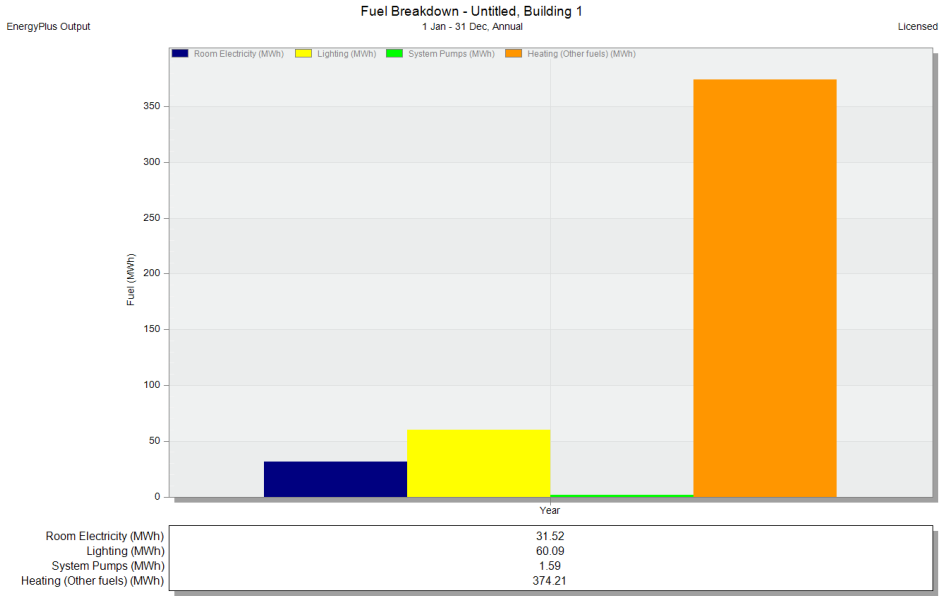


Рисунок 6 – Споживання електричної та теплової енергії після модернізації ІТП

Висновки.

За результатами моделювання видно, що модернізація теплового пункту дитячого садочку зменшить споживання теплової енергії. Насосно-змішувальний вузол дозволить значно покращити рівень енергоефективності інженерної системи будівлі, дозволить керувати системою опалення та дасть основу для впровадження системи контролю та моніторингу енергоспоживанням в майбутньому.

Список використаних джерел.

1. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013–[Чинний від 2014-01-01]– К.: Мінрегіон, 2013. – 141 с. – (Національний стандарт України);
3. Теплові мережі: ДБН В.2.5-39:2008–[Чинний від 2008-12-09]– К.: Мінрегіон, 2009. – 56 с. – (Національний стандарт України);
4. Новий санітарний регламент для дитсадків Офіційний вісник України № 234//Офіційний вісник України.– Офіц. Вид. – К. – 2016. – (Бібліотека офіційних видань);
5. Пырков В.В. Современные тепловые пункты – «ДАНФОСС ТОВ», 2007–251 с.;
6. Лисенко О.М. Управління теплопостачанням будівлі на основі використання індивідуального теплового пункту оригінальної конструкції, 2015-7с.

УДК 62-69

Наумчук О.С.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

ВИКОРИСТАННЯ ПРИМУСОВОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЛІЦЕЮ «ПРЕСТИЖ»

USE OF A FORCED VENTILATION SYSTEM TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY LEVEL OF THE LYCEUM “PRESTIZH” HEAT SUPPLY

Анотація. В даній статті розглядається один із методів підвищення загального рівня енергоефективності навчального закладу – використання вентиляційної установки з рекуперацією теплоти. Розглянутий метод дозволяє досягти умов мікроклімату відповідно до діючої нормативної бази у сфері енергозбереження.

Ключові слова: енергоефективність, система вентиляції з рекуперацією, теплопостачання, умови мікроклімату, енергозбереження.

Annotation. This article discusses one of the methods to increase the overall level of energy efficiency of an educational institution - the use of a ventilation unit with heat recovery. The considered method allows to achieve microclimate conditions in accordance with the current regulatory framework in the field of energy saving.

Key words: energy efficiency, ventilation system with recuperative, heat supply, drainage, energy saving.

Вступ. Питанням доцільності використання вентиляції з рекуперацією займаються вчені та спеціалісти міжнародних компаній різного рівня. При вентиляції відбувається видалення внутрішніх забруднень, бактерій, зайвої вологості, підтримується оптимальне співвідношення концентрацій кисню і вуглекислого газу [1]. Вентиляція з рекуперацією забезпечує підтримку необхідних параметрів мікроклімату: температури і вологості повітря, кратності повітрообміну, які регулюються державними будівельними нормами [2, 3] та відновлює повітрообмін без зайвих затрат на підігрів свіжого повітря. Така система вентиляції є одним з методів підвищення енергоефективності та дозволяє забезпечити нормативні умови мікроклімату при будівництві нових та реконструкції існуючих будівель.

Мета та завдання дослідження. Завданням та метою дослідження є оцінка доцільності використання примусової системи вентиляції для підвищення рівня енергоефективності навчального закладу на прикладі ліцею «Престиж».

Результати досліджень. Аналіз втрат теплоти навчальним закладом «Престиж» (рис. 1) показує, що на підігрів вентиляційного повітря припадає близько 20 % загальних тепловтрат. Цей показник можна знизити, запропонувавши впровадження енергоефективних заходів, без яких використання навіть найкращих енергозберігаючих технологій не дасть бажаного результату.

У 2017 році, при дослідженні ліцею «Престиж» в рамках виконання дипломного проекту бакалавра, було запропоновано утеплення фасадів, підлоги та горища, економія від термосанації склала майже 200 Гкал/сезон.

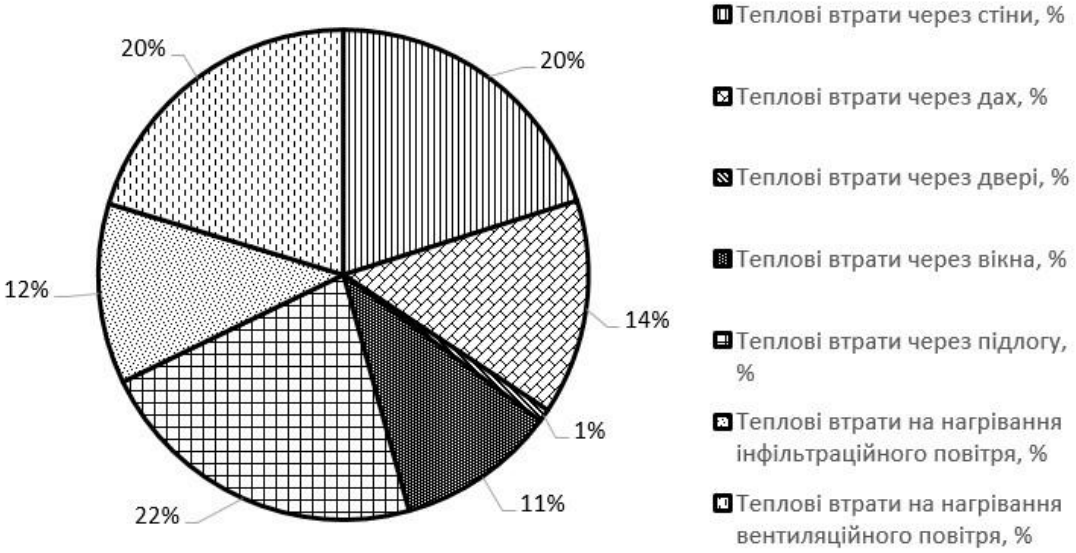


Рисунок 1 – Втрати теплоти ліцею «Престиж»

Розглянемо ефект від влаштування системи вентиляції з рекуперацією теплоти. Саме ці системи найчастіше розглядаються як метод енергозбереження, при якому повітря, що видаляється з будівлі використовується в теплий період року для попереднього охолодження, а в холодний період - для підігріву припливного повітря зі зменшенням витрат енергії на підігрів припливного повітря [4].

На даний момент ліцей використовує систему витяжної вентиляції, повітропроводи нефункціонуючої системи вентиляції приміщень закладу не прочищені. Для подачі свіжого повітря у класи організовано щогодинне провітрювання, в результаті чого в деяких випадках рівень вентиляції занадто високий, відповідно – високі втрати енергії. Модернізація системи вентиляції дозволить скоротити втрати енергії при подачі свіжого повітря, а використання рекуператора дасть змогу ефективно використовувати відпрацьоване повітря.

Дослідження європейського ринку [5] показали, що вентиляційні системи з рекуперацією теплоти набули свого значного поширення ще у 1990 році з країн Скандинавії (рис. 2).

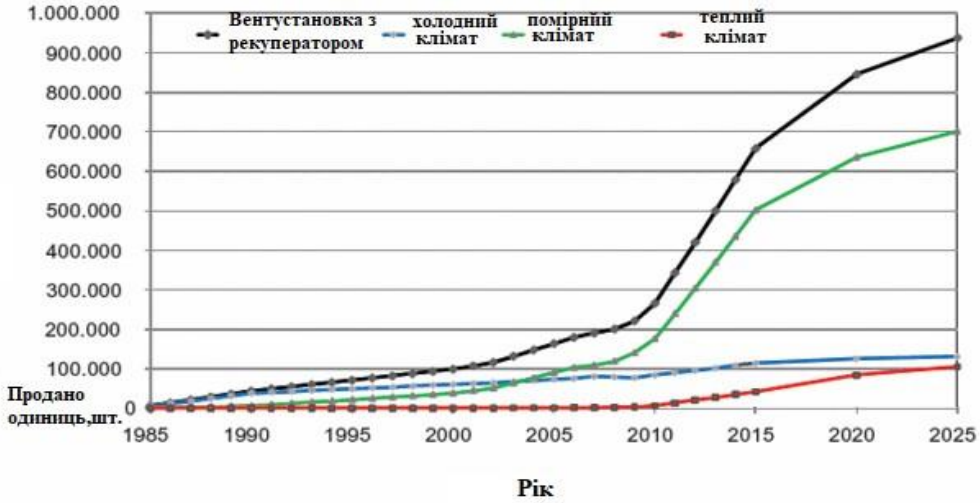


Рисунок 2 – Поширення вентиляційних систем з рекуперацію в залежності від кліматичних умов країн

Подальший технологічний розвиток та переосмислення енергії і комфортних умов життя, призвело до значного зростання продажу енергоефективних систем вентиляції для досягнення енергетичних цілей.

Для визначення доцільності використання примусової системи вентиляції у ліцеї «Престиж» проведемо розрахунок.

Для забезпечення нормативної витрати повітря в класах [2] об'єм свіжого повітря в приміщенні повинен становити 15 м^3/год. Кількість учнів у ліцеї – 243. Нормативні параметри мікроклімату [3]:

- тривалість опалювального періоду для м. Київ: n = 176 діб;
- середня температура за опалювальний період $t_{оп}$ = - 0,1 °С;
- температура внутрішнього повітря $t_{вн}$ = 20 °С

Приймаємо, що час роботи вентиляції за добу - 8 год.

Вибір вентиляційної установки:

$$L = N \cdot q_{min},$$

де L – об'ємна витрата припливного повітря , м^3/год;
N – кількість учнів;
q_{min} – мінімальна витрата повітря на одного учня, м^3/год.

$$L = 243 \cdot 15 = 3645 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Необхідна вентиляційна установка обирається по витраті 4000 м^3/год. Витрата повітря на нагрівання зовнішнього повітря:

$$Q = L_в \cdot 0{,}335\ (t_{вн} - t_{оп}),$$

де $L_В$– об'ємна витрата припливного повітря обраної вентиляційної установки, м^3/год.

Витрата теплоти на нагрівання зовнішнього повітря:

$$Q = L_В \cdot 0{,}335 \cdot (t_{ВН} - t_{ОП}),$$

$$Q = 4000 \cdot 0{,}335 \cdot (20 - (-0{,}1)) = 26{,}934 \text{ кВт} = 0{,}023 \text{ Гкал/год}.$$

Установка буде працювати 10 год на добу. Це дасть змогу зекономити:

$$Q_{збереж} = (24 - 10) / 24 \cdot Q = 0{,}583 \cdot 0{,}023 = 0{,}0134 \text{ Гкал/год}.$$

Енергозбереження за рахунок рекуператора:

$$Q^{рек} = \frac{10}{24} \cdot Q \cdot \eta,$$

де η – ККД обраної вентиляційної установки [6],

$$Q^{рек} = \frac{10}{24} \cdot 0{,}015 \cdot 0{,}8 = 0{,}0045 \text{ Гкал / год}.$$

Енергозбереження за опалювальний період:

$$Q_{збереж\ оп} = \left(Q_{збереж} + Q^{рек}\right) \cdot n \cdot t_{роб},$$

де $Q_{збереж}$ – економія від встановлення вентиляційної установки, Гкал/год;
$Q^{рек}$ – економія від використання рекуператора, Гкал/год;
n – тривалість опалювального періоду [3], днів;
$t_{роб}$ – час роботи вентиляційної установки з рекуперацією теплоти, год,

$$Q_{збереж\ оп} = (0,0134 + 0,0045) \cdot 176 \cdot 24 = 75,56\,Гкал/сезон.$$

Грошова економія за опалювальний період за рахунок встановлення вентиляції з рекуперацією теплоти з урахуванням тарифів (7) складе:

$$C_{оп} = C_{теп} \cdot Q_{збереж\,оп} - C_{EE}^{TH} = 1866,5 \cdot 80,25 - 3200 = 137838\,грн,$$

де $C_{теп}$ = 1866,5 – діючий тариф теплопостачання для бюджетних установ [7], грн/Гкал,
$C_{EE}^{TH} = 3200$ грн. - витрата електричної енергії на привод вентилятора.

Оцінимо грошову економію та термін окупності вентиляційної системи з рекуперацією теплоти. Ринок пропонує великий асортимент енергоефективних систем вентиляції, для ліцею «Престиж» обрано установку помірної ціни але високої надійності та простої експлуатації – Comfort Vent REGO 4000. Ринкова ціна даної установки – 461 075 грн станом на 01.07.2018 р.

Капітальні витрати по реалізації системи з рекуперацією складаються з таких основних витрат :

$$КВ = В_{обл} + В_{проекту} + В_{дод.обл.} + В_{монтажу} + В_{підготов.},$$

де КВ – капітальні витрати по заходу;

$В_{обл}$ - вартість основного обладнання: Comfort REGO 4000 V : 461 075 грн;

$В_{проекту}$ - вартість проектних робіт: 39 325 грн;

$В_{дод.обл}$ - вартість додаткового обладнання (фільтри, приточні дифузори, кріплення, витяжні дифузори, шумоглушники): 180 000 грн;

$В_{підготов}$ - вартість підготувальних робіт (гідроізоляція даху, витяжних вентиляційних каналів, демонтаж підвісної стелі, додаткових отворів, післямонтажні роботи): 15 000 грн;

$В_{монтажу}$ - вартість монтажних робіт: 40 000 грн.

КВ = 461075+39325+180000+15000+40000 = 735400 грн.

Отже капітальні витрати по проекту складають 735 400 грн, станом на 18.10.2018 року.

Термін окупності улаштування механічної системи вентиляції становить:

$$T_{окуп}^{пр} = \frac{КВ}{C_{оп}},$$

$$T_{окуп}^{пр} = \frac{735400}{137838} = 5,4 \text{ років.}$$

Висновки.

Аналіз теплових втрат навчальним закладом, організації подачі свіжого повітря до навчальних класів та величини економії показують доцільність використання системи вентиляції з рекуперацією теплоти у ліцеї «Престиж». Великі початкові капіталовкладення за рахунок високої вартості самої установки зумовлюють великий термін окупності, проте постійне забезпечення комфортних умов мікроклімату даним типом вентиляційної установки говорить про значне підвищення рівня енергетичної ефективності та дотримання комфортних умов навчання у ліцею «Престиж».

Список використаних джерел.

1. Немова Д. В. Применение приточно-вытяжной системы вентиляции с рекуперацией / Дарья Викторовна Немова. – 2012. – №3. – С. 84.
2. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 30 с.
3. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування– К.: Мінрегіонбуд, 2013. – 138 с.
4. Аничхин А. Г. Технологические схемы утилизации выбросной теплоты при помощи систем с промежуточным теплоносителем : дис. канд. техн. наук / Аничхин А. Г..
5. Händel C. Ventilation with heat recovery is a necessity in “nearly zero” energy buildings / Claus Händel. – 2011. – №32011
6. Вентиляционные установки КОМРАСТ [Електронний ресурс] // ООО АМАЛВА. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: www.komfovent.ru.
7. Тарифи - Київтеплоенерго [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: kte.kmda.gov.ua.

УДК 697.9(075.8)

Святний Л.О.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ КОМФОРТНОСТІ В ПРИМІЩЕННЯХ ШКОЛИ

INVESTIGATION OF THERMAL COMFORT PARAMETERS IN SCHOOL PREMISES

Анотація: В роботі розглянуто стан комфорту в приміщеннях учбових класів та коридорах спеціалізованої 174 школи в м. Києві, зроблені дослідження з визначенням температурних і вологісних параметрів повітря, та визначення вмісту CO_2. Розглянуто проблему забезпечення умов комфортного повітря відповідно нормативній базі стандартів України та порівняно із закордонними дослідженнями та стандартами відносно учбових закладів та громадських установ. Запропоновано вирішення даної проблеми за рахунок рекуперації повітря з одночасним зменшенням тепловтрат під час провітрювань та використанням існуючих вентиляційних систем.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, витрати на опалення, комфортні умови, вміст двоокису вуглецю, вентиляція, повітрообмін, рекуператор.

Abstract: In this work the state of comfort in the premises of the educational classes and corridors of specialized 174 schools in Kyiv is considered, researches have been made with determination of temperature and humidity parameters of air and determination of CO_2 content. The problem of providing comfortable air conditions in accordance with the normative basis of Ukrainian standards and in comparison with foreign researches and standards concerning educational establishments and public institutions is considered. The solution of this problem due to air recuperation with simultaneous reduction of heat losses during ventilation and using of existing ventilation systems is proposed.

Keywords: energy efficiency, energy saving, heating costs, comfortable conditions, carbon dioxide content, ventilation, air exchange, recuperator.

Вступ. Розрахунок необхідного повітрообміну є досить складним завданням. Збільшення повітрообміну підвищує комфортність, але – ускладнюються системи вентиляції і розподілу повітря, збільшуються енергетичні витрати на обробку і транспортування зовнішнього припливного повітря. Проблемі повітрообміну в приміщеннях громадських установ, офісах та особливо в дошкільних та в шкільних закладах за останні роки присвячені статті, як у вітчизняних, так і в зарубіжних виданнях, в яких дані про оптимальний повітрообмін мають дискусійний, а нерідко недостатньо обґрунтований емоційний характер. Важливість цієї проблеми підтверджено виданням Державних будівельних норм у 2018 р. Будинки і споруди «Заклади світи» [1] та низкою стандартів та нормативів, що вийшли роками раніше – з кліматології та по опаленню, вентиляції та кондиціюванню [2, 3, 4].

Першочерговим, безперечно, є забезпечення безпечних та комфортних умов перебування людей в приміщенні, та не забувати про енергетичні витрати на вентиляцію, які повинні залишатися на прийнятному рівні, та мати раціональне використання, бо слід обумовити, що втрати з провітрюванням приміщень знаходяться в межах 20…40% витрат на опалення.

Одним з основних показників комфортності приміщень є склад і чистота (якість) повітря. Якість повітря в приміщенні залежить від багатьох чинників: якості зовнішнього повітря; наявності в приміщенні джерел забруднень; кількістю людей, які

одночасно знаходяться в приміщенні; способу і конструкції системи вентиляції і кондиціювання повітря, способів управління і надійності експлуатації цих систем і т. п. Повітря в приміщенні не повинно містити забруднюючі речовини в концентраціях, небезпечних для здоров'я людини, або викликати дискомфорт. До подібних забруднень відносяться різні гази, пари, мікроорганізми, тютюновий дим і деякі аерозолі, наприклад, пил. Забруднюючі речовини можуть потрапляти в приміщення разом із зовнішнім припливним повітрям, від джерел забруднюючих речовин в приміщенні, в тому числі продуктів життєдіяльності людей, технологічних процесів, меблів, килимів, будівельних і декоративних матеріалів. Основним показником, що до кількості повітрообміну є наявність в повітрі двоокису вуглецю та інтегральний показник якого показує рівень забруднення повітря токсинами, що виділяються людиною при диханні. Основним джерелом поповнення CO_2 в приміщенні є людина, оскільки ми видихаємо від 18 до 25 літрів цього газу на годину.

Свіже морське або заміське повітря містить близько 0,03…0,04% (або це 300…400 ppm) вуглекислого газу і це той рівень, який є фоновим та ідеальним для нашого дихання. Класна кімната – одне з основних робочих приміщень школи. У різних кабінетах учитель і група учнів (клас) проводять по 5…6 годин на день. Показники вмісту CO_2 при такому режимі роботи зростають в 3…6 рази.

В даний час використовуються методики для визначення мінімально необхідного повітрообміну, достатнього для забезпечення в приміщенні допустимої якості повітря. Крім цього, слід розглядати можливі умови зменшення теплових втрат за рахунок рекуперації повітря, що набуває розвитку в сучасних незалежних системах вентиляції.

Мета та завдання.Метою роботи є експериментальне визначення показників комфорту в приміщеннях учбових класів та коридорах типової для забудови 70-80 років у м. Києві школи з акцентом на вміст двоокису вуглецю, та на скільки це відповідає допустимим нормам комфорту та вмісту забруднюючих речовин в приміщеннях навчальних закладах, як у нас на Україні так і за кордоном. До завдання роботи входило розглянути можливі рішення даної проблеми с точки зору енергозбереження.

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 табл.1

Таблиця 1

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 табл..2

Таблиця 2

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 Olli Seppanen [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

Середньоосвітня спеціалізована школа №174 знаходиться за адресою: м. Київ, вулиця Героїв Севастополя, 43, побудована у 1962 році має 4 поверхи, та П-подібну форму (рисунок 1). В школі навчається 561 учень та працює 51 працівник, тобто в будівлі щодня знаходиться приблизно 600 осіб. Кількість навчальних класів – 36. Початок занять розпочинається о 8.45 та закінчується о 14.00. З 14.00 – 18.00 працюють гуртки.

Зовнішні стіни мають площу 3537 м^2, північна стіна має 502 м^2, східна 1200 м^2, південна 635 м^2, західна 1200 м^2. Вікна мають площу 636 м^2, що виходять на північ 78 м^2, на схід 123 м^2, на південь 312 м^2 та захід 123 м^2.

Будівля опалюється від центральної теплової мережі через індивідуальний тепловий пункт, що розташований в підвальному приміщенні школи, що не опалюється. Загальна площа приміщення індивідуального теплового пункту становить – 50,4 м^2. В індивідуальному тепловому пункті встановлено вузол обліку теплової енергії. Потужність існуючого теплового пункту 0,235 Гкал/год.

Матеріали з яких споруджено школу: фундамент – стрічковий, виконаний з бетону; Зовнішні стіни – виконані з цегли та внутрішнім шаром цементно-піщаної штукатурки; покрівля – плоска, вкрита плитами; вікна – майже всі замінені на однокамерні металопластикові; дерев'яні двері.

Рисунок 1 – Середньоосвітня спеціалізована 174 школа. Клас першого поверху.

За проведеним попереднім енергоаудитом було визначено можливі основні теплові втрати будівлею школи (рисунок 2), де майже 18% з них складають втрати саме на інфільтрацію повітря, або втрати теплого повітря підчас провітрювань та виходу крізь щілини та двері.

Замінені дерев'яні вікна на металопластикові покращили тепловий стан в учбових класах, але виникла необхідність у додатковому провітрюванні приміщень, і це пов'язано з існуючою застарілою повітряною системою.

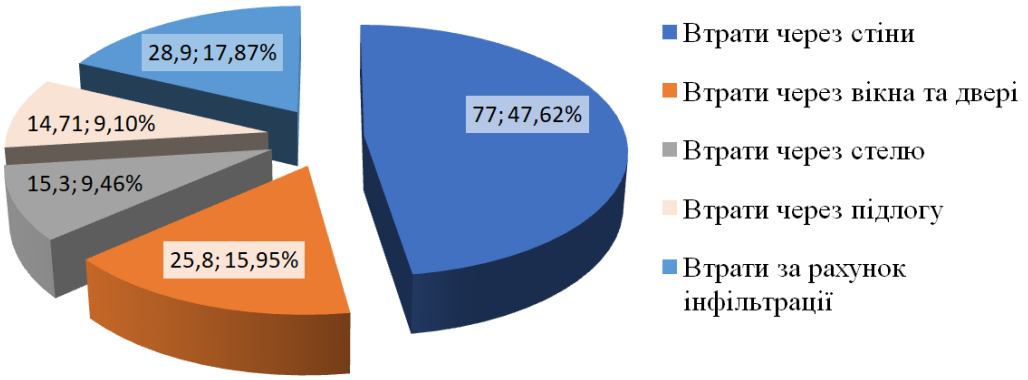


Рисунок 2 – Теплові втрати будівлі школи

Експериментальна частина.

Рисунок 3 – Прилади для вимірювання вмісту CO_2, температури та вологості.

Дослідження проводились після трьохтижневого включення опалення в м. Києві. Було вибрано ранковий час на початку занять та денний час після закінчення занять в школі. Ці терміни найбільш повно характеризували стан повітря в класах.

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 були використані термісторний електронний термометр LCD з діапазоном вимірювань –50ºC … +300ºC та пірометр GM320 з діапазоном вимірювань –50ºC … +380ºC для вимірювань поверхонь стін, підлоги, стелі, вікон.

Вимірювання проводились в приміщеннях класів та коридорах на чотирьох поверхах, в головному холі та на вулиці, для порівняння з фоновим вмістом CO_2. Дані по вимірюванню представлені на рисунку 4.

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 в ранковий час в приміщенні школи та класах вищий

за рекомендовану норму, це свідчить що витяжна вентиляція не справляється з підтриманням комфортних умов та потребує реконструкції або заміни. Особливо слід звернути увагу на верхні поверхи де навчаються старші класи і де вміст двоокису вуглецю найбільший.

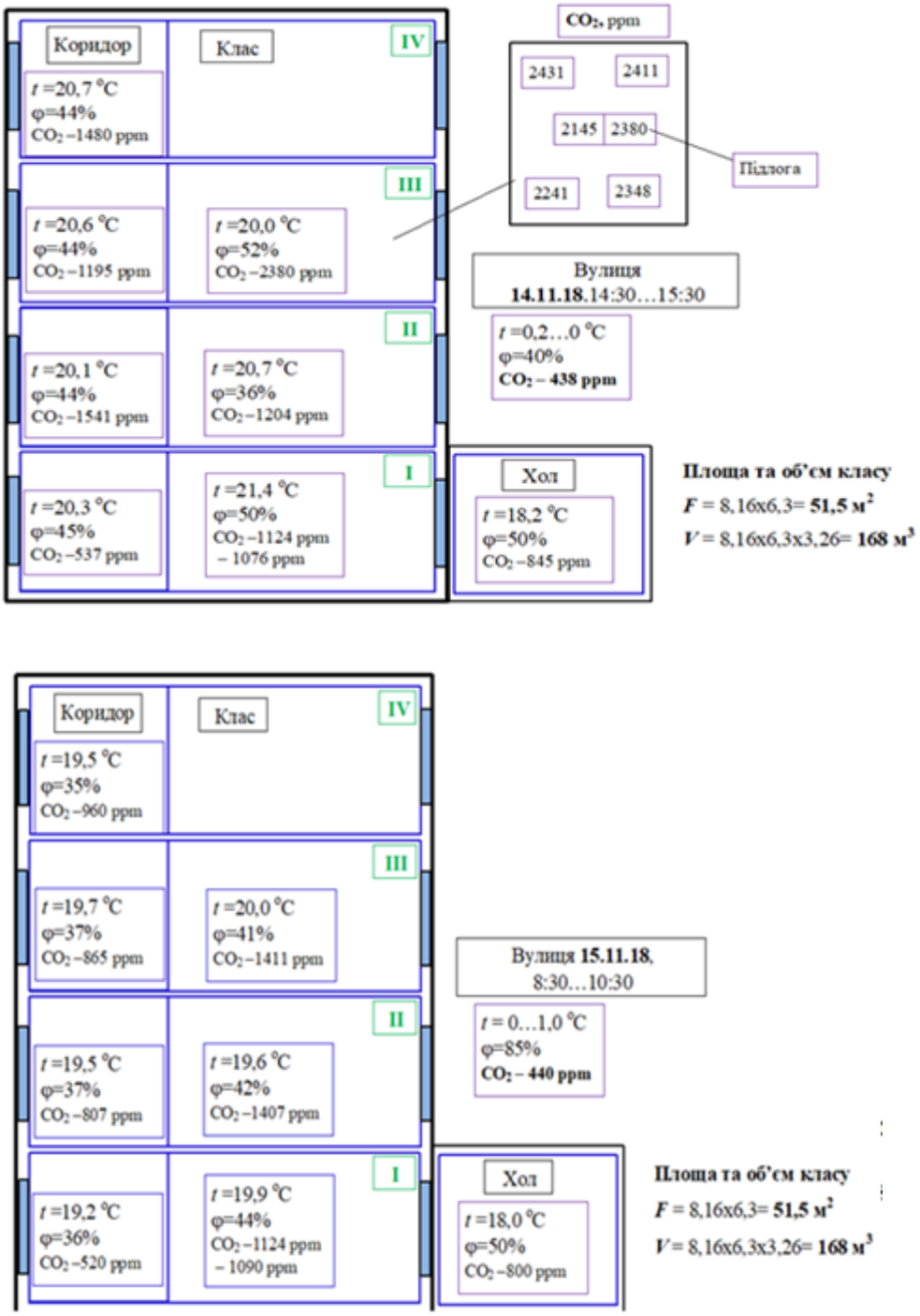


Рисунок 5 – Дані по вимірюванню вмісту CO_2

Як рішення для зменшення частки CO_2 в приміщеннях та підтримання оптимальних теплових та вологісних умов запропоновано використовувати рекуператор в системі вентиляції (Рисунок 6). Який би дозволив не тільки оновлювати повітря, а і забезпечити його підігрів, фільтрування від забруднюючих речовин вулиці пилку, пилу, комах та бактерій.

За запропонованими програмами розрахунку рекуператорів для приточно-витяжних повітряних систем для шкіл та котеджів фірмами Прана, Reventa та інш. було зроблено вибір рекуператорів та їх термін окупності відповідно до заходів з енергозбер

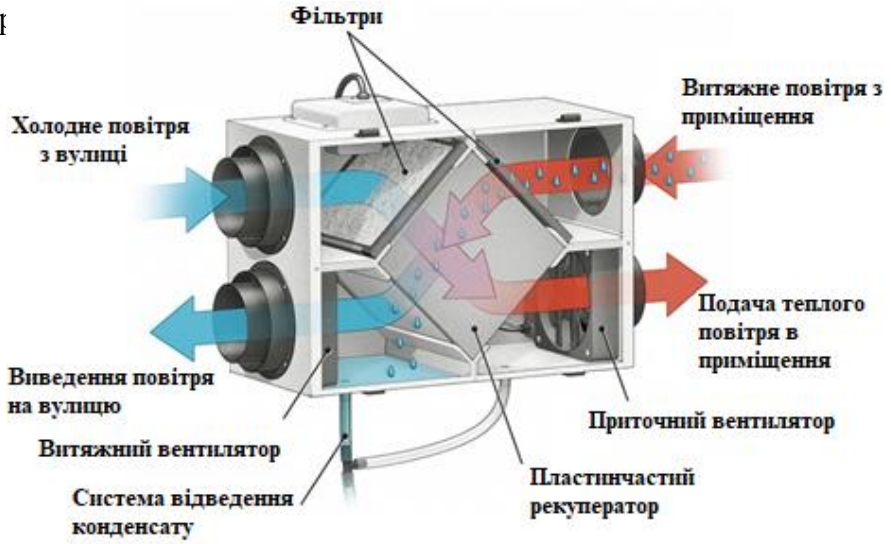


Рисунок 6 – Схема рекуператора повітря

Висновки.

1. Правильно запроектована та виконана система рекуперації гарантує:

– За розрахунками зменшити втрати з провітрюванням та інфільтрацією повітря на 5…13%.

– Можливість додаткового охолодження влітку.

– Зникає необхідність відкривати вікна в будь-яку пору року.

– Постійно свіже та чисте повітря в приміщеннях.

– Можливість мікробіологічного очищення повітря (віруси, бактерії).

– Усунення надмірної вологості.

2. Захід з покращення повітрообміну з використанням рекуператорів має суттєві капіталовкладення, але і невеликий термін окупності на рівні чотирьох років.

3. Встановлення системи рекуперації слід починати з верхніх поверхів де погано працює природна вентиляція та мають місце застійні зони повітря.

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.

УДК 620.91

Терезюк А.М.
кафедра теплотехніки та енергозбереження

ВИЗНАЧЕННЯ СПОЖИВАННЯ ПЕРВИННОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПОТРЕБУ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

DETERMINATION OF PRIMARY ENERGY CONSUMPTION FOR THE NEED TO HEAT RESIDENTIAL PREMISES

Анотація. В даній статті представлений розрахунок енергетичних характеристик житлового приміщення та за результатами розрахунків розглядається доцільність встановлення контролера в індивідуальну систему опалення житлового приміщення.

Ключові слова: енергетична потреба на опалення, енергозбереження, індивідуальна система опалення, контролер, енергоефективність.

Abstract. In this article the calculation of energy characteristics of residential premises and the results of calculations considered the expediency of installing a controller in the individual heating system of residential premises.

Key words: energy demand for heating, energy saving, individual heating system, controller, energy efficiency.

Вступ. Енергозбереження та енергоефективність сьогодні є найголовнішими питаннями. Адже, попит на енергію з кожним днем зростає, а енергоресурсів стає дедалі менше. Загалом енергоефективність будівель має на меті досягнення комфортних умов з використанням меншої кількості енергії. В Європейському Союзі вже давно переймаються цим питанням та мають на меті створення будинків з нульовим споживанням енергії. Так в [1] досліджують нову методологію, яка описує математичну модель для точного прогнозування внутрішньої температури в будівлі та теплових втрат компонентів системи опалення. Дана модель може використовуватись для розрахунків енергоефективності будь якого типу будівлі.

Сьогодні в Україні існує методика розрахунку, яка базується на європейських стандартах, а саме «Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні» [2].

Мета та завдання дослідження. Основною метою та завданням дослідження є визначення енергетичної потреби на опалення житлового приміщення та порівняння результатів розрахунку з приведеними фактичними даними потреби на опалення в системі з встановленим контролером та без нього за один опалювальний період, та провести аналіз доцільності встановлення контролера.

Матеріал та результати дослідження. Об’єктом дослідження було обрано житлове приміщення, а саме однокімнатну квартиру, загальною площею 48 м^2. Квартира знаходиться в місті Київ та має східно-західну орієнтацію.

Основні характеристики шарів стінової конструкції згідно з [3]:

– внутрішня штукатурка товщиною δ=0,015 м та теплопровідністю λ=0,93 Вт/(м·К);

– цегляна кладка на цементно-піщаному розчині товщиною δ=0,38 м та теплопровідністю λ=0,81 Вт/(м·К);

– утеплювач екструдований пінополістирол товщиною δ=0,1 м та теплопровідністю λ=0,037 Вт/(м·К);

– зовнішня фасадна штукатурка товщиною δ=0,01 м та теплопровідністю λ=0,6 Вт/(м·К).

Система опалення даної квартири, представляє собою індивідуальну систему опалення з двоконтурним газовим котлом (потужністю 24 кВт та ККД 0,9) та встановленим контролером.

Даний контролер дозволяє регулювати роботу котла, а саме режим включення/виключення, в залежності від внутрішньої температури в кімнаті та заданого температурного режиму в контролері. Дана система дозволяє зменшити фактичну потребу на опалення та споживання природного газу за рахунок зменшення кількості (періоду) включення котла, а також дозволяє споживачу контролювати внутрішню температуру в приміщенні та досягати комфортних умов.

Також в даній статті розглядається випадок такої ж системи опалення, для аналогічного об'єкта дослідження, але без контролера. В даній системі регулювання комфортних умов в приміщенні здійснюється споживачем механічно безпосередньо в котлі, а саме регулюванням температури теплоносія в контурі опалення. Режим включення котла здійснюється в звичайному режимі котла, а саме приблизно через кожні 3 хвилини після виключення (коли температура теплоносія зменшилася на задану уставку в котлі).

Згідно з [2] проведемо розрахунок енергетичної потреби на опалення для даної квартири.

Розрахунок проводиться для кожного місяця опалювального періоду.

Енергопотреба на опалення приміщення розраховується за формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \,, \tag{1}$$

де $Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі опалення, Вт·год;
$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі опалення, Вт·год;
$\eta_{H,gn}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень.

Сумарна теплопередача в режимі опалення визначається:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \,, \tag{2}$$

де Q_{tr} – сумарна теплопередача трансмісією, Вт·год;
Q_{ve} – сумарна теплопередача вентиляцією, Вт·год.
Сумарна теплопередача трансмісією визначається:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot \left(\Theta_{int,set,H} - \Theta_e\right) \cdot t \,, \tag{3}$$

де $H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією зони, Вт/К;
$\Theta_{int,set,H}$ – задана температура зони будівлі для опалення, °С;
Θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;
t – тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год.

Загальний коефіцієнт теплопередачі транмісією розраховуємо за формулою:

$$H_{tr,adj} = b_{tr} \cdot \left[\sum(A_i \cdot U_i) + \sum(l_i \cdot \psi_i) + \sum(n_i \cdot x_i)\right] \,, \tag{4}$$

де b_{tr} – поправочний коефіцієнт, приймаємо рівним 1;
A_i – площа і-го елемента оболонки приміщення, м^2;
U_i – приведений коефіцієнт теплопередачі і-го елемента оболонки будівлі, Вт/(м^2·К), що

становить $U_i = 1/R_{\sum \text{пр}i}$;

$R_{\sum \text{пр}i}$ – приведений опір теплопередачі і-го елемента оболонки будівлі, м^2·К /Вт.

Розраховуємо трансмісійні витрати за формулою (3) для кожного місяця та заносимо результати до таблиці 1.

Розрахунок сумарної теплопередачі вентиляцією.

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot \left(\Theta_{int,set,H,z} - \Theta_e\right) \cdot t, \quad (5)$$

де $H_{ve,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$\Theta_{int,set,H,z}$ – задана температура зони будівлі для опалення °С; θе – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

t – тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год.

Знаходження загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,nm}\right), \quad (6)$$

де $\rho_a \cdot c_a$ – теплоємність повітря одиниці об'єму, дорівнює 0,33 Вт·год/(м^3·К);

$q_{ve,k,nm}$ – усереднена а часом витрата повітря від k-го елемента, м^3/год;

$b_{ve,k}$ – температурний поправочний коефіцієнт для k-го елемента повітряного потоку, приймаємо рівним 1.

Усереднену за часом витрату повітря k-го елемента повітряного потоку $q_{ve,k,nm}$, м3/год, розраховують за формулою:

$$q_{ve,k,nm} = n_{inf,mn} \cdot V, \quad (7)$$

де $n_{inf,mn}$ – кратність повітрообміну (приймаємо 0,7 год$^{-1}$, оскільки кратність повітрообміну забезпечується за рахунок природньої вентиляції);

V – кондиціонований об'єм зони /будівлі, м^3.

Розраховуємо вентиляційні витрати за формулою (5) для кожного місяця та заносимо результати до таблиці 1.

Таблиця 1 – Сумарні трансмісійні та вентиляційні тепловтрати приміщення.

Місяць	θе, °С	t, год	θint,set,H, °С	Htr,adj, Вт/К	Hve,adj, Вт/К	Qtr, кВт·год	Qve, кВт·год
жовтень	8,1	372	20	33,54	29,94	148,48	132,53
листопад	1,9	720				437,10	390,15
грудень	-2,5	744				561,46	501,16
січень	-4,7	744				616,36	550,16
лютий	-3,6	672				531,92	474,79
березень	1	744				474,12	423,20
					∑	2769,44	2471,97

Отже, загальні тепловтрати для опалювального періоду складають 5241,41 кВт·год.

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі, що розглядається, Qint, Вт·год, для визначеного місяця розраховують за формулою:

$$Q_{int} = \left(\sum \Phi_{int,mn,k} \cdot A_f\right) \cdot t, \quad (8)$$

де $\Phi_{int,mn,k}$ - усереднений за часом тепловий потік від k-го внутрішнього джерела, Вт/м, визначається згідно [2] таблиці 6;

A_f – кондиціонована площа зони будівлі, м2;

t – тривалість періоду використання, виражена у годинах на місяць.

Сонячні теплонадходження визначаються за формулою:

$$Q_{sol} = \left(\sum \Phi_{sol,mn,k}\right) \cdot t, \quad (9)$$

де $\Phi_{sol,mn,k}$ – усереднений за часом тепловий потік від k-го джерела сонячного випромінювання, Вт, включає в себе тепловий потік світлопрозорих (вікна) та непрозорих (стіни) елементів будівлі;

t – тривалість місяця, що розглядається, виражена у годинах.

Розраховуємо внутрішні та сонячні теплонадходження відповідно за формулами (8), (9) та заносимо результати до таблиці 2 та таблиці 3 відповідно.

Таблиця 2 – Сумарні внутрішні теплонадходження

Місяць	t, год	A, м^2	Фint, Вт/м	Qint, кВт·год
жовтень	372	48	3,91	69,88
листопад	720			135,24
грудень	744			139,75
січень	744			139,75
лютий	672			126,23
березень	744			139,75
			∑	750,6

Таблиця 3 – Сумарні сонячні теплонадходження

Місяць	Isol, м^2, сх	Isol, м^2, зх	Asol, Вт/м^2 вік.	Asol, Вт/м^2 ст.	Фsol, Вт/м вік.	Фsol, Вт/м ст.	Qsol, кВт·год
жовтень	38	37	0,45	0,03	37,26	9,06	17,23
листопад	17	17			16,89	1,81	13,46
грудень	14	15			14,41	0,92	11,40
січень	21	22			21,36	3,40	18,42
лютий	36	38			36,76	8,88	30,68
березень	58	61			59,12	16,85	56,52
						∑	147,72

Отже, загальні теплонадходження для опалювального періоду складають 898,3 кВт·год.

Розраховуємо енергопотребу на опалення для нормативних умов за формулою (1) :

$$Q_{H,nd} = 5241{,}41 - 0{,}2 \cdot 898{,}3 = 5061{,}75 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для приведення фактичного споживання природного газу до нормативних умов, необхідно скористатися наступними формулами:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{факт}} \cdot k_{\text{пр}}, \quad (10)$$

$$k_{\text{пр}} = \frac{\text{ГД}^{\text{норм}}}{\text{ГД}^{\text{факт}}} = \frac{t_{\text{вн}}^{\text{норм}} - t_{\text{с.м.}}^{\text{норм}}}{t_{\text{вн}}^{\text{факт}} - t_{\text{с.м.}}^{\text{факт}}}, \quad (11)$$

де $Q_{\text{факт}}$ – фактичне теплоспоживання для потреб опалення будівлі, кВт·год;

$ГД^{норм}$, $ГД^{факт}$ – нормативна та фактична кількість градусо-діб опалювального періоду.

Приведення теплоспоживання до нормативних умов полягає у використанні при розрахунку фактичної кількості ГД ОП не нормативної, а фактичної температури всередині приміщень та зовнішнього повітря.

Проведемо розрахунки приведення фактичної енергопотреби на опалення приміщення в системі з контролером та без нього за формулами (10), (11), та занесемо розрахунки до таблиці 4. Нормативні внутрішню та зовнішню середньомісячні температури визначаємо згідно [4]. Фактичні середньомісячні температури для опалювального періоду 2017/2018 рік визначаємо згідно [5].

Таблиця 4 – Приведена до нормативних умов фактична енергопотреба приміщення

Місяць	$ГД^{норм}$	$ГД^{факт}$	Система з контролером			Система без контролера		
			$W_{газу}$, $м^3$	$Q_{газу}$, кВт·год	$Q_{пр}$, кВт·год	$W_{газу}$, $м^3$	$Q_{газу}$, кВт·год	$Q_{пр}$, кВт·год
жовтень	11,9	14	68	540,60	459,38	93	739,35	628,27
листопад	18,1	19,1	122	969,90	918,86	167	1327,65	1257,79
грудень	22,5	20,5	140	1113,00	1221,24	208	1653,60	1814,42
січень	24,7	24,4	169	1343,55	1359,69	216	1717,20	1737,83
лютий	23,6	25,9	168	1335,60	1216,65	228	1812,59	1651,17
березень	19	24,1	129	1025,55	808,30	171	1359,45	1071,47
				∑	5985,63		∑	8160,94

Як видно з розрахунків система з контролером забезпечує менше споживання природного газу та зменшує енергопотребу на опалення приміщення до рівня розрахункової енергетичної потреби на опалення. На рис. 1 показано наскільки відрізняється фактична енергопотреба від розрахункової в системі опалення з контролером та без нього.

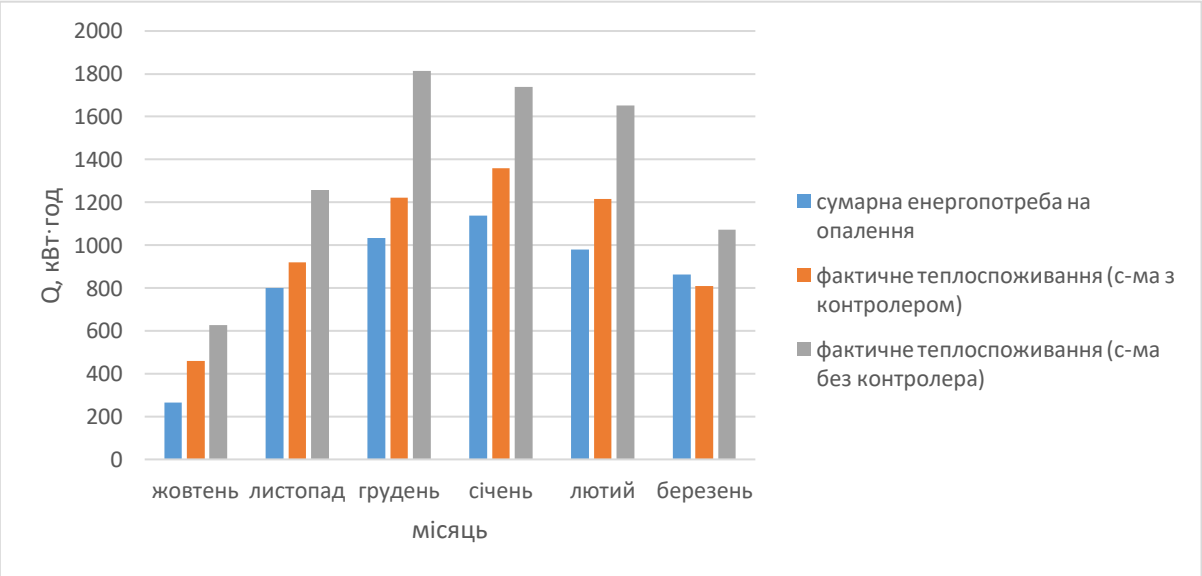


Рисунок 1 – Порівняння помісячного значення теплоспоживання з розрахунковим значенням потреби на опалення.

Висновки.

За результатами дослідження, було визначено енергетичну потребу на опалення для житлового приміщення площею 48 м^2 згідно [2], яка складає 5077,88 кВт·год. Значну частину потреби складають сумарні тепловтрати трансмісією та вентиляцією. Для зменшення останнього можна встановити рекуператор, який дозволить зменшити тепловтрати через природну вентиляцію та дозволить підтримувати комфортні умови мікроклімату, такі як вологість та температуру в приміщені. Також, було приведено фактичне значення енергопотреби на опалення до комфортних нормативних значень згідно [4].

Дані розрахунки показали, що теплоспоживання в системі з контролером на 26% нижче ніж в системі опалення без нього та є наближеним до розрахункового значення енергопотреби. Це пояснюється тим, що система без контролера працює в звичайному режимі ручного регулювання забезпечення умов комфортності та має часте включення роботи котла, а саме запуск котла здійснюється через приблизно кожні 3 хв після виключення, що зумовлює більше споживання природного газу та підвищує фактичну енергопотребу на опалення приміщення. Тому, за результатами дослідження, встановлення контролера в індивідуальну систему опалення є доцільним.

Список використаних джерел.

1. Horvat I., Dovic D. Dynamic modeling approach for determining buildings technical system energy performance. Energy Convers Manage – 2016.
2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні - К.: Мінрегіонбуд, 2015. – 137 с.
3. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель - К.: Мінрегіонбуд, 2014. – 48 с.
4. ДСТУ-Н Б В.1.1– 27:2010 Будівельна кліматологія - К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 132 с.
5. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.rp5.ua/

УДК 697.9(075.8)

Гаврилюк Д.С.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

Підвищення рівня енергоефективності Технічного ліцею НТУУ «КПІ» за рахунок використання рекуперації повітря.
Improvement of the level of energy efficiency of the Technical Lyceum NTUU "KPI" due to the use of air recuperation.

Анотація: В роботі розглянута вентиляція приміщень Технічного ліцею НТУУ «КПІ», яка здійснюється природним шляхом через вентилюючі отвори, що не забезпечує достатньої кількості свіжого повітря в класах. Нами запропоновано поновити роботу активної вентиляції, для якої використати автономні рекуператори для класів, які очищують та підігрівають приточне повітря за рахунок утилізації теплоти з витяжного повітря. Для вибору яких було проведено аналіз існуючих конструкцій та зроблена класифікація та вибрано оптимальні моделі рекуператорів для забезпечення стану комфорту в приміщеннях учбових класів.

Abstract: The paper considers the ventilation of the premises of the Technical Lyceum NTUU "KPI", which is carried out naturally through ventilation openings that does not provide sufficient fresh air in the classes. We have proposed to renew the work of active ventilation, for which to use autonomous recuperators for classes that clean and heat the supply air through the utilization of heat from the exhaust air. For the choice of which the analysis of existing structures was carried out and the classification was made, optimal models of the recuperators were chosen to ensure the comfort of the premises in the classrooms.

Ключові слова: *енергозбереження, рекуператор, вентиляція, повітрообмін, комфортні умови, вміст двоокису вуглецю.*
Keywords: *energy saving, recuperator, ventilation, air exchange, comfortable conditions, carbon dioxide content.*

Вступ

Одним з основних показників комфортності приміщень є склад і чистота – якість повітря. Якість повітря в приміщенні залежить від багатьох складових та в першу чергу від якості зовнішнього повітря, а також від наявності в приміщенні джерел забруднень; кількістю людей, які одночасно знаходяться в приміщенні; способу і конструкції системи вентиляції і кондиціювання повітря, способів управління і надійності експлуатації цих систем і т. п. Забруднюючі речовини можуть потрапляти в приміщення разом із зовнішнім припливним повітрям, від продуктів життєдіяльності людей, джерел забруднюючих речовин в приміщенні - меблів, килимів, будівельних і декоративних матеріалів. Основним показником, що до кількості повітрообміну, який регламентується нормативними документами [1, 2, 3], є наявність в повітрі двоокису вуглецю та інтегральний показник якого показує рівень забруднення повітря токсинами, що виділяються людиною при диханні. Основним джерелом поповнення CO_2 в приміщенні є людина, оскільки ми видихаємо від 18 до 25 літрів цього газу на годину, який потрібно постійно чи періодично видаляти з приміщення. За спостереженнями в навчальних закладах та офісних приміщеннях вміст двоокису вуглецю може перевищувати рекомендовані норми ДБН [2, 3] більше ніж вдвічі, вміст

інших ароматичних сполук підсилюють відчуття дискомфорту, знижують уважність та працездатність у людей що працюють та навчаються.

В школах навчальні класи – є основними робочими приміщеннями, в яких учитель і учні проводять по 5…6 годин на день. Для більшості шкіл повітрообмін здійснюється за рахунок природної витяжної вентиляції або провітрювання, зображеного на рисунку.

Природна вентиляція, яка дозволяє повністю змінити повітря в приміщенні, нажаль, не здійснюється в повній мірі із-за значних втрат теплоти та можливих переохолоджень приміщень, що сприяють простуді учнів.

На даний час використовуються методики для визначення мінімально необхідного повітрообміну, достатнього для забезпечення в приміщенні допустимої якості повітря та зменшення теплових втрат за рахунок рекуперації, очищенню та підігріву повітря в сучасних загальних та незалежних системах вентиляції.

Мета та завдання

Метою роботи є аналіз існуючих рекуперативних повітряних систем для невеликих приміщень, з подальшим вибором кращої конструкції та конструктивного рішення по її впровадженню для системи вентиляції окремих класів ліцею. В завдання крім розгляду поновлення активної вентиляції повітря входило рішення с точки зору енергозбереження.

Матеріал та результати досліджень

Опис об'єкту дослідження

Технічний ліцей НТУУ «КПІ»

- Будівля ліцею побудована 1959 року. Має 4 поверхи з горищем та підвалом.
- Загальна площа забудови 5632,4м^2. Загальна опалювальна площа 4024м^2.
- Площа засклення 768,86 м^2 , що складає 13,65% від загальної площі огороджуючої конструкції.

Вентиляція приміщень ліцею здійснюється природним шляхом через вентилюючі отвори, що не забезпечує необхідну кількість свіжого повітря в класах. Нами запропоновано поновити роботу активної вентиляції, для якої запропоновано використати автономні рекуператори для класів, для вибору яких було проведено аналіз існуючих конструкцій та зроблена класифікація та вибір оптимальної моделі.

Рекуператор повітря побутовий являє собою ніщо інше, як теплообмінник, в якому повітря, що виходить з приміщення, віддає більшу частину свого тепла повітрю, що входить з вулиці - він його підігріває, попереджаючи таким чином охолодження приміщення (рисунок 1).

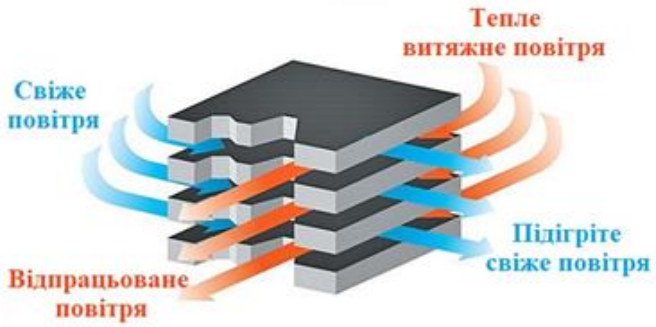


Рисунок 1 - Схема повітряного рекуператора.

Класифікацію рекуператорів можливо розглянути за наступними параметрами:

1. За типом розміщення рекуператора

Усередині стіни. Це означає, що прилад цілком «утоплений» всередині отвору, пробуреного за допомогою інструментів для алмазного буріння. З обох сторін отворів нічого не виступає. Із зовнішнього боку розміщена зовнішня решітка (ковпак). З внутрішньої - декоративна решітка і панель управління (Рисунок 2 *а*).

Всередині приміщення, на стіні, що межує з вулицею. Рекуператор в корпусі встановлюється на стіну усередині приміщення. Із зовнішнього боку розміщена зовнішня решітка (ковпак) (Рисунок 2 *б*).

Зовні приміщення. Рекуператор в корпусі розміщується на стіні зовні, з внутрішньої частини стіни видно декоративну решітку, що закриває повітропровід і панель управління (Рисунок 2 *с*).

Рисунок 2 - Схеми розташування рекуператорів.

2. За кількістю вентиляторів

Моделі з одним вентилятором працюють на приплив і витяжку поперемінно. Для ефективної вентиляції встановлюється 2 і більше приладів, які налаштовуються на роботу в протифазі, тобто один витягає, інший втягує повітря.

Моделі, оснащені двома вентиляторами, одночасно здійснюють і приплив і витяжку повітря.

3. За наявністю підігріву

Рекуператори з системою додаткового підігріву мають електричний нагрівач, який гріє сам рекуператор, тим самим запобігаючи його обмерзання і збільшує нижній

температурний діапазон застосування приладу. Догрів впливає на температуру повітря, що подається, збільшуючи її на кілька градусів.

4. Рекуператори з функцією клімат-контролю здатні нагрівати повітря в приміщенні до температури, заданої користувачем.

Таблиця 1

Назва рекуператора	Усередині стіни	Всередині приміщення	Зовні приміщення	Один вентилятор	Два вентилятора	Без підігрівання	Із підігріванням	З клімат-контролем
Прана-150	+				+		+ (опция)	
УВРК-50М	+			+		+		
УВРК-50К			+	+		+		
ТвінФреш С-60	+			+		+		
ТвінФреш РА-50	+			+		+		
ТвінФреш комфо РА-25	+			+		+		
Blizzard Nord		+			+			+
Мікра 150 Е		+			+			+
Мікра 60		+			+	+		
Tempero (всі модифікації)		+			+	+		
Аеровітал		+			+	+		
Mitsubishi Lossnay		+			+		+	
Разом представників в класі:	8	6	1	8	7	+		

5. За класом повітряних фільтрів

Фільтри грубої очистки **:** класи G1, G2, G3, G4 - великий пух, сажа, частки великого пилу, комах, пір'я, великі насіння рослин.

Фільтри тонкої очистки : класи F5, F6, F7, F8, F9 - частинки розміром більше 3 мікрон: середній і дрібний пил, пух, середній і дрібний пилок рослин, спори грибів / цвілі, бактерії

Таблиця 2

Назва рекуператора	Без регулювання вологості	З регулюванням вологості	Фільтру немає	G1	G2	G3	G4	F5	F6	F7
Прана-150	+		+							
УВРК-50М	+					+				
УВРК-50К	+					+				
ТвінФреш С-60	+					+				
ТвінФреш РА-50	+					+				
ТвінФреш комфо РА-25		+				+				
Blizzard Nord		+					+			
Мікра 150 Е	+						+			
Мікра 60	+						+			
Tempero (всі модифікації)	+			+						
Аеровітал		+								+
Mitsubishi Lossnay		+					+			
Разом представників в класі:	8	7	1	1	-	6	4	-	-	1

6. За можливістю регулювати вологість в приміщенні.

Дана класифікація розглянута у вигляді таблиць 1, 2 та 3 за якими обрано моделі (Рисунок 3), які найбільш підходять за своєю високою ефективністю та температурним діапазоном роботи для встановлення в класах ліцею. Крім попередніх показників була врахована вартість, як самого рекуператора так і його встановлення. Слід також враховувати і місця встановлення рекуператорів. Для класів з торцевими стінами більше підходить модель фірми Прана150, яка установлюється в стінах. Для вікон краще використовувати невеликі за розмірами рекуператори фspм ТвінФреш та Reventa (Рисунок 4).

Таблиця 3

Назва рекуператора	Габарити	Товщина стіни	Діаметр повітряпроводу	Діаметр отвору	Температура повітря, що перекачується	Матеріал рекуператора	Ефективність рекуперації
Прана-150	Від 560 мм в довжину	250...470 мм	150 мм	162 мм	-15..+45°С	Мідь	92-94%
УВРК-50М	Телескопічний канал від 450 мм	400..750 мм	210…220 мм	222 мм	-40..+50°С	Спеціальний сплав металу, пластику і вуглеводню	86-96%
УВРК-50К	Телескопічний канал від 450 мм	Любая	150 мм	162 мм	-40..+50°С	Спеціальний сплав металу, пластику і вуглеводню	86-96%
ТвінФреш С-60	Телескопічний канал від 255 мм	255…475 мм	164 мм	172 мм	-20..+50°С	Кераміка	До 91%
ТвінФреш РА-50	Телескопічний канал від 250 мм	255…475 мм	157 мм	162 мм	-20..+50°С	Кераміка	До 91%
ТвінФреш комфо РА-25	Телескопічний канал від300 мм	300…570 мм	107 мм	112 мм	-20..+50°С	Кераміка	До 91%
Blizzard Nord	388*409*196 мм	175…365 мм	2 повітряпроводи по 100 мм	2 * 112 мм	-20..+45 і попередній модуль нагріву (опція)	Алюміній	76%
Мікра 150 Э	580*510*200 мм	От 100 мм	2 повітряпроводи по 125 мм	2 * 132 мм	-25..+50°С	Полістирол	60-80%
Мікра 60	522*395*122 мм	От 100 мм	2 повітряпроводи по 125 мм	2 * 135 мм	-25..+50°С	Алюміній	78%
Tempero	400*257*179 мм	До 400 мм	100 мм	112 мм	-5..+35°С	Пластик	70%
TemperoT	400*257*179 мм	До 400 мм	100 мм	112 мм	-5..+35°С	Пластик	70%
Tempero PH	400*257*179 мм	До 400 мм	100 мм	112 мм	-25..+35°С	Пластик	70%
Аеровітал	467*490*178 мм	От 150 мм	112 мм	122 мм	-25..+40°С	Алюміній	50-73%
Mitsubishi Lossnay	620*265*168 мм	50-300 мм,	2 повітряпроводи по 75 мм	82 мм	-10..+45°С	Вощений рисовий папір, оброблений спецскладом	70-77%

Reventa RV-3-S
21-68 м³/год
70-91%
17-41 дБ
4,76 Вт
6140 грн/шт

Прана 150
105 м³/год
83%
26-40 дБ
7-32 Вт
5950 грн/шт

ТвінФреш С-60
35-58 м³/год
88%
24-29 дБ
2,8-4,8 Вт
5970 грн/шт

Рисунок 3 - Обрані моделі повітряних рекуператорів.

Висновки

1. Автономні повітряні рекупераційні теплообмінники дозволяють незалежно для окремого класу здійснювати оновлення повітря. Оновлене повітря попередньо очищується та підігрівається в холодні періоди року та охолоджується в спекотні дні.

2. За проведеними розрахунками рекуператори дозволяють зменшити втрати теплоти уникаючи провітрювання (див. рисунок у Вступі) та зменшити інфільтрацією повітря в тричі за рахунок вирівнювання тиску в приміщенні з вулицею. Даний захід дозволяє зберегти більше 20% теплової енергії, яке витрачається на опалення.

Рисунок 4 - Встановлення рекурераторів в класах школи.

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 кондиціювання. –[Чинний від 2014-01-01]– К.: Мінрегіон, 2013. – 141 с. – (Національний стандарт України)

3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. 145 с.

УДК 621.313.12

Вовчук Д. І.
Кафедра електромеханічного енергоємних виробництв

Розробка та обґрунтування параметрів системи діагностування синхронного генератора на базі двигуна внутрішнього згоряння

В статті розглянуто обґрунтування діагностичних параметрівсинхронного генератора на базі двигуна внутрішнього з встановленням їх інформативності.Проведено дослідження впливу зафіксованих дефектів частоти обертання валу ротора генератора, магнітного потоку при пошкоджені конденсатора збуджені та зміні індуктивності обмоток ротора, при їх зношенні на створену генератором напругу, при всіх можливих варіаціях з встановленням коефіцієнту відхилення напруги від номінальної.

Ключові слова: Синхронний генератор на базі двигуна внутрішнього, дефекти, напруга, система діагностування, параметри.

Вступ.На сьогодні перспективним напрямком в області енергоємних виробництв є встановлення та дотримання належної якості електричної енергії.

Належної уваги придають обладнанням, що застосовуються як резервне джерело живлення, у разі довготривалої відмови електропостачання для груп електроприймачів. Широкого використання набули синхронні генератори на базі двигуна внутрішнього згоряння, які призначенні для забезпечення електричною енергією споживачів які відносяться до першої категорії, для яких перерва в живлення не припустима, що призводить до зношення, подальшого виходу з ладу та порушення виробничого процесу, браку продукції [1].

Досліджувані показники якості енергії автономного генераторарегламентуються згідно ГОСТ 13109-97 “Нормыкачествазлектрическойэнергии в системах электроснабжениязбщегоназначения” для яких характерно наступні вимоги:

1. Відхилення напруги від номінальної повинно становити не більше 5 %.
2. Допускається несиметрічнісить напруги до 2%.
3. Коефіцієнт спотворенькривої синусоїди напруги: не більше 8 %.
4. Тривалість відсутності напруги: не більше 30 с.
5. Відхилення частоти: ±0,2Гц.

Важливий внесок у діагностування електричних машин та автономних генераторів зробили О.П. Чорний, О.В. Губаревич, А.В. Лагарев, Н.Ф.Котеленец, А. М. Луканін В.Н.Клюев

Мета роботи – Створення розподільної системи діагностування, що створена на базі логічних схем, яка складається з вимірювально-реєструючої апаратури, та представляють собою програмований логічний контролер, аналогово-цифровий перетворювач і датчиків для вимірювання та встановлення дефектів частоти обертання валу генератора, ємності конденсатора збудження,показників відхилення вихідної напруги генератора.

Основні завдання:

1. Обґрунтування та вибір діагностичних параметрів синхронного генератора на базі двигуна внутрішнього згоряння з визначенням можливих станів основних вузлів та ступеня ризику.

2.Створення функціональної схеми системи діагностування синхронного генератора.

3.Визначення показників дефектівгенератора з визначенням коефіцієнту відхилення та прийняття рішення що до стану генератора.

Обґрунтування діагностичних параметрів

При врахуванні кількості всіх деталей, вузлів та комплектуючих складових генератора, встановлена кількість станів та параметрів може бути значно вища.

Згідно поставленої задач прийнято рішення – розробити систему діагностування для основних вузлів генератора, відмова одного з вузлів призводить до відмови усієї системи автономного генератора з мінімізацією діагностичних параметрів [2,3].

Для визначення стану конкретного вузла автономного генератора, визначено ознаки, що сприяють виходу з ладугенератора:

1 – підвищення вібраційного впливу; 2 – падіння частоти обертання; 3 – підвищення деформації; 4 – падіння напруги; 5 – падіння робочих струмів; 6 – підвищення температур; 7 – падіння магнітного потоку; 8 – падіння ізоляції струмоведучих частин; 9 – падіння механічної міцності; 10 – падіння індуктивності.

Згідно наведених ознак на рисунку 1 зображено причинно-наслідкову схему.

Рисунок 1 – Причинно-наслідкова схема взаємозв’язку між станом вузла автономного генератора та його наслідковими ознаками

Показник інформативності *Jxi*, що несе перевірку ознак (діагностичних параметрів) xi , встановлено як різницю показників ентропії перед виявленням ознаки M (S) та ентропією після перевірки даної ознаки M (S / xi), розраховано за формулою:

$$J_{x_i} = M(S) - M(S / x_i) = \log_2 N - \left(\frac{w}{N} \cdot \log_2 \frac{w}{N} + \frac{u}{N} \cdot \log_2 \frac{u}{N} \right),$$

де *w*, *u* – встановлена кількість нулів та одиниць в рядку розглянутої ознаки Xi

Встановлення показника інформативності обумовленка кількісною величиною Zxi, яка пропорційна Jxi, розраховано за формулою:

$$Z_{xi} = w \cdot u,$$

Показники інформативності занесено до таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники інформативності діагностичних параметрів

Ознаки		Встановлений технічний стан							Інформативність	
		S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	J_{xi}	Z_{xi}
1.	X_1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
2.	X_2	1	0	0	0	1	1	1	0,177	12
3.	X_3	1	1	1	1	1	1	1	0	0
4.	X_4	1	1	1	0	0	0	0	0,177	12
5.	X_5	1	1	1	0	0	0	0	0,177	12
6.	X_6	1	1	1	1	1	1	1	0	0
7.	X_7	1	1	0	0	0	0	1	0,177	12
8.	X_8	1	1	1	1	1	1	1	0	0
9.	X_9	1	1	1	1	1	1	1	0	0
10.	X_{10}	1	0	0	0	0	1	1	0,177	12

Згідно розрахованих показників, більшу інформативність несуть наступні параметри: падіння частоти обертання валу, напруга, робочі струмів, зміна показників індуктивності та магнітного потоку.

Віртуальні дослідження.Згідно встановлених параметрів, проведено віртуальні дослідження в оболонці програмування C++ Builder 6, яка відображає роботу створеної системи діагностування, з визначенням можливих дефектів та їх вплив на якість вихідної напруги.

Згідно робіти[4] 3–фазну напругу генератора встановлено за формулою:

$$U = U_{ампл1} \cdot \sin\left(\omega_1 \cdot t + \Omega_1\right);$$

Згідно цієї формули, проведено дослідження в встановленні спотворення кривої синусоїди напруги та коефіцієнту відхилення, від дефекту частоти обертання. Результат дослідження наведено на рисунку 2.

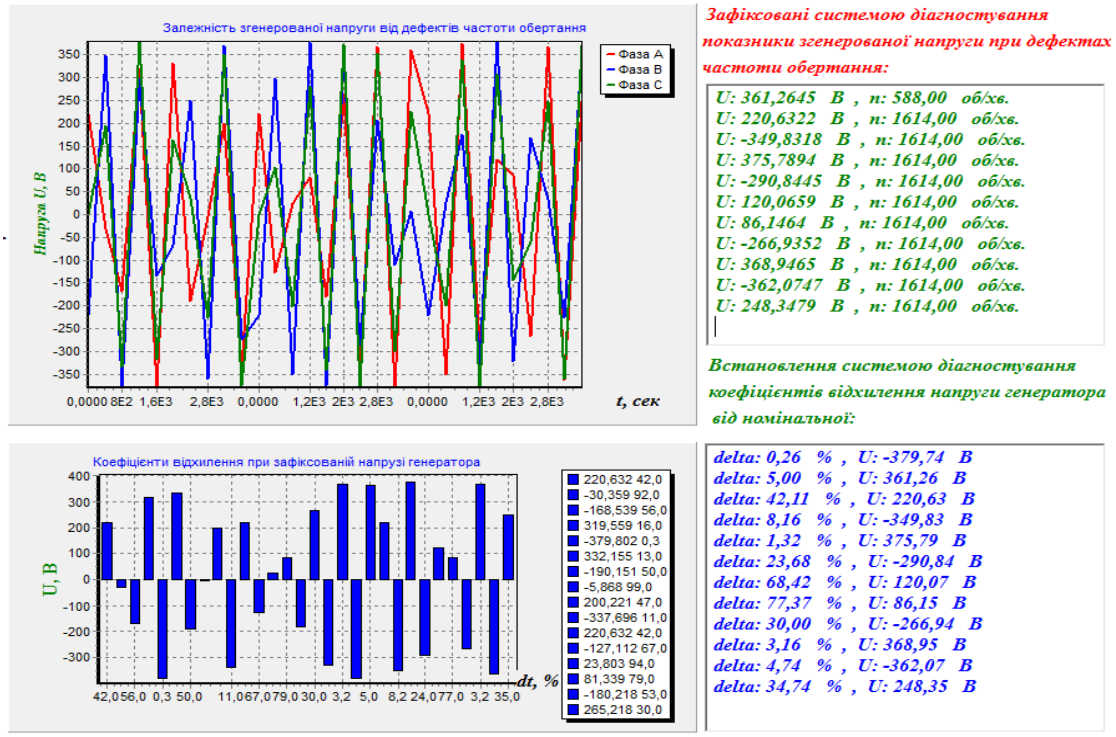


Рисунок 2 – Дослідження спотворення кривої синусоїди та коефіцієнту відхилення напруги від номінальної

Згідно отриманих результатів коефіцієнт відхилення напруги вихідної напруги від дефекту частоти обертання знаходиться в межах 0,26 % - 77,37% на протязі 2800 секунд роботи генератора.

Вихідна напруга створювана генератором залежить від наступних параметрів: частоти обертання ротора (обертання здійснює двигун внутрішнього згорання), струму збудження (постійний струм надходить в обмотку збудження від автономної батареї), магнітний потік, який створюється при обертанні ротора.

Цю залежність виражено рівнянням:

$$U = 4.44 \cdot f \cdot w \cdot k_w \cdot \Phi$$

де k_w = 0.98 – конструктивний коефіцієнт;

Φ – магнітний потік;

w – кількістьвитків в роторі;

В оболонці програмування C++ Builder 6 проведено дослідження залежності напруги спотворення напруги при можливих варіаціях дефектів частоти обертання та змінні магнітного потоку, що обумовлено падінням індуктивності обмоток ротора генератора при їх зношені.

Показники експериментальних досліджень наведено на рисунку 3.

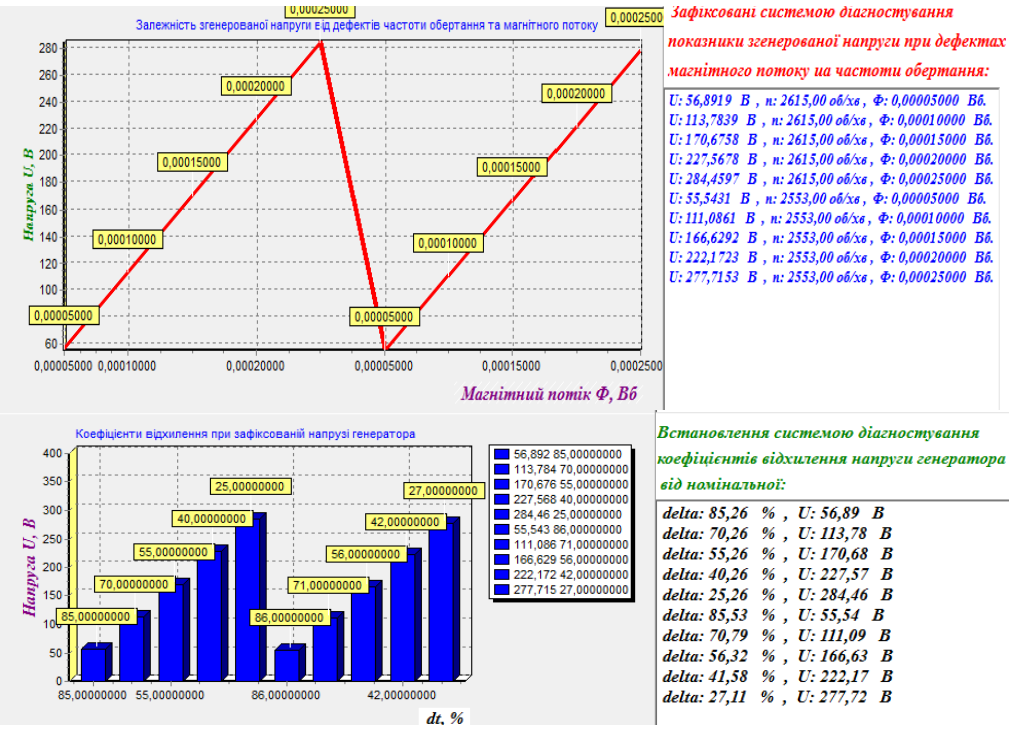


Рисунок 3 – Дослідження показників напруги від дефекту частоти обертання та магнітного потоку

Згідно отриманих результатів коефіцієнт відхилення напруги вихідної напруги від дефекту частоти обертання та падінні магнітного знаходиться в межах 27,1 % - 85,53%.

При появі дефектів конденсатора збудження, який характеризується зміною ємності, вихідна напруга генератора живлення втрачає здатність підтримувати свою сталість, яка падає до 5-9 В, що призводить до появи шкідливих електричних навантажень, що призводить до зношення генератора.

Ємність конденсатора збудження встановлено за формулою:

$$C = \frac{I_з \cdot \cos\varphi}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_{бат.}},$$

Згідно встановленої формули виведено діаграми на рисунку 4, що відображають вплив дефекту конденсатора збудження на показники магнітного потоку створюваним при обертанні ротора та встановлення коефіцієнту відхилення зафіксованої напруги від номінальної.

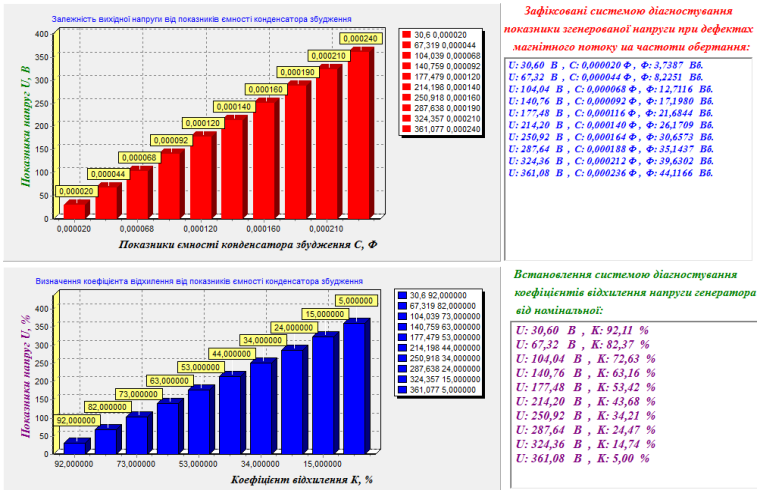


Рисунок 4 – Діаграма залежності вихідної напруги генератора від дефекту конденсатора збудження

Згідно проведеного дослідження пошкодження конденсатора характеризується втратою стабільності сталості вихідної напруги і призводить до її спотворення. Коефіцієнт відхилення знаходиться в межах 5% - 92,11 %.

Висновок

В даній статті обґрунтовано вибір діагностичних параметрівсинхронного генератора на базі двигуна внутрішнього згоряннядля проведення дослідження, з визначеннямступеня інформативності який становить 0.117. Коефіцієнт інформативності показує значущість параметру, що суттєво впливає на роботу генератора та дає можливість визначити дефекти, що спотворюють якість напруги, та призводить до виходу з ладу обладнання.

Проведено експериментальні дослідження в оболонці програмування C++ Builder 6 впливу можливих варіацій дефектів частоти обертання валу ротора, яке виникає при пошкоджені датчика колін валу та системи запалюваннядвигуна внутрішнього згоряння, зміни магнітного потоку при падінні індуктивності обмоток ротора, що зумовлено їх зношенням та пошкодження конденсатора збудження на якість вихідної напруги генератора, з встановленням коефіцієнтів відхилення від номінальної, які знаходяться в межах від 6,5 % - 98,7 % що не задовольняє критеріям якості електричної енергії ГОСТ 13109-97.

Список літератури

1. Рябенко І. С. Конспект лекцій «Електропостачання промислових підприємств» // Київ, НТУУ «КПІ», 2009. – 8 с.

2. Городецький В. Г., Надійність елекмеханічного обладнання / В. Г. Городецький, С. В. Зайченко – Навчальний посібник. НТУУ “КПІ”, 2010 – 96-100 .

3. Сафарбаков А. М. Основы технической диагностики: учебноепособие/ А. М. Сафарбаков, А. В. Лукьянов, С.В. Похомов. – Иркутск:ИрГУПС, 2006. – 216 с.

4. ДороховО. В. Електротехніка в будівництві/ О. В. Дорохов. – Харків: Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ваім. О. М. Бекетова, 2011. – 20 с.

5. Макаров Е. Ф. Обслуговування та ремонт електрообладнання електростанцій і мереж/ Е. Ф. Макаров – М.: Енергія - 2003 - 122 с.

УДК 622.276

Григоренко М.В., студент VI курсу
Кафедра електромеханічного обладнання енергоємних виробництв

ІМПЛОЗІЙНА ДІЯ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Ключові слова: нафтова свердловина, імплозія, привибійна зона, гідроудар.

Нафта й газ є стратегічною сировиною і одним з найважливіших факторів економічної незалежності будь-якої держави. Зменшення фактичних дебітів свердловин пов’язане зі зниженням проникливості породи-колектора. Одним із дієвих методів впливу на гірський масив є застосування пристроїв імплозійної дії, принцип дії більшості з яких ґрунтується на ефекті раптового руйнування спеціальної мембрани від гідростатичного тиску з наступним імпульсним вливанням рідини в депресійну камеру і створення імплозійного гідроудару. Імплозія - це складний фізико-гідродинамічний процес, пов'язаний з миттєвим виконанням деякого, наперед заданого, пустотілого простору рідиною з подальшим миттєвим гальмуванням рухомого її потоку.

Незважаючи на те, що явище імплозії відомо здавна, його тлумачення не має чіткого визначення. Через відсутність теорії і науково обґрунтованої бази ефективність процесу деякими фахівцями ставиться під сумнів, хоча за даними досліджень він може виявитися одним з перспективних.

Відносно низька ефективність застосування методу імплозії пояснюється складністю вибору об'єктів під імплозію. Критерії якості комплексу імплозійної дії на привибійну зону нафтової свердловини характеризуються відношенням показників продуктивності свердловини до і після проведення обробки свердловини та тривалістю ефекту покращених властивостей свердловини.

В роботі було створено пристрій для видобутку нафти і природнього газу шляхом відновлення нафтової свердловини. На підставі проведених досліджень відновлення покладів вуглеводнів та інформації про виснажені родовища і свердловини була запропонована конструкція пристрою для підвищення дебіту свердловини.

Суть роботи пристрою полягає в наступному: насосним агрегатом нагнітається в свердловину робоча рідини, далі попадає в пристрій зведення, в ньому підвищується тиск, при цьому далі відкривається імлозійна камера, рідин вривається в камеру діє на клапан. На пласт створюється деперсійне навантаження при відкритті, а при закритті виникає гідравлічний удар.Далі цикл повторюється.

Висновки: Даний пристрій дозволяє підвищити ефективність обробки привибійної зони свердловини і отримати додатковий видобуток нафти.

УДК 621.313.12

Дацьо Ю. Ю.
Кафедра електромеханічного енергоємних виробництв

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВОДОВІДЛИВУ З ВЛАСТИВОСТЯМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВОДИ В УМОВАХ СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Проаналізовано можливість та доцільність утилізації теплоти шахтних скидних вод метрополітену за допомогою використання енергозберігаючих теплонасосних технологій. Зроблено детальний огляд ринку теплових насосів та оцінка потенціалу шахтного водовідливу з метою його використання. Запропоновано альтернативний спосіб теплозабезпечення станцій метрополітену шляхом використання низькопотенційної теплоти шахтних вод за допомогою теплонасосного встаткування. Розроблено принципову теплову схему теплопостачання гірничовидобувного підприємства з тепловим насосом. Проведено розрахунок доцільності впровадження теплового насоса. Установлено, що впровадження енергозберігаючої технології надасть можливість поліпшити екологічне становище навколишнього середовища шляхом зменшення викидів від спалювання твердого палива та заощадження паливно- енергетичних ресурсів.

The paper presents basic tendencies of heat generating industries development and proves that the use of alternative thermal energy sources as for today is the most preferable direction in reconstruction and thermal modification of existing both industrial and communal thermal energy consumers. It is considered as such as only complex approach based on the complete power audit of all building and engineering buildings and further detailed analysis of possible solutions makes it possible to choose the most economically reasonable variant. The international and domestic thermal pump units markets were considered. The causes of origin of environment pollution by mine upcast water was presented. On the example of foreign mining enterprises the possibility of installation of geothermal pump equipment which uses thermal energy of the minedrainage was proven. The fundamental thermal chart (Fig.1) of mine heat supply was worked out and offered. The possible thermal loading at the use of thermal pump was analysed. Certain features at planning of the thermal pumping unit which uses thermal energy of mine upcast waters were indicated. In the article there was put a question of the complex use of a thermal pump unit and a unit for mine water treating. There was made a conclusion in relation to development directions of such alternative thermal energy source as mine water. Moreover, there was suggested use of thermal pump in a warm period of year as an airconditioning equipment for the administrative mine buildings.

Ключові слова – шахтний водовідлив, тепловий насос, скидні води, енергозбереження, система.

Вступ

Сьогодні, мабуть, буде зайвим приводити докази необхідності реорганізації економіки паливно-енергетичного сектора. Через невпинне подорожчання природних непоновлюваних паливно-енергетичних ресурсів з кожним днем стає усе гострішим питання про те, звідки брати енергію для вироблення теплоти та електрики. Одним з перспективних і найбільш вигідних рішень могла б стати популяризація використання атомної енергетики, однак, після аварії в Японії слід очікувати більш жорсткої критики

на адресу «мирного атома» і жорсткості вимог до побудови та конструкції реакторів для потреб тепло та електрогенерації. Це суттєво призупинить поширення атомної енергетики, незважаючи на всю обґрунтованість і вигідність такого шляху розвитку.

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Однак існує ще ряд способів, що дозволяють генерувати теплову енергію та, в той же час, скоротити споживання традиційних природних паливних ресурсів. Одним з таких рішень є застосування теплонасосних установок (ТНУ). Спеціалісти з експлуатації теплонасосного обладнання затверджуть, що використання геотермальних ТНУ, та ТНУ за принципом дії «вода -вода» більш економічно виправдане, оскільки температура землі або води має меншу амплітуду коливання, ніж, наприклад, температура зовнішнього повітря. В якості джерела тепла для більшості станцій метрополітену доцільно використовувати шахтну воду, яку відкачують цілодобово та протягом усього року з постійними тепловими параметрами для збереження балансу водних басейнів із діючих шахт

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні можна сміливо стверджувати, що теплонасосні технології набули широкого визнання та поширення. Чітке лідерство у виробництві ТН лишається за Японією, а останнім часом ще й за Китаєм. У Європі найбільший виробник – «IVT Industrial AB» (Швеція), що випускає 20 тис. установок за рік. Відомі такі бренді як «Danfoss», Denso, DAIKIN та Sanyo. Серед Українських виробників відомі завод «РЕФМА» в Мелітополі та Ніжинський завод «Прогрес». Крім того, на ринку України працює кілька дилерских фірм: Аграф-Пром, ТМК Аквадом, Аквaспецстрой, Апогей ГМБХ, В.Д. Е – Україна, Віссман, Еквивес сервіс, Синтек, Техномаш, Хала-Україна, які пропонують продукцію відомих європейських а також азіатських виробників [1].

На сьогодні є безліч прикладів успішної реалізації проектів використання теплової енергії шахтних вод з метою генерації тепла за допомогою ТН. У світі існує багато невеликих за своїм масштабом проектів, у яких тепло води із затоплених шахт використовується для обігріву одного-двох будинків (зокрема, у Німеччині, Франції, Англії) [2].

Наприклад, у Нідерландах, є шахтарське містечко Херлен, у якому, вода із шахти, що простояла затопленою близько тридцяти років, зараз обігріває близько 350 будинків, з яких більш 200 – житлові будинки. У п'ятьох різних місцях району, розташованого над мережею штолень, було пробурено п'ять свердловин глибиною до 700 м. Вода, що наповнює стару шахту на такій глибині, має постійну температуру 32°С й за допомогою насосів викачується наверх. Далі, охолонувши до 28°С у трубопроводах, вона потрапляє до ТН у якості первинного теплоносія.

В Україні застосування ТН ще, на жаль, недостатньо поширене. Відомі такі приклади: теплонасос потужністю 40 кВт обігріває вокзал залізничної станції Південне Залютино в Харківській області та спорткомплекс у м.Охтирка. У м. Судак добудовується система опалення частини міста, яка використовує геотермальну теплову енергію, працює система опалення готелю «Ялта» і кемпінгу «Поляна сказок» в АРК, більш п'яти років за допомогою ТН здійснюється теплопостачання 23-го корпусу Київського політехнічного інституту.

Широкому поширенню ТН установок в Україні перешкоджає відсутність державної підтримки в області енергозбереження, великі капітальні витрати та відсутність достовірних знань у потенційних споживачів низькотемпературного теплоносія.

Якщо звернутися до накопиченого вітчизняного досвіду, то в СРСР технологія утилізації тепла шахтної води із застосуванням теплових насосів уперше була

розроблена й успішно впроваджена МНИИЭКО ПЕК ще в 1988 р. на шахті «Ключевская» ПО «Кизелуголь» (Пермська обл., РФ). Московським заводом «Компрессор» на базі пересувної холодильної установки ПХУ-50 було виготовлено два агрегати, призначені для роботи в режимі ТН. Уже в1990р. ці агрегати були змонтовані в будинку компресорної станції шахти «Ключевская» для охолодження стисненого повітря та утилізації тепла оборотної води. Практичні випробування і успішна експлуатація установок підтвердили економічний ефект від утилізації теплоти шахтних скидних вод і поліпшення екологічної обстановки за рахунок зниження навантаження на котельні в прилеглих районах. При цьому значно покращилися умови охолодження компресорів і температурні режими їх експлуатації, було повністю відключено градирню. Результати вимірів показали, що на 1 кВт-годину витраченої електроенергії на привод теплового насоса було отримано 3,5 кВт-години еквівалентної теплової енергії.

Наступний приклад – шахта «Осинниковская» ВАТ «Кузнецкуголь» (Кемеровська обл., РФ), де в 2001 р. було введено в експлуатацію дослідно-промислову установку з утилізації низькопотенційної теплової енергії шахтних вод.

На початковому етапі в технологічну схему включили один тепловий насос теплопродуктивністю від 110 до 130 кВт (потужність ТН залежить від температури шахтної води). У липні 2001 р. Було проведено пусконалагоджувальні роботи і почато випробування. Робота технологічної схеми утилізації тепла шахтної води дозволяє одержати близько 60 м3 на добу гарячої води з температурою 45°С и повністю покрити потреби гарячого водопостачання адміністративного будинку шахти. Експериментальна експлуатація показала високі техніко-економічні та екологічні показники: зниження собівартості вироблюваної теплової енергії в 2,5 рази в порівнянні з теплом, одержуваним від вугільної шахтної котельні, ліквідація шкідливих викидів в атмосферу, що утворюються при спалюванні вугілля, і відсутність штрафів за ці викиди. Строк окупності склав 2 роки.

Незважаючи на серйозний економічний і екологічний ефект, сьогодні, на жаль, в українській вугільній промисловості існує ТНУ лише на одній з шахт ПАТ «ДТЭК Павлоградуголь». Однак потенційна можливість використання дешевого тепла шахтних вод, необхідність проведення досліджень у цьому напрямку і розробки сучасних технологій уже розглядаються на державному рівні. Так, проектом державної програми «Українське вугілля» на 2010-2015 рр. одним зі способів підвищення економічної ефективності роботи підприємств вугільної профмисловості передбачене впровадження на шахтах теплових насосів з використанням геотермальної енергії шахтних вод (розділ «Підвищення ефективності використання енергоресурсів»).

Матеріал і результати досліджень

Зазвичай питома витрата тепла для теплопостачання метрополітену коливається від 4,7 до 8,6 МВт на рік. Таким чином, процесс забезпечення теплом гірського підприємства безупинно розвивається в процесі освоєння пласту. Розподіл теплоносія по видах теплового навантаження здійснюється приблизно в наступних межах: на опалення 9÷35%; на вентиляцію 33÷84%; на гаряче водопостачання (ГВП) 7÷32%.

Виходячи з цих даних розроблена схема включення ТН за допомогою бака-акумулятора до системи шахтного водовідливу з метою відводу теплоти від шахтних скидних вод, рис.1.

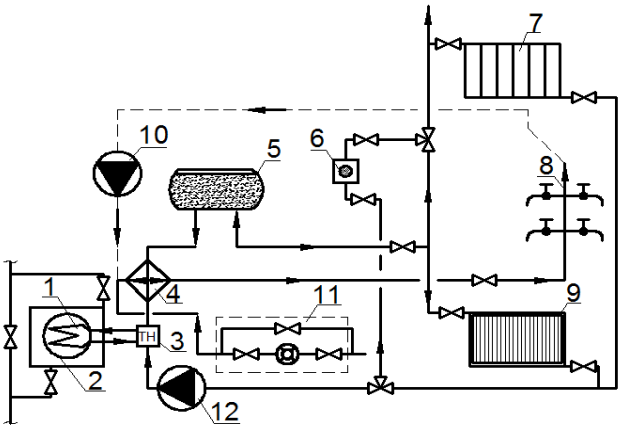


Рис. 1 Схема теплопостачання гірничодобувного підприємства із ТН. 1 – прийомний випарник ТН; 2 – бак-акумулятор шахтної води; 3 – ТН; 4 – теплообмінник; 5 – бак-акумулятор гарячої води; 6 – піковий теплогенератор; 7 – система опалення; 8 – система ГВП; 9 – калориферні установки і теплові завіси; 10 – циркуляційний насос системи ГВП; 11 – вузол вводу госпитного водопроводу.

Шахтна вода, що відкачується на поверхню, надходить до підключеного у байпасний спосіб бака акумулятора шахтної води, де встановлений прийомний теплообмінний контур ТН із первинним теплоносієм, що кипить при температурі шахтної води. Із ТН підігрітий вторинний теплоносій надходить до теплообмінника, де підігріває холодну воду на потреби ГВП. Оскільки теплове навантаження змінюється залежно від температури зовнішнього повітря, а витрата води із шахти залишається практично постійною, установлений бак запасу гарячої води, який дозволяє акумулювати теплоносій, що надходить на потреби ГВП і вентиляції (у тому числі калориферних установок). У якості резервного джерела теплоти може використовуватися котельне встаткування, що залишається після модернізації.

За відомою методикою, заснованою на спільному рішенні рівнянь теплового балансу установки і рівняння теплопередачі, проведені розрахунково-аналітичні дослідження теплового потенціалу шахтної води і аналіз можливого заміщення теплового навантаження шахтної котельної установки. При цьому прийнято, що в ТН використовується теплота шахтної води при її охолодженні від 12 до 7°С і витраті 65,3 кг/с (за самих несприятливих умов). Далі, в Таблиці 1, показано можливе покриття теплового навантаження для шахти з виробництвом вугілля 1,5 млн тонн на рік.

Таблиця 1

Аналіз теплового потенціалу шахтної води

Вид теплового навантаження	Частка в загальному навантаженні	Видобуток шахти, млн. тонн на рік	Теплове навантаження, МВт	Можлива потужність ТН, МВт
Опалення	0,25	1,5	2,5	-
Вентиляція	0,65		6,5	0,4
ГВП	0,1		1,0	1,0
Разом	1		10,0	1,4

У цілому впровадження проектів теплопостачання за рахунок використання теплоти шахтних вод допомагає досягти: підвищення безаварійності в зимових умовах за рахунок одержання додаткового тепла; запобігання зупинки вентилятора головного провітрювання, простоїв шахти та зниження обсягів видобутку вугілля; зниження витрат на реконструкцію котельні; одержання екологічно чистої теплової енергії; зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище; значного зниження вартості теплової енергії; економії паливно-енергетичних ресурсів; можливості повністю зупинити шахтну котельню в літню пору з вивільненням обслуговуючого персоналу [3].

Однак варто помітити, що впровадження таких проектів доцільно тільки при невеликій відстані від шахтного водовідливу до споживача тепла, оскільки при збільшенні довжини теплотраси будуть збільшуватися тепловтрати і без того низкопотенційного джерела теплової енергії. Дотепер в Україні розробкою теплонасосних станцій для опалення і гарячого водопостачання за рахунок утилізації тепла шахтних вод займалася інжинірингова компанія ТОВ «Клімат Комфорт». Організація з 2005 р. вела розробку проекту використання тепла скидних вод для забезпечення побутових потреб шахтарів на одній із шахт Донецької області. За словами директора компанії, проект повністю готовий, пройшов усі експертизи, однак через відсутність подальшого фінансування так і залишився тільки на папері [6]. Розв'язанням проблеми фінансування таких проектів може стати впровадження технологій з можливістю поетапного фінансування і поступового нарощування теплопродуктивності всієї станції утилізації.

Висновок

Для повної реконструкції котелень із уведенням в експлуатацію сучасних теплогенераторів часто не вистачає коштів, крім того, одержання теплової енергії шляхом спалювання твердого палива завдає відчутної шкоди навколишньому середовищу. Тому зовсім очевидно, що впровадження ТН, які будуть використовувати теплоту шахтних вод безумовно вигідно: вирішується питання не тільки з якісним теплопостачанням, але й з кондиціюванням громадських приміщень у літній період (це питання не було розглянуто і, за умови проведення подальших досліджень, очевидно, що економія за рахунок використання автономного теплопостачання буде говорити на користь ТН), стабілізується виробничий процес за рахунок рівномірної подачі теплоти на виробничі потреби, а також поліпшується екологічна ситуація в регіоні за рахунок скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу. Можливо застосування шахтних вод як джерела холоду в централізованих системах кондиціювання і вентиляції адміністративно-побутових приміщень теплий період року. У результаті істотного скорочення обсягу твердого палива, що спалюється на опалення метрополітену, відповідно знизяться викиди таких основних забруднюючих речовин, як оксиди азоту (NOx), оксид вуглецю (CO), низка важких металів, що виносяться разом із твердими частками та інших забруднювачів, що позитивно вплине на стан навколишнього середовища. Крім високої енергетичної ефективності та екологічної безпеки, сучасні теплові насоси мають такий рівень конструктивної міцності, що забезпечує довговічність і надійність ТНУ навіть в умовах агресивного середовища шахтних вод.

Література

1. Сліпець І. Ринок теплових насосів в Україні та світі [Текст] /І.В. Сліпець // Світогляд. – 2008. - №4. – с.50-51.

2. Галимова Л.В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы [Текст]: учебн. Пособие / Л.В. Галимова; Астрахан. гос. тех. ун-т.– Астрахань: Изд-во АГТУ, 1997. – 226с. –Библиогр.: с. 125.

3. Фомина О. Шахтные воды могут стать недорогим источником тепловой енергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.uaenergy.com.ua/.

4. В.В. Кульченко, Ю.Н. Резников, В.И. Полтавец, О.А. Улицкий. Использование шахтных вод для технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения. Збірка доповідей науково-практичної конференції. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://masters.donntu.edu.ua/2003/ fgtu/voznesenskaya/ library/dok4.htm

5. Россінський Р.М. Підземні води ліквідованих вугільних шахт. Властивості й вплив на навколишнє середовище, перспективи очистки підземних вод [Текст] /Р.М. Россінський, В.М. Россінський // Вісн. донб. нац. акад. будів. та арх. – Макіївка, 2005. – Вип. 2(50). – С.46-49.

6. Мацевитый Ю. Внедрение теплонасосных технологий. [Текст] / Ю.М. Мацевитый, Н.Б. Чиркин // Экотехнологии и ресурсозбережение. – 2008. - №3. – С.4-10.

УДК 622.673.1

Квіщук А. В.
Кафедра електромеханічного енергоємних виробництв

Обґрунтування параметрів машини для сухого збагачення корисних копалин

У статті представлено новий підхід зменшення втрат цінного компоненту при збагаченні шляхом використання скребкового конвеєру.З метою модернізації конструкції скребкового конвеєра шляхом зміни кута скребка до напрямку руху гірничої маси.

Отримана залежність закономірності руху матеріалу, дозволяє впевнитись у правильності цієї модернізації, що також підтверджується дослідом.

Запропонована модернізація дає можливість поєднати в одному пристрої дві можливості: збагачення та транспортування..

Ключові слова: *скребковий конвеєр, скребок, жолоб, коефіцієнт міцності, кут нахилу скребка.*

The paper presents a new approach to reduction of losses of valuable component in the enrichment by use of scraper conveyor. With the aim of modernising the design of the scraper conveyor by changing the angle of the scraper to the direction of movement of the rock mass.

The dependence patterns in the movement of material allows to verify the correctness of this upgrade, which is also confirmed by experiment.

The proposed upgrade provides the opportunity to combine in one device two options: enrichment and transport..

Key words: *scraper conveyor, scraper, gutter, strength ratio, the angle of inclination of the scraper.*

Вступ

В останні роки спостерігається тенденція зниження якості добуваємого вугілля за рахунок збільшення зольності і ступеня подрібнення гірничої маси, тому реалізація ефективних методів сухого збагачення дрібних класів вугілля в умовах шахт є особливо актуальна. Вугілля є одним із найважливіших видів паливно-енергетичної сировини. Частка вугілля у світовому енергетичному балансі складає близько 25 %. Для задоволення потреб економіки Україна щорічно використовує близько 100 млн т вугілля, з яких майже 80 млн т видобувається вітчизняними підприємствами Донецького, Дніпровського і Львівсько-Волинського вугільних басейнів.

Вуглезбагачення – крупна підгалузь вугільної промисловості. Зі зростанням видобутку безперервно збільшується абсолютна маса вугілля, що направляється на збагачення, сортування і брикетування.Процеси збагачення вугілля полягають у розділенні гірничої маси на основі відмінностей у властивостях її складових (густини, змочуваності, крупності, твердості та ін.) Збагачення – це ряд послідовних дій, за допомогою яких відбувається відділення корисних компонентів від домішок.

Мета роботи

Встановлення закономірностей режимів руху скребкового конвеєра для зменшення втрат цінного компоненту при запропонованому новому способі сегрегації гірничої маси, яка відбувається за рахунок виключення взаємодії кусків цінного компоненту.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Серед методів сухого збагачення гірничої маси, яка складається з компонентів,що мають різні коефіцієнти тертя, слід відзначити запропонований метод сухого збагачення шляхом використання скребкового конвеєру. Стрічковий конвеєр замінено на скребковий, скребки якого поставлені під кутом наближеним куту тертя цінного компоненту до напряму руху гірничої маси, скребки розділяють куски гірничої маси по довжині конвеєру і відділяють цінний компонент від породи по ширині конвеєра за рахунок різниці коефіцієнтів тертя породи і цінного компоненту по поверхні скребка.Моделювання конструкції полягає в тому, щоб зменшити втрати цінного компоненту при збагаченні шляхом використання скребкового конвеєру.

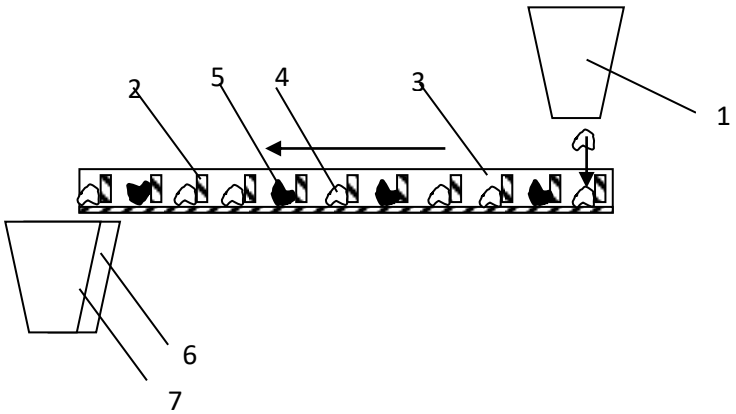


Рисунок 1- Спосібсегрегаціїгірничоїмаси.

1 – завантажувальний бункер гірничоїмаси; 2 - скребок; 3 – риштакскребковогоконвеєра; 4 - куски цінного компоненту;5 – куски породи; 6, 7 – розвантажувальнібункерицінного компоненту і породи.

Гірничумасуподають в завантажувальний бункер гірничоїмаси 1, з якого вона поступаєпокусково нариштак скребкового конвеєра 3 між скребками 2. Скребок розташованопід кутом α , якийнаближений до кута тертяцінногоматеріалу по скребку 2. В наслідокперевищення сил реакції $fmg \cdot \sin\alpha$ відвзаємодіїкусківцінного компоненту 4 і кусків породи 5 з скребком 3 над силами тертя $fmg \cdot \cos\alpha \cdot f$ за умови $f \le tg\alpha$ відбуваєтьсярухкусків з меншимзначеннямкоефіцієнтатертя f відносноскребків 3. Розділеніпошириніриштака куски породи 5 і цінного компоненту 4 при розвантаженніпотрапляють в розвантажувальнібункерицінного компоненту і породи (рис. 1).

Спосіб сегрегації гірничої маси, що містить завантажувальний бункер і розвантажувальні бункери цінного компоненту і породи, який відрізняється тим, що транспортування ведуть скребковим конвеєром, скребки якого поставлені під кутом наближеним куту тертя цінного компоненту до напряму руху гірничої маси.

Виклад основного матеріалу.

Під дією різних сил, цінний матеріал рухається по жолобу за допомогою скребків(рис.2).

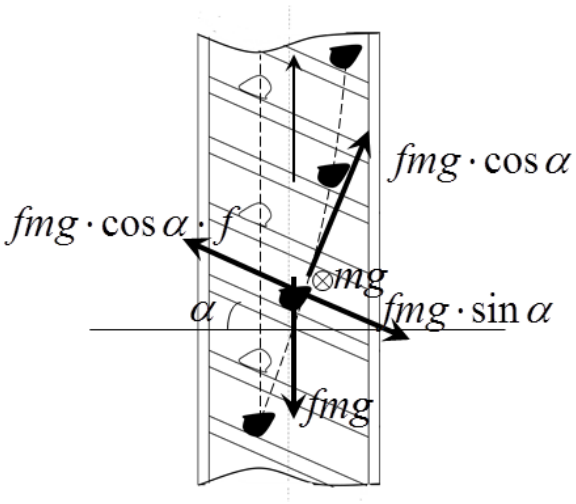


Рисунок 2- Схема дії сил

Тіло під дією сили тяжіння діє на жолоб спричиняючи виникненню сили ваги $F = mg$. Опір, який виникає внаслідок переміщення даного тіла по поверхні іншого, під дією зовнішніх сил, спричиняє виникненню сили тертя. В даному випадку скребок розташований під кутом нахилу α , якийнаближений до кута тертяцінногоматеріалу по скребку, тому виникають: сила тертя відносно скребка $F_{тр.\text{скр.}} = mgf\cos\alpha$ та сила тертя відносно жолоба $F_{тр.\text{ж.}} = mgf$. Також на тіло діє сила реакції опоки $N = fmg\cos\alpha$. Оскільки, діє декілька сил, то результуюча сила – рівнодійна сила – знаходиться за правилом додавання векторів. Для двох сил це – правило паралелограма $R = F_{тр.ж.} + N$ і тоді модуль рівнодіючої сили знаходиться за теоремою косинусів:

$$R = \sqrt{F^2_{тр.ж.} + N^2 - 2F_{тр.ж.}N\cos\alpha} =$$
$$\sqrt{(mgf)^2 + (fmg\cos\alpha)^2 - 2mgf \cdot fmg\cos\alpha\cos\alpha}$$

Як правило повинна виконуватись така нерівність:

$$F_{тр.ж.} \le R$$

$$f \cdot fmg\cos\alpha \le \sqrt{(mgf)^2 + (fmg\cos\alpha)^2 - 2mgf \cdot fmg\cos^2\alpha}$$

$$f^2\cos\alpha \le \sqrt{f^2 + f^2\cos^2\alpha - 2f^2\cos^2\alpha}$$

$$f^2\cos\alpha \le \sqrt{f^2 - f^2\cos^2\alpha}$$

$$f^2\cos\alpha \le \sqrt{f^2(1-\cos^2\alpha)}$$

$$f^2\cos\alpha \le \sqrt{f^2\sin^2\alpha}$$

$$(f^2\cos\alpha)^2 \le f^2\sin^2\alpha$$

$$f^2 \le \frac{\sin^2\alpha}{\cos^2\alpha}$$

$$f \le tg\alpha$$

$$\alpha \ge arctgf$$

На рис.3 видно як змінюється кут α від коефіцієнту міцності f, тобто як шматки цінного компоненту і породи буде зміщуватись, коли скребок повернутий на кут α. Також на рисунку відділено три області: у першій – ніякого руху відбуватись не буде, у другій – буде відбуватись рух цінного компоненту, оскільки $f_в \langle f_п$, у третій – відбуватиметься рух двох шматків матеріалу.

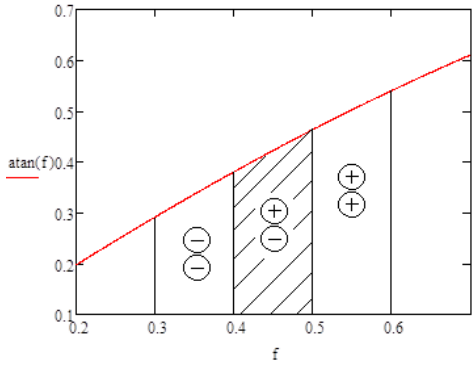


Рисунок 3- Графік руху цінного компоненту(вугілля) та породи

За методикою, описаною вище було визначено кут повороту скребка для збагачення залізної руди.

Коефіцієнт тертя залізної руди f = 0.42.

$$\alpha = arctg\ f$$

$$\alpha = 22°$$

Де α – кут повороту скребка.

На рис.4 видно як змінюється кут α від коефіцієнту міцності f, тобто як шматки залізної руди і породи будуть зміщуватись, коли скребок повернутий на кут α. Також на рисунку відділено три області: у першій – ніякого руху відбуватись не буде, у другій – буде відбуватись рух залізної руди, оскільки $f_{зр} < f_п$, у третій – відбуватиметься рух двох шматків матеріалу.

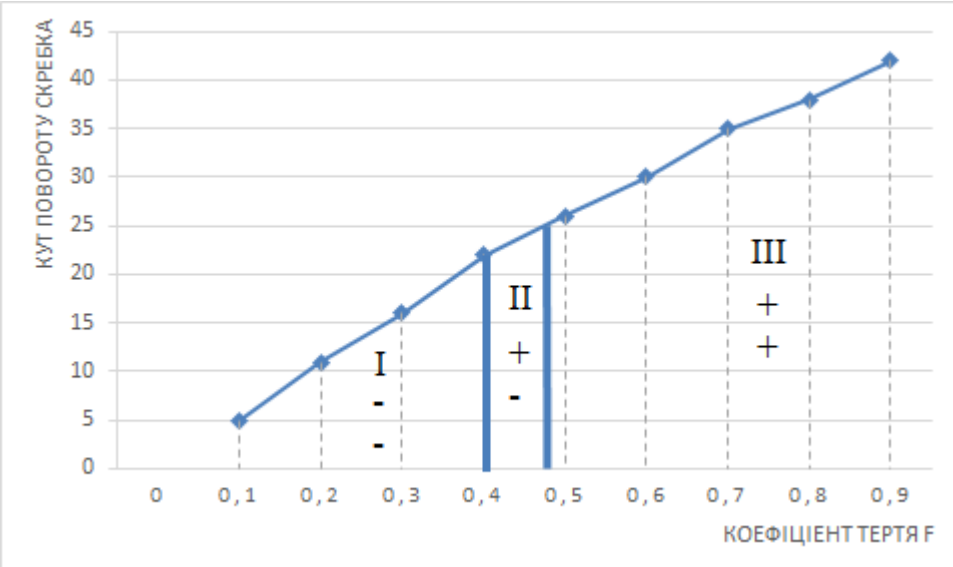


Рисунок 4 - Графік руху залізної руди та породи

У порівнянні з графіком руху вугілля можна сказати, що II зона графіка руху залізної руди зменшилася. Для того щоб відбувалось збагачення залізної руди при транспортуванні її скребковим конвеєром, необхідно встановити скребки під кутом 22° - 25°.

Література

1. Смирнов В. О. Технологія збагачення вугілля / В. О. Смирнов, П. В. Сергєєв, В. С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2011. – 476 с.
2. Смирнов В. О. ПЕРЕРОБКА І ЯКІСТЬ КОРИСНИХ КОПАЛИН / В. О. Смирнов, В. С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2005. – 324 с.
3. Збагачення вугілля [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Збагачення_вугілля.
4. Що таке збагачення вугілля і як воно робиться [Електронний ресурс] – Режим доступу :polynet.com.ua/shho-take-zbagachennya-vugillya-i-yak-vono-robitsya.html.
5. Якименко Ю.І. Науковий журнал Енергетика /С.В. Зайченко, С.П.Шевчук, В.В. Вапнічна – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 – 64 с.

УДК 621.313.12

Мельничук М.В.
Кафедра електромеханічного енергоємних виробництв

ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ ПІСКОСТУМИННОЇ ПЕРФОРАЦІЇ ОБСАДНОЇ КОЛОНИ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Ключові слова: ефект Юткіна, гідропіскоструминна перфорація, електричний розряд, відновлення свердловин

Актуальною проблемою в розвитку економіки країни є видобуток нафти і відновлення нафтогазових свердловин. На даний моментне достатньо повно проводяться дослідженняв напрямку застосування електрогідравлічних технологій підвищення дебіту нафтових свердловин.

Одним із способів підвищення дебіту нафтових свердловин є повторна перфорація обсадної колони в при вибійній зоні.

На підставі результатів публікацій та проведених досліджень природного процесу відновлення покладів вуглеводнів та інформації про виснажені родовища і свердловини була запропонована нова технологія відновлення свердловин, за рахунок додаткових пострілів піскоструминним перфоратором в обсадній колоні та в нафтовому продуктивному пласті, яка базується на електрогідравлічному ефекті Юткіна.

Суть цієї технології полягає в тому що при збільшені тиску рідини в дифузорі перфоратора підвищується вплив потоку рідини з частинками абразиву на перфорацію обсадноїколони і , таким чином,. досягається більша ефективність піскоструминного пристрою.При високовольтному електричному розряді в рідкому середовищі утворюєтьсястовбур плазми і, як наслідок, потужний локальний гідроудар в рідині, що діє в місці проведення гідроабразивної перфорації на обмеженій ділянці обсадної колони.

Цей ефект досягається за допомогоюустановки з накопиченням заряду конденсатора від джерела живлення високої напруги, а потім, при досягненнінапруги пробою розрядника, який знаходиться в зоні перфорації, генерується швидкий розряд конденсатора за короткий проміжок часу в рідині, що призводить до значного підвищення тиску і сприяє перфорації обсадної колони в привибійній зоні свердловини.

Висновки: Запропонована технологія з застосуванням електрогідравлічного перфораторадозволяєзначно збільшитиск частинок абразиву на обсадну колону і зменшити енергоємність та підвищитиефективність піскоструминної перфорації обсадної колони.

УДК 622.232

Руденко В. Ю.
Кафедра електромеханічного енергоємних виробництв

Розробка та обґрунтування параметрів ротору прохідницького щита на дільниці Київського метрополітену

В статті розглянуто обґрунтування діагностичних параметрів прямокутного та косокутного різання, та знаходження залежності від куту нахилу косокутного ножа при взаємодії з ґрунтом.

Ключові слова: Прохідницький щит, ротор, косокутне різання, косокутний ніж.

Вступ.Для поліпшення використання техніки в будівельному, дорожньому машинобудуванні необхідне створення високопродуктивних машин для комплексної механізації основних робіт на всіх стадіях будівництва. Економічно вигідним способом удосконалення землерийних машин є створення робочих органів, що дозволяє підвищити продуктивність самої машини при даній потужності й порівняно низькими додатковими капітальними витратами.

Дослідження процесу різання ґрунтів, вивчення робочого процесу землерийних машин, аналіз досвіду їх застосування й проектування показують, що при достатній міцності й надійності робочих органів, однією з основних умов раціональності варто вважати можливо малу енергоємність різання порід. Одним з способів зниження енергоємності процесу є використання принципу косокутного різання.

Мета роботи – створення системи косокутних ножів на роторі прохідницького щита.

Основні завдання:

1. З'ясування фізичний особливостей процесу різання ґрунтів, що пояснює косокутне різання.

2. Аналітичний опис знайдених закономірностей.**Обґрунтування діагностичних параметрів**

Так як до числа першорядних параметрів різальної частини прохідницьких машин відносять кут різання. Для умов різання встановлено, що великий вплив на сили різання мають знос й затуплення різального інструменту, а також визначені закономірності зміни додаткових сил різання, які необхідно прикладати до затуплених і зношених ножів. Так як за результатами дослідів в умовах прямокутного блокованого різання досліджуваних ґрунтів підтверджують тенденцію дотичної *P*сили збільшуватися швидше товщини зрізу при зростанні останньої. Така особливість залежності *P(h)* в області докритичних величин глибини різання спостерігається лише для вузьких ножів. Чим ширше ніж, тим менш прискорений ріст сили різання й залежність *P(h)*ближче до лінійної. Що стосується залежності *P(h)* умовах косокутного різання, то вона також характеризується прискорено зростаючою функцією вузьких ножів і лінійної для широких . При зрізанні породи косокутним ножем весь ґрунт , що відокремився від масиву, деформуєтьсяпластично. Зі збільшенням товщини зрізу до критичної величини (h_{kp}) зона пластично деформованого грунту зменшується й відповідно зменшується енергоємність процесу.

Аналогічний характер має зміна залежності при прямокутному й косокутному різанні ґрунтів у межах докритичної глибини різання, що дає можливість пропускати при будь-якому різанні вона описується функцією типу $P = C_1h^2 + C_1h^2$. Перший член характеризує силу для подолання опору ґрунту руйнуванню в бокових розширеннях прорізі, другий – силу подолання її опору лобової грані й зрізу боковими ребрами ножа.

У випадку аналітичних міркувань різниці між прямокутним і косокутним різанням немає, різниця лише в просторовому встановленні ножів, тому проводимо експериментальне дослідження.

Експериментальні дослідження.

Експериментальні дослідження були виконані за допомогою спеціального трикомпонентричний динамометричний стенд для лабораторних і польових досліджень процесу різання ґрунтів й їхніх моделей. Рис. 1

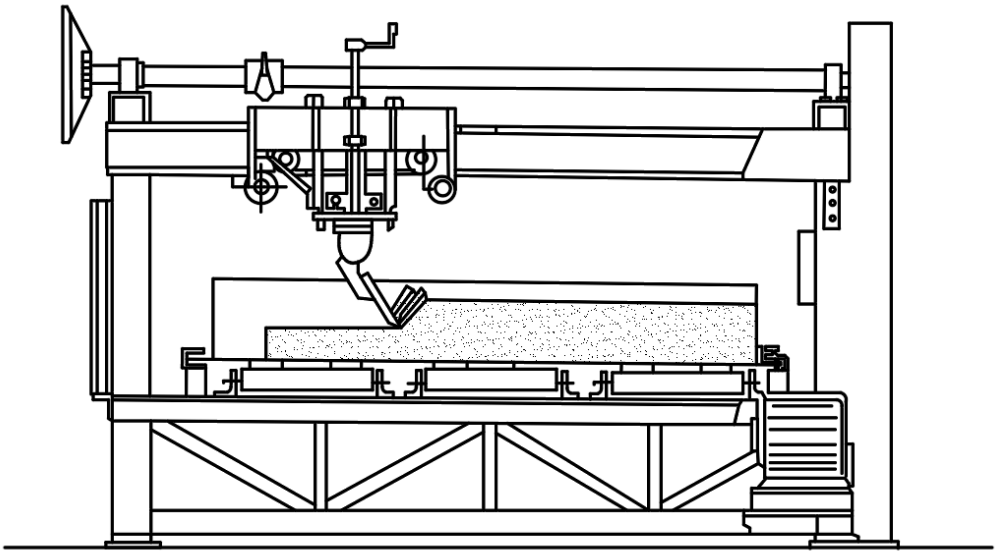


Рис. 1 Лабораторний динамометричний стенд

Конструктивні параметри даного стенда дозволяють різати грунт на глибину до 20 см на відстань до 250 см, а також що саме головне це змінювати кут різання й повороту самих ножів у межах від 10 до 90° , з кроком в 10°. Також в даному стенді є великий вибір ножів що дозволяє перевірити поведінку грунту з різними як по формі так і по товщині ножами. Дані записуються за допомогою осцилографа.

Експерементальні дослідження були проведенні на таких грунтах як спондилова глина, каоліни, лесоподібний суглинок, цщільнений річковий пісок.

Крім названих природніх грунтів для дослідження були використані і штучні грунти, що характеризується досить постійними властивостями. Для моделювання грунтів був використаний парафін, цементно-піщані суміші й суміші з парафіну і річкового піску. Одним з кращих матеріалів для моделювання грунтів з пружнопластичними властивостями є парафін. Крім його сталості фізико-механічних властивостей із часом і при повторному готуванні даний матеріал дає можливість візуально визначити характер деформацій як окремих ділянок так і загальне поширення тріщин в процесі руйнування.

При включенні електродвигуна виконується запис осцилограми й вмикається відлік часу на осцилографі *Рис 2*.

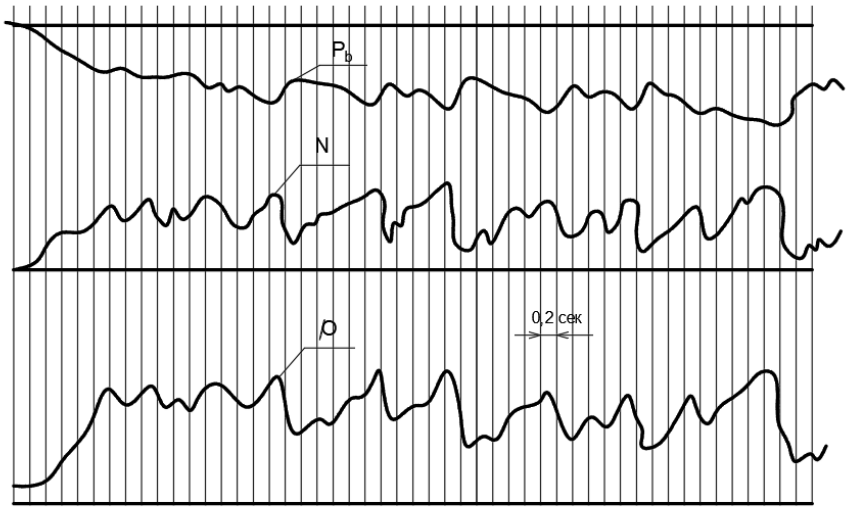


Рис.2 Осцилограми сил різання.

P- дотичні сили
N- нормальні сили
$P_б$- бокові сили

Обробка на осцилографі полягає в тому щоб визначити середнємаксимальні ординати сил різання *P*, *N*, $P_б$й знаходженняїх середніх значень. Потрібне число повторень дослідів для визначення однофакторної залежності визначається рівнянням

$$p * \left\{ |\triangle_x| \leq \frac{z}{\sqrt{n}} W_x \right\} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{\frac{t^2}{2}} dt \qquad (1)$$

Де P* - імовірність виконання нерівності;

$\triangle_x$ – відносне відхилення емпіричного середнього значення випадкової величини *x*від його істинного значення;

N– число вимірів;

W_x- коефіцієнт варіації величини;

z- імовірність влучення середнього значення в заданий довірчий інтервал.

З (1) знаходимо необхідне число вимірів сили при кожному сполученні умов дослідів

$$n \geq \frac{z^2 W_x^2}{\Delta_x^2}$$

де величина zвизначається по таблиці інтеграла імовірності відповідно до загальної імовірності *P** на рис. 3 наведений графік залежності $n(W_p)$при різних значеннях Δ_xй *P**.

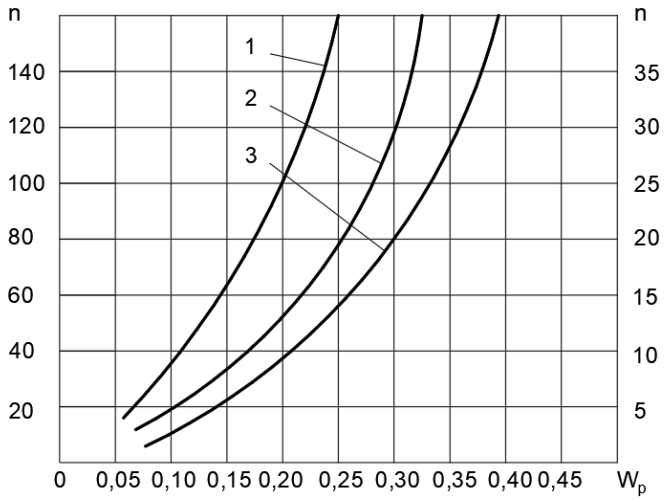


Рис. 3. Графік для визначення необхідного числа вимірів сили різання при заданій точності і надійності результатів досліду

У процесі різання досліджуваних ґрунтів ножами з різним кутом $\gamma_{пл}$повороту в плані встановлено, що елементи стружки формуються щодо різання кромки ножа й повернені на кут $\gamma_{пл}$ щодо перпендикуляра до напрямку руху ножа.

При косокутному різанні елементи стружки щодо задньої бокової частини ножа повернені на певний кут α_x. Результати виміру даних кутів для деяких режимів блокованого різання представленні в таблиці 1.

b, мм	h, мм	δ	$\gamma_{пл}$	Розрахункові значення кута α	α_x	
					розрахункові значення	експерементальні значення
70	20	30°	0°	90°	0°	0°
			$22^\circ30'$	$70^\circ30'$	$19^\circ30'$	$17^\circ40'$
			45°	52°	38°	$36^\circ20'$
			$67^\circ30'$	37°	53°	51°
		50°	0°	90°	0°	0°
			$22^\circ30'$	76°	14°	$15^\circ30'$
			45°	63°	27°	24°
			$67^\circ30'$	54°	36°	37°

Відповідно до розрахункової схеми кут між передньою боковою гранню ножа і його різальною дорівнює$\alpha = \arccos(\cos\delta sin\gamma_{пл})$ за умови, що елемент стружки переміщується перпендикулярно різальній кромці ножа, кут між напрямком переміщення його елементів стружки й передньо-бокової грані ножа може становить$\alpha_x = 90^\circ - \alpha$.

Висновок

В даній статті проведений експерементальний спосіб дослідження процесу різання грунтів косокутним ножем , що є логічним розвитком комплексу наукових досліджень в області різання порід.

Встановлено, що при різанні порід косокутним ножем сила різання залежить від кута повороту ножа в плані і описується кривою з областю мінімуму. Зі збільшенням кута в діапазоні його значень від 0° до 45° енергоємність різання знижується на 20-30% в залежності від конкретних умов, що в свою чергу свідчить про ефективність косокутного різання у порівнянні з прямокутним. На основі виявлених закономірностей визначені оптимальні параметри косокутних ножів кут змінюється від 30° до 40°, а кут повороту в плані – від 30° до 45°.

Список літератури

1. Смірнов В. М. Основи теорії різання грунтів просторово орієнтованими ножами землерийних машин / К.: «МП Леся», 2009 – 260 с.

2. Шатов И. В. Иследованиенайвыгоднейшого угла захвата при косом перемещении грунтов:дис. … канд. тех. наук.: 05.05.04. – М.: ЦНИИМЭ 1954.-280с.

3. Станевский В.П. Совершенствование рабочего процесса землеройных машин. – К.: Вища школа, 1984. 128с.

4. Рыпуло В. И. Влияние угла резания на процесс разрушения грунтов//Горн., строит. и дор. машины: Респ. Межвед. Научно-техн. сб. – К.: Техніка, 1974. – Вип. 18. С. 21-24.

УДК 620.197.5

Степаненко В. В.
Кафедра електромеханічного обладнання енергоємних виробництв

Обґрунтування параметрів адаптивної системи катодного захисту трубопроводу із живленням від автономної сонячної електростанції

В статті розглянуто основні чинники, що впливають на процес електрохімічного захисту трубопроводу. Розглянуто можливість створення адаптивної системи катодного захисту трубопроводу, що змінює свої параметри в залежності від вологості та солоності ґрунту з метою економії заряду акумуляторів автономної сонячної електростанції.

Justificationoftheparametersoftheadaptivesystemofcathodicprotectionofthepipelinewithpowerfromtheautonomoussolarpowerplant

The article deals with the main factors influencing the process of electrochemical protection of the pipeline. The possibility of creating an adaptive system of cathodic protection of the pipeline, which changes its parameters depending on the humidity and soil salinity, is considered in order to save battery of the autonomous solar power plant.

Ключові слова: система катодного захисту, автономне джерело живлення, сонячна електростанція, адаптивна система.

Вступ.З кожним днем потреби людства в енергії невпинно зростають, тому виникає необхідність збільшувати кількість підприємств, що видобувають енергетичну сировину - нафту та газ. Це в свою чергу викликає додаткові потреби в трубопроводах, по яких сировина переміщується до споживача. Оскільки трубопровід є дуже вразливим до корозії, то його необхідно захищати.Одним із засобів захисту трубопроводу є активний катодний захист - джерело постійного струму, що підключене між трубопроводом та анодним заземленням. В деяких випадках це джерело можна живити від ліній електропередач, але в місцях із рідкою системою електропостачання виникає необхідність встановлювати додаткові проміжні системи автономного електропостачання на базі сонячних чи вітрових електростанцій. Так як ємність акумуляторних батарей, що входять до складу автономного джерела живлення, є обмеженою, то необхідно створити таку систему катодного захисту, яка буде адаптуватися до умов зовнішнього середовища та регулювати витрату електроенергії у випадку зміни провідності ґрунту.

Мета: створити підґрунтя для подальших дослідженьпараметрів адаптивної системи катодного захисту трубопроводу.

Задачі: визначити основні чинники, що впливають на електропровідність ґрунту.

Аналіз факторів впливу на електропровідність ґрунтів

Величина електропровідності залежить від великого комплексу факторів, таких як вологість, щільність, температура, хіміко-мінералогічний склад, механічний склад, структура ґрунту, і особливо від характеру і властивостей ґрунтового розчину.

Електропровідність залежить від структури та розмірів частинок в ґрунті [1]. Електропровідність різних типів ґрунтів подана у таблиці 1 [2].

Таблиця 1

Електропровідність різних типів ґрунтів

Грунти	Питомий опір, Ом*м		
	Мінімальний	Середній	Максимальний
Шлаки, засолені грунти, пустинні грунти	0,59	2,37	7,0
Глина, глинисті сланці, мулисті, суглинок	0,34	4,06	16,0
Глина,глинисті сланці, мулисті, суглинок з піском та гравієм	1,02	15,8	135,0
Гравій, пісок, каміння з невеликою кількістю глини або суглинку	59,0	94,0	458

Як бачимо, електропровідність суттєво залежить від структури ґрунту.

Електропровідність також в значній мірі залежить від температури. З підвищенням температури питомий електричний опір ґрунтів зменшується, і як наслідок – електропровідність підвищується. Наприклад, електричний опір порід при збільшені температури на 40-50 градусів, зменшується більше ніж в 2 рази. З пониженням температури ґрунту і утворенням льоду в його порах електричний опір різко збільшується, що дає в результати низьку електропровідність ґрунту, при даних умовах [1]. Відомо, що електропровідність ґрунту має оптимальне значення, коли вологість є в нормі. Наприклад, пісок має низьку електропровідність, адже дуже погано утримує вологу і промерзає взимку, а глина має помірну вологість і відповідно високу електропровідність. Графік залежності складно структурованого ґрунту, з різним вмістом піску та глини, наведено на рисунку 1 [3]. При зволоженні піску вода розподіляється по піщинках і утворюється бінарна система зі зволожених і сухих піщинок. Якщо кількість зволожених піщинок менша деякого значення, що відповідає порогу протікання, то можна говорити про його електролітичну непровідність. За підрахунками цей поріг становить 24%. Подальше збільшення вологи призводить до стрімкого зростання провідності за рахунок зростання каналів провідності. Це зростання відбувається до тих пір поки всі піщинки не стануть зволоженими. Це відповідає переходу до пологої частини кривої для піску (рисунок 1).

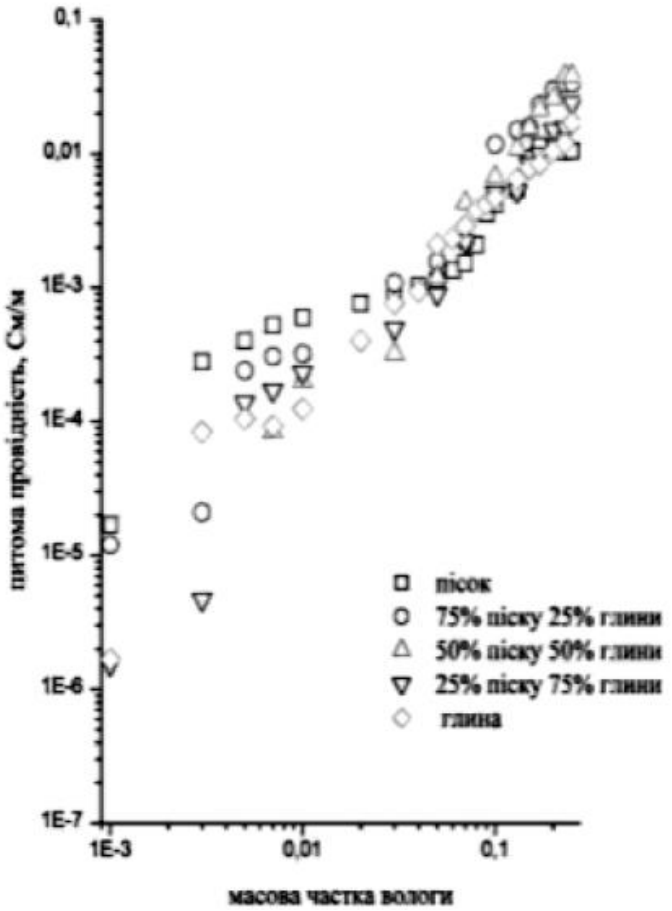


Рисунок 1 - Залежність електропровідності ґрунту від масової частки вологи

Подальше зростання провідності відбувається повільніше за рахунок розширення каналів провідності, оскільки тепер збільшується лише товщина плівки води на піщинках [3]. У роботі [4], наведено спосіб вимірювання електропровідності ґрунту, на основі відібраних ґрунтовихзразків. Проте недоліком описаного в роботі [4] способу є те що вимірювання проводиться в лабораторнихумовах. Тобто, відбувається відбір ґрунтових проб і на основі певних лабораторних маніпуляцій вимірюєтьсяїх електропровідність, без врахування їх вологості та температури в природних умовах.

Висновки

Отже, найбільш впливовими факторами, що змінюють електропровідністьґрунту є вологість та температура. Отримані дані будуть використані для формування математичної моделі адаптивної системи катодного захисту трубопроводу.

Список літератури

5. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физикапочв.- Наука,1967.-584 с.
6. Режим доступу: http://www.ecoinstrument.com.ua/2009-10-12-16-19-36/76-service-irrigl .
7. Хосе МануельРесіоЕспехо. Агроекологічне тестування гірських порід в умовах стаціонарурекультивації / МануельРесіоЕспехо Хосе, Мартінес Камеро Антоніо, дель Піно ГрасіаЙессіка, М.М.Харитонов, М.Г. Бабенко // Вісник Дніпропетровського аграрного університету.- 2012.- №1. – С.101-105.\
8. Режим доступу : http://www.findpatent.ru/patent/233/2331070.html .

УДК 622.063.23

Шокал Я. І.
Кафедра електромеханічного енергоємних виробництв

Обґрунтування параметрів адаптивного зубця розпушувача

В статті розглянуто обґрунтування параметрів адаптивного зубця розпушувача. Проведено дослідження впливу тиску у газовій камері інструмента на заряд акумулятора.

The article considers the substantiation of the parameters of the adaptive tooth of the rutter. The study of the influence of pressure in the gas chamber of the instrument on the charge of the battery is carried out.

Ключові слова: Адаптивний зубець розпушувач, тиск, заряд акумулятора, параметри, система діагностування.

Вступ. У будівельних роботах одними з найбільш трудомістких є земляні роботи. Найбільшого поширення серед існуючих способів розробки грунтів отримав механічний.

Загальним недоліком механічних способів розробки грунтів при наявності попереднього розпушування є необхідність мати дві машини: одну для розпушування, іншу - для екскавації породи.

Використання, в якості робочих органів будівельних машин, ковшів активної дії дозволять виробляти повну розробку (розпушування і екскавацію) грунту без залучення додаткових засобів механізації, при цьому продуктивність екскаватора істотно зростає, однак при цьому необхідно відзначити, що незважаючи на відносно багаторічний досвід виготовлення ковшів, до теперішнього часу ще не є актуальними використання конструкції ковшів активної дії [1].

Суттєвим недоліком при роботі екскаватора ЕО-3323 є великі енергозатрати через необхідність прикладати велику силу різання до ковша, а отже швидше зношується ковш, а також через великі зусилля швидше зношується і привід ковша екскаватора.

Мета роботи - Проектування ковша із автоматичним ударним зубцем, що відповідає потребам при будівництві потребує мінімального зусилля різання.

Основні завдання:

1. Опис об’єкта дослідження та принцип роботи.
2. Визначення та побудова залежності заряду акумулятора від значення тиску у робочій камері .

Опис об’єкта дослідження.

У даній статті наведений опис досліджень адаптивного зубця розпушувача (рис.1). Наведений об’єкт має наступний принцип дії: при руйнування породи ударник 1 з крайнього лівого положення пересувається вправо по направляючій 4, поршень 3 стискається при цьому збільшується тиск у газовій камері 5, при переході утримуючих клапанів 2 у крайнє вихідне положення відчувається удар по породі.

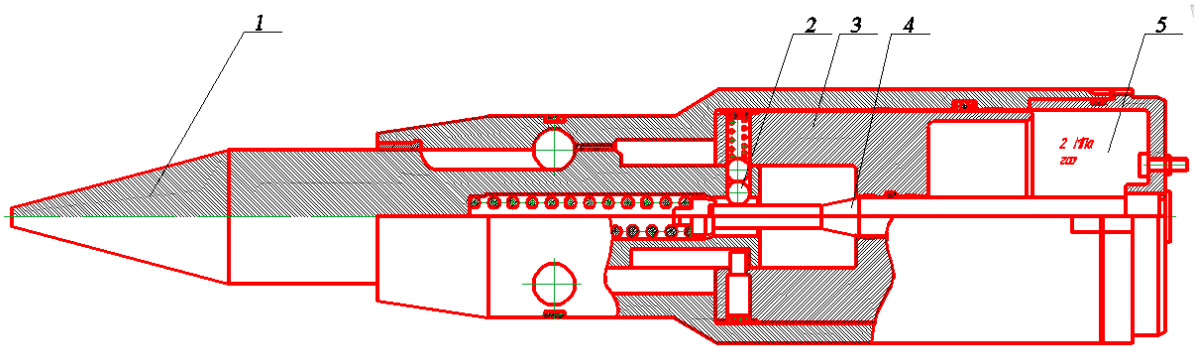


Рисунок 1 – Адаптивний зубець розпушувач

Експериментальні дослідження.

Згідно конструкції об'єкта досліджень в середовищі MathCad проведено розрахунки основних параметрів та побудовано графіки залежностей.

Вхідні дані для розрахунку: $R^{\tau} = 2{,}1$ кН, $l = 0.103$ м, $l_{зв} = 0.06$ м, $n = 1.2$ $V_0 = 0.00019 м^3$.

На основі вище наведених даних тиск в робочій камері зубця дорівнює:

$$P_{am} = \frac{R^{\tau}}{S} = 446 кПа$$

Визначаємо ступінь стиснення газу в акумуляторі:

$$e = \left(\frac{V_0}{V_0 - S \cdot l_{зв}} \right)^n = 2{,}853$$

Визначаємо енергію заряду акумулятора:

$$L_a = \frac{P_a \cdot V_0 \left(e^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right)}{n-1} = 507 \, Дж$$

У результаті вище наведених розрахунків будуємо залежності у середовищі MathCad.

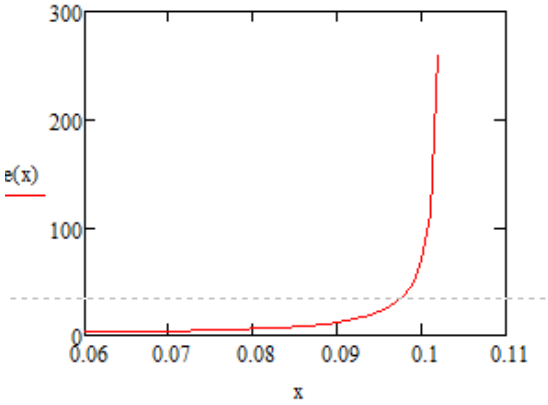


Рисунок 2- Залежність ступеня стиснення газу від положення поршня.

На рис. 3 наведена залежність заряду акумулятора від ступеня стиснення газу в роботі камері зубця.

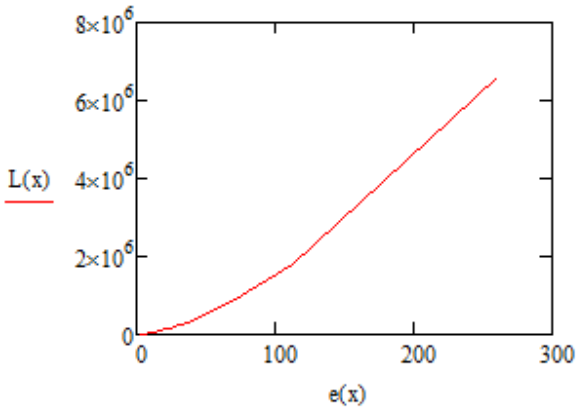


Рисунок 3- Залежність заряду акумулятора від ступеня стиснення газу.

Висновок

В даній статті наведено залежності параметрів адаптивного зубця розпушувача, з визначення ступеня стиснення газу в робочій камері інструмента. Ступінь стиснення газу впливає на силу удару зубця, що у свою чергу впливає на продуктивність об'єкта досліджень.

У результаті досліджень середовищі MathCadвстановлено залежність заряду акумулятора від ступеня стиснення газу та графічно відображено. Залежність показую, що при збільшення ступеня стиснення газу у робочій камері збільшується енергія заряду акумулятора. Тобто зубець адаптується під міцність породи. При збільшені міцності породи збільшується сила удару.

Список літератури

1. Галдин Н. С.Ковши активного действия для экскаваторов: учеб.пособие / Н. С. Галдин, Е. А. Бедрина. - Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 53 с.
2. Недорезов И. А. Оборудование для разработки мерзлых и скальных грунтов. – "Строительство и дорожные машины", 1967, № 2.
3. Дырда Н.П. Теоретические и экспериментальные исследования намерзання грунта на рабочие органы землеройных машин / Н.П. Дырда, Н.Д. Каслин //Вестник Харьковского національного автомобильно-дорожного университета. - 2004. – Вып. 27. – С. 105-107.

УДК 622.276

Щербина Т.В.
Кафедра електромеханічного обладнання енергоємних виробництв

ІМПУЛЬСНИЙ ВПЛИВ З ПОВЕРХНІ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Ключові слова: нафтова свердловина, імплозія, привибійна зона, гідроудар, дебіт, гідророзрив.

Збільшення об'ємів нафти і газу є головною задачею, яка стоїть перед представниками енергетичної галузі як України, так і всього світу. При традиційних методах розробки на природних режимах і з заводненням нафтовіддача знаходиться на рівні 40-50%, а для режимів розчинного газу і газонапірного ще нижче (в сприятливих умовах до 30%). Серед багатьох причин, обумовлюючих малу нафтовіддачу, головними є висока в'язкість нафти в пластових умовах. І тут головною задачею, яка потребує свого суттєвого рішення, стає проблема підвищення продуктивності свердловин. Відомо, що в кожному конкретному випадку процеси, які приводять до зниження продуктивності добувних свердловин, проходять по-своєму, тому і методи і засоби, необхідні для її поновлення і збільшення, досить індивідуальні.

Існують різні методи обробки привибійної зони пласта, які використовують для збільшення її фільтраційних характеристик: термічна і хімічна дія, гідророзрив пласта, паро обробка і таке інше. Використовують для цієї цілі і вібро- або віброударну обробку привибійної зони пласта.

Одним з найефективніших методів покращення фільтраційних характеристик привибійної зони пласта і, відповідно, підвищення дебіту добувних і приймальних можливостей нагнітальних свердловин є метод імплозії. Він досягається за рахунок використання енергії гідравлічного удару свердловинної рідини, що нагнітається.

Принцип дії депресатора полягає в створенні, за допомогою насосного агрегату, в свердловині значного тиску рідини. Тиск, який створюється в свердловині починає впливати на бойок з сідлом. Вони мають три циліндричні ступені. Тиск діє на них і вони починають рухатися вправо. Рух сідла обмежений можливістю стиснення пружини після чого воно зупиняється. Тоді в дію вступають два різних діаметри бойка. Рух бойка продовжується вправо з подальшим різким роз'єднанням сідла і бойка. Після цього сідло повертається в своє початкове положення. При різкому відкритті на пласт створюється дипресійне навантаження, а при закритті виникає прямий гідравлічний удар з поширенням репресійної хвилі високого тиску. Далі цикл повторюється. Даний пристрій працює без зупинки основного виробництва.

Висновки: Даний пристрій дозволяє покращити фільтраційні характеристики привибійної зони пласта і відповідно підвищити дебіт нафтової свердловини.

УДК 504.054:669

Недава Анастасія Сергіївна
Кафедра інженерної екології

ВТОРИННА ПЕРЕРОБКА ШЛАКІВ НА АТ «НІКОПОЛЬСКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»

Визначено сутність технологій вторинної переробки шлаків на АТ «Нікопольський завод феросплавів». Розглянуто основні етапи рециклінгу шлакі, з виокремленням такого ефективного напрямку використання побічного продукту виготовлення феросплавів, як шлакове лиття.

Ключові слова: *шлак, переробка шлаків, феросплавне виробництво.*

The essence of technologies of secondary processing of slags at JSC "Nikopol Ferroalloy Plant" is determined. The main stages of recycling of slag are considered, with the isolation of such an effective direction of the use of a by-product of the manufacture of ferroalloys as slag casting.

Вступ. Комплексне і раціональне використання сировини на всіх стадіях переробки є найважливішим технологічним завданням сучасного виробництва. При цьому техногенні відходи (шлаки) є однією з найбільш значних галузевих проблем. В результаті багаторічної господарської діяльності на територіях металургійних підприємств накопичено багатомільйонні відвали шлаків, обсяг яких продовжує збільшуватися.

Отже, актуальність ефективного рециклінгу феросплавних шлаків з кожним роком зростає. Виснаження запасів руд, поряд з падінням світових цін на феросплави, змушують підприємства шукати шляхи зниження собівартості виробництва. Також важливим є поліпшення екологічної складової, яка пов'язана з комплексною переробкою шлаків. Зокрема, у передових країнах світу спостерігається тенденція до збільшення обсягу використання у виробництві вторинної сировини, отриманої за рахунок ефективної переробки відходів виробництва.

Мета дослідження:

– визначення сутності технологій вторинної переробки шлаків на АТ «Нікопольский завод феросплавів»;

– виокремлення ефективних напрямків використання шлаків феросплавного виробництва.

Результати досліджень. Щорічний вихід шлаків які утворюються в умовах Нікопольського феросплавного заводу, становить 1,2−1,5 млн. т. Загальна схема переробки шлаків на заводі включає [1]:

1) дроблення твердих шлаків з отриманням кускового шлаку різних фракцій і шлакового піску;
2) грануляцію рідких шлаків;
3) витяг з шлаків металовмісних включень;
4) переробку шлаків на шлаколиту продукцію.

Для переробки на щебінь використовуються шлаки від виплавки силікомарганцю. Шлаки з плавильних цехів транспортують в шлакових чашах залізничними коліями на ділянку переробки шлаків. Рідкий шлак зливають в шлакову траншею шарами приблизно по 0,1−0,15 м. Після охолодження на повітрі включають систему гідроорошення (5−10 хв), повторюючи це з інтервалом 10−20 хв упродовж 1,5–2 год до наступного зливання рідкого шлаку. Застиглі

в ковшах кірки шлаку (гарнісажу) вивантажують у спеціально відведене місце для подальшої переробки [2].

Шлакова траншея умовно розділена на три технологічних ділянки: дві з них призначені для почергового зливу рідкого шлаку і формування шлакового «пирога», охолодження та подачі шлаку на дроблення. Третя ділянка траншеї призначена для прийому застиглих шматків шлаку.

Жужільний «пиріг» товщиною 0,8−1,2 м охолоджують до 100−200ºС і розбивають за допомогою вантажу. Розбитий на шматки і охолоджений в природних умовах шлак подають на дроблення. Фракції шлаку розміром 130−150 мм подають в сортувальне відділення на гуркіт первинного розсівання по фракціям. Шматки шлаку розміром більше 70 мм подають на дроблення в конусну дробарку, а потім повертають на гуркіт первинного розсівання. Шлак крупністю до 70 мм надходить на спарені грохоти для поділу на фракції: 40−70 мм, 20−40 мм і 0−20 мм. Останній подають на гуркіт вторинного розсівання для отримання фракцій розміром 10−20 мм, 5−10 мм і 0−5 мм [2].

Аналогічним чином переробляють на щебінь і пісок раніше накопичені у відвалах шлаки. Їх переробку здійснюють спільно з рідкими шлаками поточного виробництва, що дозволяє отримати шлакову продукцію, яка відповідає вимогам діючих технічних умов.

Для водної грануляції використовується частина шлаків силікомарганцю і повністю − шлаки феромарганцю. Відомо, що підвищена основність останніх призводить до розсипання шлаку в порошок з розміром частинок менше 100 мкм. Швидке охолодження − «гарт» шлаку при водної грануляції дозволяє запобігти модифікаційним перетворенням і зберегти шлак у придатному для переробки вигляді.

На НЗФ переробка дрібних фракцій шлаку, в яких, в основному, зосереджується металева фаза, ведеться методом пневмосепарації. Суть методу полягає в поділі матеріалу, що знаходиться на перфорованій робочій поверхні сепаратора, під дією висхідного пульсуючого повітряного потоку і одночасно механічного струшування, яке забезпечують розпушення, необхідне для взаємного переміщення зерен. Істотна відмінність у щільності частинок силікомарганцю (6,2−6,5 г/см^3) і шлаку (2,7−2,9 г/см^3) зумовлює можливість їх ефективного поділу [2].

При пневмосепарації шлаку крупністю 0−13 мм ступінь вилучення з нього металу на дослідно-промисловій установці становить 65,6−97,9 %, а вміст металу в концентраті доходить до 87,1−97,1 %. У результаті збагачення ковшових залишків, роздрібнюваних до крупності 20 мм, на сепараторі СП-1/2 отримується металоконцентрат, що містить 70−80 % металевої фази [2].

Одним з ефективних напрямків використання шлаків від виплавки силікомарганцю є отримання з них шлаколитої продукції. Закристалізовані шлаки мають ряд позитивних експлуатаційних властивостей, зокрема, зносостійкість, термостійкість, кислотостойкість. Шлакокам'яне лиття за своїми характеристиками міцності відповідають бетону марок 550−700; може "працювати" при температурах до 900ºС, замінює вогнетривкі матеріали, бетон тощо [3]. Шлакокам'яне лиття також широко використовується для захисту від абразивного зношування бункерів і перевантажувальних вузлів тракту подачі аглошихти. Вироби з вогненно-рідких шлаків від виробництва силікомарганцю, крім високих експлуатаційних характеристик, за своїми декоративними властивостями можуть конкурувати з гранітом, мармуром і навіть малахітом [3].

Висновок. Одним з властивих ознак виробництва феросплаву є утворення величезних шлакових відвалів, які займають промислові площі і чинять негативний вплив на екологічну обстановку прилеглих територій. А щорічне збільшення їх обсягів говорить про актуальність проблеми рециклінгу шлаків. Розглянута система переробки шлаків на АТ «НЗФ» відповідає

всім основним пунктам, що притаманні більшості рециклінгових ділянок подібних підприємств та має технології, які, можливо, в подальшому вдосконалити та підвищити продуктивність не тільки представленої ділянки, але й підприємства в цілому.

Список використаних джерел:

1. Саенко Ф. П. Надёжный сплав: краткий очерк истории Никопольского завода ферросплавов. Днепропетровск: Южная Пальмира, 1998. 181 с.

2. Никопольские ферросплавы : к 75-летию академика НАН Украины М. И. Гасика / М. И. Гасик и др. ; под общ. ред. В. С. Куцина. Днепропетровск : «Системные технологии», 2004. 272 с.

3. Дворкин Л. Й., Дворкин О. Л. Строительные материалы с отходов промышленности : учебное пособие. Воронеж: «Феникс», 2009. 185 с.

УДК 542.07

Чепель Алла Євгеніївна
Кафедра інженерної екології

ОЦІНКА ВПЛИВУ ФЕНОЛІВ НА ГІДРОБІОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Виконано аналіз впливу фенолу на гідробіолоічне середовище з використанням методу біоіндикації. Встановлено, що в якості показників забруднення фенолами можна використовувати бактерій, безбарвних джгутикових, інфузорій, грибів, водоростей та риб.

An analysis of the influence of phenol on the hydrobiological environment using the method of bioindication is performed. It has been established that bacteria, colorless flagella, infusoria, fungi, seaweed and fish can be used as indicators of pollution by phenols.

Вступ. При сучасних темпах розвитку промислового і сільськогосподарського виробництва стає все більш актуальною проблема очищення поверхневих і стічних вод. Одним з високотоксичних забруднювачів, що потрапляють у водойми і водотоки зі стічними водами хімічних і фармацевтичних підприємств, є фенол (ГДК = 0,001 мг/дм3). Скидання фенольних стоків у водойми і водотоки різко погіршує їх загальний санітарний стан, роблячи негативний вплив на живі організми, не тільки своєю високою токсичністю, а й значною зміною режиму споживання біогенних елементів і розчинених газів (O2, CO2).

Мета роботи: дослідити вплив фенольних вод на гідробіологічне середовище методом біоіндикації.

Матеріали і результати досліджень. Фенол і його похідні є одними з пріоритетних забруднювачів об'єктів навколишнього середовища в зв'язку з їх високою токсичністю, здатністю накопичуватися в навколишньому середовищі і стійкістю. У забруднених природних водах вміст фенолу може досягати кілька десятків і навіть сотень мікрограмів на один кубічний дециметр, при тому, що гранично допустима концентрація фенолів у питній воді і воді рибогосподарських водойм становить 1 мкг / дм^3 [1].

Похідні фенолу також здатні утворюватися в природних умовах в процесах метаболізму водних організмів, при біохімічному розпаді і трансформації органічних речовин, що протікають, як у водній товщі, так і в донних відкладеннях.

Процеси самоочищення водойм від фенолу протікають повільно і можливі тільки при концентрації фенолу менше 75 мг / дм^3.

Фенол відноситься до II класу небезпеки та його похідні легко проникають в організм людини через шкіру і шлунково-кишковий тракт, а пари - через легені. В організмі фенол легко утворює сполуки з іншими речовинами. Чим вище концентрація фенолу в крові, тим сильніше його несприятливий вплив на здоров'я людини. Фенол має канцерогенну дію, тобто здатністю накопичується в організмі людини; частина незв'язаного фенолу виводиться з організму з сечею [2].

Фенол, потрапляючи у водойми, також різко погіршує їх загальний санітарний стан, роблячи негативний вплив на живі організми, не тільки своєю високою токсичністю, а й значною зміною режиму споживання біогенних елементів і розчинених газів (O_2, CO_2).

У водоймах під дією різних фізико-хімічних процесів і життєдіяльності водних організмів здійснюється деструкція та трансформація фенолів, причому утворені метаболіти (наприклад пірокатехін) можуть бути більш токсичні, ніж вихідна сполука. Летальні концентрації, які через 15 хвилин після дії, викликають зупинку рухів протоплазми у харових водоростей, становлять для пірокатехіну $2\cdot10^{-3}$ М, гідрохінону – $2{,}5\cdot10^{-2}$ М, резорцину – $5\cdot10^{-}$

[2] М. Індикатором токсичної дії фенолів є вимірювання інтенсивності газообміну гідробіонтів. При цьому може оцінюватись і частота дихання організмів, і зміни концентрації розчиненого кисню. Так, при концентрації у воді фенолу 1− 2 мг/л відзначається пригнічення життєдіяльності дріжджів, і через10 − 30хв спостерігається зниження концентрації розчиненого кисню.

В якості показників забруднення фенолами використовується чисельність фенолруйнівних бактерій, безбарвних джгутикових, інфузорій, грибів, водоростей. До числа деструкторів фенолу відносяться бактерії роду *Pseudomonas* и *Azotobacter*. Незначні дози (1 мг/л) не чинять істотного впливу на процеси нітрифікації води. Інтенсивний розвиток денітрифікаторів спостерігається в водоймах з умістом фенолу до 500 мг/л. При високих концентраціях фенолу процес нітрифікації пригнічується. При наявності інфузорії *Paramecium caudatum* руйнування фенолу сповільнюється внаслідок поїдання бактерій інфузоріями. Відзначається, що термофільні бацили *Bacillus stearothemophilus* можуть використовувати фенол в якості джерел енергії і вуглецю. Максимальний вміст фенолу, при якому можливий розвиток бактерій − 0,3%.

Феноли активно поглинаються водними рослинами: водним гіацинтом *Eichhornia*, тростиною *Phragmites australis,* очеретом *Scirpus.* Так, наприклад, за 8 днів тростина видаляє з води до 10 мг/л фенолу. В рослинах частина фенолу піддається детоксикації, а інша частина, яка не включена в обмін речовин, виділяється через продихи в атмосферу [3].

Для індикації фенольних забруднень також використовують риб. Гостра інтоксикація фенолу супроводжується в перше чергу ураженням у них зябер, шкіри та серця. При концентрації фенолу в воді 20мг/л окуні помирають через 4 години, плотва та коропи − через 1-5 днів. Концентрація 10 мг/л протягом 1-3 днів токсична для молодих коропів, плотви, окунів, форелі. Максимально допустима концентрація фенолу для риб − 17 мг/л, абсолютно смертельна доза ($ЛД_{100}$) − 24 мг/л. В дослідах У.С. Морган на ікрі та личинках ляща було встановлено, що фенол порушує нормальний хід ембріогенезу, приводячи до появи різних видів каліцтв − вигинів тіла, порушення в структурі серцево-судинної системи та інше [2].

Висновки. В якості показників забруднення фенолами можна використовувати бактерій, безбарвних джгутикових, інфузорій, грибів, водоростей та риб. Процеси самоочищення водойм від фенолу протікають повільно і можливі тільки при концентрації фенолу менше 75 мг / $дм^3$.

Список використаних джерел:

1. Зинченко Т. Д. Результаты и перспективы биоиндикационных исследований водойомов и водотоков [Електронний ресурс] / Т. Д. Зинченко // Известия научного центра академии наук. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: https://cyberleninka.ru/article/v/rezultaty-i-perspektivy-bioindikatsionnyh-issledovaniy-vodoemov-i-vodotokov-volzhskogo-basseyna-na-primere-hironomid-diptera.

2. Волошина О. М. Вплив фенолу та формальдегіду на пігментосинтезувальну здатність водних мікроорганізмів [Електронний ресурс] / О. М. Волошина // питання біоіндикації та екології. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://sites.znu.edu.ua/bioindication//issues/2015-20-1/2015-20-1-13.pdf.

3. Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений / М. Г. Опекунова. – Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2016. – 300 с. – (2).

УДК 6.16-003.219; 541.694

Ярмошик Іванна Миколаївна
Кафедра інженерної екології

ОДОРИЗАЦІЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ГРС УКРАЇНИ

У статті проводиться характеристика речовин, за допомогою яких здійснюється одоризація природного газу на газорозподільних станціях України. Наведено порівняня фізико-хімічних характеристик етилмеркаптану (етантіолу) та кротонового альдегіду.

Ключові слова: *газорозподільна станція, одорант, етилмеркаптан,природний газ, екологічна безпека, меркаптани.*

The article deals with the characterization of substances by means of which odorization of natural gas at gas distribution stations of Ukraine is carried out. Also, a comparative characteristic of the physical and chemical characteristics of ethyl mercaptan (ethan thiol) and croton aldehyde is given. Examples of effects on the human body of one or another odorant are given.

Key words: *gas distribution station, odorant, ethyl mercaptan, natural gas, ecological safety, mercaptans, aldehyde.*

Вступ. Газорозподільчі станції (ГРС) є невід'ємною складовою інфраструктури газотранспортної системи України, адже їх діяльність призначена для зниження тиску природного газу з одночасним вимірюванням його витрат, одоруванням та, за необхідності, підігрівом з метою подальшого розподілу споживачам. З метою реалізації поставлених завдань кожна ГРС, як правило, має у своєму складі наступні вузли: паливний контур, блок редукування, блок одоризації, фільтри очистки газу, замірні лінії.

Природний газ безбарвний, не має запаху, тому є певні труднощі при його виявленні при витоках із трубопроводів. Для запобігання аварій газ одоризують за допомогою одорантів, тобто йому надається специфічний запах.

В Україні відповідно до ДСТУ 3377-96 як одорант використовується етилмеркаптан (етантіол). Це представник ряду тіолів складу C_2H_5SH. Етантіол за звичайних умов є безбарвною, леткою рідиною із специфічним запахом.

Мета та завданнядослідження полягає у проведенні порівняльної характеристики одорантів природного газу та виборі найбільш екологічно безпечної речовини для проведення одоризації.

Матеріал та результати дослідження. Одоранти – це речовини, які додаються до газу, щоб надати йому сильного специфічного запаху, головним чином попереджувального, або за яким визначають місця витікання. Як одоранти використовують меркаптани (етилмеркаптан, метилмеркаптан, пропілмеркаптан, ізопропілмеркаптан тощо) та сульфіди (діетилсульфід, діметилсульфід, діметилдисульфід та ін.) [1].

У документі ТУ-51-81-82 прописані вимоги до одорантів, найважливішими з яких є наявність специфічного запаху при малій концентрації у газі, низька токсичність, великий діапазон одоризуючої дії; стабільність при зберіганні та транспортуванні; мінімальна корозійна агресивність, висока температура кипіння та мінімальна вибухова небезпечність.

Огляд літератури показує, що на сьогоднішній день не існує «ідеального» одоранту. Отже, пошук екологічно прийнятного одоранту повинен бути спрямованим у напрямку синтезу ефективних, малотоксичних та доступних речовин. Етилмеркаптан відповідає перерахованим вище вимогам, але одним із важливих недоліків, властивих меркаптанами, є наявність в них сірки, при згорянні якої утворюються токсичні оксиди [2]. Отже, ГОСТ 55-42-

78 обмежує вміст меркаптанової сірки в паливних газах для комунально-побутового призначення величиною 36 мг/м^3 [3].

Зважаючи на це, одним з напрямків пошуку одорантів газу є отримання речовин з низьким вмістом сірки. До таких можна віднести нові одоранти, запатентовані в Японії, що містять диметилсульфід, трет-бутилмеркаптан і трет-гептилмеркаптан в співвідношенні 1:0,8; 3:0,02; 1:0,1, відповідно або диетілсульфід, трет-бутилмеркаптан, трет-гексилмеркаптан у співвідношенні 1:0,8; 3:1,05; 2:0,3, відповідно [4]. Ці одоранти відносно стійкі до дії окислювачів [3]. За своїми токсикологічними характеристиками етантіол відноситься до речовин першого класу небезпечності і третього класу токсичності [6]. Показник степені небезпечності – 3,2.

Кротоновий альдегід також відповідає вимогам ТУ-51-81-82. $CH_3CH{=}CHC(O)H$ – це прозора рідина з різким запахом, яка при горінні розкладається до H_2O і CO_2. Цей альдегід є одиним із найбільш токсичних з альдегідів [7, 8], причому вибухонебезпечні концентрації парів цього альдегіду в повітрі становить 2,95−15,5 %. При зберіганні на повітрі кротоновий альдегід швидко димеризуєтся [5]. Він відноситься до речовин другого класу небезпеки і другого класу токсичності [9]. Показник ступеню небезпеки становить 2,1.

Основні фізико-хімічні характеристики одорантів представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні фізико-хімічні властивості одорантів

Властивості	Назва одоратна	
	Етилмеркаптан (етантіол)	Кротоновий альдегід
Формула	C_2H_5SH	C_4H_6O
Фізичний стан	Прозора, безбарвна рідина (допускається відтінок) із різким запахом тухлих яєць	Прозора, безбарвна рідина із різким запахом
Молярна маса, г/моль	62,00	70,09
Температура кипіння за атмосферного тиску, °С	37,0	102,2
Густина , г/мл	0,8315	0,846
Температура плавлення, °С	-147,88	-76,50
Вміст сірки, %	51,4	-

Висновки. Таким чином, як випливає з представлених даних, кротоновий альдегід як потенційний одорант газу має ряд переваг перед етилмеркаптаном: доступність, екологічна безпека, обумовлена відсутністю в структурі сірки, більш висока температура кипіння, а отже, менша летючість. Крім того, показник ступеня небезпеки кротонового альдегіду менше, ніж у етилмеркаптана (2,1 і 3,2 відповідно).

Список використаних джерел:

1. Lide, D. R.CRC Handbook of Chemistry and Physics . Boca Raton (FL) : CRC Press, 2005. 2656 p.

2. Roberts, John S. Thiols. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. New York : John Wiley & Sons, 2004. 411 p.

3. Афанасьев А.И. Производство природных меркаптанов (обзорная информация). Газовая промышленность. Серия: Подготовка и переработка газа и газового конденсата. Москва: ВНИИЭ газпром. 1984. 242 с.

4. Salem H., Cjllumbine H. Ingalation toxicities of some aldehydes. Toxicol. and Alied Pharmacol. 1990. 93 c.

5. Вредные вещества в промышленности: навч. посіб. / за ред. Н.В. Лазарева. Київ: ЦУЛ, 1976. 84 с.

6. Блинова Э.А. Токсикологическая характеристика этилмеркаптана по данным хронических опытов.Гигиена труда и проф. заболев. 1994. 160 с.

7. Salem H. Ingalation toxicities of some aldehydes. Toxicol. and Alied Pharmacol. 1990. 93с.

8. Handbook of Poisoning. Tenth ed. Los Alton, California. 1995. 578 p.

9. Заугольников С.Д., Коганов М.М., Лойт А.О., Ставчанский И.И. Экспрессные методы определения токсичности и опасности химических веществ. М.: Медицина, 2008. 184 с.

УДК 621.039.77

Онисимчук Тетяна Михайлівна
Кафедра інженерної екології

ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАСТИКУ В ЯКОСТІ СПОВІЛЬНЮВАЧА В ПІДКРИТИЧНИХ ЯДЕРНИХ УСТАНОВКАХ, КЕРОВАНИХ ПРИСКОРЮВАЧАМИ

У статті розглядається можливість застосування пластику в якості сповільнювача швидких нейтронів в підкритичних системах, що керуються зовнішнім джерелом нейтронів, наведено результати проектування дослідного підкритичного реактора із пластиковим сповільнювачем. В роботі визначено основні показники безпеки функціонування таких установок: розподіл температури, теплового поля, полів напружень, що виникають при нагріванні пластикових елементів у реакторі та встановлені основні локації можливих деформацій, результати свідчать про успішну апробацію синтетичних полімерів в якості сповільнювачів у підкритичних системах.

Ключові слова: *трансмутація, радіоактивні відходи, підкритичний реактор, сповільнювач швидких нейтронів, пластик.*

The article considers the possibility of using plastic as decelerator of fast neutrons in subcritical systems controlled by an external source of neutrons, presented the results of designing an experimental subcritical reactor with a plastic decelerator. The main parameters of the safety of the functioning of such plants are defined: the temperature distribution, the thermal field, the stress fields arising when heating the plastic elements in the reactor and the basic locations of possible deformations, the results testify to the successful testing of synthetic polymers as decelerator in subcritical systems.

Key words: *transmutation, radioactive waste, subcritical reactor, decelerator of fast neutrons, plastic.*

Вступ. Для подальшого розвитку ядерної енергетики необхідне забезпечення трьох основних вимог: радіаційна безпека, поводження з радіоактивними відходами та конкурентоздатність. Ці вимоги неможливо задовольнити без впровадження в ядерну енергетику інноваційних технологій, заснованих на нових типах ядерних реакторів.

На сьогодні відомі дві ядерні реакції, які можуть допомогти у зменшенні кількості радіоактивних відходів. Перша – це реакція поглинання нейтрона радіоактивним ядром з наступним β–розпадом в стабільне ядро або ядро з коротким часом життя. Можлива також ситуація переходу важкого ядра в ізогон, який може ділитися. Друга реакція – це реакція поділу важких ядер, і практично всі трансуранові елементи можуть ділитися під дією швидких нейтронів з достатнім перерізом [1].

Останнім часом увага приділяється підкритичним реакторам (коефіцієнт розмноження активної зони k_{eff} <1), що керовані зовнішнім джерелом нейтронів (так звані ADS – Accelerated Driven System – системи керовані прискорювачами) [2]. Інтерес до даних конструкцій обумовлений перспективою застосування їх для трансмутації довгоживучих радіоактивних відходів. Можливість трансмутації радіоактивних відходів у підкритичних реакторах – досить приваблива альтернатива захороненню відходів у геологічних формаціях.

Такі реактори мають абсолютну ядерну безпеку, оскільки при будь-яких нештатних ситуаціях зовнішнє джерело нейтронів можна відключити практично миттєво, а сам по собі підкритичний реактор є безпечним, тому що ланцюги поділів затухають в ньому за час, порівняний з часом життя нейтронів.

Необхідними умовами для трансмутації є достатньо висока густина потоку нейтронів та жорсткий спектр нейтронів у реакторі. Для виконання першої умови – забезпечення високих потоків нейтронів використовують прискорювачі з високим струмом заряджених частинок. Друга умова досягається використанням нейтронів, які отримують у реакціях прискорених заряджених частинок з речовиною. За умови мінімальної кількості в реакторі матеріалів, що сповільнюють нейтрони, в підкритичних системах, керованих прискорювачами заряджених частинок, спектр нейтронів буде значно жорсткішим, ніж у звичайних реакторах на швидких нейтронах.

Виходячи із даної умови, існує необхідність пошуку та досліджень нових для атомної енергетики матеріалів, які будуть забезпечувати ефективність роботи підкритичних систем. Практично недослідженою залишається можливість оптимізації підкритичних ядерних реакторів з точки зору застосування в якості сповільнювача нейтронів штучно створених матеріалів, зокрема на основі синтетичних або природних полімерів, замість конструктивно неповноцінних матеріалів, типу легка вода або графіт.

Метою роботи є апробація пластику в якості сповільнювача швидких нейтронів в підкритичній ядерній установці.

Матеріал і результати досліджень. Враховуючи, що потужність підкритичного однорідного реактора залежить від його розмірів, коефіцієнту розмноження активної зони, просторового розміщення та енергії зовнішнього джерела, типу сповільнювача та інших характеристик, дослідження системи проводиться з метою отримання максимального коефіцієнту ефективності, варіюючи основні параметри системи, такі як: коефіцієнт збагачення палива, різновиди джерела нейтронів, товщини шару сповільнювача та ін.

Для цього спроектовано модель дослідного реактора, що складається із циліндричного поліетиленового об’єму з наскрізними повздовжніми отворами, всередині яких розміщені відпрацьовані тепловиділяючі збірки з коефіцієнтом вигорання ядерного палива В, (МВт·доб)/т урану. Оптимальний тип теплоносія обирається шляхом проведення повірочних та конструкційних розрахунків серед наступних варіантів: механічно очищене повітря, хімічно знесолена вода та рідкий натрій. Для забезпечення жорсткого спектру нейтронів всередині циліндричного об’єму встановлено зовнішнє джерело нейтронів із прискорювачем.

Моделі, що розраховуються, підбиралися таким чином, щоб система була слабо підкритичною. Тобто, вона повинна мати ефективний коефіцієнт розмноження k_{eff} = 0,99. Розрахунок показників проводився за наступних вихідних параметрів:

1. діаметр каналу для тепловиділяючої системи стандартного розміру «під ключ» 234 мм становить 270,2 мм;
2. крок між каналами становить 185 мм;
3. висота реактора дорівнює 3550 мм; діаметр реактора визначається із можливості вміщення 163 відпрацьованих тепловиділяючих збірок (ТВЗ) і становить 4700 мм;
4. зовнішнє джерело нейтронів розміщене в центральному каналі дослідної установки;
5. температура теплоносія на вході становить 80℃;
6. температура зовнішнього середовища умовно приймається 50℃;
7. коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стінки сповільнювача дорівнює 2Вт/м2 ·℃.

Результати розрахунку. Визначимо питоме об’ємне тепловиділення відпрацьованої ТВЗ:

$$q_v = q_{v0} \cdot k_b \cdot k_{en} = 111 \cdot 0,4 \cdot 1,2 = 36,63 \frac{МВт}{м^3}$$

де q_{v0} – питоме об'ємне тепловиділення свіжої ТВЗ, для реактора типу ВВЕР–1000 становить 111 МВт/м^3

k_b – коефіцієнт впливу вигорання на потужність енерговиділення ТВЗ (для ТВЗ, що вивантажуються з активної зони (АкЗ) реактору ВВЕР–1000 в середньому становить 0,4);

k_{en} – коефіцієнт впливу збагачення на потужність енерговиділення ТВЗ (для ТВЗ, що вивантажуються з АкЗ реактору ВВЕР–1000 в середньому становить 1,2).

Для шестигранної ТВЗ реактора ВВЕР–1000 розмір «під ключ» обчислюється як:

$$h_K = 2\left[\left(\frac{1}{2}\cdot d_{ц.т.}^{зов.} + 10t + \frac{1}{2}\cdot d_{тв}\right)\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)\right] =$$

$$= 2\left[\left(\frac{1}{2}\cdot 0,0112 + 10\cdot 0,011 + \frac{1}{2}\cdot 0,0091\right)\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)\right] = 0,208 \text{ м}$$

де $d_{ц.т.}^{зов.}$=0,0112 м – зовнішній діаметр центральної трубки для ТВЗ ВВЕР–1000; $d_{тв}$ =0,0091 м – зовнішній діаметр тепловиділяючого елемента (ТВЕЛ);
t=0,011 м – крок ТВЕЛ в решітці ТВЗ.
Визначимо площу перерізу однієї ТВЗ:

$$f_к = \frac{6}{\sqrt{3}}\cdot\left(\frac{h_к}{2}\right)^2 = \frac{6}{\sqrt{3}}\cdot\left(\frac{0,208}{2}\right)^2 = 0,038\ м^2$$

Об'єм однієї ТВЗ:

$$V = f_k \cdot H = 0,038\cdot 3,55 = 0,133\ м^3$$

де H = 3,55 – висота тепловиділяючої поверхні ТВЗ ВВЕР–1000.
Загальне тепловиділення відпрацьованої ТВЗ:

$$Q = q_v \cdot V = 36,63\cdot 0,133 = 4,877\ МВт$$

Площа тепловиділяючої поверхні ТВЗ:

$$S = \pi\cdot d_{тв}\cdot n_{тв}\cdot H = \pi\cdot 0,0091\cdot 312\cdot 3,55 = 31,665\ м^2$$

де $n_{тв}$=312 – кількість ТВЕЛ в ТВЗ.

Питомий тепловий потік від однієї відпрацьованої ТВЗ, для його подальшого задання для розрахунку:

$$q_s = \frac{Q}{S} = \frac{4,877}{31,665} = 0,154\ \frac{МВт}{м^2}$$

На рисунку 1 наведено розподіл температури по об'єму поліетиленого сповільнювача.

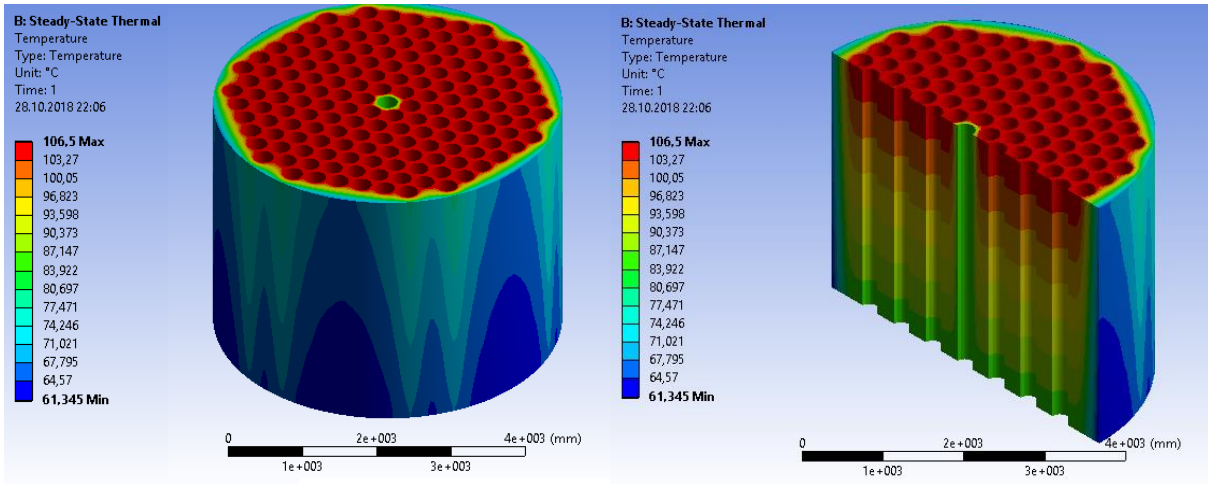


Рис.1 – Розподіл температури по об’єму поліетиленого сповільнювача

На даному рисунку наведено розподіл температури по об'єму поліетиленового сповільнювача. Газовий теплоносій подається в нижню частину реактору трубами–підводами з температурою 80 °С. Оскільки тепловиділення по висоті реактора змінюється за законом косинуса, в нижній та верхніх частинах ядерної установки воно становить нуль. Таким чином, температура сповільнювача внизу реактора відповідає температурі теплоносія на вході. Теплоносій, проходячи через канали, нагрівається від зовнішніх оболонок ТВЕЛ, поступово збільшує свою температуру, в результаті чого відбувається нагрів сповільнювача по висоті. Температура центрального каналу реактора, де зовнішнє розміщене джерело нейтронів, по висоті залишається практично незмінною за рахунок відсутності в ньому теплогенеруючих джерел та незначного обміну теплоти із оточуючим поліетиленовими стінками. По периферії реактора температура значно падає до 61°С за рахунок втрат теплоти в зовнішнє середовище. З результатів розрахунку видно, що максимальна температура в об’ємні поліетиленового сповільнювача становить 106,5°С, що менше температури плавлення поліетилену, яка рівна 125°С. Це свідчить про технічну можливість використання поліетилену в даному типі реактору.

На рисунку 2 наведено розподіл температурного потоку по об’єму поліетиленового сповільнювача.

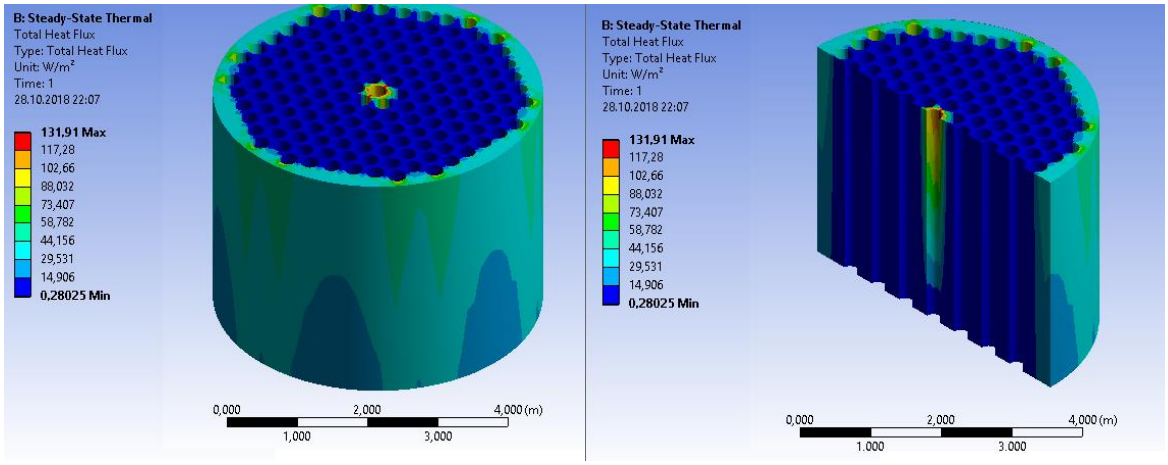


Рис.2 – Розподіл температурного потоку по об’єму поліетиленового сповільнювача

З рисунку 2 видно, що значення теплового потоку в поліетилені між сусідніми каналами, в яких наявні джерела теплоти, досить низьке, що свідчить про однорідність температурного поля в реакторі. Відмінна ситуація спостерігається в центральному каналі, до якого тепловий потік надходить від сусідніх каналів за рахунку різниці температур. В периферії реактору також існує суттєвий тепловий потік що свідчить про витік теплоти в навколишнє середовище.

При розігріванні реактору до робочої температури в поліетилені сповільнювача виникають температурні розширення. З рисунку 3 видно, що напруження виникають в місці закріплення сповільнювача (по верхньому та нижньому ободу) за допомогою жорсткого з'єднання. Саме ці напруження і починають викликати деформацію сповільнювача, якісне та кількісне значення якої наведено на наступних рисунках. Максимальне напруження яке виникає в об'ємі сповільнювача становить 346,88 МПа, при допустимому в 350 МПа.

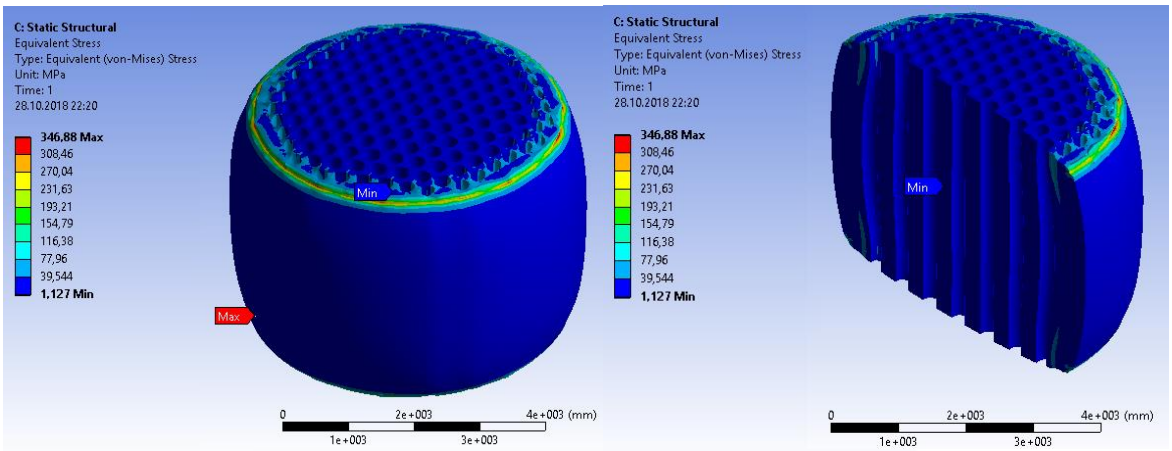


Рис.3 – Розподіл поля напружень по об'єму поліетиленового сповільнювача

З рисунку 4 видно, що місця, які підлягають закріпленню жорстким з'єднанням залишаються недеформованими. Всі грані сповільнювача втрачають початкову форму та видуваються назовні, через відсутність можливості видовження. Максимальне деформація яка виникає в об'ємі сповільнювача становить 40,6 мм.

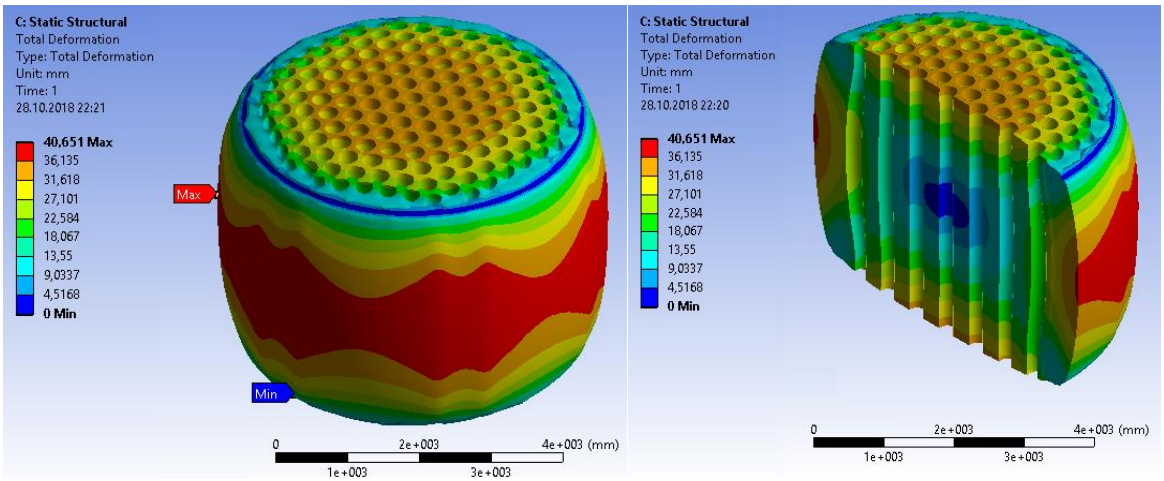


Рис.4 – Розподіл поля деформацій по об'єму поліетиленового сповільнювача

Висновки. Поведене дослідження підтверджує можливість застосування пластику в якості сповільнювача швидких нейтронів в підкритичних системах, що керуються зовнішнім джерелом нейтронів. Перспективним до розгляду є питання застосування пластику, що піддався рециклінгу в якості сповільнювача.

Список використаних джерел:

1. Бабенко В. Двохзонні ядерні підкритичні реактори / В. Бабенко, В. Гулик, В. Павлович, О. М. Пупіріна // Ядерна фізика та енергетика. – 2006. – №3. – С. 266–275.
2. Бабенко В. Про можливість трансмутації радіоактивних відходів в електроядерній системі, керованій потужним нейтронним генератором / В. Бабенко, В. Гулик, В. Павлович, А. Рибалова // Проблеми безпеки атомних електростанцій. – 2011. – №16. – С. 8–16.

УДК 620.97

Гайдіна Альона Василівна
Кафедра інженерної екології

РЕКУПЕРАЦІЯ ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

У статті розглядаються способи утилізації теплоти високотемпературних димових газів, що надходять від технологічного обладнання ливарного цеху. Наведено результати розрахунку матеріального та теплового балансу для дугової сталеплавильної печі. Визначено, що згідно теплового балансу з відхідними газами втрачається значна частина теплоти, що свідчить про необхідність запровадження додаткових технологічних заходів. За допомогою методу ієрархій обрано альтернативу з екологічної та економічної точок зору вторинного використання енергоресурсів.

Ключові слова: *рекуператор, втрати теплоти, технологічні гази, дугова сталеплавильна піч.*

The article deals with ways of utilizing the heat of high-temperature flue gases coming from the process equipment of the foundry shop. The results of calculation of material and thermal balance for an arc furnace are presented. It is determined that according to the thermal balance with waste gases a significant part of the heat is lost, which indicates the necessity of introducing additional technological measures. Using the hierarchy method, an alternative from the environmental and economic point of view of secondary energy use is selected.

Key words: *recuperator, heat losses, technological gases, arc furnace.*

Вступ. Висока енергоємність процесу плавлення сталі при постійному зростанні цін на паливно-енергетичні ресурси ставить на одне з перших місць проблеми енергозбереження. Найбільш раціональним методом підвищення енергозбереження під час плавлення сталі в дуговій електропечі вважається вторинне використання енергоресурсів – рекуперація відхідних газів з подальшим використанням тепла.

Перевагою утилізації відхідних газів є економія енергії та сировини і, як наслідок, економія коштів на експлуатацію технологічного обладнання та проведення технологічного процесу.

Використання теплоти вторинних енергоресурсів можливе за трьома напрямками:

– схеми – визначаються тим, що тепло вторинних енергоресурсів використовується для внутрішніх процесів, які здійснюються в основних технологічних установках (підігрів компонентів горіння, попередній підігрів матеріалів шихти);

– розімкнені схеми – характеризуються використання вторинних енергоресурсів для зовнішніх цілей замкнені, що не пов’язані процесами, які проходять в основних технологічних установках (вироблення пари в парогенераторах, підігрів води, опалення приміщень);

– комбіновані схеми – характеризуються використанням вторинних енергоресурсів як для зовнішніх, так і для внутрішніх цілей.

Вибір методу утилізації визначається фізико-хімічними властивостями рекуперованих компонентів, якісним і кількісним складом сировинних і технологічних матеріалів, характером технологічних операцій .

Димові гази, які надходять із робочого простору плавильних печей, мають високу температуру і тому забирають з собою значну кількість теплоти. З робочого простору печей

димові гази забирають тим більше теплоти, чим вище температура димових газів і чим нижче коефіцієнт використання теплоти в печі.

Основними способами утилізації теплоти відхідних газів є :

− нагрівання повітря, яке використовується для спалювання технологічного палива чи для опалення території цеху в теплообмінних пристроях (рекуператорах або регенераторах);

− нагрівання води в котлах-утилізаторах та економайзерах, через які проходять продукти згоряння [1].

Утилізація теплоти відхідних димових газів за рахунок зниження їх температури може бути виконана в двох напрямках: з поверненням утилізованої теплоти назад в піч і без повернення цієї теплоти в піч.

Повернення частини теплоти димових газів в піч може здійснюватися шляхом попереднього підігріву за рахунок частини теплоти димових газів, металу, палива або повітря перед їх подачею в піч, що дозволяє підвищити коефіцієнт використання теплоти пічного агрегату, температуру і якість горіння палива, а також знизити витрату палива і супутні негативні екологічні впливи.

Для попереднього підігріву палива або повітря газами, перед їх подачею в піч, можна використовувати рекуперативні і регенеративні теплообмінники.

При другому способі утилізації частина теплоти відхідних димових газів використовується в котлах-утилізаторах для отримання гарячої води або водяної пари, а також механічної або електричної енергії за допомогою теплосилових установок, завдяки чому досягається значна економія палива.

У випадках, коли температура димових газів після теплообмінних пристроїв регенеративного або рекуперативного типу залишається досить високою і доцільна подальша утилізація тепла в теплосилових установках, можуть бути використані обидва способи одночасно.

Утилізація теплоти відхідних димових газів дозволяє досягти економії палива, причому економія палива залежить від ступеня утилізації теплоти відхідних газів, вираженої як відношення ентальпії підігрітого повітря до ентальпії відхідних з робочого простору газів.

Метою роботи є виявлення можливості утилізації теплоти високотемпературних димових газів, що надходять від дугової сталеплавильної печі ливарного цеху.

Матеріал і результати досліджень. Визначення теплової ефективності дугової печі та кількісне відображення теплових потоків процесу плавлення сталі, здійснюється на основі аналізу теплового балансу. Складанню теплового балансу передує розрахунок матеріальних витрат, точність визначення яких впливає на кінцевий результат.

Вихідними даними для розрахунку матеріального балансу є маса матеріалів, що надходить до плавильного агрегату та їх склад. Розраховано матеріальний баланс для дугової сталеплавильної печі ДСП-50 під час процесу плавлення сталі марки 08, з хімічним складом наведеним в табл. 1.

Основними шихтовими матеріалами, що завантажуються в робочий простір печі, ємністю 50 т є:металевий лом – 35 т, рідкий чавун – 10 т.

Таблиця 1 – Хімічний склад шихтових матеріалів для завантаження плавильного агрегату

Компоненти шихти	Склад елементів в шихті,%								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
Металевий лом	0,4	0,3	0,3	0,05	0,05	0,2	0,10	0,10	0,2
Чавун	4,4	0,75	0,35	0,02	0,02	-	-	0,10	94,32

Отримані результати розрахунку матеріальних потоків для дугової сталеплавильної печі ДСП-50 зведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Матеріальний баланс для дугової сталеплавильної печі ДСП-50

Витрачено, кг		Отримано, кг	
Металевий лом	35000	Метал	45830,857
Рідкий чавун	10000	Шлак	4538,0062
Метал, попередньої плавки	5000	Гази	2315,657
Вапно	1841	Пил в тому числі:	4057,986
Доломіт	300	Fe_2O_3	4053,127
Електроди	65	Ni	0,591
Повітря	220,8	Cr_2O_3	4,268
Газоподібний кисень	2896,6056		
Шлак попередньої плавки	698,229		
Сума	56021,6346	Сума	56742,506

Вихідними даними для проведення теплового розрахунку є попередньо отримані значення матеріальних потоків та технологічні параметри:

— витрата води, що подається для охолодження елементів печі – 30 м^3/год;

— середня температура відхідних газів – 1500 °С.

Основними складовими теплового балансу є кількість тепла, що надходить під час процесу плавлення сталі $W_{надх}$, та технологічна теплота, яка втрачається $W_{витр}$:

$$W_{надх} \approx W_{витр.}$$

Структура теплового балансу дає змогу визначити джерела втрат тепла і розробити заходити щодо їх зменшення.

Статті надходження енергії в загальному описуються виразом [2]:

$$W_{надх} = W_{ел} + W_{чав} + W_{вапн} + W_{дол} + W_{екз} + W_{шл} + W_{ок.ел} + W_{пов},$$

де $W_{ел}$ – теплота, що вноситься електричними дугами, ГДж; $W_{чав}$ – теплота, що вноситься з рідким чавуном, ГДж; $W_{вапн}$ – теплота, що надходить з вапном, ГДж; $W_{дол}$ – теплота, що надходить з доломітом, ГДж; $W_{екз}$ – теплота хімічних екзотермічних реакцій окислення, ГДж; $W_{шл}$ – теплота шлакоутворення, ГДж; $W_{ок.ел}$ – теплота від окислення графітових електродів, ГДж; $W_{пов}$ – теплота, що вноситься повітрям і газоподібним киснем, ГДж.

Статті втрат енергії [2]:

$$W_{\text{надх}} = W_{\text{ст}} + W_{\text{відх.г}} + W_{Fe_2O_3} + W_{\text{енд}} + W_{\text{ох.в}} + W_{\text{ф}},$$

де $W_{\text{ст}}$ – фізична теплота сталі, ГДж; $W_{\text{відх.г}}$ – втрати теплоти з відхідними газами, ГДж; $W_{Fe_2O_3}$ – теплота, що виноситься частками Fe_2O_3, ГДж; $W_{\text{енд}}$ – теплота хімічних ендотермічних реакцій, ГДж; $W_{\text{ох.в}}$ – втрати теплоти з охолоджуючою водою, ГДж; $W_{\text{ф}}$ – втрати теплоти через теплопровідність футеровки печі, ГДж.

Сумарні результати розрахунку основних статей втрат та надходження теплоти у вигляді теплового балансу для ДСП-50 наведено в табл. 3.

Аналіз теплового балансу роботи дугової сталеплавильної печі показує, що 18 % загальної витрати теплоти припадає на викиди разом з відхідними газами, що є досить високим показником витрати і свідчить про доцільність пошуку альтернативних шляхів повторного використання теплоти вторинних енергоресурсів.

Таблиця 3 – Тепловий баланс для дугової сталеплавильної печі ДСП-50

Надходження тепла	ГДж	%	Витрата тепла	ГДж	%
Електроенергія, $W_{\text{ел}}$	40,538	61,313	Фізична теплота сталі, $W_{\text{ст}}$	45,61	68,871
Теплота, що надходить з чавуном, $W_{\text{чав}}$	11,954	18,080	Втрати теплота з відхідними газами та частками Fe_2O_3, $W_{\text{відх.г}} + W_{Fe_2O_3}$	11,795	17,810
Теплота, що вноситься вапном та доломітом, $W_{\text{вапн}} + W_{\text{дол}}$	0,035	0, 053	Теплота ендотермічних реакцій, $W_{\text{енд}}$.	6	9,06
Теплота екзотермічних реакцій, $W_{\text{екз}}$	9,982	15,097	Втрати теплоти з охолоджуючою водою, $W_{\text{ох.в}}$	0,869	1,312
Теплота шлакоутворення, $W_{\text{шл}}$	1,103	1,668	Втрати теплоти через теплопровідність футеровки печі, $W_{\text{ф}}$	1,951	2,946
Теплота від окислення електродів, $W_{\text{ок.ел}}$	1,307	1,977			
Теплота, що вноситься повітрям і киснем, $W_{\text{пов}}$	1,198	1,812			
Сума	66,117	100	Сума	66,225	100

На основі вищенаведених рекомендацій та способів утилізації теплоти відхідних газів методом аналізу ієрархій обрано найкращу альтернативу з екологічної та економічної точок зору за такими критеріями, як:

— необхідність модернізації та переоснащення технологічного обладнання;
— ефективність утилізації високих температур;
— тривалість реалізації проекту, враховуючи тимчасову зупинку цеху.

Результати розрахунку за аналізом методу ієрархій показали, що найбільш доцільним є спосіб утилізації теплоти відхідних газів через застосування рекуперативних (утилізаційних) установок для зовнішніх цілей (підігрів води, опалення приміщень).

Висновки. Проведено розрахунок матеріального і теплового балансу, визначено основні статті втрати теплоти – відхідних газів. Обґрунтовано можливість запровадження

додаткових технологічних рішень щодо рекуперації теплоти високотемпературних газів плавильної ділянки ливарного цеху в якості вторинних енергоресурсів, що дозволить зменшити витрати на теплоносії та знизити безпосередньо температуру викидів для попередження теплового забруднення атмосфери. На основі методу ієрархій обрано спосіб вторинного використання енергоресурсів.

Список використаних джерел:

1. Тимошпольский В., Трусова И. Пути повышения энергоэффективности промышленных печей при рекуперации теплоты уходящих дымовых газов. *Литье и металлургия*. 2012. №2 (65). С. 99-101.
2. Журавлев А. Расчеты материальных и энергетических балансов при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах: учебн. пособ. для студ. специальности «Металлургия» специализации «Металлургия черных металлов». Екатеринбург: *УрФУ,* 2016. 132 с.

УДК 502.52

Литвиненко Аліна Вікторівна
Кафедра інженерної екології

БІОІНДИКАЦІЙНА ОЦІНКА ЯКІСНОЇ І КІЛЬКІСНОЇ СКЛАДОВОЇ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

У статті проводиться характеристика застосування нових методів оцінки природно-техногенної безпеки водних екосистем у зв'язку з посиленням антропогенного тиску на водне середовище. Висловлюється думка, що біоіндикаційна оцінка, що ґрунтується на використанні основних показників фітопланктону, дозволяє найбільш об'єктивно оцінити здатність водойм до самоочищення, їх здатність до трансформації забруднюючих речовин в умовах постійного техногенного навантаження, і тому є важливим використання даних характеристик водної біоти для оцінки стану водної екосистеми.

Ключові слова: *природно-техногенна безпека, водна екосистема, гідроекологічний потенціал, біоіндикаційна оцінка, фітопланктон.*

Bioindicative evaluation of quality and quantitative composition of natural technological safety of water ecosystems

The article describes the environmental requirements and analyzes to use new methods of assessment of aquatic ecosystems safety due to the increasing pressures on water environment.It is suggested that bioindicator estimation based on the use of the main characteristics of phytoplankton allows to most objectively assess water bodies ability to purify water and transform pollutants under continuous anthropogenic impact. Therefore, it is important to use these aquatic biota features to assess the state of aquatic ecosystem.

Key words: *environmental safety, aquatic ecosystem, hydroecological potential, bioindicator assessment, phytoplankton.*

Вступ. Одним із пріоритетів національних інтересів України є екологічна безпека держави . Екологічні проблеми водних екосистем пов'язані з безповоротним водозабором і скидом забруднюючих речовин у водні об'єкти. Господарська діяльність призводить до істотних змін у нормальному перебігу природних процесів, порушення балансу у водних об'єктах, що негативно позначається на розвитку і функціонуванні мешканців водойм. Значне довготривале техногенне навантаження призводить до зниження здатності водних екосистем до саморегуляції, знезараження забруднюючих речовин антропогенного походження. Як наслідок, здатність водойм до самоочищення знижується, погіршується якість води, зменшується видовий склад гідробіонтів [1].

У зв'язку з цим виникає необхідність використання біоіндикаційних методів для оцінки природно-техногенної безпеки водних екосистем. Біоіндикаційна оцінка природно-техногенної безпеки водної екосистеми дозволяє адекватно відображати рівень впливу техногенного середовища на водойму, враховуючи комплексний характер забруднення та явище синергізму полютантів. З використанням даного методу стає можливим на ранній стадії визначити зміни в найбільш чутливих компонентах біотичних угруповань, спричинені дією забруднюючих речовин, та оцінити можливі наслідки внаслідок постійного впливу для усієї водної екосистеми [2].

Мета та завдання. Мета роботи полягає у проведенні біоіндикаційної оцінки верхньої частини Канівського водосховища та встановленні залежності індексу гідроекологічного потенціалу водосховища від основних характеристик фітопланктону.

Для досягнення поставленої мети слід виконати наступні задачі:

1) ознайомитися з сучасними методами оцінки природно-техногенної безпеки водних екосистем та надати характеристику біоіндикації як методу екологічного дослідження;

2) визначити місце фітоіндикації в системі оцінки стану водного середовища та розглянути основні характеристики фітопланктону для проведення біоіндикаційної оцінки природно-техногенної безпеки водних екосистем;

3) надати екологічну оцінку верхньої частини Канівського водосховища, визначити доцільність проведення саме біоіндикаційного дослідження для встановлення категорії природно-техногенної безпеки та інших характеристик водної екосистеми;

4) оцінити гідроекологічний потенціал досліджуваних ділянок водного середовища на основі розрахунку комплексного показника ІГЕП;

5) встановити залежність показника ІГЕП від основних характеристик фітопланктону з використанням кореляційно-регресійного аналізу. Побудувати математичну модель, яка відображає дану залежність;

6) створити комп'ютерну програму для розрахунків за розробленою математичною моделлю, що дозволяє встановити гідроекологічний потенціал водної екосистеми та її здатність до самоочищення, категорію природно-техногенної безпеки водного об'єкта та загальний екологічний стан водного середовища.

Матеріал і результати досліджень.

1.Для впровадження та використання біоіндикаційних методів для оцінки природно-техногенної безпеки водних екосистем необхідно:

- відображати рівень впливу техногенного середовища на водойму;
- враховувати комплексний характер забруднення;
- визначити зміни в найбільш чутливих компонентах біотичних угруповань;
- оцінити можливі наслідки постійного впливу для усієї водної екосистеми;
- вдосконалити екологічне законодавство;
- реформувати екологічне оподаткування;
- активізувати екологічну освіту та екологічне виховання;
- формувати сучасне екологічне мислення;
- готувати фахівців, які б володіли сучасними методами біоіндикації [3].

2. Використання в якості видів-індикаторів представників фітопланктону дозволяє:

- найбільш об’єктивно оцінити здатність водойм до самоочищення;
- оцінити здатність водойм до трансформації забруднюючих речовин в умовах постійного техногенного навантаження;
- встановити допустимий антропогенний вплив на водну екосистему;
- забезпечення збереження екологічної рівноваги;
- забезпечення стійкого розвитку водних об’єктів;
- оцінка формування самоочисного потенціалу у водних екосистемах[4].

3. Основний внесок у забруднення водного середовища верхньої частини Канівського водосховища належить об'єктам комунального господарства. У розрізі водогосподарських ділянок верхньої частини Канівського водосховища значна кількість забруднюючих стічних вод надходить на ділянці водного об'єкта, що розташована в межах м. Києва [5].

Згідно розрахованого середньорічного значення показника ІГЕП встановлено, що досліджувана ділянка Канівського водосховища (згідно методики Л.М. Архипової) характеризується насторожуючим екологічним станом водного середовища, середньою здатністю водної екосистеми до самоочищення, задовільною категорією природно-

техногенної безпеки водойми, ГЕП оцінюються як напруження адаптації [6].

Найвищі значення показників ІГЕП спостерігаються в літній період, згідно з якими гідроекологічний потенціал оцінюється як зона оптимуму потенціалу, здатність водної екосистеми до самоочищення – висока, категорія природно-техногенної безпеки водної екосистеми - висока , оптимальний екологічний стан водного об’єкта. Значення показників ІГЕП, відмінні від середньорічних, пов'язані з формуванням самоочисного потенціалу у водній екосистемі [7].

Висновки. Біоіндикаційна оцінка природно-техногенної безпеки верхньої частини Канівського водосховища з використанням ІГЕП дозволяє виявити здатність водного середовища до самоочищення, уникаючи трудомістких експериментальних досліджень. Результати проведення даної оцінки дозволять здійснити гідроекологічний прогноз розвитку водної екосистеми в часі за умови збереження існуючого рівня антропогенного навантаження, можуть бути використані з метою прийняття управлінських рішень та вжиття відповідних заходів для покращення екологічного стану верхньої частини Канівського водосховища.

Список використаних джерел:

1. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. - М. : Гидрометеоиздат, 1984. - 560 с.
2. Архипова Л. М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем: Монографія / Л. М. Архипова. – Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2011. - 366 с.
3. Данилишин Б. М. Наукові основи прогнозування природно-техногенної безпеки / Б. М. Данилишин, В. В. Ковтун, А. В. Степаненко. - Київ: Лекс Дім, 2004. - 552 с.
4. Василенко О. А. Раціональне використання та охорона водних ресурсів: Навч.посіб. / О. А. Василенко, Л. Л. Литвиненко, О. М. Квартенко. - Рівне: НУВГП, 2007. – 246 с.
5. Данилов-Данильян В. И. Обоснование стратегии управления водными ресурсами / В. И. Данилов-Данильян. - М.: Наука, 2006. - 221с.
6. Майстренко В. Н. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнений / В. Н. Майстренко, Н. А. Клюев. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 323 с.
7. Шматько В. Г. Екологія і організація природоохоронної діяльності / В. Г. Шматько, Ю. В. Нікітін. – К.: КТН, 2008. 304 с.

УДК 502.335

Савченко Анастасія Едгарівна
Кафедра інженерної екології

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

У статті проводиться характеристика екологічних вимог і аналізуються норми правових актів, які визначають напрямки і способи захисту навколишнього середовища від забруднення відходами харчових підприємств. Висловлюється думка, що вдосконалення системи екологічного менеджменту це один з найефективніших методів впливу на екологічну ситуацію підприємств харчової промисловості.

Ключові слова: *система екологічноео менеджменту, iso 14001, екологічна безпека, swot-аналіз, екологічний ризик, стейкхолдер, підприємство харчової промисловості.*

The article describes the environmental requirements and analyzes the norms of legal acts that determine the directions and ways of protecting the environment from pollution by food industry waste. It is suggested that improvement of the ecological management system is one of the most effective methods of influencing the ecological situation of food industry enterprises.

Key words: *ecological management system, iso 14001, ecological safety, swot-analysis, ecological risk, stacker, food processing enterprise,.*

Вступ. Проаналізувавши сучасні методи зниження негативного впливу підприємств харчової промисловості на довкілля, досвіду різних країн щодо проведення екологізації підприємств показав, що найефективнішим є управлінський метод реалізації принципів сталого розвитку, тобто впровадження системи екологічного менеджменту[1], яка спирається на виконання вимог стандарту 180 14001:2015г

Основним поштовхом до поліпшення системи екологічного менеджменту на підприємствах харчової промисловості є вихід на європейський ринок. Розвиток відносин істотно полегшується при наявності у підприємства сертифікованої системи екологічного менеджменту[2].

Мета та завдання. Метою є запровадження науково-методичних підходів до формування системи екологічного менеджменту на підприємствах харчової промисловості.

Для досягнення поставленої мети слід виконати наступні задачі:

1) дослідити основні засади запровадження системи екологічного менеджменту;
2) дослідити міжнародні стандарти в галузі СЕМ, а саме серію ISO 14000;
3) провести аналіз екологічних ризиків, що виникають в процесі експлуатації підприємств харчової промисловості;
4) провести літературний та патентний огляд інформації з оцінки екологічних ризиків;
5) провести розрахунок еколого-економічних ризиків;

Матеріал і результати досліджень.

1.Для впровадження системи екологічного менеджменту на підприємствах харчової промисловості необхідно:

- вдосконалити екологічне законодавство;
- реформувати екологічне оподаткування;
- активізувати екологічну освіту та екологічне виховання;
- формувати сучасне екологічне мислення;
- готувати фахівців, які б володіли сучасними методами й технологіями екологічного

менеджменту.[3]

2. Сертифікація за ISO 14001 дає змогу підприємствам харчової промисловості:

- вийти продукції на міжнародні ринки;
- покращити імідж компанії в області виконання природоохоронних вимог, в тому числі природоохоронного законодавства;
- знизити екологічні платежі (екологічний податок за викиди шкідливих речовин, скиди стічних вод, розміщення відходів) та штрафні санкції;
- економити енергію та ресурси за рахунок більш ефективного управління
- ними;
- збільшити оціночну вартість основних фондів підприємства;
- вийти на ринок «зеленої» продукції;
- вдосконалити систему управління підприємством;
- збільшити інтерес у залученні висококваліфікованої робочої сили.

3. Вдосконалення СЕМ запропоновано проводити за наступною методикою: проведення SWOT - аналізу підприємства харчової промисловості, розгляд впливів та інтересів стейкхолдерів та оцінка рівня екологічної безпеки.[4,5]

Пивоварна промисловість, яка розглядалась в дослідженні є достатньо матеріалоємною і ресурсоємною галуззю і, як наслідок, джерелом значної кількості відходів, які можуть бути цінними вторинними ресурсами. Основними відходами є пивна дробина, з якої можна виробляти біогаз, екологічне добриво, електроенергію, застосовувати при виготовленні хліба, макаронних і ковбасних виробів.

Аналіз екологічних ризиків, що виникають в процесі експлуатації підприємств харчової промисловості проводився за наступними екологічними аспектами[6,7]:

1) викиди в атмосферу;
2) скиди стічних вод;
3) забруднення ґрунту;
4) використання сировини і природних ресурсів;
5) утворення відходів.

Висновки. Прогнозування ризику виникнення аварійних ситуацій на підприємствах харчової промисловості показало, що без вдосконалення СЕМ кількість аварій може збільшитись до 90 в 2020 році. Це пояснюється зношенням обладнання та закінченню терміну його експлуатації, що в майбутньому може призвести до катастрофічних наслідків. Вдосконалення СЕМ дає змогу зменшити кількість надзвичайних ситуацій техногенного характеру на 19,87%. Також прослідковується тенденція до зниження кількостей аварійних ситуацій і в 2020 році їх вже може бути менше 50. В разі реалізації стратегічного рішення стосовно встановлення біогазової установки витрати перетворюються на доходи підприємства, оскільки є можливість повністю забезпечити себе біогазом власного виробництва.

Список використаних джерел:

1. Кожушко, Л. Ф. Екологічний менеджмент [Текст] / Л. Ф. Кожушко, П. М. Скрипчук. -К.: ВЦ «Академія», 2007. - 43£с.

2. Максимів, Л. І. Сутність, завдання і нормативно-правове забезпечення екологічного менеджменту [Текст] / Л. І. Максимів, О. А. Потай // ЛАН України : Наукові праці. - 2007, №5. - С. 103-109.

3. Кошова, В. М. Чисте довкілля - додатковий прибуток [Текст] / В. М. Кошова, А. М. Куц, М. О. Лубяной // Харчова промисловість. — 2014. — № 15. — С. 72-77.

4. Синчук, І.В. Вплив SWOT-аналізу на прийняття управлінських рішень в умовах фінансової кризи [Текст] / І.В. Синчук // «Молодий вчений». - 2016, №3(30).-С. 174-178.

5. Арефьєва, О. В. Інтереси стейхолдерів в організаційному забезпеченні стратегічного управління фінансовим потенціалом підприємств [Текст] / О. В. Арефьєва, П. В. Комарецька // Актуальні проблеми економіки. - 2008. - №9. - С. 80.

6. Донченко, В.К. Экологическая экспертиза: Учеб, пособие для студ. высш. учеб. Заведений [Текст] / В.К. Донченко,,В.М. Питулько, В.В. Растоскуев. - М.: Издательский цех «Академия», 2004. - 480с.

7. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Затверджено Наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 04.12.2002 №637

УДК 504.06

Литвиненко Валерія Анатоліївна
Кафедра інженерної екології

ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД, ЯКІ МІСТЯТЬ ГЕКСАМЕТИЛЕНДІАМІН

Анотація. *Стічні води, забруднені гексаметилендіаміном (ГМД), які скидаються в природні водойми, викликають загибель гідробіонтів і водної рослинності, погіршують якість води, яка стає непридатною для використання. Для очищення стічних вод від ГМД була розглянута можливість застосування бактеріальних культур-деструкторів, які використовують ГМД як джерело живлення, за допомогою установка мікробіологічної очистки. Технологічна суть "біоконвеєра" полягає в тому, що на шляху води, яку необхідно очистити, розміщені гідробіонти – анаеробні бактерії, аеробні мікроорганізми, фільтратори. Вони споживають розчинені в воді органічні сполуки і біомасу організмів. При цьому чим більше кількість трофічних рівнів задіяно в біореакторі, тим менше біомаси залишається в очищеній воді.*

Ключові слова: *стічні води, біореактор, гексаметилендіамін, фільтратори, мікроорганізми.*

ГМД широко використовується промисловістю при виготовленні поліамідних матеріалів, а також як речовина при виробництві епоксидних смол та інших речовин. В той же час, ГМД є фізіологічно активною, токсичною і небезпечною речовиною (II клас небезпеки), здатною викликати у людей опіки, екземоподібні дерматити, захворювання нервової системи та шлунково-кишкового тракту. Стічні води, забруднені ГМД, які скидаються в природні водойми, викликають загибель гідробіонтів і водної рослинності, погіршують якість води, яка стає непридатною для використання.

Для очищення стічних вод від ГМД була розглянута можливість застосування бактеріальних культур-деструкторів, які використовують ГМД як джерело живлення. Основою мікробіологічного методу є високоефективні новітні спорові бактерії Bacillus subtilis які використовують ГМД як джерело вуглецю, азоту та енергії [1].

Для промислового використання цих бактеріальних культур створена установка мікробіологічної очистки, до складу якої входять:

1) нейтралізатор об'ємом 8 м^3;

2) три біореактори об'ємом по 25 м^3 з насадками з анідного волокна типу «Вія», які прикріплюють мікроорганізми-деструктори;

3) відстійник об'ємом 6 м^3.

Очищення стічних вод підприємства від ГМД здійснюється безперервно, за технологічною схемою, яка зображена на рисунку 1.

Основу запропонованої технології мікробіологічного очищення складають біореактори, які забезпечують необхідну якість та продуктивність очищення[2]. З нейтралізатора стоки насосом подаються в біореактори, де вони розпорошуються форсунками. Вирощену в лабораторних умовах біомасу мікроорганізмів-деструкторів вводять в камеру біомаси. Саме в біореакторах на насадках з анідних волокон і здійснюється процес поглинання і розщеплення ГМД мікроорганізмами. Для кращого перемішування і підвищення ефективності очищення в біореакторах проводиться аерація води.

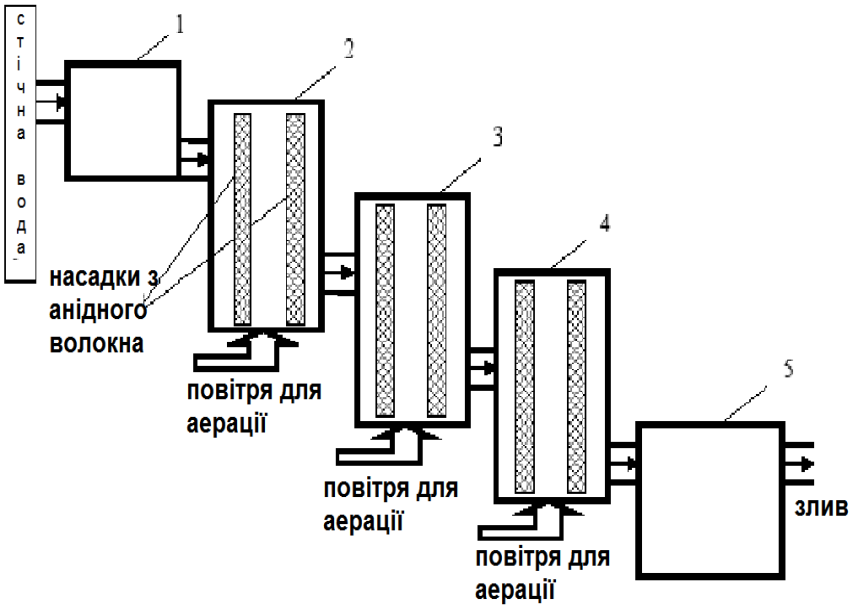


Рисунок 1 – Технологічна схема очищення стічних вод від ГМД: 1- нейтралізатор; 2- 1-й біореактор; 3 – 2-й біореактор; 4 – 3-й біореактор; 5 – відстійник.

Основне зниження концентрації ГМД відбувається в першому біореакторі з 2500 мг/л до 100 мг/л. У наступних біореакторах концентрація ГМД знижується до 5 мг / л. Після очищення в біореакторах стічні води надходять в бак-відстійник, де біомаса випадає в осад, а очищені від ГМД стоки спрямовуються у ставок-накопичувач.

При очищенні стічної води з концентрацією ГМД 1-4 г/л за допомогою запропонованої технології залишкова концентрація не перевищує 1,1 мг/л, тобто ступінь очищення води від ГМД становив 99,93%.

Отже, застосування біоконвеєра дозволяє ефективно переробляти надлишкову біомасу мікроорганізмів, яка вимивається з біореакторів і не може бути повністю вилучена з вторинного відстійника через дуже малі розміри.

Список використаних джерел:

1. Глоба, Л. И. Биологическая деноксация химических патогенов в водной среде [Текст] / Л. И. Глоба, П. И. Гвоздяк // Гигиена и санитария. – 2015. – № 1. – С. 46–50.

2. Щетинин, А. И. Опыт реконструкции очисних сооружений с применением технологии нитро-денитрификации – Київ 2012.

3. Гвоздяк, П. І. Біотехнологічне знешкодження гексаметилендіамінвмісних промислових токсичних відходів у ставку-накопи-чувачі / П. І. Гвоздяк, О. В. Сапура, Т. П. Чехівська // Вісник Національного університету водного господарства таприродокористування. – 2015. – № 1 (69). – С. 102–110.

УДК 504.61

Сокур Вероніка Григорівна
Кафедра інженерної екології

ВИКОРИСТАННЯ СІНА ТА ІНШИХ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАПЕРУ

Папір – це матеріал, що складається з розмелених рослинних волокон, безладно переплетених і зв'язаних між собою силами поверхневого зчеплення. Для виготовлення одного аркуша паперу формату А4 потрібно від 13 до 21 грама якісної деревини, а для виготовлення однієї книги – близько 5 кілограмів сировини. Тільки для виробництва паперу у світі щорічно вирубується більше 125 мільйонів дерев.

Також під час виробництва паперу використовується чимало технологенних процесів, які відображаються на екологічній ситуації довкола самого виробництва. Адже задля паперу доводиться використовувати багато деревини, води та електроенергії. Для прикладу, більше 20 % світової заготівлі деревини припадає на паперове виробництво — що дуже суттєво понизило лісові площі в багатьох країнах — і викликає чимале невдоволення в екологічних інстанцій.

Знищення лісу завдасть людству непоправної шкоди. В наш час виробництво паперу продовжує нарощувати темпи, а це призводить до вирубки лісів, наприклад, за різними оцінками, в США щороку вирубують близько 830 млн т дерев. Але існує альтернативний спосіб виробництва паперу. Для цього використовують звичайну солому.

Щороку в Україні утворюється приблизно 20 млн т пшеничної соломи. З них понад 5 млн т взагалі не використовується. Щоб виробити тонну целюлози, потрібно 2,5 т соломи. Отже, з 5 мільйонів можна отримати 2 млн т целюлози і приблизно стільки ж паперу чи картону. Для порівняння: нині Україна щорічно споживає 1,6 млн т різних видів картонно-паперової продукції, це 35 кг на одного жителя. У США на одного жителя припадає 312 кг, у країнах Західної Європи – понад 170 кг. Кожен житель планети Земля щорічно споживає 55 кг паперу і картону. Україна відстає від середньосвітового рівня в 1,7 раза.

Витрата матеріалу для виготовлення паперу: в середньому, для виробництва однієї тонни паперу необхідно півтори тонни соломи, для виготовлення картону - дві тонни. Іноді в процесі виробництва додають невелику кількість переробленої макулатури.

Запаси соломи величезні, тому дуже ефективно використовувати її, замість дерев. Папір і картон, зроблені таким чином, якісні та екологічно безпечні. Виробляти їх можливо не тільки з соломи, а й на основі аналогічних матеріалів, таких як, очерет, рогозу.

З наведених даних видно, що попит на виготовлення паперу не зменшується і відповідно, вирубка лісів також, тому дуже актуально виробляти папер з альтернативних матеріалів, які не лише скоротять вирубку лісів, а й в загальному зменшать негативний вплив на довкілля.

Список використаних джерел:

1. Загальна характеристика техносфери [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pidruchniki.com/70447/ekologiya/tehnoekologiya.
2. Виробництво деревини та паперу в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://storinka.click/168-virobnictvo-derevini-ta-paperu-v-ukrayin-nayblsh-u-svt-krayini-virobniki-derevini-ta-paperu.html

УДК 622.241

Мельник Анастасія Михайлівна
Кафедра інженерної екології

ДОДАВАННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ ДО СКЛАДУ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК ЗАСІБ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Обґрунтовано склад будівельних матеріалів з додаванням мінеральної вати для захисту від електромагнітних полів; визначено теплоізоляційні властивості та показники міцності.

***Ключові слова**: будівельні матеріали, цегла, мінеральна вата, теплоізоляція, електромагнітне поле, виробництво, відходи.*

ADDING MINERAL WOOL TO BUILDING MATERIALS AS A PROTECTION AGAINST ELECTROMAGNETIC FIELDS

The structure of building materials with the addition of mineral wool for protection against electromagnetic fields is substantiated; thermal insulation properties and strength indicators are determined.

***Key words**: building materials, brick, mineral wool, thermal insulation, electromagnetic field, production, waste.*

Вступ. Аналіз літературних джерел показав, що наразі існує тенденція використання відходів виробництва у технології будівельних матеріалів. Вченими доведено, що люди все більше страждають від впливу електромагнітних полів. Для вирішення цього питання запропоновано додавати мінеральну вату та відходи виробництва мінеральної вати до складу будівельних матеріалів, що додатково дозволить покращити теплоізоляційні показники, скоротити витрату основної сировини та відповідно собівартість.

Аналіз стану питання дозволив висунути наступну робочу гіпотезу: для отримання екологічно безпечних будівельних матеріалів з поліпшеними характеристиками поглинання електромагнітних полів необхідно використовувати мінеральну вату та відходи від її виробництва.

Метою роботи є визначення вмісту мінеральної вати у складі будівельних матеріалів для підвищення їх теплоізоляційних властивостей і захисту від електромагнітних полів.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні **завдання:** проаналізувати патентні дослідження, вітчизняну і зарубіжну літературу стосовно впливу електромагнітного випромінювання на організм людини; проаналізувати склад і властивості сировини для виробництва будівельних матеріалів; визначити вміст мінеральної вати у складі будівельних матеріалів; визначити рівень електромагнітного і теплового випромінювань від вмісту мінеральної вати у будівельних матеріалах.

Матеріал і результати досліджень. У більшості випадків глибина проникнення радіовипромінювання в однорідне за складом середовище може бути оцінена за наближеною формулою [1]:

$$\delta_{\text{р}} = \frac{\lambda}{2\pi}\frac{\sqrt{\varepsilon'}}{\varepsilon''}\ , \qquad (1)$$

де $\delta_{\text{р}}$ – відстань від межі розподілу середовищ, де величина потужності електромагнітних хвиль на 4,34 дБ менша за потужність падаючої хвилі в точці, що

знаходиться безпосередньо під поверхнею; λ – довжина робочої хвилі у вільному просторі; $\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$- відносна комплексна діелектрична проникність середовища.

Розрахунки за формулою (1) дозволяють орієнтуватися в оцінках поглинання радіохвиль перешкодами та занесені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Глибина проникнення для деяких матеріалів

Матеріал	ε'	ε''	$\delta_р$ (м), λ=3м
Кварцовий пісок	2,3	0,003	2,5
Граніт	4,6	0,05	0,2
Базальт	5,3	0,26	0,042
Воді прісна	60	27,0	$1{,}2\cdot10^{-3}$
Сухий сніг	1,8	$6{,}0\cdot10^{-4}$	10,7
Сухий лід	3,0	$1{,}2\cdot10^{-4}$	68,9
Глина – обємний вміст вологи - m_v			
m_v=0,05 г/см^3	3,1	0,1	0,08
m_v=0,34 г/см^3	21	4,8	$4{,}5\cdot10^{-3}$

Для отримання результатів була використана установка, принципова схема якої показана на рисунку 1.

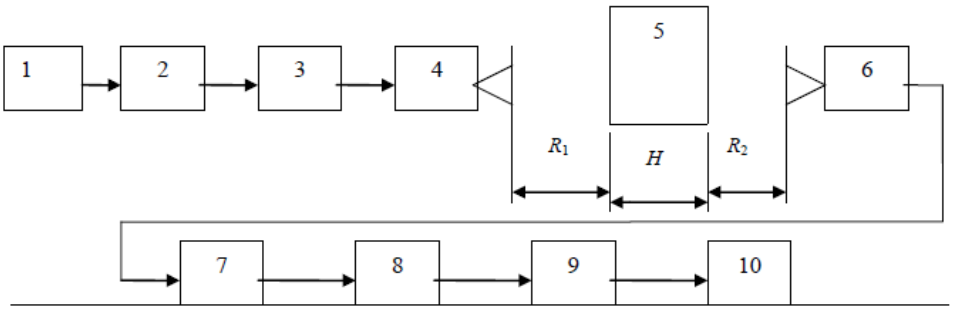


Рисунок 1 – Схема вимірювальної установки: 1- генератор НВЧ; 2 – калібрований атенюатор; 3 – відрізок кабелю; 4 – антена передавача; 5 – досліджуваний об'єкт; R_1 R_2 – відстань до об'єкту; H – товщина стіни, збудованої з цегли з додаванням мінеральної вати; 6 - антена приймача; 7 – відрізок кабелю; 8 – детектор; 9 - підсилювач; 10 – осцилограф

У таблиці 2 представлені частотні залежності погонного затухання γ і дійсної частини діелектричної проникності ε' сухих і зволожених пісків, вапняків, сланців, вологого вугілля і граніту, асфальту, цегли і бетону.

Таблиця 2 – Частотні залежності погонного затухання γ і дійсної частини діелектричної проникності ε' [2]

Частота, МГц	γ, дБ/м	ε'
1	0,02	8,0
3	0,05	7,0
10	0,1	6,0
30	0,4	5,0
100	1,0	4,5

300	2,0	4,5
1000	5,0	4,5
3000	10,0	4,5
10000	20,0	4,0

Висновки. Послаблення поля радіохвилі цегляною стіною складає 6 дБ при товщині стіни до 30 см. Втрати не залежать від довжини хвилі, яку застосовують. Отриманих даних недостатньо для встановлення закономірності, тому необхідно продовжити дослідницьку роботу.

Список використаної літератури

1. Фінкельштейн М. І. Застосування радіолокаційного підповерхневого зондування в інженерній екології / М. І. Фінкельштейн, В. А. Кутєв, В. П. Золотарьов. – Москва: Надра, 1986. – 128 с.
2. Кофман Л. Н. Затухання радіохвиль у гірських породах / Л. Н. Кофман. // Вніга. – 1980. – №3. – С. 61–65.

УДК 502/504

Ткаченко Марія Олексіївна
Кафедра інженерної екології

СИНТЕЗ МОДЕЛІ КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ В ЧАСІ ВЕРСТАТІВ ТИПУ СБШ

Всі стани і переходи в системі залежать від станів окремих підсистем і їх кількість розраховується за формулою $N = 2^n$. У нашому випадку для двох підсистем маємо $N = 2^2 = 4$ станів: 0 - відмов і перерв немає, верстат працює; 1 - простий бурового верстата по першій підсистемі дільничних відмов і технологічних перерв; 2 - простої верстата по другій підсистемі дільничних відмов і організаційних перерв.

Крім цих трьох простих станів можливий ще один складний, тобто такий, при якому буровий верстат простоює одночасно з кількох причин. Цей стан 1.2 - простий верстата з причин першої і другої підсистем дільничних відмов, що діють одночасно.

Стани 0.1; 1.0; 0.2; 2.0 неможливі, оскільки вони мають несумісності. Неможливий також стан 2.1, так як при відмовах другої підсистеми відмова по першій підсистемі виникнути не може. Це ж обставина вплинула на те, що одні стани пов'язані взаємними переходами, а стан 1.2 - одностороннім. Так, зворотний перехід зі стану 1.2 → 1 неможливий, так як виникша перша відмова по 1-ій підсистемі першим і усувається, а відмова по 2-ій підсистемі очікує своєї черги (обмежене відновлення). При закінченні усунення відмови 1-ої підсистеми система в цілому завжди перейде в стан 2, тобто почнеться усунення відмови у другій підсистемі. Всі стану, переходи і їх інтенсивності зображені на рис. (4.7) у вигляді графа станів системи «забій».

На підставі розробленого графа складемо диференціальні лінійні рівняння Маркова-Колмогорова, що описують зміну в часі ймовірності станів системи «забій».

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2)P_0(t) + \mu_1 P_0(t) + \mu_2 P_2(t);$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -\mu_1 P_1(t) - \lambda_2 P_1(t) + \lambda_1 P_0(t); \qquad (4.21)$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = \mu_2 P_2 + \lambda_2 P_0 + \mu_1 P_{1-2};$$

$$\frac{dP_{1-2}(t)}{dt} = -\mu_1 P_1(t) + \lambda_2 P_1(t).$$

Для відшукання стаціонарного вирішення цієї системи прирівняємо похідні нулю і вирішимо отриману систему лінійних алгебраїчних рівнянь з урахуванням умови повної ймовірності

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_{1-2} = 1. \qquad (4.22)$$

Імовірність кожного стану описується виразом:

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu^1 - \lambda_2} P_0; \quad (4.23)$$

$$P2 = \frac{\mu_1}{\mu_2} P^{1-2} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} P^0 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu_2(\mu_1 \lambda_2)} P^0 + \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_0; \quad (4.24)$$

$$P^{1-2} = \frac{\lambda_2}{\mu_1} P^1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu_1(\lambda_2 + \mu_1)} P_0; \quad (4.25)$$

$$P^0 = \overline{K_и} = \left[1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_1}{\lambda^2 + \mu_1}\left(1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)\right]^{7}. \quad (4.26)$$

Отримана формула (4.26) дозволяє розраховувати математичне очікування коефіцієнта використання бурового верстата в часі з урахуванням всіх різновидів та відмов обладнання.

Вплив організаційних, технологічних і технічних факторів на математичне очікування оцінюється за виразом (4.26) не прямо, а через вплив цих же факторів на раніше розглянуті параметри λ_1 і μ_1 простоїв відповідної підсистеми. Комплексна оцінка такого впливу, проведена за допомогою ЕОМ, показала, що внесок кожного виду простоїв бурового верстата в формуванні коефіцієнта використання верстата в часі неоднаковий. Значний вплив надають технологічні операції: нарощування бурового става, перехоплення штанг патронів, очищення та продування свердловини (рис. 4.10). Так як коефіцієнт використання бурового верстата в часі є випадковою величиною, то для оцінки тільки математичного очікування недостатньо. Необхідний показник, що враховує, коливання цього параметра по окремим змінах за певний період. При цьому про ефективність роботи бурового ділянки говорить не тільки високі середнє значення коефіцієнта використання верстата в часі, але і його стабільності. Таким показником можуть служити дисперсія або коефіцієнт варіації коефіцієнта використання верстата в часі

$$D[K_и] = \frac{n}{\lambda^2 t^2} = \frac{\mu}{(\lambda + \mu)t}; \quad (4.27)$$

$$R_и = \frac{\sigma_и}{\overline{K_и}} = \sqrt{\frac{\lambda + \mu}{\lambda \cdot \mu \cdot t}} = \frac{1}{\sqrt{n \cdot \overline{K_и} \cdot t}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (4.28)$$

Як випливає з останнього виразу, на стабільність розглянутого параметра впливає не тільки його математичне очікування $K_и$, а й інтенсивність напрацювання на відмову λ. Найбільш просто оцінка стабільності коефіцієнта використання верстата в часі виражається через середню кількість періодів безперервної роботи бурового верстата n протягом зміни, яке визначається за виразом

$$n = \frac{\mu\lambda}{\lambda + \mu} t_c. \quad (4.29)$$

Так як стабільність коефіцієнта використання верстата в часі від його середнього значення (4.28), то зміна факторів, що ведуть до збільшення середнього значення коефіцієнта використання верстата в часі, в той же час збільшує і його стабільність при інших рівних умов. В цілому необхідно відзначити, що час роботи бурового верстата оцінюється не одним, а двома показниками - математичним очікуванням і коефіцієнтом варіації. Кардинального

збільшення коефіцієнта використання бурового верстата в часі за рахунок якого-небудь одного фактора домогтися не можна. Необхідні загальне поліпшення організації робіт, підвищення надійності устаткування і, в першу чергу, за рахунок раціональних режимів його експлуатації та ремонту, перехід на малоопераційних технологію, зменшення часу на кінцеві операції.

Облік ймовірного характеру процесу формування коефіцієнта використання верстата в часі з урахуванням коливань і обмежень спричинив за собою не тільки необхідність розробки нової моделі, але також залучення нової додаткової інформації - інтенсивності напрацювання на відмову λ_1 по кожному виду простоїв і максимально можливе значення коефіцієнта використання бурового верстата під часу $K_{и\ max}$. Така побудова методики (рис. 4.8) дозволяє підвищити загальну точність, що підтверджується достовірність основних її положень і доцільність деякого збільшення обсягу вихідної інформації та ускладнення розрахунків.

Список використаних джерел:

1. Кухарь В.П., Зайцев И.Д., Сухоруков Г.А. Экология. Оптимизация технологии производства и природоиспользования. - К.: Наукова думка, 1989.-263 с.
2. Ресурсозбереження в гірничій справі. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів зі спеціальності "Інженерна екологія у гірництві. Уклад. В.Д. Воробйов, А.І. Крючков, А.П. Пашков - К.: ІВЦ Видавництво "Політехніка", 2004. - 42 с
3. Кравченко Ю.С. Ресурсо- и энергозбережения на предприятиях горно-металлургического комплекса // Металлургическая и горнорудная промышленность, - Днепропетровск, 2007. - № 3. - С. 1-4.
4. ДСТУ 3051-95 (ГОСТ 30166-95) Ресурсозбереження. Основні положения. - К., 1995-32 с.
5. Хоменко О.Е., Мальцев Д.В. Ресурсозберегающая технология бурвзрывных работ для условий Ватутинского урановорудного месторождения // Науковий вісник Национального гірничого ун-ту. -Дніпропетровськ, 2007-№ I — С. 13-16.

УДК 665.521.004.17 + 536.423.4

Ткаченко Володимир Вікторович
Кафедра інженерної екології

УТИЛІЗАЦІЯ ПАРІВ БЕНЗИНУ УСТАНОВКАМИ КОМПРЕСІЙНОГО ТИПУ

На перевалочних пунктах нафтопереробного комплексу при наповненні резервуарів та видачі нафтопродуктів в атмосферу виділяються сотні тон парів бензину. Це призводить до втрат джерела енергії та забруднення атмосферного повітря. Утилізація парів нафтопродуктів при видобуванні, переробці та зберіганні передбачена державною програмою щодо захисту атмосфери від шкідливого впливу вуглеводнів [1,2]. Системи утилізації парів бензину з використанням компресорної установки розробляє науково-виробнича інжинірингова компанія «Зірка».

Ключові слова: *пари бензину, нафтобаза, утилізація, багатоступінчатий компресор, нафтопродукти.*

At the transshipment points of the oil refining complex, when filling the tanks and delivering petroleum products to the atmosphere, hundreds of tons of gasoline vapor are emitted. This results in loss of energy and pollution of the air. Utilization of petroleum products at extraction, processing and storage is provided by the state program for protecting the atmosphere from the harmful effects of hydrocarbons. Systems of utilization of gasoline vapors using a compressor installation is being developed by the scientific and production engineering company Zirka.

Keywords: *steam of gasoline, oil tank, utilization, multistage compressor, petroleum products.*

Утилізація парів бензину із парогазової суміші, що утворюються у процесі зберігання та перевалки нафтопродуктів на нафтобазах, забезпечує екологічну та пожежну безпеку цих об’єктів а також ліквідує втрати нафтопродуктів [3]. Втрати нафтопродуктів, крім проливів, зв’язані з викидами парів бензину в атмосферу при наповнюванні та видачі бензину із резервуара (велике дихання), а також при зміні температури та тиску атмосфери (мале дихання).

Втрати бензину на типовій нафтобазі представлені у табл. 1. Із табл. 1, пункт 6 слідує, що викиди парів бензину в атмосферу складають 2472 т/рік. Тому припинення або істотне зниження викидів парів бензину в атмосферу покращує екологічну ситуацію регіону, підвищує пожежну безпеку а також веде до значного збереження енергетичних ресурсів. Викиди парів бензину при малому диханні можна практично повністю припинити шляхом приєднання газгольдера необхідного об’єму до газоврівноважувальної системи резервуара [4,5].

Обв’язування наливних автомобільних та залізничних естакад та приєднання їх до газгольдерів призводить до припинення викидів в атмосферу парів бензину, що викликані великим диханням при прийомі бензину.

Теоретичні основи застосування підвищення тиску газу для утилізації парів бензину приведені в [6,7]. Важливо пам’ятати, що конденсація парів різних марок бензину можлива

при певних поєднаннях температури та тиску парогазової суміші. Поєднання цих параметрів визначають технічну реалізацію системи конденсації парів. Залежність концентрації парів бензину у повітрі від тиску та температури представлена на рис.1. Необхідні параметри відповідають точкам перетину функціональних кривих Cpki та прямої Ctr. Важливо обрати технічні засоби які найбільш раціонально та економічно ефективно реалізують необхідні параметри підвищення тиску парогазової суміші.

Таблиця 1. - Втрати бензину на типовій нафтобазі

№	Параметри викидів резервуарного парку	Розмірність	Величина
1	Максимальний добовий викид малого дихання резервуарного парку	$м^3$/добу	3864
2	Втрати парку від малого дихання	т/рік	1426
3	Втрати парку від великого дихання при прийманні бензину	т/рік	523
4	Сумарні втрати нафтобази від малого та великого дихання при прийманні бензину	т/рік	1949
5	Втрати нафтобази від великого дихання при видачі бензину в авто та залізничні цистерни	т/рік	523
6	Сумарні викиди в атмосферу від малого дихання, прийому та видачі бензину	т/рік	2472
7	Кількість парів бензину, що підлягають утилізації	т/рік	523

Стан продуктовмісту, маси повітря та парів бензину на одиницю об’єму пароповітряної суміші для двох типів бензину з різним тиском насиченої пари за температури 38°С при однакових умовах показано на рис.2.

Ці відмінності необхідно враховувати при проектуванні багатоступінчатих компресорів. У процесі підвищення тиску та охолодження на кожній наступній ступені компресора частина парів бензину конденсується і масова витрата парогазової суміші, що підлягає стисканню в його послідуючих ступенях значно зменшується.

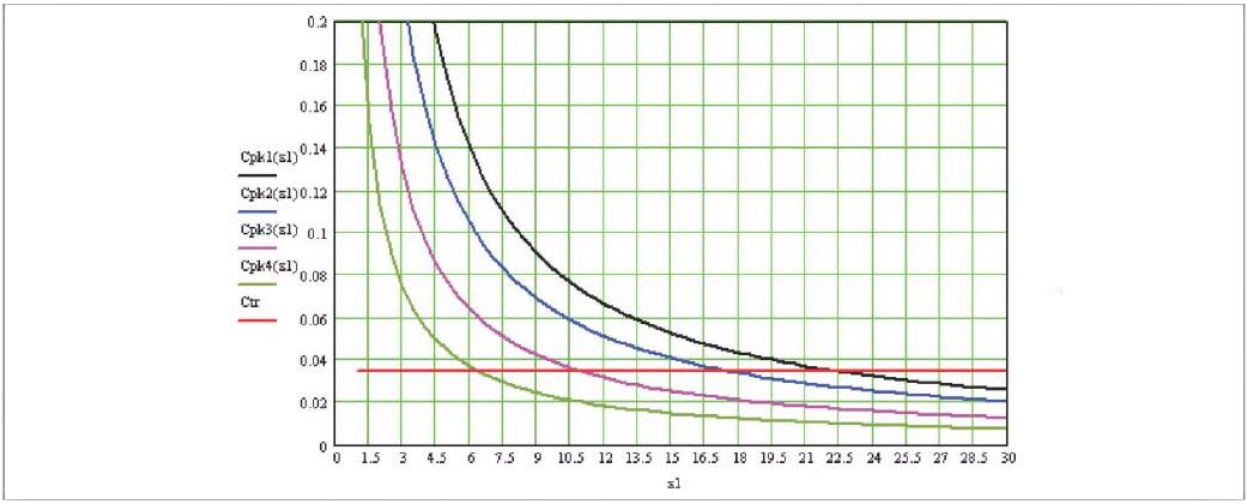


Рис.1 – Залежність концентрації парів бензину з ps(38)=58200 у пароповітряній суміші від тиску та температури конденсації

Науково-виробничою інжиніринговою компанією «Зірка» розроблено та випробувано установки компресорного типу для конденсації парів бензину продуктивністю 180 м^3/год. Установки призначені для стискання пароповітряної суміші легких вуглеводнів, що утворюється у процесі зберігання та транспортування бензину, нафти та інших нафтопродуктів, а також для отримання їх рідких фракцій із послідуючим зливанням під шар бензину.

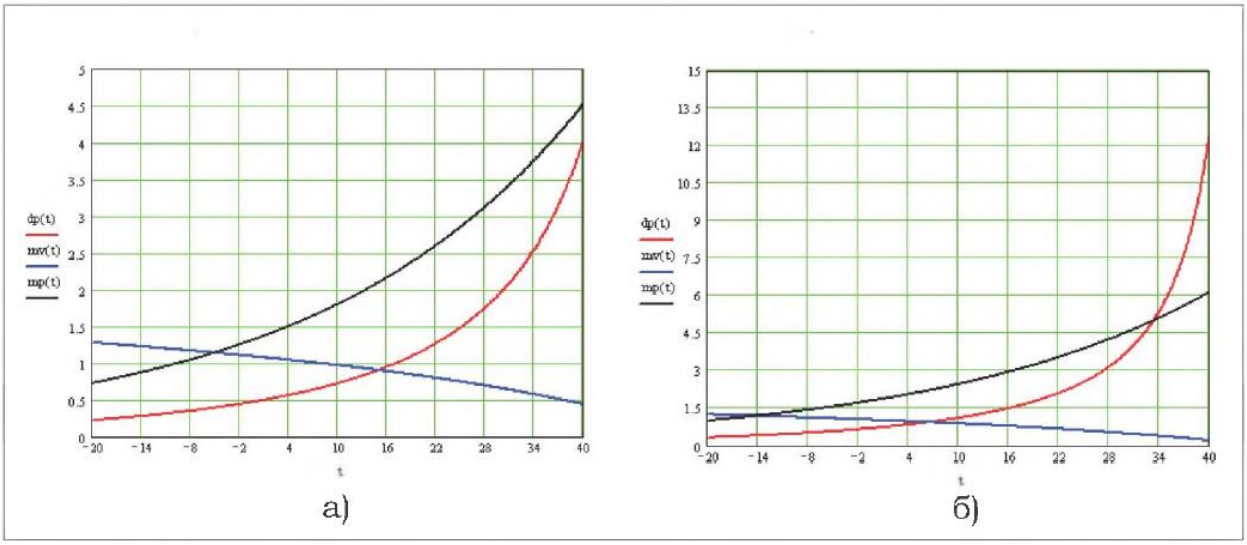


Рис.2 – Залежність параметрів пароповітряної суміші від температури точки роси пари: а) p(38) = 58800 Па; б) p(38) = 79900 Па; dp[кг/кг] – продуктовміст; mv[кг/м^3] – маса повітря; mp[кг/м^3] – маса пари

Вибір систем з використанням компресорної установки для конденсації парів бензину із пароповітряної суміші обумовлено наступними факторами:

- Відсутність технологічних ліній регенерації сорбентів;
- Висока конструктивна надійність та простота експлуатації;

- Високий рівень пожежної безпеки
- Відносно низька вартість
- Термін окупності до 1.5 років.

Висновки. Приведені дослідження підтверджують можливість вловлювання, накопичення та утилізації парів бензину які утворюються у результаті зміни умов навколишнього середовища, а також при переливанні нафтопродуктів. Результатом впровадження наведених вище технологій буде сильне зменшення втрат ресурсів та антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище.

Список використаних джерел:

1. Розпорядження Президента України. Київ. 12 червня 2002 р. № 188/202-рп.

2. Общегосударственная программа защиты атмосферного воздуха от выбросов углеводородов и диоксида серы «Чистый воздух» на 2003 - 2010 годы.

3. Константинов Н.Н.. Борьба с потерями от испарения нефтепродуктов. Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. - Москва:, 2006.

4. Декларационный патент Украины № 47729А, от 15. 07. 2002, Бюл. № 7.2002 р.

5. Декларационный патент Украины Ns 61305А, от 17. 11. 2003, Бюл. № 11.2003 р.

6. Греков В.Ф., Пъянков А.А, Овсиевский А.А. Конденсация паров бензина с помощью компрессорной станции. // Компрессорное и энергетическое машиностроение - 2007.- №2(2).~ С. 30-33.

7. Греков В.Ф., Пъянков А.А, Овсиевский А.А. Подход к выбору компрессорно-холодильного агрегата для конденсации паров бензина // Компрессорное и энергетическое машиностроение.- 2008- №3(9). С. 51-55.

УДК 502/504

Борисюк І.М.
Кафедра інженерної екології

ПРОЦЕСИ ДЕРЕВООБРОБКИ ІЗ ЗМЕНШЕННЯМ ВИКИДІВ ФОРМАЛЬДЕГІДІВ У АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

Продукти деревообробної промисловості завжди користувалися попитом серед споживачів. Кінцевий продукт даної промисловості залежить не лише від якості сировини, але і від умов виготовлення. Процеси деревообробки пов'язані із виділенням в атмосферу низки шкідливих речовин, серед яких: формальдегід, оксиди азоту, оксид вуглецю, пари розчинників, та інші.

Серед усіх процесів деревообробки найбільшими забруднювачами атмосфери є виробництва деревостружкових та деревоволокнистих плит, цехів меблевих виробництв, клеєної фанери, приготування сечовинно-формальдегідних смол та ін.

У пресових відділеннях цехів застосовують синтетичні смоли з різним вмістом вільного формальдегіду (0,3 – 0,4мг/м3), який і відповідає за високе початкове забруднення повітря. В процесі виробництва декоративних плівок на основі паперу вміст формальдегіду в смолі становить 0,3 – 1,2 мг/м3 (при ГДК 0,5 мг/м3). Крім того, у атмосферу виділяються пари стиролу, ацетону, ксилолу, бензолу, бутилацетату, етилацетату тощо. Оскільки показники викидів шкідливих речовин перевищують гранично-допустимі концентрації, тому очищення повітря від цих речовин є актуальною задачею.

Очищення атмосферного повітря від токсичних парів формальдегіду, що виділяється при приготуванні клеїв, які застосовуються при склеюванні деревини та деревних матеріалів, здійснюється за допомогою спеціальних установок. У роботі запропоновано та обґрунтовано доцільність використання саме на деревообробному підприємстві установки (схема наведена на рисунку 1), яка набула поширення на підприємствах хімічної промисловості. Якщо правильно вибрати технологічний режим, схеми та апаратуру, то можна практично повністю видалити шкідливі речовини з повітря виробничих приміщень.

Забруднене повітря подається в адсорбер знизу вгору, при цьому пари формальдегіду адсорбуються активованим вугіллям протягом півгодини. По його завершенню відпрацьоване вугілля подається у бункер 3, куди в той же час подається вода та розчин аміаку. В результаті перемішування суміші відбувається наступна реакція:

$$6H_2CO + 4NH_3 \rightarrow (CH_2)6N_4 + 6H_2O$$

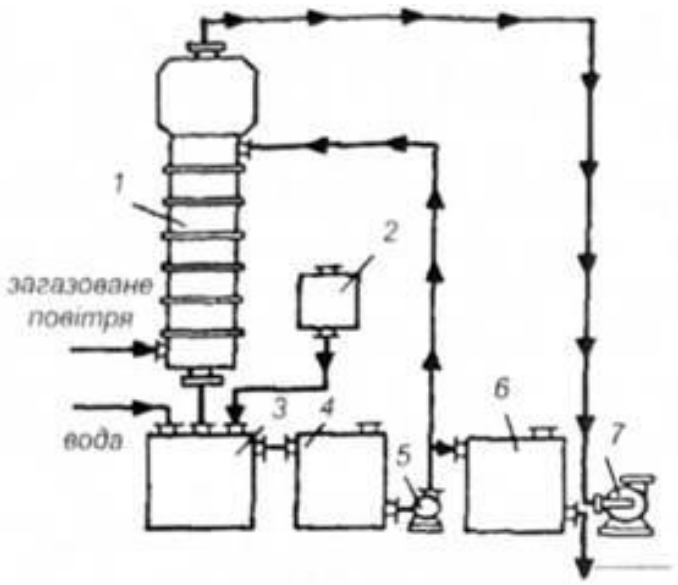


Рисунок 1 - Схема установки для очищення повітря від викидів формальдегіду**:**
1 – шести-тарілчаста колонка; 2 - мірник аміаку; 3 - реактор;4 - місткість; 5 - насос; 6 - збирач; 7 - вентилятор.

При очищенні повітря на деревообробних підприємствах за допомогою запропонованого пристрою ступінь очищення повітря знаходиться в межах 85-92%, а концентрація викинутого у атмосферу формальдегідів не перевищує норми ГДК.

Список використаних джерел:

1. Макаров Г.В. и др. Охрана труда в химической промышленности. – М.: Химия, 1977. – 568 с.
2. Оцінка шкідливості спалювання хімікатів / Пугачов В.П – Львів, Веселка, 2001, 16-24 с.
3. Бухтіяров В.П., Іванов Н.А., Савченко В.Ф. Полімерні матеріали у виробництві меблів. М., Лісова промисловість, 1980, 272 с.
4. Білявський Г.О. Основи екологічних знань / Г.О. Білявський, Р.С. Фурдуй, І.Ю. Костіков – К.: Либідь, 2000. – 336 с.

УДК 504.05

Колочинська Вікторія Вікторівна
Кафедра інженерної екології

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

В роботі розглянуто загальну характеристику важких металів, галузі їх використання та вплив на навколишнє середовище. Наведено джерела надходження важких металів у довкілля, в тому числі разом із побутовими відходами.Запропоновано рекомендації щодо зменшення впливу важких металів на навколишнє середовище.

The paper deals with the general characteristics of heavy metals, their use and their impact on the environment. The sources of the receipt of heavy metals in the environment, including in combination with household waste are given. Recommendations for reducing the influence of heavy metals on the environment are proposed.

Вступ. Зростання антропогенного впливу на екосистеми призвело до забруднення навколишнього середовища токсичними сполуками, в тому числі важкими металами, що поставило перед людством ряд важливих проблем щодо запобігання розповсюдженню, накопиченню та контролю за вмістом важких металів у ґрунтах, воді та в атмосферному повітрі.

Одним з найсильніших по дії й найпоширенішим хімічним забрудненням є забруднення важкими металами. До важких металів відносяться більше 40 хімічних елементів, маса атомів яких становить понад 50 атомних одиниць.

Ця група елементів бере активну участь у біологічних процесах, входячи до складу багатьох ферментів. Група "важких металів" багато в чому збігається з поняттям "мікроелементи". Звідси свинець, цинк, кадмій, ртуть, молібден, хром, марганець, нікель, олово, кобальт, титан, мідь, ванадій та ін. є важкими металами.

Мета роботи: оцінка забруднення навколишнього середовища важкими металами та їх сполуками. Рекомендації щодо зменшення впливу важких металів на навколишнє середовище.

Матеріали і результати досліджень. Важкі метали та їх сполуки, що потрапляють в атмосферне повітря з викидами забруднювальних речовин, мають токсичні властивості і створюють реальну загрозу довкіллю та здоров'ю населення, призводять до гострих отруєнь, алергії, онкологічних захворювань, психоневрологічних розладів, спадкових хвороб тощо.

Викиди важких металів призвели до перевищення гранично допустимого вмісту свинцю, ртуті та інших забруднювальних речовин у ґрунтах на прилеглих до промислових підприємств територіях. Використання етильованого бензину, зокрема, викликало забруднення ґрунтів придорожніх смуг і зробило їх непридатними для використання.

Облік викидів важких металів стаціонарних джерел забруднення через відсутність методики їх визначення здійснюється не повною мірою і не відображає фактичних обсягів їх надходження в атмосферне повітря.

Викиди стаціонарних джерел забруднення висотою понад 100 м внаслідок їх транскордонного перенесення завдають збитки довкіллю, природним ресурсам інших держав та здоров'ю їх населення.

Існують два напрямки боротьби із забрудненням важкими металами. Перший з них - запобігання надходження токсикантів в грунтову екосистему. Однак це завдання здійсненне лише частково. В деякій мірі можна знизити темпи забруднення ґрунтів за рахунок

контрольованих джерел шляхом обмеження використання "брудних" осадів стічних вод, органічних і мінеральних добрив. Це можливо, хоча й пов'язане з деякими фінансовими витратами на забезпечення сільського господарства екологічно безпечними добривами. В той же час зниження потоку токсичних елементів, пов'язаного з промисловими і транспортними джерелами, вкрай важко, оскільки пов'язано зі змінами технології ряду виробництв.

Другий шлях - боротьба з вже існуючим забрудненням. Стосовно важких металів в цьому напрямку можна рекомендувати раніше вже розглянуті варіанти, при яких вони або будуть виводитися за межі ґрунтового профілю, або можуть бути пов'язані під дією різних факторів в нерозчинні (недоступні рослинам) з'єднання. У першому випадку загальний вміст важких металів у ґрунті знижується до необхідних значень, проте існує певна небезпека їх проникнення в ґрунтові води. У другому випадку валовий вміст ТМ не знижується зовсім, більш того, відбувається поступова акумуляція токсичних елементів у верхньому горизонті (якщо не усунутий джерело забруднення), хоча і в малорухливому, недоступному рослинам стані.

Здатність ґрунтів до зв'язування токсикантів може бути посилена за допомогою ряду агрохімічних і агромеліоративних прийомів. Для цієї мети використовуються вапнування, внесення органічних добрив, штучних та природних сорбентів і деякі інші методи.

Всі ці прийоми, крім вирішення головного завдання в даному контексті зниження токсичності важких металів, спрямовані на поліпшення таких показників, як гумусування, структурний стан, ємність катіонного обміну, реакція середовища та ін., Що веде до окультурення ґрунтів і загального підвищення їх родючості. Однак в окремих випадках, при вкрай високому рівні забруднення, можуть бути використані і механічні прийоми по видаленню, засипці, заорювання забрудненого шару.

При плануванні заходів з рекультивації забруднених важкими металами грунтів необхідно враховувати наступні міркування. Метали впливають на організми за рахунок забруднення ними продуктів харчування, а також при вдиханні пилу. Для виробництва екологічно чистої продукції рослинництва і тваринництва необхідно, щоб важкі метали не надходили в рослини. Для цього можуть використовуватися меліоративні заходи, спрямовані на зниження рухливості токсичних елементів. Якщо в даному районі відсутнє джерело регулярного сильного забруднення, деяке збільшення валового вмісту важких металів у ґрунті, відбувається за рахунок обмеження їх виносу за межі ґрунтового профілю, компенсується зниженням вмісту рухомих форм токсикантів.

Проте в межах населених пунктів, де відзначається найбільший рівень надходження важких металів у ґрунт в результаті високої концентрації промислових підприємств і автотранспорту, ці заходи можуть виявитися непридатними. По-перше, в цих районах лише невеликі території використовуються для вирощування сільськогосподарської продукції, тому заходи з обмеження доступності металів для рослин на більшій площі міського землекористування не настільки актуальні. По-друге, ґрунту населених пунктів, як правило, відрізняються від природних більш високим значенням pH, підвищеним вмістом гумусу і біогенних елементів. У зв'язку з цим звичайні агротехнічні заходи в даній ситуації безглузді, а часто і неможливі внаслідок особливостей землекористування. По-третє, в межах населених пунктів основна небезпека для здоров'я населення полягає в збільшенні концентрації токсичних металів у верхньому шарі ґрунту і, відповідно, у складі вдихається пилу. У зв'язку з цим першим етапом заходів, спрямованих на обмеження рухливості металів, повинно бути виключення впливу джерела забруднення.

Як правило, дана вимога важкоздійснюваний, оскільки дуже часто фон забруднення в місті складається за рахунок цілого комплексу джерел викидів, ідентифікація яких досить важка. У той же час цілком доступно обмежити використання для добрива або планування

території забруднених субстратів (компостів з побутового сміття, опадів стічних вод, відходів виробництва), із застосуванням яких зазвичай пов'язане різке і значне підвищення вмісту важких металів у ґрунті. Крім цього необхідний ефект може бути досягнутий за рахунок заходів щодо догляду за територією (вивезення забрудненого снігу та рослинного опади), обмеження поверхневого стоку з запечатаних територій (напрям його в зливову каналізацію), організації придорожніх зелених смуг та ін. Закріплення металів в поверхневому шарі грунтів досягається за рахунок агротехнічних прийомів, розроблених в основному для сільськогосподарських територій: вапнування, внесення органічних добрив (переважно торфу), мінеральних сорбентів (цеоліти) і деяких інших. У той же час дані прийоми в зелених зонах міст і населених пунктів застосовні тільки на стадії їх закладки, що значно обмежує сферу їх застосування. У зв'язку з цим тут застосовні тільки ті технології, які сприяють активізації природних ґрунтових процесів і підвищують стійкість рослинності до забруднення. Їх можна умовно розділити на дві групи: стимулюючі і оберігають заходи щодо запобігання забрудненню в умовах міста.

До першого можна віднести застосування добрив (мінеральних і органічних) і, при необхідності, полив, які сприяє збільшенню біомаси біоценозу, підвищенню проективного покриття, зниженню фітотоксичності металів за рахунок біологічного розведення і поліпшення загального стану трав'яного покриву, деревних і чагарникових насаджень.

До оберігає слід віднести заходи, спрямовані на зниження витоптування, механічного порушення рослинності і ґрунтового покриву, а також погіршення водного режиму, що ведуть до появи переущільнених і пилять ділянок. Наявність таких ділянок в сухе і спекотне пору року веде до підвищення вмісту пилу в приземної атмосфері і, відповідно, до потрапляння важких металів в органи дихання. Уникнути розвитку подібних процесів можна за рахунок організації мережі пішохідних доріжок, при необхідності встановлення огорож, організації місць збору сміття, ліквідації несанкціонованих парковок автотранспорту та інших організаційних та адміністративних заходів.

Як показують результати ряду досліджень, в міських грунтах, так само як і на сільськогосподарських угіддях, виявляються ділянки, що мають надзвичайно високий рівень забруднення, при якому заходи щодо обмеження рухливості металів, які мають пріоритет при хімічної меліорації забруднених металами ґрунтів, стають неприйнятними. Причиною цього є досягнення ними межі фітотоксичності, при якому відбувається пригнічення і загибель як трав'янистої (при менших концентраціях металів), так і деревної рослинності (при великих концентраціях металів). У цьому випадку єдиним ефективним заходом є виїмка забрудненого ґрунту, вивезення та його розміщення на спеціально обладнаних майданчиках. Такі заходи мають дуже високу вартість, що, однак, не є допустимим підставою для затримки їх здійснення. Таким чином, заходи, рекомендовані до застосування на забруднених важкими металами ґрунтах, можна розбити на дві групи.

Перша група заходів рекомендується для земель, розташованих у межах населених пунктів і не використовуються в сільськогосподарських цілях. При цьому на ґрунтах з надзвичайно високим рівнем забруднення система подібних заходів включає в себе промивання ґрунтів та / або заміну забрудненого ґрунту на привізною. На землях, що мають невисоку ступінь забруднення можна обмежитися заходами по запобіганню грунтів від деградації: створенням і збереженням зелених зон, газонів і інших видів територій із зеленим покривом. Друга група, яка використовується на землях сільськогосподарського призначення, спрямована на зниження рухливості важких металів у ґрунтах. В цілому вона включає в себе внесення мінеральних та органічних добрив, штучних та природних сорбентів, вапнування та інші заходи, що застосовуються як окремо, так і в комплексі. Проте в кожному конкретному випадку рекомендовані заходи з рекультивації та відновленню забруднених важкими

металами ґрунтів повинні бути строго обґрунтовані як з економічних, так і з науково-теоретичних позицій.

Висновки. Запропоновані рекомендації щодо зменшення впливу важких металів на навколишнє середовище. Для зниження впливу важких металів необхідно здійснювати постійний контроль за діяльністю підприємства по установці очисних пристроїв і перехід до сучасних технологій. Не менш важливою є робота з реабілітації здоров'я людей, вже постраждали від впливу важких металів, для чого необхідні інформованість населення і загальна екологічна освіта, як це має місце в екологічно благополучних країнах.

Список використаних джерел:

1. Мур Д. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния: Пер. с англ. / Джон Мур. – Москва: Мир, 1987.
2. Білявський Г.О. Основи екології: теорія та практикум. Навчальний посібник / Г.О. Білявський, Л.І. Бутченко, В.М. Навроцький. — Київ.: Лібра, 2002.— 352 с.
3. Vergara, S. and Tchobanoglous, G. (2012) ‗Municipal solid waste and the environment: a global perspective‘, Annual Review of Environment and Resources, Vol. 37, pp.277–309.

УДК 628.358

Мочкош Катерина Романівна
Кафедра інженерної екології

СТВОРЕННЯ ТА АНАЛІЗ СОРБЕНТІВ НА ОСНОВІ ГЛИНИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Розроблено та проаналізовано сорбенти на основі глини, як ефективний матеріал для очищення стічних вод підприємств від іонів важких металів. Описано методику отримання створеного матеріалу на основі глини. Досліджено структуру розроблених сорбентів, а також їх сорбційну ємність і здатність до важких металів.

Ключові слова: *сорбент, глина, активоване вугілля, очищення, важкі метали, сорбційна здатність, модифікація.*

The clay-based sorbents have been developed and analyzed as an effective material for cleaning wastewater from heavy metal ions. The method of obtaining the created material on the basis of clay is described. The structure of the developed sorbents, as well as their sorption capacities and ability to heavy metals have been investigated.

Key words: *sorbent, clay, activated carbon, purification, heavy metals, sorption ability, modification.*

Вступ. Як відомо, основними шляхами забруднення в Україні є стоки промисловості і сільського господарства. З їх розвитком все більше ростуть і обсяги забруднення стічних вод. У зв'язку з цим потреба в чистій воді зростає.

Найчастіше на підприємствах застосовуються комбіновані методи очищення стічних вод. Концентрацію шкідливих речовин вони знижують в кілька разів відносно початкового (забрудненого) рівня. Однак, до ГДК знизити їх рівень не вдається. Отож застосовувані методи ефективно очищають стічні води при великих концентраціях шкідливих речовин, але коли концентрації низькі, ефективність їх очищення різко зменшується. Тому існує необхідність в доочищення стічних вод [1].

Найбільш перспективні напрямки придбали ресурсозберігаючі технології, що дозволяють при мінімальних витратах, найбільш ефективно очищати стічні води. Одним з таких напрямків є сорбційні методи, які широко застосовуються для глибокого очищення стічних вод. У якості сорбентів використовуються синтетичні сорбенти, активоване вугілля, а також деякі відходи виробництва, такі як шлак, тирса, зола та ін. Найбільш універсальним з сорбентів є активоване вугілля. Однак одним з основних питань, що виникають при адсорбційному очищення стічних вод активованим вугіллям, є його регенерація. Процес регенерації є економічною і ресурсозатратною процедурою, як і активація самого вугілля. У той же час активоване вугілля ефективно очищає воду від органічних і нафтовмісних продуктів, однак їх ефективність по відношенню до важких металів не велика [2].

Глинисті матеріали та торф здатні сорбувати домішки органічного та неорганічного походження. Дані матеріали є не дефіцитнії дешеві в порівнянні з активованимм вугіллям. При цьому їх можна модифікувати, тим самим збільшувати їх сорбційну ємність.

Метою роботи є створення та аналіз сорбентів на основі глини для очищення стічних вод від іонів важких металів, які відрізнятимуться методикою модифікування хімічної структури.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання :

1. Розробити методику отримання нових сорбентів для очищення води від іонів важких металів;
2. Дослідити структуру розроблених сорбентів;
3. Визначити сорбційну ємність і здатність сорбційного матеріалу на модельних розчинах.

Об'єктом дослідження є сорбенти на основі глини для очищення стічних вод від важких металів.

Предметом дослідження є сорбційна здатність отриманих сорбентів на предмет очищення вод від іонів важких металів, токсичних та органічних сполук.

Матеріал і результати досліджень. Аналіз сучасного стану проблеми очищення стічних вод від важких металів призводить до вирішення питання про перспективність застосування природних мінералів, в тому числі і модифікованих, для використання в системах очищення.

У даній роботі в якості сорбенту були обрані глини Пищиківського та Дибинецького родовищ Київської області. У якості їх активуючих добавок використано такі матеріали, як торф, деревна зола, доломіт. Для зміни хімічної структури суміші, морфології поверхні та утворення пористості використано термічну модифікацію.

Вихідну глину попередньо подрібнювали спочатку в порцеляновій ступці, а потім в кульовому млині Retsch PM 100 зі швидкістю обертання 3000 об / хв протягом 30 хвилин. Таким же образом були підготовлені інші матеріали (торф, деревна зола, доломіт). Після подрібнення торф піддавали піролітичному відпалу без доступу кисню при 600 ºС протягом 15 хвилин [3].

Підготовлені компоненти змішували в певному складі, зазначеному в таблиці 1. Для формування додавали емульсію полівінілацетату у воду. Отриману масу формували в кубічну форму з розміром ребра 3-5 мм і відправляли на сушку при 100 ºС протягом 2-4 годин, а відпал в муфельну піч Snol 8,2 / 1100 в кисневмісному середовищі при 800-1100 ºС протягом 2-4 годин з охолодженням в печі. Отриманий сорбент має форму кубічних гранул із середньою фракцією 5 мм.

Таблиця 1 - Співвідношення компонентів в складі зразків сорбенту

Номер зразка	Співвідношення компонентів								
	Глина №1	Глина №2	Деревна зола	Доломіт	Торф	Крохмаль	Пшенична шелуха	Дистильо-вана вода	Клей ПВА
1	1	1	1		1				4
2	1	1	0,1		1				3
3	1	1	0,1		1			2	
4	1	1		1	1			1,8	
5	1	1		0,1	1			1,4	
6	4	2			1				3
7	1	1			1			1,6	
8	1	1			1				2
9	1	1					1		1,6
10	1	1				2		2	
11	1	1				1			1,6

де глина №1 - глина Пищиківського родовища; глина №2 - глина Дибинецького родовища.

Для поліпшення характеристик вихідної глини її збагачували шляхом просіювання через сталеве сито з діаметром комірки 40 мкм. Аналіз розміру частинок методом лазерної дифракції показав, що середній розмір часток становить 397 нм, і 392 нм для глини №1 і №2 відповідно (рис. 1 і рис. 2). Це означає, що зв'язок сорбенту утворюються в місці з'єднання часток глини близько 400 нм. З наведених графіків помітно, що практично всі частинки лежать в діапазоні від 0,2 до 3 мкм, причому близько 94% частинок мають розмір менше 1 мкм.

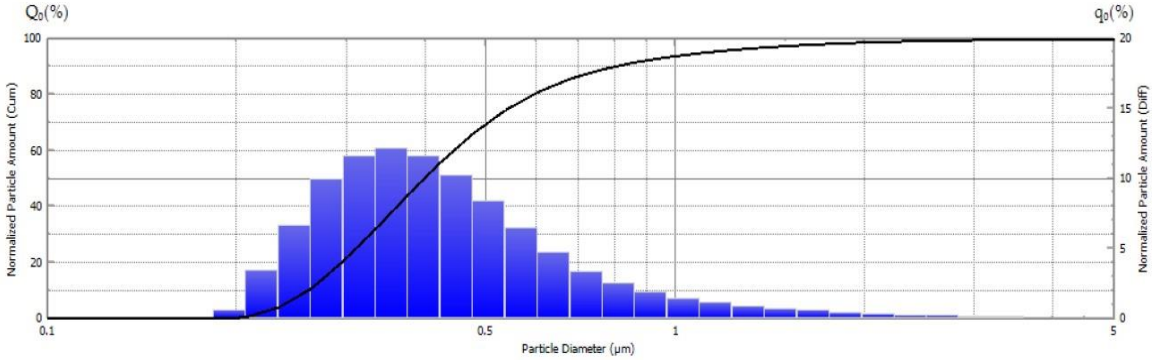


Рисунок 1 – Результат розподілення частинок глини №1

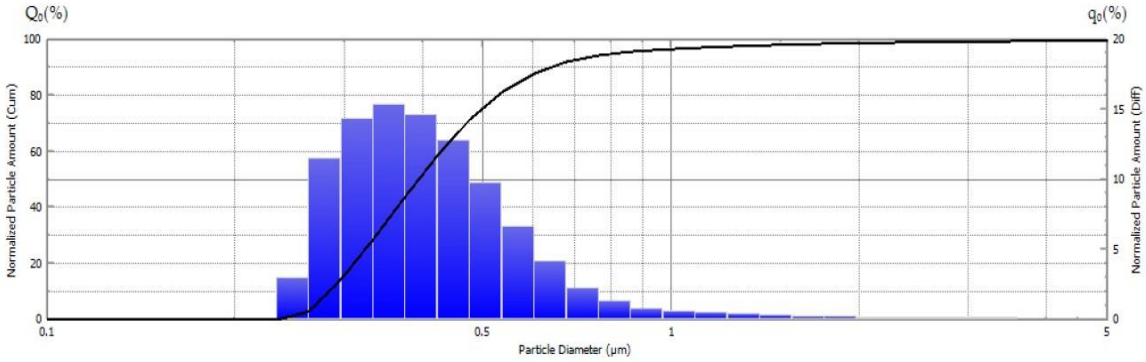


Рисунок 2 – Результат розподілення частинок глини №2

Для визначення складу вихідної глини, деревного попелу і доломіту проведено аналіз методом енергодисперсійної рентгенолуорисцентної спектрометрії. Результати аналізу наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Хімічний склад компонентів сорбенту за даними енергодисперсійної рентгенолуорисцентної спектрометрії

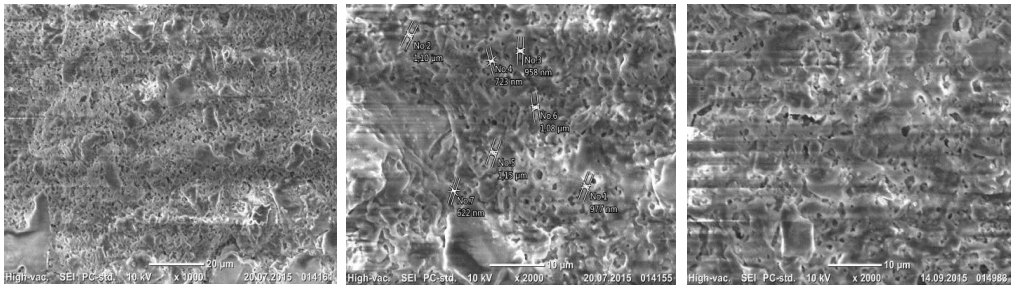
Оксиди	Зразок							
	Глина №1		Глина №2		Доломіт		Деревна зола	
	С, %	3σ, %	С, %	3σ, %	С, %	3σ, %	С, %	3σ, %
SiO_2	68,72	5,78	59,86	5,116	32,97	3,84	32,96	3,84
CaO	13,57	0,43	0,55	0,056	70,20	0,96	37,19	076
Fe_2O_3	8,61	0,06	1,58	0,018	5,93	0,06	5,93	0,06
K_2O	3,73	0,24	1,30	0,109	14,39	0,42	14,39	0,42
SO_3	3,64	1,09	Не виявлено	-	3,40	1,67	3,40	1,67
TiO_2	1,32	0,06	1,37	0,041	1,56	0,08	1,56	0,08
Al_2O_3	Не виявлено	-	35,18	6,661	Не виявлено	-	Не виявлено	-
ZnO	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2,36	0,08	2,36	0,08

де С – концентрація речовин, %.

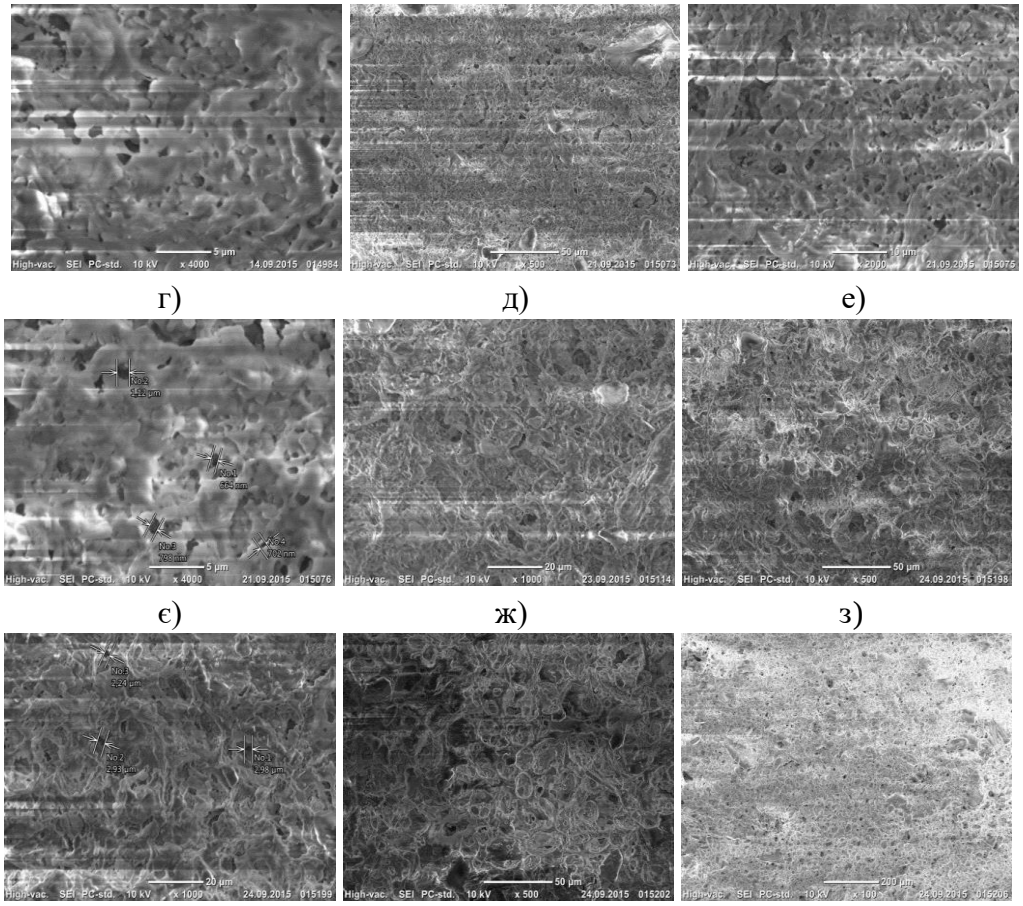
Аналіз складу вихідних глин показав, що хімічний склад використовуваних зразків відрізняється, проте в основному містяться однакові компоненти, але різної концентрації. Тому, варіюючи співвідношення глин в сорбенті, можна контролювати концентрацію таких компонентів, як окис кремнію, заліза кальцію алюмінію тощо. Доломіт складається з окису кальцію і кремнію, так само міститься невелика кількість окису калію і цинку. Деревна зола складається з окису кремнію кальцію і калію.

Так як в результаті термообробки відбувається вигоряння органічних компонентів, то в результаті повинна виходити пориста структура сорбенту. Для дослідження структури та особливостей морфології сорбенту використовувався метод скануючої електронної мікроскопії.

Результати аналізу представлені на рисунку 3. Метод скануючої електронної мікроскопії показує наявність розвиненого рельєфу і макропор розміром близько 1 мкм у всіх зразків.



а) б) в)



г) д) е)

є) ж) з)

и) і) ї)

Рисунок 3 – Особливості морфології сорбційних матеріалів

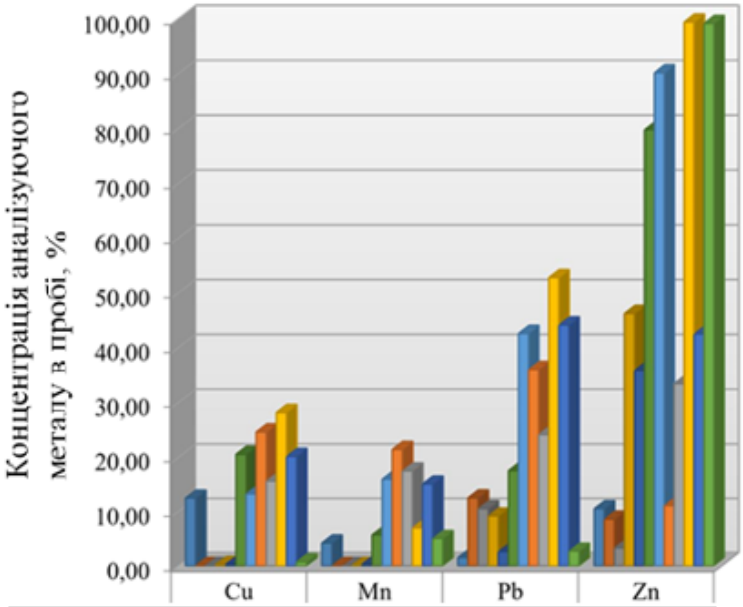
Для визначення сорбційної здатності через завантаження сорбенту пропускали модельний розчин. Вихідний модельний розчин важких металів готували шляхом розчинення відповідних наважок солей : $CuSO_4 * 5H_2O$, $MnCl_2 * 4H_2O$, $Pb(NO_3)_2$, $ZnCl_2$ у дистильованій воді в наступних концентраціях : Cu - 1,6 мг / л, Mn - 4,39 мг / л, Pb - 5,36 мг / л, Zn - 2,72 мг / л. Ці концентрації близькі до середніх після стадії біологічного очищення.

Гранульований сорбент засипали в ділильну воронку ВД-1-125. Діаметр воронки 40 мм, висота 160 мм, маса завантаження - 60 г. Розчин при фільтрації пропускали в напрямку знизу-вгору. Для того, щоб компенсувати невеликий обсяг завантаження, фільтрацію модельного розчину проводили по циркулюючому механізму через сорбент протягом 1 години. В якості еталонного сорбенту взяли активоване вугілля марки БАУ-А (ГОСТ 6217-74).

Ефективність сорбентів визначали шляхом фільтрації модельних полютантів на циркуляційно-проточній установці протягом 1 години через розроблені сорбенти і еталон (вугілля БАУ-А). Випробування проводили на п'яти зразках сорбенту, виготовлених в ідентичних умовах. Аналіз фільтрату на вміст металів проводили на атомно-абсорбційному спектрометрі Shimadzu AA 7000, за методикою М-03-505-119-08.

Результати аналізу отриманих розчинів наведені на рисунку 4. Для наочності концентрація аналізованих розчинів наведена у відсотковому відношенні. Як видно з отриманих даних перші шість зразків сорбентів практично очищають всі метали з

ефективністю близькою до еталонного, а в деяких випадках навіть і краще, наприклад, цинк, мідь, марганець.



	Cu	Mn	Pb	Zn
Зразок №1	12,54	4,23	1,53	10,57
Зразок №2	0,06	0,04	12,58	8,64
Зразок №3	0,06	0,03	10,58	3,34
Зразок №4	0,22	0,06	9,23	46,29
Зразок №5	0,30	0,28	2,65	35,91
Зразок №6	20,62	5,72	17,60	79,80
Зразок №7	13,32	16,03	42,65	90,21
Зразок №8	24,68	21,51	36,06	11,14
Зразок №9	15,70	17,56	24,21	33,50
Зразок №10	28,23	7,04	52,86	99,45
Зразок №11	20,24	15,15	44,21	42,56
Вугілля БАУ-А	0,76	5,06	2,73	99,20

Рисунок 4 – Концентрація металів у модельному розчині після обробки сорбентами

Сорбційна ємність разом зі швидкість досягнення рівноваги є важливими характеристиками будь-якого сорбенту, та має теоретичне і практичне значення. За кінетичною залежністю сорбції визначають час, який необхідно для встановлення рівноваги в системі «розчин солей металів-сорбент».

Для цього вихідний модельний розчин важких металів готували шляхом розчинення відповідних наважок солей : $CuSO_4 * 5H_2O$, $MnCl_2 * 4H_2O$, $Pb(NO_3)_2$, $ZnCl_2$ у дистильованій воді з концентрацією близькою до 1 мг / л. Точну концентрацію металів визначали методом атомно-абсорбційної спектрометрії. Кінетику сорбції іонів важких металів на розроблених сорбентах вивчали методом обмеженого обсягу. Для цього в конічні колби поміщали 1 г сорбенту, 200 мл модельного розчину і залишали при постійному перемішуванні за допомогою магнітних мішалок. Через певні проміжки часу сорбент відокремлювали на фільтрі «синя стрічка», визначаючи зміст відповідних металів в очищеному розчині методом атомноабсорбціоної спектрометрії з графітовою атомізацією.

Величина сорбції (Г, мг / г) була розрахована за формулою :

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C_p)\,V}{m} \quad (1)$$

де C_0 - вихідна концентрація важких металів, мг / л;

C_p - рівноважна концентрація важких металів, мг / л;

V - об'єм розчину сорбата, мл;

m - маса сорбенту, г.

За розрахунками в основному система «сорбент-модельний розчин металу» досягає рівноваги за перші 15-20 хвилин. Визначено, що зразки № 2, 3, 4 здатні сорбувати іони металів (мідь, марганець, цинк, свинець) з найвищою швидкістю і досягати рівноваги в системі «сорбент-розчин містить метали» за 10-20 хвилин.

Так як ці зразки № 2, 3, 4 показали найкращу сорбційну здатність до іонів металів, то саме їх можна рекомендувати для подальшого використання в промислових цілях на стадії доочищення стічних вод.

Висновок. Проведені дослідження дозволяють рекомендувати методику отримання сорбентів для очищення стічних вод від іонів важких металів. Спосіб отримання сорбційного матеріалу включає в себе кілька основних операцій, таких як подрібнення складових компонентів, збагачення глини, змішування компонентів в необхідному співвідношенні, формування сорбенту в гранули, сушку і відпал.

Апробація отриманих сорбційних матеріалів показала, що кожен із зразків селективно витягають органічні і неорганічні речовини. З'ясовано, що швидкість сорбції має найвище значення і досягає рівноваги в перші 10-20 хвилин в системі «сорбент-забруднювач». Представлені результати показують ефективність сорбції таких модельних розчинів, як іонів важких металів з водних розчинів.

Запропоновані сорбенти при збереженні якості очищення води складаються з більш дешевої і поширеної сировини, ніж існуючі аналоги у вигляді активованого вугілля. Даний сорбент можна рекомендувати для доочищення стічних вод, наприклад, нафтопереробних заводів та хімічних заводів від важких металів.

Список використаної літератури

1. Ильин С.В. Разработка технологических решений по очистке промышленных сточных вод до предельно допустимых концентраций. Экология промышленного прозводства, 2011. С. 66-68.

2. Собгайда, Н.А. Сорбенты для очистки сточных вод / ред. Н.А. Собгайда, Л.Н. Ольшанская, Ю.А. Тарушкина, Т.В. Никитина. Экология и промышленность, 2007. №10. С. 32-33.

3. Бухарева Е.А. Исследование сорбционных свойств материала на основе полиэтилентерефталата для очистки сточных вод от нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов // ред. Е.А. Бухарева, Е.А. Татаринцева, Л.Н. Ольшанская // XXI век : итоги прошлого и проблемы настоящего, 2014. №1(17). С. 118-122.

УДК 504.61

Назарова В.С.
Кафедра інженерної екології

ЗАСТОСУВАННЯ ВІТРОСИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГІЇ ТА ЛОКАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Дармова енергія вітру давно служить людині. Питання про її використання сьогодні є особливим, при зростанні дефіциту природного палива.

Також вітрова енергетика дає поле для створення альтернативних способів її застосування, як наприклад викорсистання вітросилової установки типу «Ромашка» для отримання не лише електроенегрії, а й для добування грунтових вод. Тим самим, така установка мож бути затосована для локального водопостачання або поливу сільськогосподарських земель, що є актуальним в нашій країні з великою кільістю оброблюваної землі.

Дана утановка має висоту в 6 метрів та вітроколесо діаметром 1,2 метра. Мінімальна робоча швидкість вітру для такої установки складає 2,5 метра на секунду.

При таких характеристиках її потужність складає 30 кВт та продуктивність всмоктування води – 5 літрів за хвилину. Максимальний коефіцієнт використання вітру – 0,36.

Конструкція є доволі простою, тому може використовуватися доволі широко. Вартість виготовлення цієї установки – 31500 грн.

Недоліком даної вітросилової установки є те, що для видобутку води її можна застосовувати лише в теплу пору року.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Белей В.Ф. Ветроэнергетические установки: тенденции развития, пробемы подключения и эксплуатации в составе электроэнергетических систем / В.Ф. Белей // Малая энергетика. 2005. - №1-2. – С.6
2. Биков Е.Н. Обоснование параметров ветроэнергетическо установки со спиральными лопастями на основе экспериментальных исследований: Дис. канд. тех. наук / Санкт-Петербургский государственный1 политехнический университет – Санкт- Петербург, 2007. – 141 с.