



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



**МАТЕРІАЛИ
X НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА
ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

**Київ
2018**

Енергетика. Екологія. Людина. Зб. наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2018. – 433 с.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на Х науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина».

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 організаційного комітету науково-технічної конференції
«Енергетика. Екологія. Людина»*

Організаційний комітет:

Голова – Денисюк С.П., д.т.н., проф., директор ІЕЕ;

заступник голови – Дичко А.О., д.т.н., доц., заст. директора ІЕЕ з наукової роботи;

Члени оргкомітету: Попов В.А. – д.т.н., проф., завідувач кафедри електропостачання; Дешко В.І. – д.т.н., проф., завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження; Левченко О.Г. – д.т.н., проф., завідувач кафедри охорони праці, промислової та цивільної безпеки; 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; Коцар О.В. – к.т.н., доц., директор Центру підготовки енергоменеджерів; Ремез Н.С. – д.т.н., проф. каф. ІЕ, Броницький В.О. – ас. каф. ІЕ, Третьякова Л.Д. – д.т.н., проф. каф. ОПЦБ, Лебедев Л.М. – к.т.н., доц. каф. АУЕК, Лістовщик Л.К. – к.т.н., доц. каф. ЕМОЕВ, Студенець В.П. – к.т.н., доц. каф. ТЕ, Закладний О.О. – к.т.н., доц. каф. ЕП.

Адреса організаційного комітету:

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22, кім. 202а

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

conference_eel@ukr.net

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.

ЗМІСТ

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

Застосування програмного забезпечення «Radio Mobile» для розрахунку каналу зв'язку в рамках розв'язання завдань організації передавання інформації та управління трансформаторними підстанціями. <i>Дехтяр А.Р., Коцар О.В.</i>	12
Вплив коливання частоти електричної мережі на точність проведення гармонічного аналізу, та способи їх зменшення. <i>Волошко А.В., Шершень О.І.</i>	17
Окремі аспекти розвитку нормативної бази забезпечення комерційного обліку електроенергії в умовах лібералізації ринку електричної енергії України. <i>Осіпов А.В., Коцар О.В.</i>	22
Особливості протікання енергетичних процесів в автономних системах електроживлення <i>Горенко Д.С., Соколовський П.В., Радиш І.П.</i>	26
Електромагнітна сумісність у системах Smart Grid. <i>Волошко А.В., Лутчин Т.М., Коваленко А.В.</i>	30
Система моніторингу енергоресурсів підприємств комунальної та бюджетної сфери. <i>С.П. Денисюк, В.І. Василенко, В. Ю. Ковальов</i>	38
Аналіз особливостей функціонування інтегрованих систем комплексного енергозабезпечення. <i>Оникійчук В.О., Цвєтков С.Т.</i>	41
Ресурсне забезпечення прогнозних сценаріїв розвитку енергетичної системи України на основі відновлюваних технологій. <i>Костюк В.О., Протащук О.В.</i>	49
Техніко-економічні переваги комбінованої енергетичної установки з гідроаккумуляційними пристроями. <i>Костюк В.О., Тиндирика Ю.О.</i>	54
Використання контрольних карт для моніторингу ефективності енерговикористання на виробничих об'єктах. <i>Мушка Я.А., Находов В.Ф.</i>	58
Оцінка потенційної участі електропередавальних організацій у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми. <i>Чекамова В.В., Находов В.Ф., Замулко А.І.</i>	63

Прогнозування енергоспоживання на основі методу штучних нейронних мереж та порівняння його з іншими методами. <i>Прокопенко В.В., Коротенко В.В., Гребенюк Т.В.</i>	71
Моделі задач оптимальної реконфігурації розподільних електричних мереж. <i>Трофимішин О.О., Ткаченко В.В., Журавльов А.О.</i>	75
Аналіз доцільності використання методу головних компонент для оцінювання рівня енергоефективності. <i>Бориченко О.В., Остапчук Ю.Ю.,</i>	79
Аналіз і відбір факторів, що враховуються при формуванні оцінок часу відновлення електропостачання. <i>Козлов О.В., Ткаченко В.В., Журавльов А.О.</i>	87
Оцінка доцільності використання водневих джерел енергії для електропостачання комунально-побутових споживачів <i>Попов В.А., Коценко О.А.</i>	94
Управління попитом на електроенергію інструментами внутрішньодобового ринку електроенергії. <i>Дмитренко В.М., Коцар О.В.</i>	100
Аналіз стану та підвищення пропускної здатності електричних розподільних мереж великих міст. <i>Цішковська Т.Л., Зорін В.В.</i>	108
Дослідження оптимального розподілу навантаження на ділянці споживача <i>Калінчик В.П., Мірошніченко Є.В., Пономаренко В.О.</i>	113
Використання кластеризації для дослідження впливу галузей на графік навантаження ОЕС України <i>Калінчик В.П., Мірошніченко Є.В., Пономаренко В.О.</i>	116
Підвищення енергоефективності систем освітлення <i>Калінчик В., Колісніченко І.</i>	118
Концепція і енергоефективність суміщеного освітлення <i>Калінчик В., Колісніченко І.</i>	120
Методика техніко-економічного обґрунтування регульованого електроприводу насосів комунального тепло -водопостачання <i>Закладний О.О., Корягін М.К., Гребенюк Т.В.</i>	121
Показники технічного стану електромеханічних систем <i>Закладний О.О., Прядко С.Л., Іорк М.А.</i>	129
Підвищення енергоефективності технологічного електроприводу підприємства <i>Прокопенко В.В., Красицький Ю.І., Закладний О.О.</i>	132

Використання конденсаторної установки для підвищення рівня енергетичної ефективності підприємства <i>Прокопенко В.В., Лазарєв В.В.</i>	137

Огляд засобів регулювання якості електричної енергії <i>Закладний О.О., Прокопенко В.В., Корягін М.К.</i>	144

СЕКЦІЯ 2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

Про особливості конструкцій кожухопластинчастих теплообмінників і перспективи їх застосування <i>Руденко С.В., Олійник Б.В., Гавриш А.С.</i>	151

Про тепловіддачу при псевдо краплинній конденсації суміші водяних парів етанолу на фібрилізованих трубках <i>Дуб'яга Д.О., Гавриш А.С.</i>	158

Дослідження теплового акумулятора для сонячної енергоустановки на базі двигуна Стірлінга <i>Бондаренко В.В., Студенець В.П.</i>	165

Моделювання параболоїдного концентратора для сонячної енергетичної установки на базі двигуна Стірлінга <i>Славінська К.О., Студенець В.П.</i>	172

Модель в'язкістно-гравітаційної течії водяної плівки на гладкій поверхні у середовищі ANSYS Fluent <i>Лептюхов І.І.; Баранюк О.В., Студенець В.П.</i>	177

Ефективність застосування низькоемісійних покриттів в світлопрозорих конструкціях <i>Бондаренко В.С., Виноградов-Салтиков В.О.</i>	185

Методика оптимізації витрат об'єктів теплогенерації підприємств на локальному ринку теплової енергії <i>Дешко В.І., Карпенко Д.С.</i>	191

СЕКЦІЯ 3. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Оптимізація керування позиційним електроприводом фасувальної платформи <i>Шестопал Р.С., Босак А.В.</i>	196

Реалізація керування вентильним двигуном на базі Arduino в режимі реального часу <i>Цвєтков С., Набока А., Торопов А.</i>	200

Аналіз каналів управління процесом сушіння торфу в парових трубчастих сушарках за витратами на енергоносії <i>Самарцев І.В., Кулаковський Л.Я.</i>	207

Development the control system of wind power installations by changing the geometry of blades <i>Palamarchuk O., Kulakovskiy L.</i>	212
Особливості визначення технічного стану електродвигуна в процесі пуску <i>Петрусьов М.О., Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М., Бразіна Л.Є.</i>	216
Використанням векторів моніторингу для захисту електродвигуна <i>Андрусик А. В., Такташов Р. Р., Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М.</i>	220
Контроль аварійного стану перетворювача частоти <i>Курач В.В., Такташов Р. Р., Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М.</i>	224
Покращення характеристик системи управління регульованим електроприводом змінного струму з використанням нечіткої логіки <i>Гордієнко Б.Ю.; Пермяков В.М.</i>	230
Система робастного управління електроприводом змінного струму <i>Тишевич Б.Л., Корнійчук М.В.</i>	236
Векторне управління електроприводом змінного струму з матричним перетворювачем <i>Тишевич Б.Л., Орлов М.В.</i>	241
Інтелектуалізація системи управління електроприводом насосних установок нафтоперекачувальної станції <i>Тишевич Б.Л., Тицький В.В.</i>	246
СЕКЦІЯ 4. МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ	
Самоактивований ударний зубець <i>Гасленко В.І., Сліденко В.М.</i>	250
Депресивно-імпульсний вплив на привибійну зону нафтової свердловини <i>Кучинський С.О., Сліденко В.М.</i>	251
Динамічний гасник коливань корпусу гідромолота <i>Проченко Я.М., Сліденко В.М.</i>	252
Струминний насос репресивно-депресивної дії <i>Магеровський І.Т., Шевчук С.П.</i>	253
Безредукторні системи електроприводу – один із напрямів розвитку електромеханічного перетворення енергії <i>Рашиківський О.Ю., Мазуренко Л.І.</i>	254
Вирішення задачі подовження терміну експлуатації ескалаторних установок <i>Туровський В.І., Мазуренко Л.І.</i>	255
Аналіз систем стабілізації напруги синхронних генераторів з постійними магнітами <i>Бабак А.С.</i>	256

Електрогідрравлічний підсилювач піскостуминної перфорації обсадної колони нафтової свердловини <i>Мельничук М.В., Сліденко В.М.</i>	257
Модернізація районної трансформаторної підстанції «Іванівка» <i>Перевозник Д.О., Мейта О.В.</i>	258
Нейросетевая модель для оптимизации электропотребления дробильно-помольного комплекса <i>Мейта А.В.</i>	260
Дослідження процесу стиснення пакету тарілчастих пружин при роботі струмино-кавітаційного генератора в середовищі Solidworks Simulation <i>Лисюк А.В., Лістовицький Л.К.</i>	262
СЕКЦІЯ 5. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ	
Закономірність зміни модуля зсуву в залежності від температури гірських порід та сніжно-льодових утворень. <i>Крючков А.І., Бахтин А.І.</i>	270
Раціональна технологія сортування і первинної переробки тпв в біопаливо для ТЕЦ. <i>Є.П. Бондарь, Крючков А.І.</i>	273
Системи підвищення ефективності сонячних батарей. <i>Борушко К.В., Ткачук К.К.</i>	276
Аналіз шляхів утворення фосфогіпсу та розробка системи утилізації цього відходу на ПАТ «Рівнеазот». <i>Бровді І.В.</i>	281
Analysis of ecological legislation of Ukraine and european countries. <i>Bronytskyi V., Bilous A.</i>	285
Аналіз впливу котельних установок на забруднення атмосферного повітря. <i>М.В. Попач, Гребенюк Т.В.</i>	289
Динаміка зміни рівня забруднення Канівського водосховища внаслідок виробничої діяльності підприємства целюлозно-паперової промисловості. <i>Косач О.А., Кофанов О.Є.</i>	293
Analysis of crop yields in ukraine and physico-mechanical characteristics of heat-insulating materials based on their waste. <i>Ömer Cebeci, Tkachuk Kostantyn, Liudmyla Diadiusha</i>	297
Економічні проблеми та наукові новації морської геології вуглеводнів. <i>Бодюк А.В.</i>	300
Аналіз впливу целюлозно-паперової промисловості на стан водних об'єктів України. <i>Науменко Д.П., Гребенюк Т.В.</i>	308

Waste materials co-processing in cement industry. <i>Ömer Cebeci, Tkachuk Kostantyn, Anna Onyshchenko</i>	312
Проблеми використання вуглеводнів на Волині. <i>Бодюк В.А.</i>	316
Аналіз забруднення поліхлорованими біфенілами трансформаторного масла та вплив на навколишнє середовище. <i>Єлецька І.В.</i>	317
Впровадження системи екологічного менеджменту на підприємствах України. <i>Недава А.С., Ткачук К.К.</i>	322
Аналіз геоекологічного стану територій автотранспортного комплексу. <i>Рабош І.О., Кофанова О.В., Підгорний А.В.</i>	326
Захист ґрунтів від забруднення стоками автозаправних станцій: еколого-правові вимоги. <i>Ярмошик І.М.</i>	330
Вплив параметрів вибуху на вихід дрібнодисперсних фракцій гірської маси. <i>Коляда Я.С., Євтєєва Л.І.</i>	333
Обґрунтування та оцінка об'ємів виходу дрібнодисперсних фракцій гірської маси при буропідливних роботах. <i>Коляда Я.С., Євтєєва Л.І.</i>	340
Видалення миш'яку і важких металів з води методом пасивного очищення з використанням в якості сорбенту гранульованого поліуретану в дренажному відстійнику вугільної шахти. <i>Паршакова С.В., Кофанов О.Є.</i>	344
Прогноз зміни температури поверхні борта кар'єру на основі статистичних даних. <i>Мельничук М.О., Крючков А.І.</i>	347
Improvement of atmospheric cleaning systems on the example of the finnish plant nokian tyres factory. <i>Oliynyk V.O., Bronytskyi V.O.</i>	352
Використання різних видів ресурсів в якості твердого енергетичного палива при роботі ТЕЦ. <i>Крючков А.І., Сільченко Г.В.</i>	355
Математичне моделювання впливу синергетичної дії хімічного та радіаційного забруднення на стійкість екосистем. <i>Ремез Н.С., Олійник Ю.С.</i>	357
Роль макроелементів при застосуванні екосанітарії. <i>Ремез Н.С., Бойко А.</i>	360

Вплив вибухових речовин на надлишковий тиск повітряно-ударних хвиль. Ремез Н.С., Канар М.О.	362
Оцінка обладнання для очищення фармацевтичних стоків з використанням методу аналізу ієрархій. Земська А.Є., Тверда О.Я.	366
Система радіаційної безпеки при поводженні з небезпечними радіоактивними відходами на спецкомбінатах Азербайджанській республіці. Тарікулієв А.Ф., Кофанова О.В., ...	369
Місцеві особливості дисперсії поліутантів атмосферного повітря у придорожньому повітряному просторі населених пунктів. Кофанов О.Є., Ремез Н.С.	373
Аналіз стану сфери поводження з побутовими відходами в Україні. Броницький В.О., Ремез Н.С.	377
Розподіл концентрації забруднювачів відпрацьованих газів автотранспортних засобів у приземному шарі повітря. Борисов О.О., Кофанова О.В.	381
Найкращі доступні технології у сфері виробництва чавуну та сталі. Савченко А.Е.	385
Parameters of biochemical wastewater treatment process. Dychko A.O., Scherbak A.M.	387
Опції щодо скорочення викидів парникових газів у атмосферу в наслідок виробництва та використання біопалива/біорідин. Євтєєва Л.І., Малахова Н.С.	389
Ресурсозберігаюча технологія виробництва керамічної цегли з додаванням мінеральної вати. Жукова Н.І., Захарченко Б.В.	397
Вплив вологості вугілля на процес шарової газифікації бурого вугілля із зворотнім дуттям. Жукова Н.І., Яворський В.Є.	399
Огляд існуючих технологій переробки твердих побутових відходів. Сокур В.Г., Роїк І.В.	398
PRAT "Rosava" with modification of wastewater cleaning system. Faraon M.V., Bronytskyi V.O.	402
Станція біологічного очищення стічних вод комплексу КПІ 1906 року. Історичний аспект. Роїк І.В., Литвиненко А.В., Назарова В.С.	407

Оцінка ефективності роботи водовідливної системи шахти № 10 «Нововолинська». <i>Роїк І.В., Литвиненко А.В., Назарова В.С.</i>	410

СЕКЦІЯ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

Мінімізація виділень шкідливих речовин у повітря при ручному дуговому зварюванні легованими електродами <i>Левченко О.Г., Безушко О.М.</i>	413
Теоретичні основи оперативного управління безпекою праці в сучасних умовах <i>Полукаров О.І., Полукаров Ю.О.</i>	421

СЕКЦІЯ 3. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Енергозберігаюча система електроприводу бурошнекових комплексів <i>Прядко С.Л., Закладний О.О., Деренговська Ю.С.</i>	425
Система автоматичної орієнтації спрямованим рухом бурошнекового комплексу для безлюдної виїмки вугілля. <i>Прядко С.Л., Блоха Ю.В.</i>	432

СЕКЦІЯ 1.

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

УДК 621.3.061

Дехтяр А.Р., магістр, *наук.керівник: Коцар О.В.*, канд.техн.наук, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «RADIO MOBILE» ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ В РАМКАХ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИМИ ПІДСТАНЦІЯМИ

Вступ

Розвиток інформаційних технологій призвів до формування інформаційно-телекомунікаційних систем, що пов'язано з оптимізацією управління та отриманням актуальної інформації про стан електричних підстанцій. На енергетичних об'єктах, які функціонують на застарілому обладнанні, виникає необхідність встановлення інформаційних систем автоматизації керування технологічними процесами. Важливим аспектом коректної роботи енергетичного обладнання є також аналіз якості електричної енергії. В умовах віддаленості енергооб'єктів виникає необхідність організації передавання інформації та підвищення надійності зв'язку. Одним із шляхів розв'язання цього завдання є використання радіоканалів для передавання даних автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ).

Мета і завдання досліджень

Метою досліджень є підвищення надійності телевимірювань і телеуправління та зниження вартості шляхом застосування радіоканалів. Для досягнення поставленої мети в статті виконано аналіз методу розрахунку параметрів радіолінії з використанням спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) «Radio Mobile».

Матеріал досліджень

Під час управління енергооб'єктами важливими параметрами є достовірність та актуальність прийнятої та переданої інформації. Швидкість передавання даних також відіграє важливу роль під час прийняття рішень як на локальних енергетичних об'єктах, так і в розподілених системах. Забезпечення безперервності електропостачання вимагає доступу персоналу оперативно-диспетчерських служб енергокомпаній до достовірної інформації про стан енергооб'єктів та параметри мережі з метою забезпечення можливості оперативного впливу на режими електропостачання та своєчасного запобігання виходу з ладу систем електропостачання (СЕП) під час перевищення допустимих значень потужності. Контроль стану та управління енергооб'єктами забезпечують системи телемеханіки. Однією із найвідповідальніших частин при проектуванні та реконструкції енергооб'єктів є вибір надійних високошвидкісних та порівняно недорогих каналів зв'язку, особливо на ділянці «останньої милі». Канали зв'язку забезпечують передавання і поширення сигналів від передавача до приймача і в загальному випадку складаються з фізичного середовища, яким передаються електричні інформаційні сигнали, апаратури передавання даних і комунікаційного устаткування.

Канали зв'язку поділяють на комутовані телефонні лінії, в яких для організації каналу передавання даних використовуються звичайні телефонні канали та модеми; виділені лінії, що використовуються для міжмережевого зв'язку; оптоволоконні лінії, використовуються як в магістральних, так і в невеликих, місцевих мережах, а також для зв'язку віддалених офісів; радіорелейні лінії, використовуються як в магістральних, так і в невеликих, місцевих мережах; супутникові канали зв'язку тощо. Вибір каналу зв'язку залежить від декількох

факторів, зокрема, середньої тривалості використання каналу, вартості послуг, можливості одержати вищу чи стійкішу швидкість в каналі з подоланням перешкод, необхідності забезпечення цілодобового безперервного з'єднання [2].

Більшість сучасних систем працює по каналах лінійного зв'язку, побудова та експлуатація яких сьогодні потребує великих капіталовкладень. Також велика частина енергооб'єктів не мають каналів зв'язку та управління. Як наслідок, ці об'єкти вимагають застосування додаткових оперативно-виїздних бригад для збирання даних про підстанції та керування ними. При цьому здійснюється зворотній зв'язок з диспетчерськими пунктами для верифікації даних. Описаний вище варіант вимагає більших капіталовкладень та охоплює ризики «людського фактору». Значно дешевшим і надійнішим варіантом розв'язання таких завдань є використання для організації зв'язку радіоканалів. Використання сучасних каналів радіозв'язку дозволяє з великою достовірністю здійснювати обмін інформацією та надійно керувати енергооб'єктами.

Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [3] канали зв'язку телемеханіки повинні задовольняти таким вимогам:

3.3.89 Засоби системи збору телемеханічної інформації (СЗТМІ) мають забезпечувати:

Передавання результатів ТВ по каналах зв'язку від контролюваного пункту (КП) до пункту управління (ПУ) потрібно передбачати для таких випадків:

- циклічно, наприклад через 1 с, 2 с, 5 с, 10 с, 20 с, 30 с, 0,25 год, 0,5 год, 1 год, 2 год, 4 год, 12 год тощо. Час передавання треба встановлювати для кожного каналу окремо шляхом параметризації;

- за викликом;
- за генеральним запитом;

3.3.91 Телевимірювання (ТВ) найбільш важливих параметрів, а також параметрів, необхідних для подальшої ретрансляції, підсумовування або реєстрації треба виконувати безперервно.

Систему передавання результатів ТВ на диспетчерські пункти вищого рівня треба виконувати не більш ніж з одним ступенем ретрансляції.

3.3.92 Телекерування (ТК) та телеавтоматику (ТА) треба застосовувати в першу чергу на об'єктах без постійного оперативного персоналу. Для телекерування електроустановок операції ТК, так само, як і дія пристроїв захисту і автоматики, не мають вимагати додаткових оперативних перемикачів на місці (з виїздом або викликом оперативного персоналу).

Тому важливе значення для правильного функціонування систем телемеханіки має надійність та дальність передачі інформації на вищий рівень.

Для забезпечення роботи системи необхідно два радіоканали зв'язку:

- основний канал, по якому ведеться керування електричними підстанціями;
- резервний (аварійний) канал, по якому передаються аварійні повідомлення (нештатні ситуації на КП).

При проектуванні, для передачі інформації застосовуються радіоантени різного типу та потужності. В залежності від поставлених завдань, кількості підстанцій їх позиціонування виконується підбір радіотехнічного обладнання та визначення положення їх установки. Використання програмного забезпечення «Radio Mobile» дозволяє здійснити розрахунок зон охоплення базової станції, ретранслятора або інших радіомереж. При розрахунках враховуються висота навколишньої місцевості і різні параметри радіосистем. наприклад:

- місцезнаходження передавача;
- вихідна потужність передавача;
- чутливість приймача;
- частота;

- тип антени;
- коефіцієнт посилення антени;
- загасання в лінії, включаючи фільтри і багатоканальні розгалужувачі;
- дані про місцевості і висоти.

Програма використовує дані висот місцевості з баз даних Shuttle radar topography mission (SRTM) – міжнародний науковий проект зі створення топографічної цифрової моделі висот та (Digital terrain elevation data, DTED) – це цифрова модель рельєфу, які вільно доступні в Інтернет [5]. Є також й інші формати даних висот, але найчастіше використовуються вище зазначені бази даних.

За допомогою ПЗ «Radio Mobile» можна створити кольорову схему зони охоплення однієї або декількох базових станцій з показом передбачуваних рівнів прийнятих сигналів. Рівні сигналів відображаються з використанням наступних одиниць виміру, що визначаються користувачем:

- S-units;
- MV;
- DBm;
- MV / m.

Контур зони охоплення може відображатися з використанням критеріїв «пройшов / не пройшов» (вище / нижче рівня сигналу, визначеного користувачем). Зона охоплення може також відображатися з використанням кольорового стилю оформлення з показом рівнів сигналів в різному кольорі.

Також особливостями даного ПЗ є можливість вибору файлу з характеристиками антени. Програма використовує формат ant, опис характеристик антени в якому можна як створити самому за допомогою будь якого текстового редактора, так і скористатись наявними в Інтернет завершеними файлами. Такі файли створюють самі виробники антен. Розрахунки зв'язку буде відображено у вікні програми з профілем і характеристиками сигналів. Отримавши рівні сигналів, можна співставити, які саме модуляції будуть доступними при цьому сигналі і, відповідно, яка буде швидкість передавання даних. Доповненням програми також є можливість експорту траси в «Google Earth», що дозволяє в разі наявності перекриття видимості та зони Френеля – формування еліпсоїду обертання при поширенні радіохвиль, в фокусі якого знаходяться приймач та передавач [6] побачити потенційні проблеми з проходженням сигналу.

В якості потенційного проекту з телемеханізації підстанції було виконано розрахунки параметрів радіолінії Ретранслятор «Ковельська Радіовежа» – Підстанція (ПС) 330//35 кВ «Ковель» з використанням спеціалізованого ПЗ «Radio Mobile», для забезпечення надійного каналу радіозв'язку буде встановлюватись ретранслятор ВРИУ424258.015. Місце встановлення обладнання ретранслятора – м.Ковель Волинської області. Координати встановлення антени 51°11'59"Пн 24°39'53"С. Ретранслятор буде обладнано колінеарною антеною ВРА 07.406.06 з круговою діаграмою направленості

- коефіцієнт підсилення антени – 6 dBi;
- поляризація антени – вертикальна;
- висота встановлення антени – 240 м;
- потужність передавача радіостанції ретранслятора – 20 Вт;
- географічні координати встановлення антени приймача 51°11'29"Пн, 24°42'59"С.

Профіль радіоліній за напрямками Ретранслятор «Ковельська Радіовежа» – ПС 330/220/110/35 кВ «Ковель» та результати розрахунків параметрів радіоліній спеціалізованим програмним забезпеченням «Radio Mobile» наведено на рисунку 1.

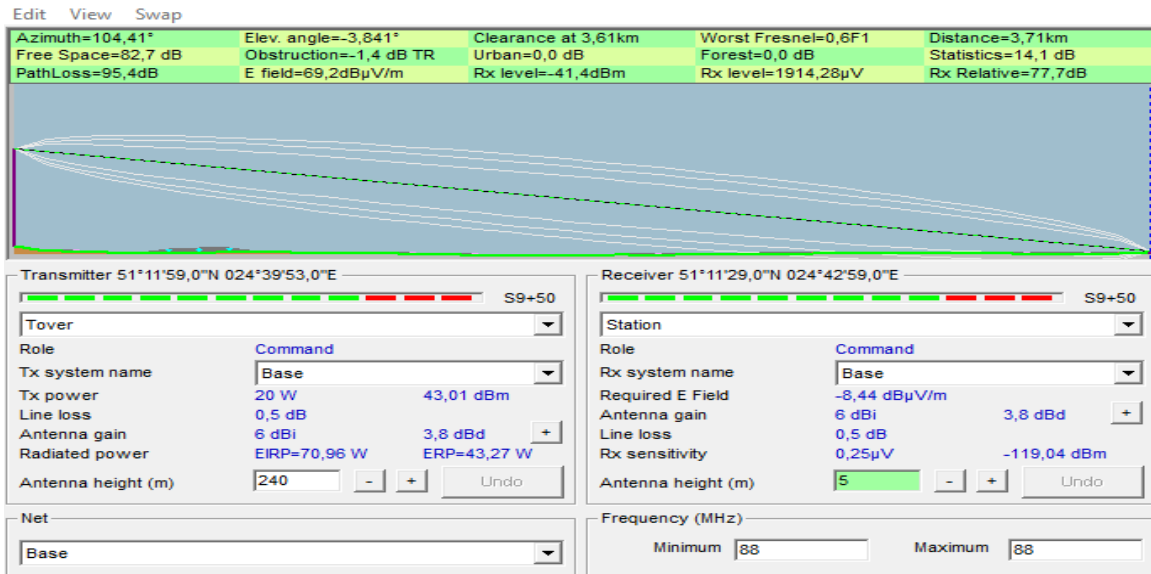


Рисунок 1. Профіль радіоліній за напрямками Ретранслятор «Ковельська Радіовежа» – ПС 330/35 кВ «Ковель» та результати розрахунків параметрів радіоліній спеціалізованим програмним забезпеченням «Radio Mobile»

Як описано вище, програма «Radio Mobile» має можливість експорту файлу розрахунку радіоканалу в ПО «Google Earth». Ця властивість інтеграції результатів в іншу програму для подальшої перевірки наявності потенційних проблем з проходженням сигналу надає можливість остаточно переконатись, чи правильно підібрані параметри конструкцій та їхня локація. На рисунку 2 наведено візуалізацію перевірки радіоканалу за допомогою ПО «Google Earth».

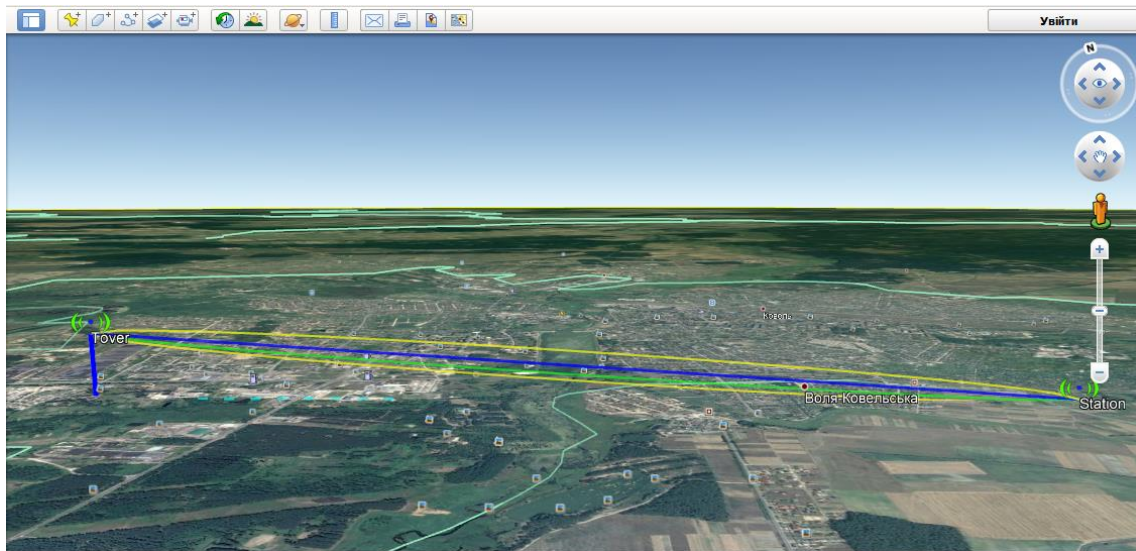


Рисунок 2. Візуалізація перевірки радіоканалу за допомогою ПО «Google Earth»

З отриманих результатів програм можемо пересвідчитись в правильності вибору обладнання радіолінії та його налаштувань. Також, завдяки візуалізації поширення сигналу та відображенню можливих рельєфних перешкод, отримуємо підтвердження тому, що даний варіант реалізації передавання даних та управління підстанцією є оптимальним в цьому проекті.

Висновок.

Важливим кроком в розвитку телемеханізації підстанцій є підбір каналу зв'язку для передавання даних, ТА і ТК. Застосування технологій радіозв'язку дозволяє зменшити техніко-економічні витрати на організацію зв'язку, здійснювати поточний контроль стану та управління енергооб'єктами, оперативно впливати на режими електропостачання, зокрема, в аварійних ситуаціях, своєчасно запобігати виходу з ладу системи електропостачання при перенавантаженнях, забезпечити безперебійне електропостачання споживачів [8]. Але для правильної та надійної роботи системи передавання даних та управління необхідно визначити, чи даний тип зв'язку підходить для заданих умов. Для чіткого розуміння можливості реалізації даного методу потрібно зробити точні розрахунки параметрів обладнання. Також, вагомим фактором є забезпечення умови надійної роботи радіоканалу – розміщення передавальної та приймальної антени у межах прямої видимості. Використання ПЗ «Radio Mobile» дозволяє виконати розрахунки параметрів радіолінії та перевірити правильність вибору обладнання та геолокації. За допомогою програми можна швидко та з високою точністю отримати необхідні параметри радіозв'язку.

Список використаних джерел

1. Автоматизована система диспетчерського керування електропостачанням районних електромереж / П.С.Євтух, Б.Я.Оробчук, О.О.Рафалюк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Електроенергетичні та електромеханічні системи – Львів, 2005. – № 615 – С. 190-194.
2. Основи передавання даних у комп'ютерних мережах. [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://posibnyky.vntu.edu.ua/azarova/p5.html>
3. Правила улаштування електроустановок // Видання офіційне. Міненерговугілля України. — Х.: Форт, 2017. — 760 с.
4. Волков И.Ю. Обзор ПО для планирования радиосетей. Ч.1. 2016. [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://omoled.ru/publications/view/876>
5. Расчет беспроводных линков с использованием Radio Mobile. 2015. [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://lanmarket.ua/stats/raschet-besprovodnyh-linkov-s-ispolzovaniem-RadioMobile>
6. Что такое "Зона Френеля"? Препятствия для радиоволн. 2018 [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zscom.ru/chto-takoe-zona-frenelya-prepyatstviya-dlya-radiovoln>
7. Сучасні інформаційні технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці / Бурикін О. Б. С 20-24. [електронний ресурс] – Режим доступу: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:NVU6Nl2e-ZEJ:ess.ineeem.vntu.edu.ua/index.php%3Foption%3Dcom_phocadownload%26view%3Dcategory%26download%3D4%253A2016-10-20-09-27-40%26id%3D1%253A2016-10-20-08-37-47%26Itemid%3D120%26lang%3Dua+%&cd=3&hl=uk&ct=clnk&gl=ua
8. Використання каналів радіозв'язку в системах диспетчерського керування електропостачанням / Б.Я.Оробчук, О.О.Рафалюк, С.М.Бабюк // Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського. Випуск 3/2009 (56). Частина 1 – С.131-134 – [електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.kdu.edu.ua/statti/2009-3-1\(56\)/131.PDF](http://www.kdu.edu.ua/statti/2009-3-1(56)/131.PDF)

УДК 621.314

Волошко А.В., *д-р техн. наук*, проф., **Шершень О. І.**, магістр

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

ВПЛИВ КОЛИВАННЯ ЧАСТОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НА ТОЧНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ГАРМОНІЧНОГО АНАЛІЗУ, ТА СПОСОБИ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

Вступ.

Насичення систем електропостачання нелінійними і потужними як джерелами зі сторони постачальних організацій, так і самими споживачами електричної енергії, призвело до того, що сигнали в електричній мережі (напруга та струм) стають нестаціонарними, нелінійними та зі значними коливаннями частоти.

Даний факт і обумовив **ціль дослідження**: вплив на похибку визначення гармонічних складових шляхом застосування існуючих методів та необхідність їх модифікації, або розробки нових методів.

Огляд літературних джерел.

У [1] була представлена методика, оцінки відхилення частоти в енергосистемі, а також усередненої швидкості її змін під час аварійних режимів, які можуть призводити до відхилення навантаження. Оптимальна оцінка застосування даного методу досягається тільки під час низькочастотних коливань за рахунок застосування двохетапного алгоритму. При цьому використовується адаптивний розширений фільтр Калмана, за допомогою якого обчислюється відхилення частоти, амплітуди та фази кута напруги. Миттєве значення відхилення частоти використовується в якості вхідного сигналу на лінійний фільтр Калмана, який моделює відхилення частоти як випадковий процес.

Широко застосовуються методи вимірювання характеристик електропостачання шляхом так званого «нульового перетину». У [2] розглянуто метод *DSP (digital system processing)*, який може застосовуватись для опису динамічної поведінки енергетичної системи зі змінною основною частиною. Даний метод заснований на інтеграції нульового перетину та квазісинхронної інтерполяційної вибірки.

У [3] представлено частотні вимірювання спотворених сигналів за допомогою методів Фур'є і нульового перетину. За допомогою методу Фур'є проводиться цифрова фільтрація, а метод кодування перетину нуля застосовується для косинусних або синусних компонент вихідного сигналу, який, як правило, містить вищі гармоніки.

Також у [4] представлена нова техніка для швидкого відстеження частотних відхилень на основі перетину нульового рівня. Запропонований метод, який ґрунтується на узагальненні визначення нульового перетину до визначення рівня перетину. Це дає кілька оцінок частоти протягом одного циклу. Комбінована «найкраща оцінка» визначається відповідним середнім із цих оцінок (точність залежить від відхилень частоти).

У [5] пропонуються два алгоритми цифрової обробки сигналів для вимірювання відхилень частоти енергосистемах. Дані алгоритми основані на застосуванні квадратичних форм вибірок сигналу. При цьому вони забезпечують високу точність вимірювання в широкому діапазоні зміни частоти.

У [6] представлено три нові техніки вимірювання частоти. Перший – модифікований метод нульового перетину з використанням кривої відповідності дискретних відліків. Другий метод базується на номінальному ліфтингу квазістаціонарних фазових даних отриманих за рахунок застосування дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) (для обчислення швидкості зміни фази кута). Третій метод ґрунтується на обробці складного сигналу отриманого за

допомогою квадратурної демодуляції. Всі три методи застосовуються при наявності незначних значень струму та гармонік [7].

Більшість цифрових методів для вимірювання частоти мають прийнятну точність, якщо форми наруги не спотворені. Однак, через нелінійні навантаження (напівпровідникові випрямлячі, електродугові печі) напруга може містити вищі гармоніки. Метод вимірювання частоти, який запропоновано в [7], базується на основі цифрової фільтрації та методу оцінки Проні. Запропонований метод є більш точним по відношенню до способу, який базується на вимірюванні кутової швидкості обертання фази напруги, але якщо тільки сигнал стаціонарний та синусоїдальний.

У даний час синусоїдальні фазові вимірювання стають важливим елементом широкомасштабних вимірювальних систем, що використовуються в системах моніторингу, захисту та керування системою електроспоживання [8]. Так в [9] Запропонована техніка забезпечує точність оцінювання із роздільною здатністю 0,01–0,02Гц для приблизно номінального, номінального і поза номінальними частотами приблизно 20 мс. Також в [10] представлений метод вимірювання частоти (відмінного від номінального значення) методом найменших квадратів, та спосіб корекції результатів вимірювання у випадку відхилення напруги в електричній мережі від синусоїдального значення. В роботі [11] запропоновано новий підхід до розробки алгоритму визначення фази напруги та частоти в локальній системі. Проблема даного підходу розглядається як оптимізаційна задача. Алгоритм виводиться як ітераційна задача по методу Ньютона. Алгоритм показав надійність та високу точність в широкому діапазоні зміни частоти.

Також широкого застосування набули методи оптимального відстеження векторів напруги та відхилення частоти [12], які орієнтовані на моделях лінійного фільтра Калмана.

На даний час в електроенергетиці швидко розвивається так званий напрямок *PMU* (синхронні вимірювання)[13]. Їх застосування розглядається у взаємозв'язку реактивної та активної потужностей, що дає змогу поєднання питань напруги і стабільності частоти.

Синхронна вибірка [14] представляє собою широко використовуваний метод з хорошою продуктивністю. Проте, оптимальної дискретизації досягти неможливо, якщо сигнал містить інтергармоніки, небажані асинхронні відхилення між вибірками. Це все призводить до появи похибок. У роботі пропонується застосування квазісинхронного вікна, для зменшення витоків на великі відстані, а також алгоритм компенсації.

Огляд літературних джерел показав, що існуючі цифрові алгоритми визначення показників якості електричної енергії, а саме гармонічного аналізу, базуються на обробці перетворених в код вибірок миттєвих значень фазних напруг та струмів електричної мережі. Дані значення беруться в еквідистантні моменти часу із подальшим застосуванням дискретного перетворення Фур'є (ДПФ).

Постановка завдання. У випадку відсутності коливань частоти в електричній мережі і частоти дискретизації ($f_d \geq 2 f_c$) процес гармонічного аналізу проводиться порівняно точно. Але як відмічалося раніше наявність спотворень електричної енергії призводить до методичної похибки вимірювань. Особливий вплив на точність вимірювання має нестабільність частоти електричної мережі. Як показують дослідження, більшість проблем виникає в тих випадках, коли процес дискретизації не синхронізований з основною частотою електричної мережі.

Результати дослідження. Найбільш близьким до пропонованого в роботі методом є метод усереднення впливу чистоти на точність проведення гармонічного аналізу шляхом вибору частоти дискретизації із послідовним застосуванням інтерполяційних функцій. Застосування такого методу зменшує вплив нестабільності частоти, але потребує великого об'єму обчислень.

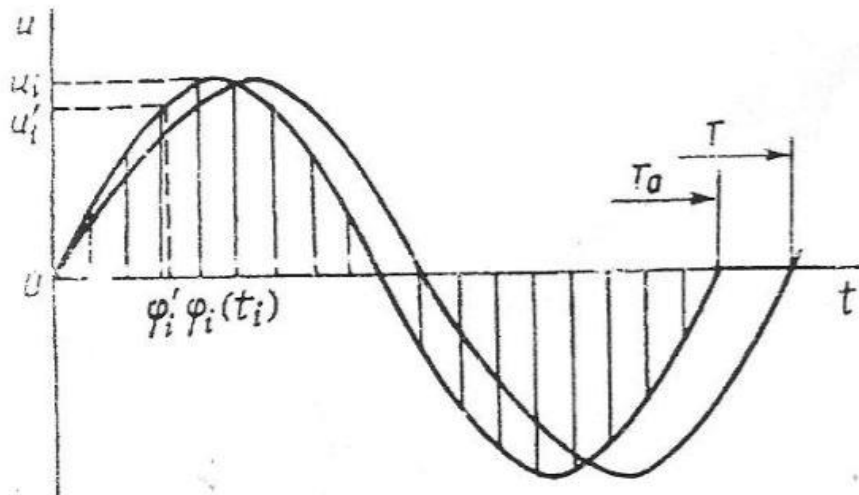


Рис.1

Запропонований в роботі алгоритм зменшення впливу частоти електричної мережі заключається у наступному [15]. На рис.1 представлений синусоїдальний сигнал напруги із періодом T , для якого розрахована частота дискретизації $f_d(\frac{1}{\Delta t})$. Як видно із рис.1, миттєві значення U_i , які повинні мати фазові кути φ (розрахований кут) мають кути φ_i (дійсний кут). Розрахункові та дійсні кути миттєвих значень напруги будуть різнитись на величину $\Delta U = \Delta T / N$, де $\Delta T = T_0 - T$, N – число дискрет на періоді.

Як відомо, в основі ДПФ лежить операція множення миттєвих значень сигналу на відповідний йому вектор повороту. У випадку синусоїдальних напруги u_i та струму i_e отримуємо наступні рівняння:

$$u_l = U_1 \sin \frac{2\pi \gamma l}{2n+1} + U_2 \cos \frac{2\pi \gamma l}{2n+1} \quad (1)$$

$$i_l = I_1 \sin \frac{2\pi \gamma l}{2n+1} + I_2 \cos \frac{2\pi \gamma l}{2n+1} \quad (2)$$

де $l = 0, 1, 2, \dots, n$ - дискретне число періоду T_0 , $2n + 1$ – число дискрет на періоді T , $\gamma = T_0 / T$ – характеризує коливання періоду дискретизації від періоду T .

Після ряду математичних операцій отримаємо

$$P = UI [\cos(\varphi_u - \varphi_i) - \frac{\sin(2\pi\gamma)}{(2n+1) \sin(\frac{2\pi\gamma}{2n+1})} + \varphi_u + \varphi_i] \quad (3)$$

де відносна похибка:

$$\varepsilon(\gamma) = \left| \frac{\sin(2\pi\gamma)}{(2n+1) \sin(\frac{2\pi\gamma}{2n+1})} \right| \quad (4)$$

Як відмічалось раніше, невідповідність дійсного значення кута його розрахунковому значенню призводить до похибки визначення компонент Фур'є i , як наслідок, до похибки обчислення величин, які визначаються на їх основі.

Для підтвердження ефективності застосування корекції відносної похибки (4) була змодельована система напруг, яка дозволяла задавати гармонічний склад фазних напруг, несиметрію та невідношеність системи напруг.

В дослідженні розглядалась система синусоїдальних напруг та система несинусоїдальна із коефіцієнтом несинусоїдальності $\leq 5\%$. Розрахунки виконували різними методами. Для оцінки впливу нестабільності частоти використовувалось (4).

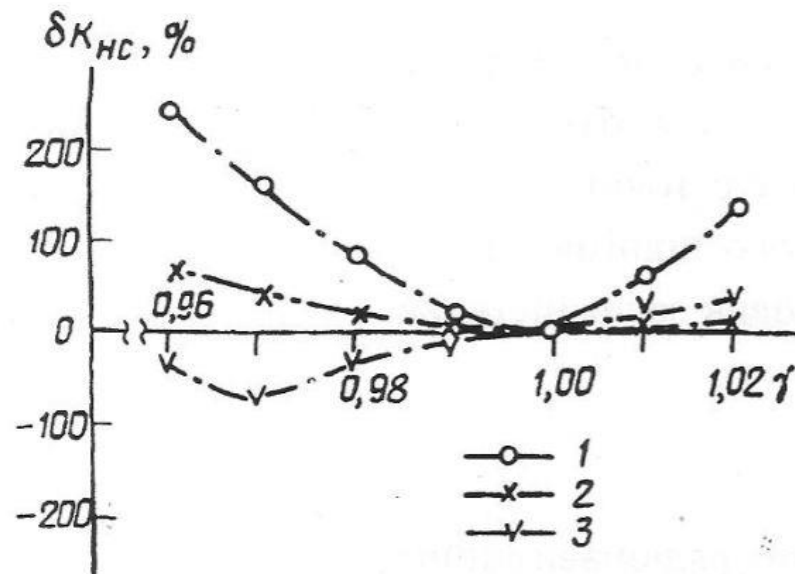


Рис.2

Аналіз проведених досліджень показав, що найбільший вплив нестабільності частоти має на точність визначення коефіцієнту несинусоїдальності ($k_{нс}$) та рівнів гармонічних складових напруги ($k_{u(n)}$). На рис.2 представлені графіки залежності відносної похибки $k_{нс}$ для фази A від нестабільності частоти електричної мережі у випадку несинусоїдальної, несиметричної напруги.

Як видно із рис.2 похибка різко зростає у випадку відхилення частоти електричної мережі від значення 50Гц, як у сторону її збільшення так і зменшення. Так у випадку $g=0,97$ ($f=48,5\text{Гц}$) і $k_{нс}=3\%$ відносна похибка визначення $k_{нс}$ перевищує 150% (крива 1). Необхідно відмітити той факт, що у випадку $g=0,96$ ($f=48,0\text{Гц}$) і $k_{нс}=12\%$ похибка складає не більше 80% (крива 2).

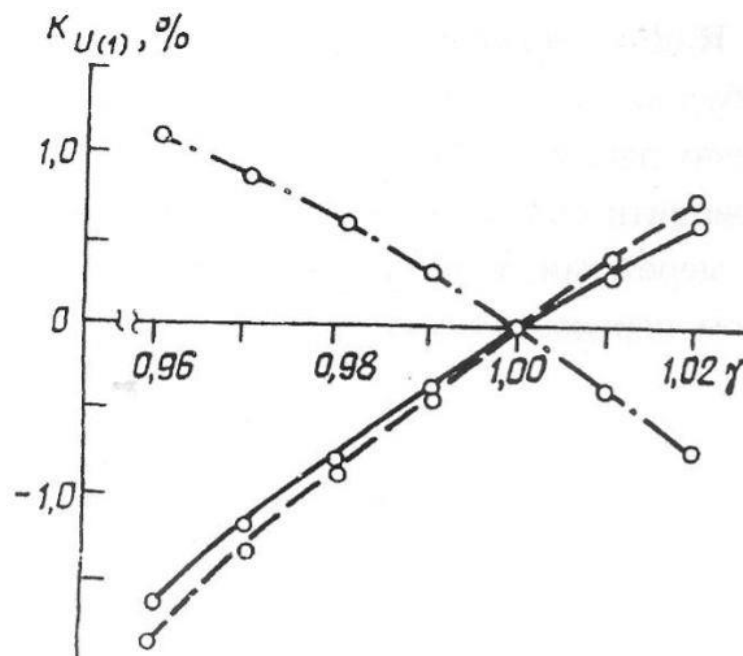


Рис.3

Також, на рис.3 представлені результати залежності відносної похибки визначення

діючого значення основної гармонічної складової напруги від нестабільності частоти електричної мережі у випадку несиметричної неврівноваженої напруги. Аналіз графіків рис.4 (залежність похибки визначення відхилень напруги від нестабільності частоти у випадку несинусоїдальності напруги ($k_{нс}=12\%$) показав, що на точність визначення даного показника суттєвий вплив надає вид несиметрії систем напруг. При цьому наявність фазової несиметрії (незалежно від амплітудної несиметрії) знижує значення похибки.

Аналіз результатів проведених досліджень дозволяє зробити декілька **висновків**.

1. Нестабільність частоти електричної мережі впливає на точність визначення показників якості електричної енергії.

2. Найбільший вплив даний параметр має на визначення величин, які відображають гармонічний склад системи напруг: коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги та коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги. На точність визначення даних величин також суттєво впливає і фаза сигналу напруги.

3. Похибка визначення величини відхилення напруги залежить від виду несиметрії – вона збільшується у випадку наявності амплітудної несиметрії і знижується у випадку появи фазової несиметрії.

Так як, в основному, в основному, похибка яка визвана нестабільністю частоти електричної мережі вноситься на етапі обчислення компонент Фур'є, тому при їх визначенні пропонується враховувати величину невідповідності дійсного кута вибірки його розрахунковому значенню. Тобто,

$$X(k) = \sum_{l=0}^{2n} [\sum_{m=1}^n A_m \sin(\frac{2\pi l m}{N} \gamma_e + \varphi_m)] e^{-\frac{\gamma n l k}{N}} \quad (5)$$

Де k – компонента Фур'є, A_m – амплітудне значення m -ої гармоніки, m – номер гармоніки, φ_m – фазовий кут m -ої гармоніки.

Список літератури

1. Girgins A.A. "Adaptive estimation of power systems frequency deviation and its role of change for calculation sudden power system overloads". IEEE Trans, on Power Delivery. – 1990, US, J.2, p.585-594
2. Backmutsky V. A new DSP method for precise dynamic measurement of the active power-line frequency and its data acquisition applications /V. Backmutsky V. , U. Zmudikov, A. Agizim // [https://doi.org/10.1016/S0263-224\(96\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0263-224(96)00049-8)
3. Djuric B. Frequency measurement of distorted signals using Fourier and zero crossing techniques // Djuric B., D. Zeljko // Electronic Power Systems Research. 2008. V78, I.8.p.1407-1415.
4. Nguenn C.I. A new Technique for Rapid Tracking of Frequency Deviations Based on Level Crossings / C.I. Nguenn, K. Svinivasau // IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems. 1984. V.PAS-103, Js, 8. P.2230-2236
5. Kezunovic M. New digital signal processing algorithms for frequency deviation measurement / M. Kezunovic, P. Spasojevich, B. Perynicic// IEEE Trans. on Power Delivery. 2002. V.7., Js. 3, P. 1563-1573.
6. Begovic M.M. Frequency Tracking in power networks in the presence of harmonics / M.M.Begovic, P.M.Djuric, S.Dunlep // IEEE Trans. on Power Delivery. 1993.-V.8. Jss 2. P.480-486
7. Lobos T. Real-time determination of power systems frequency /T.Lobos, S.Rezwer // IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement. 1997. U. 46. Js.4. P.877-881
8. Phadke A.G. Synchronized Phasor frequency Measurement Under Transient Conditions. /A.B. Phadke, B. Kaszleny // IEEE Trans. on Power Delivery. 2009. V 24, Js. v. p. 89-95.
9. Sidhu T.S. An Iterative Technique for Fast and Accurate Measurement of Power System Frequency /T.S.Sidhu, M.S. Sachdev // IEEE Trans. on Power Delivery. 1998. V.13. №1. P.109-115.
10. Givay M.M. Off-nominal frequency measurements in electric power systems /M.M. Givay,

M.S. Sachdev // IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems. 1984. U. PAS-103. Js. 10. P. 2943-2951

11. Terzija V.V. Voltage Phasor and local system frequency estimation using Newton type algorithm / V.V. Terzija, M.B. Djuvich, B.D. Kovasevic // IEEE Trans. on Power Delivery. 1994. V. 9. Js.3. P.1368-1374

12. Girgis A.A. Optimal Estimation of Voltage Phasors and Frequency Deviation Using Linear and Non-Linear Kalman Filtering: Theory and Limitations /A.A. Girgis, T.L.D. Hwang // IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems. 2007. V. PAS-103, Js.10.p.2943-2951

13. Tang S. Adaptive load shedding based on combined frequency and voltage stability aswent using synchrophasor measurements / J.Tang, F.Ponci, A.Monti // IEEE Trans. on Power Delivery. - 2013, U.28/Js.2 P.2035-2047

[14] Dai X. Quasi-synchronous sampling algorithm and its applications / X.Dai, R. Grelch, IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement: 1994. V.43. Js 2. P. 204-209

15. Волошко А.В. Устранение влияния нестабильности частоты сети на на точность определения показателей качества электрической энергии / А.В. Волошко, О.В. Коцарь // Техническая электродинамика. – 1994. – № 4. – С. 73 – 77.

УДК 332.02+332.1+621.316

Осіпов А.В., магістр, наук.керівник: **Коцар О.В.** канд.техн.наук, доц.

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

ОКРЕМІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ЛІБЕРАЛІЗАЦІЇ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Забезпечення точних, повних, достовірних та актуальних даних обліку виробленої, переданої та спожитої, електроенергії необхідно для впровадження ефективного лібералізованого ринку електричної енергії. Розробка Кодексу комерційного обліку – єдиного нормативного документу з обліку електроенергії має сприяти досягненню поставлених цілей. В статті досліджено вимоги Кодексу комерційного обліку в порівнянні з чинними нормативними документами щодо обліку електроенергії на оптовому та роздрібному ринках електричної енергії України, виділено позитивні сторони Кодексу, а також окремі його положення, що стануть на заваді запровадженню в Україні ефективного лібералізованого ринку електричної енергії.

Ключові слова: облік електроенергії, Кодекс комерційного обліку, ринок електричної енергії, Smart Metering, Cost-Benefit Analysis, CBA.

The provision of accurate, complete, reliable and up-to-date data on the generation, transmission and consumption of electricity is necessary for the implementation of an efficient, liberalized electricity market. The development of the Commercial Metering Codex - a single normative document on electricity accounting should contribute to the achievement of the objectives. The article examines the requirements of the Commercial Metering Codex in comparison with the current normative documents on electricity accounting in the wholesale and retail electricity markets of Ukraine, highlights the positive aspects of the Codex, as well as some of its provisions, which will

prevent the introduction of an effective liberalized electricity market in Ukraine.

Key words: Commercial Metering Codex, Instruction on the Commercial Metering of Electric Energy Procedure, Rules for the Electric Energy Usage, Smart Metering, Cost-Benefit Analysis, CBA.

Вступ.

Україна поступово прямує до лібералізації ринку електричної енергії. В рамках створення нормативної бази функціонування лібералізованого ринку електричної енергії було розроблено Кодекс комерційного обліку електроенергії (в подальшому – Кодекс) [1], який спрямовано, зокрема, на впорядкування процесів і процедур надання послуг комерційного обліку електроенергії та підвищення відповідальності постачальників послуг комерційного обліку за надання результатів комерційного обліку. Кодекс має замінити два нормативних документи (НД):

- Інструкцію про порядок комерційного обліку електричної енергії [2], яка діє на оптовому ринку (в подальшому – Інструкція), та
- Правила користування електричною енергією [3], які діють на роздрібному ринку електричної енергії України (в подальшому – Правила).

Мета і завдання досліджень

Метою статті є розроблення пропозицій щодо узгодження вимог Кодексу і чинних НД на перехідних етапах лібералізації ринку електричної енергії України.

Для досягнення поставленої мети у статті розглянуто положення Кодексу та чинних НД щодо забезпечення функціонування і розвитку ринку електричної енергії України, виконано порівняльний аналіз та розроблено пропозиції щодо вдосконалення Кодексу комерційного обліку з метою підвищення ефективності його застосування в лібералізованому ринку електричної енергії.

Матеріал досліджень

Кодекс комерційного обліку електричної енергії [1] було розроблено в рамках запровадження Закону України «Про ринок електричної енергії» [4].

Основні причина розроблення Кодексу:

- оператор ринку та адміністратор комерційного обліку (АКО) повинні обробляти велику кількість даних обліку, які надходять від великої кількості лічильників електроенергії, що вимагає забезпечення точності, повноти, достовірності та актуальності цих даних;
- підприємства користуються різними базами даних з різними версіями програмного забезпечення (відсутність сумісності). У зв'язку з цим необхідним є побудова єдиної уніфікованої бази даних;
- створення єдиної нормативної бази для всіх учасників ринку.

У Кодексі визначено нових гравців відповідно до рольової моделі лібералізованого ринку електричної енергії, зокрема:

- Адміністратор Кодексу (АК);
- Постачальник послуг комерційного обліку (ППКО);
- Оператор даних комерційного обліку (ОПКО);
- Оператор засобів комерційного обліку (ОЗКО);
- Оператор зчитування даних з лічильників (ОЗД);
- Оператор системи передачі (ОСП);
- Оператор системи розподілу (ОСР);
- Оператор електричної мережі (ОЕМ).

До 31.10.2017 Головний оператор мав вирішувати суперечні питання з постачальниками

послуг комерційного обліку (ППКО). Після прийняття Кодексу [1] був створений Адміністратор Кодексу (АК). АК вносить зміни до Кодексу за погодженням Регулятора та переглядає їх, формує тлумачення положень у разі звернення ППКО, регламентує повні зобов'язання АКО, ППКО, Сторона відповідальна за комерційний облік (СВКО) електропостачальника, Оператора мережі, сторону приєднану до мережі визначення сторони що відповідає за СВКО та їх обов'язки.

Засоби збирання даних, ступені потужності точок комерційного обліку (ТКО), дублювання лічильників було перенесено з Інструкції [2].

З Правил [3] перенесено перевірку та інспекцію вузлів обліку, виявлення фактів втручання.

За нових законів між роздрібним та оптовим ринками повинні бути погоджені повірка, збирання даних, передавання, округлення та зведення балансу, терміни зберігання даних, безпека даних, повірка приладів. Розглянемо кожен з них.

Додано розділ реєстрації ППКО та ТКО.

- У Кодексі [1] відповідальність за метрологічну повірку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) покладено на власника. Відповідно до Інструкції [2] повірка здійснюється органами Держспоживстандарту та метрологічними підрозділами сторін договору.

- Збирання та передавання даних має виконуватись за допомогою автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) [6].

- Кодекс містить положення про збирання даних з ТКО. Згідно з цим положенням, має здійснюватись автоматичне зчитування всіх точок обміну одиниць балансування за протоколами реального часу з інтерфейсом SCADA ОСП до дев'ятої години сорока п'яти хвилин для всіх точок усіх ступенів. В Інструкції [2]. Оператор АСКОЕ забезпечує іншим операторам суміжну інформацію до другої години доби, з кожної спільної точки до шостої години з можливістю коригування до восьмої години тридцяти хвилин. Передача даних SCADA ОСП має відбуватись до десятої години.

У разі неможливості збору Кодексом встановлено правила, які оператор ОЗД має виконати і що саме входить до повноти даних сформованих за ознаками. Правила [3] погоджують можливість об'єднання локальних систем в єдину розподілену АСКОЕ.

- Округлення інтервальних значень. Під час розрахунків застосовується арифметичне округлення. У разі, коли дробова частина розрахованого значення дорівнює або більше 0,5, робиться округлення цього значення до найближчого більшого цілого значення, а у разі, якщо значення менше 0,5 – до найближчого меншого цілого значення. Залишок від округлення додається до наступного неокругленого значення в межах періоду того ж часового ряду даних. Залишок від округлення останнього значення у часовому ряду даних відкидається.

- Дані у внутрішній пам'яті лічильника мають зберігатись 1 рік, а у зовнішній 4 роки.

- Безпека даних. ППКО та АКО повинні забезпечити обробку персональних даних в відділених від ЗКО системах, які повинні відповідати вимогам національного законодавства та Регламенту (EU) 2016/679.

Кодекс [1] визначає: заходи після визначення даних недійсними, формування оціночних даних, профілювання даних комерційного обліку, передачі даних адміністративних розрахунків, формування остаточних даних комерційного обліку, вирішення нештатних ситуацій, забезпечення та використання ППКО сумісних – на апаратному та програмному рівні обладнання та процедури зчитування результатів вимірювання та обміну даними комерційного обліку електроенергії, створено забезпечення machine-machine interface з автоматизованими системами учасників ринку, та забезпечення АКО human-machine interface.

Якщо сторону не задовольняє АКО у вирішенні суперечок, вона звертається до Регулятора.

Для підтримки належного рівня євроінтеграції Україна повинна забезпечити формувати інформацію щодо обліку електроенергії за допомогою АСКОЕ [6]. За допомогою АСКОЕ відбуватиметься збирання даних лише для точок комерційного обліку об'єкта (крім багатоквартирних житлових будинків та населених пунктів) з приєднаною потужністю електроустановок 150 кВт і більше, а отже повноцінне розгортання автоматизованого збору інформації не відбудеться. Тобто залишаються кабінети споживачів на сайтах передавальних компаній і відповідальність за збір як і раніше несе споживач. У країнах Європи збором займається передавальна компанія, тобто до збору інформації, перевірки і заміни пристроїв збирання даних споживач не має жодного відношення. Для купівлі електроенергії фізична, або юридична особа підписує контракт з передавальною компанією та закуповує лише електроенергією, а налаштування мережі і підключення переходить до електропередавальної компанії.

Запровадження аналізу витрат та вигод (Cost-Benefit Analysis – CBA). В Україні спостерігається проблеми вечірніх піків та нічних провалів. Введення до Кодексу [1] такої простої речі, як системи заохочення споживачів, допомогло б вирівняти графік споживання електроенергії. Наприклад, під час піків навантаження комунальні компанії за згодою споживачів здатні забезпечити реагування на попит шляхом дистанційного управління струмоприймачами з подальшим компенсуванням втрат та надання споживачам певних бенефітів через партнерські програми [7].

Висновки

За для уникнення розбіжностей у нормативних документах у роздрібного і оптового ринків було розроблено Кодекс [1] який уніфікує вимоги (перевірка, збирання даних, передавання, округлення та зведення балансу, терміни зберігання даних, безпека даних, перевірка приладів). Хоча деякі покращення і відбулись, найголовніше питання повноцінного розгортання АСКОЕ [6] в повному обсязі не передбачено.

Список використаної літератури

1. Кодекс комерційного обліку електричної енергії [Електронний ресурс] // *Постанова НКРЕКП 14.03.2018 № 311* – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=31799>
2. Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії [Електронний ресурс] // *Постанова НКРЕКП 04.04.2017 №472* – Режим доступу: http://swr railway.gov.ua/file/article/137/Instruk_z_oblik.pdf.
3. Правила користування електричною енергією [Електронний ресурс] // *Постанова НКРЕ 31.07.96 № 28 (у редакції постанови НКРЕ від 17.10.2005 № 910)* – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96>.
4. Закон України «Про ринок електричної енергії» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=58829
5. О.В. Коцар Формування інформаційного забезпечення функціонування ринку електричної енергії України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://energy.kpi.ua/article/view/127545>
6. Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням [електронне видання] / О. В. Коцар // Навч. посібн. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, — Дніпро: Середняк Т. К., 2017, — 44 с. – Режим доступу: <http://tceem.iee.kpi.ua/en/handbooks>.
7. 4 ways the smart grid benefits you (4 способи використання смарт-мережі) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.whatissmartgrid.org/featured-article/4-ways-the-smart-grid-benefits-you>

УДК 621.31

Горенко Д.С., аспірант, **Соколовський П.В.**, асистент,Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; **Радиш І.П.**, к.т.н., доц. Ужгородський національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ПРОТІКАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В АВТОНОМНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Автономними системами електроживлення можна вважати такі енергетичні системи, що не потребують зовнішніх джерел електроенергії. До них можна віднести і судові системи електроживлення (повітряні судна, кораблі і т.п.). В таких системах пред'являються особливі вимоги до якості та надійності [1–4].

Електрообладнання сучасних повітряних суден (ПС) являє собою складність ний електротехнічний комплекс, що забезпечує виконання завдань управління, життєзабезпечення і надійного функціонування всіх систем ВС в будь-яких умовах польоту. Усе електрообладнання в залежності від його призначення може бути виділено в три основні групи:

- джерела і перетворювачі електричної енергії;
- системи передачі і розподілу електричної енергії;
- приймачі електричної енергії.

Класифікація систем електропостачання (за родом струму і напруги первинних систем) шляхом комбінування в різних поєднаннях чотирьох основних типів систем:

- постійного струму низької напруги 28 В;
- постійного струму середньої напруги 112 В;
- змінного трифазного струму змінної частоти;
- змінного трифазного струму 115/200 В постійної частоти 400 Гц з приводом

постійної швидкості (ППС).

На сьогодні знаходить застосування система змінного трифазного струму 115/200 В постійної частоти 400 Гц з напівпровідниковим перетворювачем – перетворювачем частоти (ПП або ПЧ). Перспективною вважається система постійного струму високої напруги ± 270 В.

Основні вимоги до якості електроенергії в судових системах [2]:

1) Однофазні приймачі повинні бути розподілені між фазами кожного каналу трифазної системи електропостачання, щоб різниця навантажень найбільш і найменш навантажених фаз не перевищувала: при нормальній або частковій роботі - 5 % номінальної потужності каналу або 15% потужності фази джерела; при аварійній роботі - 10% номінальної потужності каналу або 30% потужності фази джерела.

2) Кут зсуву фаз між векторами напруг будь-яких сусідніх фаз при нормальній, часткової або аварійної роботи повинен становити 116–124°.

3) Значення усталеного напруги повинні відповідати зазначеним в таблиці 1

Таблиця 1.

Точка вимірювання	Діапазон напруги в будь-якій фазі при роботі системи, В			Діапазон середніх значень напруги трьох фаз при роботі системи, В		
	Нормальний або частотний	Ненормальний	Аварійний	Нормальний або частотний	Ненормальний	Аварійний
Виводи приймачів	108 – 119	100 – 127	104 – 122	–	–	–
В точці регулювання	–	–	–	114 – 118	105 – 125	112 – 120

4) Коефіцієнт амплітудної модуляції напруги в сталому режимі роботи при імпульсно-періодичній навантаженні повинен бути рівним 0,95 і більше, амплітудне значення сили струму якої в імпульсі дорівнює 7% номінального амплітудного значення сили струму каналу (джерела), повинен бути не більше 1%.

5) Несинусоїдальність напруги в сталому режимі роботи повинна бути такою, щоб для трифазного двонапівперіодного трансформаторно-випрямного навантаження, рівної 25% потужності каналу (джерела), виконувалися наступні вимоги: коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги був не більше 8%; діюче значення будь-якої окремої вищої гармоніки частоти до 10 кГц було не більше 5% діючого значення першої гармоніки напруги; діюче значення будь-якої гармоніки частоти 10 кГц і більше не перевищувало значення, встановленого стандарту; коефіцієнт амплітудного значення напруги дорівнював $1,41 \pm 0,15$; постійна складова напруги була не більше $\pm 0,1$ В.

6) Імпульси напруги, що надходять на живильну шину системи при відключеннях приймачів електроенергії, повинні бути в межах від - 70 до 70 В (амплітудне значення), тривалістю від 0,05 до 5 мкс і накладатися на напругу шини в момент надходження.

7) Коефіцієнт пульсації напруги постійного струму повинен бути не більше 7,4% номінального значення. Частотні складові пульсації напруги повинні укладатися в діапазоні частот від 0,01 до 10 кГц.

З вище зазначеного можна зробити висновок, що вимоги, які пред'являються до судових мереж суттєво відрізняються від стандартів для мереж загального призначення, проте проблеми електромагнітної сумісності різнотипного електроенергетичного обладнання залишається невирішеною. На рис. 1 зображено схему розташування основного електрообладнання та систем управління літального апарату [2].

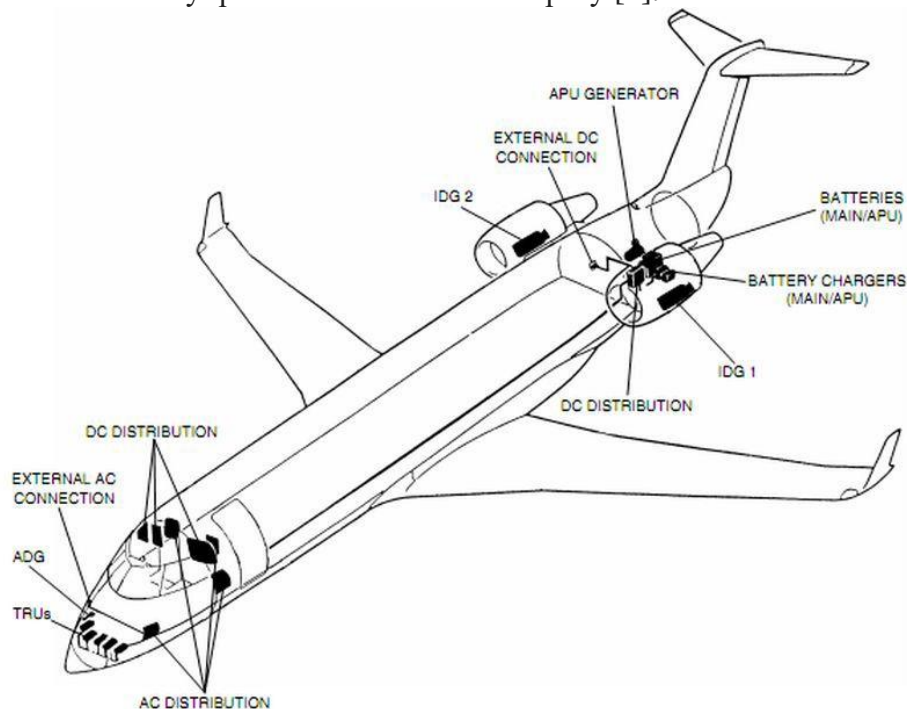


Рис. 1 Умовне розташування електрообладнання літака

Для мереж з несинусоїдальною формою напруги та струму неспівпадіння процесів коливання енергії в перетині судової системи електроживлення з коливанням енергії в елементах обумовлює відсутність зв'язків між максимальними енергіями, накопиченими магнітному електричному полях усіх індуктивних та ємнісних елементів, та максимумом

енергії у виділеному перетині системи.

Методи визначення реактивної потужності для систем з несинусоїдального струму [5–7].

- 1) Реактивна потужність за першою гармонікою:

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1 = \left(\frac{1}{T^2} \int_0^T i_1(t)^2 dt \int_0^T u_1(t)^2 dt \right)^{1/2} \cdot \sin \varphi_1$$

- 2) Реактивна потужність Фризе:

$$Q_{\Phi r} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{\frac{1}{T^2} \int_0^T u(t)^2 dt \int_0^T i(t)^2 dt - \left(\frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt \right)^2}$$

- 3) Реактивна потужність Будеана:

$$Q_B = \sum_k^N Q_k = \sum_k^N U_k I_k \sin \varphi_k$$

- 4) Диференціальна реактивна потужність:

$$Q_B = \sum_k^N k Q_k = \sum_k^N k U_k I_k \sin \varphi_k$$

- 5) Інтегральна реактивна потужність:

$$Q_I = \sum_k^N \frac{Q_k}{k} = \sum_k^N \frac{U_k I_k}{k} \sin \varphi_k$$

- 6) Еквівалентна реактивна потужність:

$$Q_{\text{ЕКВ}} = \sqrt{Q_D Q_I}$$

- 7) Реактивна потужність на основі заміни несинусоїдальних сигналів еквівалентними синусоїдами:

$$Q_\lambda = UI \sin \left(\arccos \left(\frac{P}{UI} \right) \right)$$

Наведені вище підходи до визначення реактивної потужності не дають змоги повноцінно оцінити енергетичні процеси в автоматичних системах електроживлення, тому є доцільним використовувати обмінну потужність та її модифікації:

$$Q_{\text{ОБ}} = \frac{1}{T} \int_0^{t^+} u(t) i_p(t) dt$$

Компенсація обмінної потужності в автономних системах електроживлення відповідає критерію зменшення зворотних потоків енергії. Для компенсації обмінної потужності необхідним є виконання рівностей:

$$W_{\text{ОБ}} = \int_0^{t^+} p_{\text{н}}(t) dt = \int_0^{t^+} p_{\text{н}}^{\text{н}}(t) dt + \int_0^{t^+} p_{\text{н}}^{\text{к}}(t) dt = 0$$

$$W_{\text{ОБ}} = \int_0^{t^+ + t^0} p_{\text{н}}(t) dt = \int_0^{t^+ + t^0} p_{\text{н}}^{\text{н}}(t) dt + \int_0^{t^+ + t^0} p_{\text{н}}^{\text{к}}(t) dt = 0$$

З рівнянь випливає:

$$\int_0^{t^+} p_{\text{н}}^{\text{н}}(t) dt = - \int_0^{t^+} p_{\text{н}}^{\text{к}}(t) dt$$

$$\int_0^{t^+ + t^0} p_n^h(t) dt = - \int_0^{t^+ + t^0} p_n^k(t) dt$$

де $p(t)$, $p^h(t)=p_0^h(t)+p_n^h(t)$, $p^k(t)=p_0^k(t)+p_n^k(t)$ – миттєві потужності відповідно на виході генератора, на вході навантаження та на вході компенсатора; $p_0^h(t)$ ($p_0^k(t)$) – миттєва потужність, яка відображає перетворення енергії в інші види в навантаженні (компенсаторі); $p_n^h(t)$ ($p_n^k(t)$) – миттєва потужність, відображає накопичення енергії реактивних елементах навантаження (компенсаторі).

Відповідно до критерію усунення зворотних потоків енергії, форма кривої $p_0(t)$ має повторювати форму $p_n(t)$ на всьому періоді T або виконання співвідношення:

$$\int_0^T p_n^h(t) dt = - \int_0^T p_n^k(t) dt$$

Всі генератори постійного струму ПС мають паралельну обмотку збудження. Загальний струм короткого замикання менше номінального, тому для таких генераторів немає необхідності використовувати захист від короткого замикання. Якщо напруга генератора менша напруги мережі, тоді з мережі до генератора протікатиме струм (так званий зворотній струм), який призводить до поломок якоря і колектора генератора, а також до швидкої розрядки акумуляторних батарей. Тому компенсація зворотних потоків потужності є необхідною.

Список використаної літератури

1. Коепке G. Electromagnetic Compatibility and Smart Grid Interoperability Issues // SGIP Document. – 2012. – №5. – С. 118.
2. ГОСТ Р 54073-2017 Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии.
3. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк, Саенко Ю.Л., Нойберг А.М. Электромагнитная совместимость потребителей // Машиностроение. – 2012. – 351 с.
4. Горенко Д.С. Взаємний вплив груп елементів в локальних системах електроживлення // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. – 2018. – С. 17–18.
5. Жуйков В.Я. Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами // НТУУ «КПІ». – 2010. – 264 с.
6. Гамм А.З., Голуб И.И. Адресность передачи активных и реактивных мощностей в электроэнергетической системе / Электричество. – 2003. – №3. – С. 9–16.
7. Denysiuk S., Horenko D. Analysis of exchange processes during parallel operation of wind electric units // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 4(82). – С. 26–32.

УДК 621.3.013

Волошко А.В., д.т.н., професор; **Лутчин Т.М.,** к.т.н.; **Коваленко А.В.,** магістр
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ У СИСТЕМАХ SMART GRID

Стаття присвячена розвитку технологій розумних мереж (Smart Grid). В статті розглядається значимість шкідливого впливу електровипромінювання і необхідність територіальної оцінки фону випромінювання до і після впровадження систем Smart Grid.

The article is devoted to the development of Smart Grid. The article considers the significance of the harmful effects of electromagnetic radiation and the need for a territorial background radiation evaluation before and after the implementation of Smart Grid systems.

У час стрімкого розвитку технологій значно зростає взаємовплив між генерацією, передачею та споживанням електроенергії. Складно уявити прогресивне високотехнологічне управління мережами без використання технологій та новаторств Smart Grid. Але поряд зі значними перевагами варто пам'ятати про найголовніше – життя людини. Той комфорт, до якого прагнемо, може виявитися згубним.

Основні тенденції сьогодення походять від екологічних інформаційних технологій до загромадженої обробки даних. Саме цей шлях розвитку розумних мереж (Smart Grid) є новітнім перспективним світовим напрямком розвитку енергетики розвинутих країн (таблиця 1) [1].

Таблиця 1 - Розмір інвестицій 10 передових країн у технологій Smart Grid

Назва країни	\$ млн.
 Китай	7 320
 США	7 090
 Японія	849
 Пд. Корея	824
 Іспанія	807
 Німеччина	397
 Австралія	360
 Великобританія	290
 Франція	265
 Бразилія	204

Для підвищення ефективності енергетики важливими факторами є екологічність, енергозберігаючі властивості та соціальний ефект від впровадження новітніх інформаційних технологій.

Технологія Smart Grid - являє собою систему, що оптимізує енерговитрати та перерозподіляє електроенергію. Smart Grid - комплекс технічних засобів, який оперативно змінює характеристики електричної мережі. На технологічному рівні відбувається поєднання електричних мереж, споживачів і виробників електроенергії в єдину автоматизовану систему, яка в реальному часі дозволяє відстежувати і контролювати режими роботи всіх учасників процесу. При традиційному підході розподілу електричний струм надходить від станції до споживача і подається у відповідності з попередньо заданим рівнем навантаження. Впровадження Smart Grid в енергосистему надає можливість самостійно регулювати подачу електроенергії від мінімальних до максимальних режимів електроспоживання [2].

Створення концепції Smart Grid переслідувало такі основні завдання:

- підвищення надійності електропостачання та безвідмовності роботи системи;
- підвищення енергетичної ефективності;
- збереження навколишнього середовища.

Виходячи із зазначених цілей, технологічна база Smart Grid включає наступні сегменти, на яких значною мірою позначиться розвиток технологій Smart Grid:

- облік енергоресурсів;
- автоматизація розподільних мереж;
- управління та моніторинг стану електротехнічного обладнання;
- автоматизація магістральних електричних мереж та вузлових підстанцій і регулювання перетоків;
- електричні мережі й установки споживачів;
- нетрадиційні і поновлювані джерела енергії.

Об'єднані в єдину платформу, ці технології дозволяють по новому підходити до побудови електричних мереж, переходячи від жорсткої структури «генерація - мережі - споживач» до більш гнучкої, у якій кожен вузол мережі може бути активним елементом. При цьому інтелектуальна мережа при зміні умов в автоматичному режимі проводить переконфігурацію схеми.

Головною перевагою нової системи є двосторонній зв'язок зі споживачем електроенергії. Технологія Smart Grid працює через систему спеціальних «інтелектуальних» лічильників, встановлених на підприємствах і в житлових приміщеннях. Вони інформують про рівень споживання енергії, що дозволяє коригувати використання електрообладнання в часі і розподіляти електроенергію в залежності від потреб. Тому створюються автоматичні системи контролю, які зможуть оптимізувати електроспоживання [1].

Управління енергомережами подібне до управління інформаційними потоками, тому принципи роботи мереж Smart Grid схожі з принципами Internet. Smart Grid, заснована на протоколі IP, стає частиною інтелектуальної мережі управління та оптимізації генерації та споживання енергоресурсів. Технологія Smart Grid діє через систему "інтелектуальних" лічильників, встановлених на підприємствах, у квартирах і т. д. Вони передають інформацію про споживання енергії, що дозволяє скорегувати використання електроприладів у часі; розподілити електроенергію у залежності від потреб споживачів. Подібна технологія скоротить споживання і допоможе уникнути очікуваного дефіциту генеруючих потужностей на енергетичному ринку і зменшить використання природних ресурсів. У свою чергу все це дозволить кінцевому споживачеві значно знизити витрати на електроенергію.

Серед технологій збору та передачі даних з первинних приладів обліку конкурують два основних напрямки - використання технології передачі даних по мережі електроживлення

(PLC - power line communications) та радіокомунікації (RF). В Україні, незважаючи на вкрай незадовільний стан електричних мереж низької напруги, останнім часом поширюється технологія PLC. При цьому не звертається увага на такий важливий фактор, як енергоспоживання абонентського обладнання [3]. Для забезпечення функціонування подібної системи збору даних з лічильників у місті мільйоннику необхідно залучити додатково енергетичні потужності порядку 3,6 МВт. Тому цей підхід не відповідає сучасним вимогам енергозбереження та екологічності. Крім того, низька швидкість інформаційного обміну та не оптимальна організаційна структура автоматизованої системи збору даних потребує іншого рішення, яке б базувалось на новітніх досягненнях в інформаційних та телекомунікаційних технологіях.

Еволюція АСКОЕ (автоматизованих систем комерційного обліку електричної енергії) від систем дистанційного збору даних з лічильників (AMR) до систем управління енергоспоживанням (АММ) проходила при інтенсивному переформуванні телекомунікаційної сфери: розвитку мобільних сервісів і технологій широкосмугового доступу; бурхливого росту Internet - технологій; появою нових безпроводних технологій, які впевнено завоюють передові позиції в індустрії автоматизації приміщень.

До останнього часу безпроводні технології використовувалися менше, ніж провідні. Але зараз, з появою стандарту безпроводного зв'язку IEEE 802.15.4 [4], ситуація в області створення мереж передачі даних суттєво змінюється.

АСКОЕ є найважливішою системою для підтримки споживачів. Система надає мережевим організаціям можливість збирати дані та управляти системою вимірювань у реальному масштабі часу. Цей процес являє собою типове використання інформаційних технологій для реалізації всіх переваг централізованого управління. Проте використання такої інфраструктури для розширення функціональності веде також до появи загроз.

Системи обліку повинні містити в собі комутаційний апарат, який може управлятися комп'ютером для відключення/ підключення споживача у разі потреби. Іншими словами у випадку подачі енергопостачальною організацією команди на прилад обліку з центру управління існує вірогідність вимикання живлення споживача. При цьому комутації можуть виконуватися як в цілому для всього споживача, так і за різними групами енергоприймачів. Це дозволяє реалізовувати програми управління навантаженням, коли генеруючі потужності вичерпані. Інтелектуальною цю систему робить те, що подавати керуючі команди на прилади обліку може комп'ютер в автоматичному режимі без участі диспетчера. Однак ці можливості одночасно несуть підвищену небезпеку [1].

Оскільки підходи до реалізації систем захисту можуть бути різні і не завжди можуть забезпечувати їх функціональну сумісність, вкрай важливо стандартизувати методи і засоби, якими забезпечується захист. Кращим способом отримання впевненості в тому, що інтелектуальна мережа захищена належним чином, є розробка єдиних вимог в частині безпеки для всіх пристроїв [5].

В стандартах не враховується взаємне розміщення безпроводних приладів керування та приймачів цих сигналів з урахуванням радіо сумісності (рисунок 1) [6]. Відомо чимало випадків, коли сигнали були налаштовані на однакову частоту. Тоді керуючий сигнал, який подавався на один із приладів, сприймався як загальна команда для всього іншого обладнання. В цьому випадку всі приймачі в зоні дії цього сигналу починали працювати в одному режимі. Таким чином, виникло питання оцінки радіуса дії радіосигнала [2].

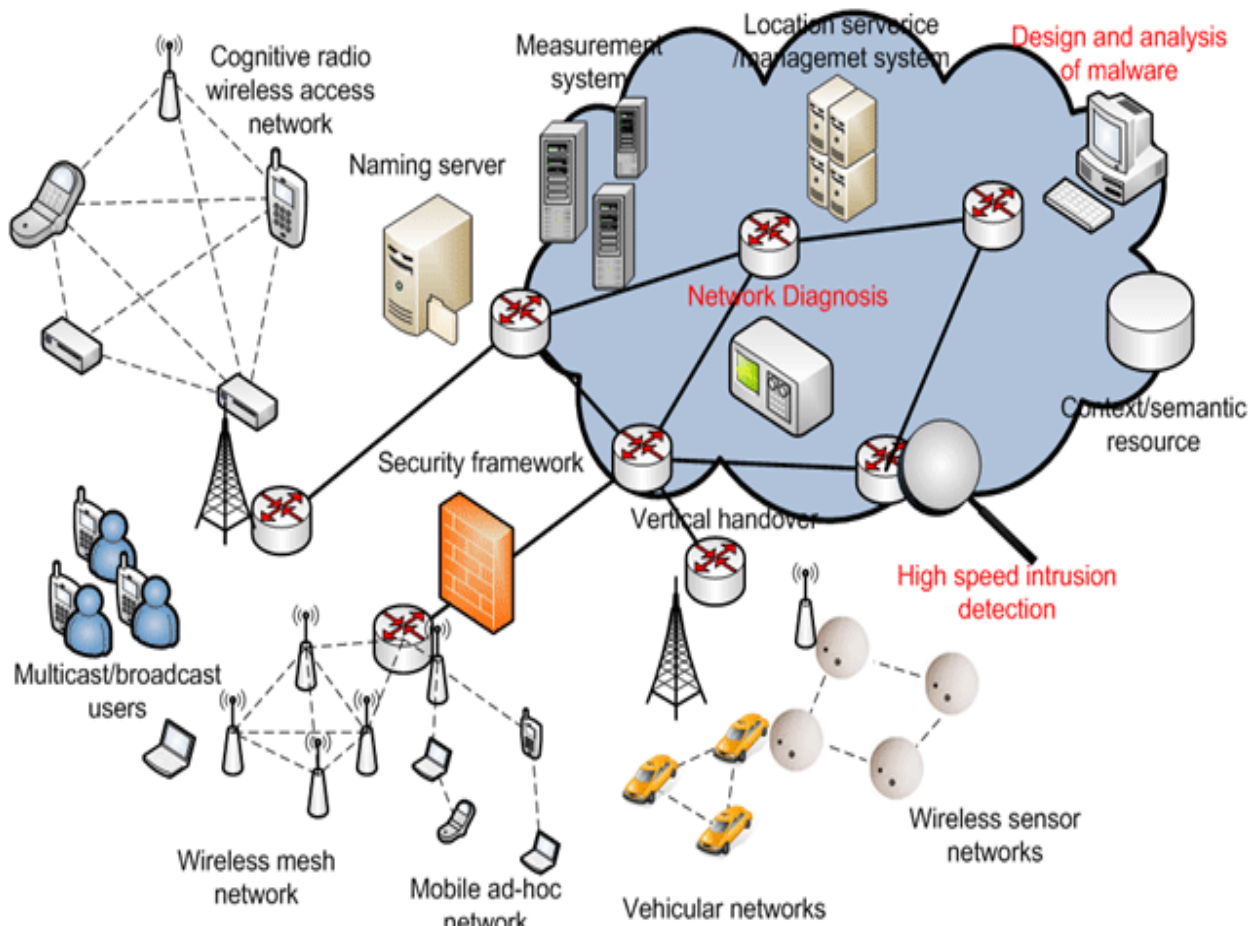


Рисунок 1 – Схема перетоків даних системи Smart Grid

Робота всіх електричних засобів більшою чи меншою мірою супроводжується різними електромагнітними випромінюваннями, які створюють перешкоди для інших технічних засобів. Тому проблема забезпечення електромагнітної сумісності, тобто одночасного функціонування великої кількості радіоелектронних та електротехнічних засобів на обмеженій території без створюваних ними перешкод стає важливою. Вплив електромагнітного випромінювання стосується одночасно трьох напрямків діяльності людини в усіх індустріально розвинених країнах: охорони праці, безпеки технічних засобів та захисту навколишнього середовища [7].

Електромагнітні поля негативно впливають на людей, які безпосередньо працюють із джерелами випромінювань, а також на населення, яке проживає поблизу джерел випромінювання. Перебуваючи в безпосередній близькості до передавальних пристроїв доза опромінення з часом збільшується. В такий спосіб проведення оптимізації режимів електроспоживання призводить до нараження на небезпеку не лише обслуговуючий персонал, а також людей, проживаючих поблизу або безпосередньо таких територій.

Установлено, що більша частина населення живе в умовах підвищеної активності електромагнітного поля. Розглянемо можливі джерела електромагнітного випромінювання для побутових споживачів (рисунок 2) [8].



Рисунок 2 - Джерела електромагнітного випромінювання

В зв'язку з перекисленими негативними впливами електричних полів на організм людини нормативними документами передбачаються наступні гранично допустимі рівні напруженості електричного поля [9]:

- всередині жилих приміщень – 0,5 кВ/м;
- на території зони жилої забудови – 1 кВ/м;
- у населеній місцевості поза жилою зоною – 5 кВ/м;
- на ділянках перетину ЛП з автомобільними дорогами – 10 кВ/м;
- у населеній місцевості – 15 кВ/м;
- у важкодоступній місцевості – 20 кВ/м.

Розглянемо граничні рівні випромінювання для працівників з 8 - годинним робочим днем (таблиця 2).

Таблиця 2 - Безпечна напруженість електромагнітного випромінювання

Безпечна напруженість, кВ/м	5	10	15	20	25
Тривалість дії протягом 8 – годинного робочого дня	8 год	3 год	1,5 год	10 хв	5 хв

Це значить, що якщо людина пропрацювала 10 хв в полі напруженістю 20 кВ/м, то інші 7 год 50 хв робочого дня вона повинна знаходитися в полі напруженістю не вище 5 кВ/м [10].

Класифікація антропогенних електромагнітних випромінювань за частотою:

- низькочастотні випромінювання 0,003 Гц–30 кГц;
- радіохвилі високочастотного (ВЧ) діапазону: 30 кГц–300 МГц;
- радіохвилі ультрависокочастотного діапазону (УВЧ): 30–300 МГц;
- надвисокочастотні СВЧ: 300 МГц–300 ГГц.

Класифікація електромагнітних випромінювань за довжиною хвилі наведена нижче:

- довгі хвилі $f = (30\text{--}300 \text{ кГц})$; $\lambda = (1\text{--}10 \text{ км})$;
- середні хвилі $f = (300\text{--}3 \text{ МГц})$; $\lambda = (1\text{--}100 \text{ км})$;
- короткі хвилі $f = (3\text{--}30 \text{ МГц})$; $\lambda = (10\text{--}100 \text{ м})$;
- ультракороткі хвилі $f = (30\text{--}300 \text{ МГц})$; $\lambda = (1\text{--}10 \text{ м})$ [11].

Електромагнітні випромінювання діапазону радіочастот призводять до значних порушень фізіологічних функцій людей і тварин. Дія електромагнітного випромінювання на організм людини залежить від кількості енергії. Частина випромінювання, яка потрапляє на людину, поглинається, а частина - відбивається. Поглинена енергія електромагнітного поля перетворюється на теплову енергію. Електромагнітне випромінювання залежить від довжини хвилі:

- хвилі міліметрового діапазону поглинаються поверхневими шарами шкіри;
- хвилі сантиметрового - шкірою і підшкірною клітковиною;
- хвилі дециметрового - внутрішніми органами;
- хвилі метрового - всім тілом.

Характеристики хвиль, від яких залежить результат впливу: частоти та інтенсивності хвилі - енергія, яка потрапляє на одиницю поверхні тіла за одну секунду, а для низькочастотних полів - напруженість електричного поля і магнітного поля.

На живі організми суттєво впливають електромагнітні поля і електромагнітні хвилі різних частотних діапазонів: від низькочастотного радіохвильового до іонізуючого - випромінювання. За інтенсивністю їх поділяють на: малоінтенсивного - менше 10 мВт/см^2 і високоінтенсивні - понад 10 мВт/см^2 . Таке малоінтенсивне високочастотне (ВЧ) випромінювання нагріває тканину не більш, ніж на $0,1^\circ\text{C}$ за час менший 6 хв (0,1 год). Якщо тривалість опромінення протягом 6 хв скорочується, наприклад, до 6 с, то густина потоку потужності може бути збільшена до 100 мВт/см^2 при рівнях густини потоку потужності, які менше 10 мВт/см^2 .

При рівнях густини потоку потужності в межах від 10 до 25 мВт/см^2 сумарна тривалість опромінення не повинна перевищувати 10 хв з кожних 60 хв протягом 8-годинного робочого дня.

Приймається граничне значення 10 мВт/см^2 тому, що при нормальних умовах тіло людини віддає в навколишнє середовище кількість теплоти, що відповідає тепловому потоку 10 мВт/см^2 поверхні. Це відповідає енерговитратам при виконанні легкої роботи.

Введено санітарні норми, що визначають допустимі межі ВЧ випромінювання. Така межа, як правило, в 50-100 разів менша значень інтенсивностей, при яких в організмі відбуваються незворотні зміни.

Безпечний для життя людини електромагнітний фон становить $10^{-6} \text{ Вт/см}^2 = 1 \text{ мкВт/см}^2$ [12].

Відомі роботи англійських учених ще на початку 90-х років показали, що у ряду алергіків під дією поля ліній електропередач розвивається реакція за типом епілептичної. При тривалому перебуванні (місяці - роки) людей в електромагнітному полі ліній електропередач можуть розвиватися захворювання переважно серцево-судинної і нервової систем організму людини. Останніми роками в числі віддалених наслідків часто називаються онкологічні захворювання.

Для побутових споживачів найбільший вклад в електромагнітну обстановку будь-яких будівель в діапазоні промислової частоти 50 Гц вносить електротехнічне устаткування будівлі, а саме кабельні лінії, що підводять електрику до усіх квартир і інших споживачів системи життєзабезпечення будівлі, а також розподільні щити і трансформатори. У приміщеннях, суміжних з цими джерелами, зазвичай підвищений рівень магнітного поля промислової частоти, що викликається протікаючим електрострумом.

Мінімізація джерел випромінювання, часу їх роботи, радіусу впливу та аргументоване розташування – першочергова задача при впровадженні систем Smart Grid.

Контроль безпечної праці та проживання людини забезпечується наступними нормативними актами. В Україні на побутове електрообладнання та радіоелектронну

апаратуру була запроваджена обов'язкова сертифікація.

У країнах ЄС сертифікацію з безпеки електрообладнання введено Директивою № 73/23 від 19.02.73, а з питань електромагнітної сумісності – Директивою № 89/336 з 1989 р. Важливими є національні стандарти, гармонізовані з міжнародними, стосовно радіоелектронної апаратури, побутового електричного та аналогічного обладнання.

Держстандарт України наказом № 567 від 12.09.97 затвердив «Правила обов'язкової сертифікації електропобутового та аналогічного обладнання і комплектуючих». До такої продукції належать:

- кабелі та шнури;
- конденсатори як комплектуючі;
- перемикачі для приладів та автоматичні керуючі пристрої електроприладів побутового призначення;
- електроприлади побутового та аналогічного призначення;
- установні комплектуючі та з'єднувальні пристрої;
- світлотехнічні вироби;
- вимірювальні електроприлади;
- електрообладнання медичного призначення;
- обчислювальне, інформаційне та конторське обладнання;
- низьковольтна силова апаратура керування;
- електроустановні захисні пристрої;
- захисні трансформатори та подібне обладнання;
- ручні електроінструменти;
- електронна апаратура і пристрої розважального призначення, що живляться від мережі.

Сертифікація електрообладнання в Україні здійснюється за показниками безпеки та електро-магнітної сумісності (ЕМС). Під час здійснення сертифікації застосовуються положення передбачені Правилами Схеми сертифікації електрообладнання та радіоапаратури.

Сертифікація з безпеки радіоелектронної апаратури здійснюється, зокрема, на відповідність вимогам міждержавного стандарту ГОСТ 12.2.006-87 «Безопасность аппаратуры электронной сетевой и сходных с ней устройств, предназначенных для бытового и аналогичного общего применения. Общие требования и методы испытаний», який узгоджений з відповідним стандартом Міжнародної електротехнічної комісії (IEC 65).

Враховуючи принцип забезпечення електромагнітної сумісності, в країнах ЄС згідно з Директивою 49/33 ЄЕС від 01.01.92 жоден технічний прилад не може бути реалізований на європейському ринку, якщо він не задовольняє нормативи європейських або міжнародних стандартів у галузі електромагнітної сумісності.

Нині у більшості галузей техніки України вимога щодо ЕМС як у частині випромінювання радіоперешкод, так і в частині перешкодозахищеності регламентується стандартами та нормами, розробленими Державним комітетом з радіочастот колишнього СРСР. Ці документи були розроблені в той період, коли в країні домінували інтереси військових відомств, «залізної завіси», та, виходячи з даної ситуації, — у сфері телекомунікацій. Тому дані документи не є повною мірою узгоджені з європейськими та міжнародними стандартами (IEC, CISPR та EN). Крім того, головним фактором є невідповідність промисловості України до виконання вимог нових нормативних документів, і що не потребує значних коштів на дооснащення як випробувальних лабораторій промислових підприємств, так і сертифікаційних центрів. Наприклад, для дооснащення однієї лабораторії випробувань побутового електрообладнання на вимоги ЕМС згідно з стандартами CISPR або EN необхідно близько 2,5 млн. \$.

Так, щорічно відмовляють в оформленні сертифікатів з причин встановленої шляхом випробувань невідповідності зразків вимогам безпеки та електромагнітної сумісності приблизно 20 % найменувань імпортованої продукції радіоелектронного профілю (Китай, Тайвань, Малайзія, Сінгапур, Корея, В'єтнам і т.д.), до 15 % найменувань електропобутових приладів, понад 10 % каменувань комп'ютерної техніки [7].

Так на сучасному етапі розвитку, не має чітких територіальних карт рівнів випромінювання систем існуючого обладнання та зручних апаратів оцінювання впливу електромагнітного випромінювання при підключенні нових споживачів.

Висновок. Прогрес будь – якої науки та вчень повинен відбуватися з максимальним зваженням всіх переваг та недоліків. В даній статті обґрунтовується значимість шкідливого впливу електровипромінювання, зроблена рекомендація щодо створення карт електровипромінювання, як на всі прилади окремо, так і їх комплексів. Доведена необхідність територіальної оцінки фону випромінювання до і після впровадження систем Smart Grid.

Список використаної літератури

1. Розумні електромережі або що таке Smart Grid [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/rozumni-elektromerezhi-abo-shcho-take-smart-grid>.
2. Підвищення ефективності системи енергозабезпечення та енергозбереження на основі захищених бездротових систем моніторингу енергоспоживання [Електронний ресурс] – Режим доступу : [http://servic.biz.ua/presentation/%B2%B2 All Ukr 2011.pdf](http://servic.biz.ua/presentation/%B2%B2%20All%20Ukr%202011.pdf)
3. Энергосберегающие технологии для ЖКХ [Електронний ресурс] / ИТМиВТ (Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева РАН), 06.11.2007. – Режим доступу : <http://www.ipmce.ru>
4. IEEE Std 802.15.4 ISBN 0-7381-3677-5SS95127. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). - The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2003.
5. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards Release 1.0. - Office of the National Coordinator for Smart Grid Interoperability. September 2009
6. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://cns-lab.snu.ac.kr/twiki/bin/view/Main/Research>.
7. Н. Г. Салухіна, О. М. Язвінська - Стандартизація та сертифікація товарів і послуг. Підручник [Електронний ресурс] / К.: Центр учбової літератури, 2010. — 336 с. – Режим доступу : [http://ebooktime.net/book_154_glava_52_2.6.1. Сертифікація.html](http://ebooktime.net/book_154_glava_52_2.6.1._Сертифікація.html)
8. [Електронний ресурс] – Режим доступу : http://www.stpro.ru/pack/rl3.jpg&imgrefurlhttp://www.stpro.ru/recon_leopard_e.htm&usq.
9. Правила устройства электроустановок/ Минэнерго СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
10. В. Е. Манойлов Основы электробезопасности. - Л.: «Энергия», 1976. - 344 с
11. Желібо Є.П., Чмир А.І., Троян В.С., Савінов Є.О. Безпека життєдіяльності: Курс лекцій. – Ірпінь: Академія ДПС України, 2001. – 356 с.
[Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.simvolt.com.ua/ukr/tester-tesla.html>

УДК 504.064.36

С.П. Денисюк, *д-р техн. наук, професор*, **В.І. Василенко**, *асистент*, **В. Ю. Ковальов**, *студент*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» імені
Ігоря Сікорського

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВ КОМУНАЛЬНОЇ ТА БЮДЖЕТНОЇ СФЕРИ

У статті представлено теоретичний підхід до створення програмного забезпечення з моніторингу енергоресурсів. Стаття складається з 6 розділів та містить 6 сторінок основного тексту. В тексті роботи наведено 1 блок-схема.

The article presents the theoretical approach to the creation of software for monitoring energy resources. The article consists of 6 sections and contains 6 pages of the main text. In the text of article exist one block diagram.

Вступ. Енергоефективність та енергозбереження на сьогоднішній день є одними із найважливіших пріоритетів соціально-економічного розвитку в глобальному, національному та регіональному вимірах. Проблеми, пов'язані з нераціональним та неефективним використанням енергоресурсів не є новими, однак на сьогодні необхідність їх розв'язання набуває особливої актуальності. Процеси, які інтенсивно розвиваються в енергетичній галузі, потребують високого рівня інформованості всіх суб'єктів публічного управління, особливо центрального органу виконавчої влади. Енергозбереження відноситься до числа вищих пріоритетів державної енергетичної політики, складаючи основу енергетичної стратегії до 2035 р і далі на доступну для огляду перспективу. Підвищення енергоефективності збільшує рентабельність, конкурентоспроможність, кількість робочих місць, вивільняє кошти для розвитку бізнесу [2, 3, 5, 6].

Аналіз стану питання. Актуальність теми дослідження визначається тим, що низький у порівнянні з зарубіжними країнами рівень енергоефективності економіки України призводить до високих витрат суспільства на своє енергозабезпечення, сприяє порушенню стійкого енергопостачання населення і економіки країни, ускладнює збереження енергетичної безпеки. Це і визначає не знижуючу увагу науки, економіки, енергоменеджменту до проблеми енергозбереження [1, 8, 9, 10, 11].

Існуюча на сьогодні система звітності про споживання енергоресурсів не відповідає сучасним вимогам, не дає змоги отримувати інформацію, необхідну для комплексної оцінки енергоефективності та тенденцій розвитку об'єктів комунальної та бюджетної сфери. За цих обставин особливо актуальним є здійснення моніторингу споживання енергоресурсів, здатного сприяти прийняттю раціональних і своєчасних управлінських рішень. Аналіз інтернет-джерел засвідчив, що вітчизняними і зарубіжними науковцями не приділялося належної уваги дослідженню моніторингу споживання енергоресурсів об'єктів комунальної та бюджетної сфери [4, 8].

Наукова новизна роботи полягає в запропонуванні комплексної методики моніторингу енергоресурсів, здатної сприяти прийняттю раціональних і своєчасних управлінських рішень.

Мета роботи. Метою даної роботи є розробка інформаційно-аналітичної програмної платформи для спостереження за споживанням енергоресурсів об'єктів комунальної та бюджетної сфери з метою підвищення ефективності аналізу та прогнозу витрат енергоресурсів.

Результати досліджень. Було проведено дослідження теми моніторингу енергоресурсів і на основі проаналізованих даних було запропоновано створити програмний ресурс для

моніторингу енергоресурсів. Ця програма знаходитиметься у відкритому доступі в мережі Інтернет і будь-який користувач зможе в ній зареєструвати свій об'єкт.

Після переходу на сайт програми користувач реєструє свій акаунт і йому автоматично присвоюється роль «Користувач». Далі проводиться запис даних про досліджуваний об'єкт та синхронізуються дані про споживання електричної, теплової енергії та холодної води. Після обробки даних програмою користувач може подивитися результати регресійного аналізу споживання а також підібрати оптимальний тариф. Дані споживання енергоресурсів можна завантажити на сайт за допомогою файлів з форматами «XML», «XLS» та «XLSX».

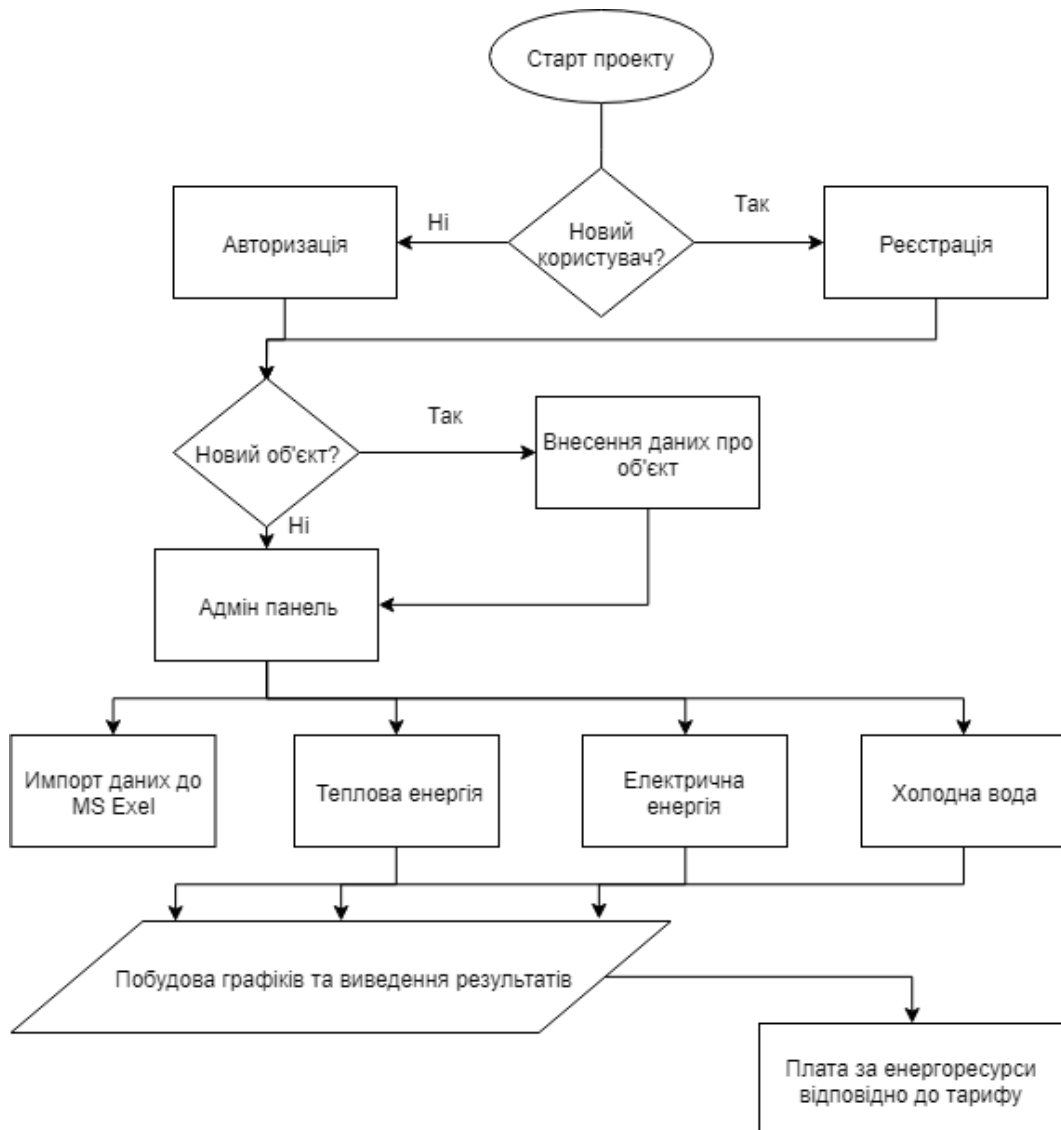


Рисунок – Алгоритм програми для моніторингу енергоресурсів

Висновок. За допомогою програми з моніторингу енергоресурсів можливо підібрати оптимальний тариф а також за результатами підрахунків програми можливо значно економити енергоресурси.

Список використаної літератури

1. Шевцов А.І., Земляний М.Г. Енергоефективність у регіональному вимірі. Проблеми та перспективи // Аналітична доповідь. 2014. С. 3-5.
2. Андріжієвській А.А. Энергосбережение и энергетический менеджмент: навч. посібник / А.А. Андріжієвській, В.І. Володін. 2-е вид., Испр. Мн. : Виш. шк., 2015. 294 с.
3. Варнавский Б.П., Кудрін Б.І. Проблеми оцінки ефективності використання електричної енергії // Промислова енергетика. 2011. № 12. С. 2-7.
4. Інформаційна система енергетичного моніторингу [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ, 2016-2018. – Режим доступу: www.fiatu.com.ua/it-technology/e_monitoring (дата звернення 25.03.2018) – Назва з екрана.
5. Гнатюк В.І. Моделювання процесу електроспоживання об'єктів техноценоз // Електрика. 2014. № 4. С. 36-41.
6. Гнатюк В.І., Шейнин А.А. ARS-Нормування електроспоживання інфраструктурних об'єктів / Федоровські читання-2010. XL Всеросійська науково-практична конференція (з міжнародною участю) з елементами наукової школи для молоді (Москва, 16-19 листопада 2010 року) / За заг. ред. Б.І. Кудріна, Ю.В. Матюнина. М. : Видавничий дім МЕІ, 2010. С. 26-32.
7. Горбатенко Я., Овчинникова М., Грачова Є. Енергоефективність як спосіб підвищення конкурентоспроможності підприємств // Тлумачення в електроенергетиці. 2013. № 4. С. 22-24.
8. Данилов О. Л. Основы энергоаудита: Учеб. посібник / За. ред. А. Б. Гаряева. М. : Видавництво МЕІ, 2013. 48 с.
9. Іванов Т., Конєв А. Система енергетичного менеджменту як інструмент практичної реалізації державної політики в сфері енергозбереження та підвищення енергоефективності // Енергоаудит. 2011. № 2 (18). С. 30-33.
10. Земляний М.Г., Рязова Т.В. Методика моніторингу енергоефективності будівель // Енергозбереження. 2015. С. 7-10.
11. Додонов Б.П. Моніторинг енергоефективності України. // Енергетика. 2016. С. 5- 6.

УДК 621.31

В.О. Оникійчук, магістрант, **Цвєтков С.Т.**, магістрант

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

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Представлено модель системи комплексного енергозабезпечення споживачів, у вигляді енергетичного хабу, який забезпечує потребу споживачів у електричній та тепловій енергії. Оптимізаційна задача вирішена для трьох типів критеріїв: зменшення вартості, викидів та мультикритеріальний підхід.

Ключові слова: інтегрована система енергопостачання, розосереджена генерація, когенерація, мінімізація витрат, енергетичний хаб.

The model of complex energy supply system of consumers is developed, in the form of an energy hub, which ensures the need of consumers in electric and thermal energy, an optimization problem has been formulated and solved for three different case studies with objective function of minimizing total energy cost and emissions level and multi-objective optimization

Keywords: integrated power distribution systems, distributed generation, cogeneration technology, energy hub.

Вступ. Зростання цін на паливо та енергію у поєднанні із світовими законами та нормами про охорону навколишнього середовища вимусило багатьох виробників енергії до інтеграції відновлюваних джерел до централізованої енергопостачальної системи, формуючи ідею енергетичних хабів. Типовий енергетичний хаб складається з пристроїв генерації, перетворення енергії, електричного навантаження, теплового навантаження та деяких можливостей накопичення енергії. Енергетичний хаб може бути житловим будинком, великим споживачем, електростанцією тощо. На сьогодні концепція розвитку енергетики України потребує впровадження інтелектуалізації енергетичних мереж для ефективного функціонування розосередженої генерації і їх інтеграції до енергетичної мережі. Впровадження таких комбінованих багатогенераційних систем може призвести до значного підвищення енергоефективності, зменшення викидів CO₂ та економії коштів у процесі забезпечення кінцевих споживачів енергоресурсами.

Аналіз стану питання. Концепція інтегрованої енергопостачальної системи використовує поняття «енергетичних хабів», які можна розглядати як узагальнення поняття мережевих вузлів в традиційних електричних мережах на більшу кількість видів енергоносіїв із врахуванням можливості їх взаємного перетворення[1].

Енергетичний хаб являє собою інтерфейс між різними типами енергетичних векторів, спрямованих на ефективне передавання множинних потоків енергії. Енергетичний хаб є інтегрованою системою з кількома видами енергоносіїв, і яка поєднує технології виробництва, перетворення та накопичення енергії. Проблема експлуатації енергетичних хабів полягає в тому, щоб забезпечити оптимальний вибір компонентів енергетичних хабів та забезпечити їх об'єднання в одну систему.

Мета роботи. Метою роботи є вивчення особливостей та аналіз проблеми експлуатації енергетичних хабів, які включають засоби розосередженої генерації, перетворювачі та накопичувачі енергії; У роботі запропонована інтегрована енергетична система, що складається з фотоелектричних панелей, когенераційної установки [2] та акумуляторів

теплової та електричної енергії. Фотоелектричні модулі та когенераційна установка є основними джерелами енергії, батареї також використовуються в системі для короточасного резервного забезпечення тимчасової потужності. Різні джерела енергії в запропонованій системі інтегровані через шину зв'язку змінного струму.

Методики матеріали і результати досліджень. З точки зору функціональності до енергетичного хабу можуть належати три основних елементи: прямі з'єднання, перетворювачі, накопичувачі.

Прямі з'єднання використовуються для доставки вхідного носія до виходу без перетворення його в іншу форму або суттєво змінюючи його якість (напр., електрична напруга, гідравлічний тиск). Приклади цього типу елементів – це електричні кабелі, лінії електропередачі та трубопроводи.

Перетворювачі використовуються для перетворення енергії в інші форми або якості. Прикладами є парові і газові турбіни, поршневі двигуни внутрішнього згоряння, електричні машини, паливні елементи, електролізери, термоелектричні перетворювачі тощо. Компресори, насоси, клапани управління тиском, трансформатори, силові електронні інвертори-фільтри, теплообмінники та інші пристрої зазвичай використовуються для кондиціонування, тобто перетворення параметрів енергоносіїв до бажаних. Третій тип елемента використовується для зберігання енергії, і також може бути реалізований за допомогою різних технологій. Тверді, рідкі та газоподібні енергоносії можна зберігати в ємностях та контейнерах із порівняно низькими втратами.

Для дослідження роботи енергетичного хабу загальноприйнятим методом є створення моделі системи[3], у якій представлені різні джерела енергії, перетворювачі, накопичувачі енергії. Враховуючи мережеві обмеження системи та заданих енергетичних потреб на певний проміжок часу можна проаналізувати рух енергоносіїв через перетворювачі визначаючи їх ефективність як співвідношення на вході у перетворювач та на виході з нього. Знаючи множину перетворювачів надалі необхідним є створення матриці таких зв'язків.

Матриця зв'язку описує перетворення енергоносіїв від входу до виходу енергетичного хабу. Вигляд такої матриці представлено на рисунку 1.

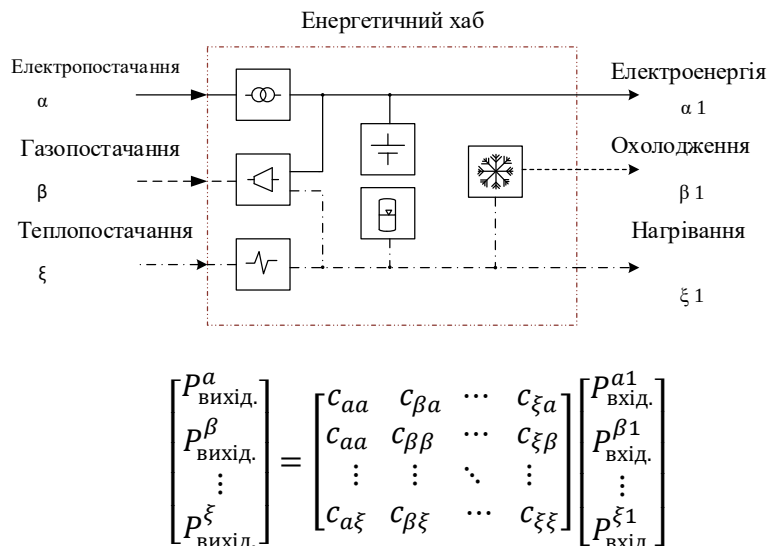


Рисунок 1. Моделювання перетворення енергоносіїв в енергетичному хабі

Низку проблем можна вирішити використовуючи оптимізаційні методи, зокрема мультикритеріальний метод. Критеріями для оптимізації може бути, вартість ресурсу, втрати

в системі, викиди парникових газів, та інші. Мультикритеріальна оптимізація може бути виконана шляхом поєднання різних критеріїв у складних цільових функціях.

З точки зору системи поєднання енергоносіїв в енергетичному хабі надає ряд переваг, у порівнянні з традиційним енергопостачанням[4]. Підвищення надійності, враховуючи декілька носіїв на вході в хаб, підвищена гнучкість системи до навантаження, потенціал для подальшої оптимізації враховуючи різні можливості комбінації системи.

Загальна система керування енергоспоживанням призначена для координації потоків енергії між різними джерелами енергії. Були проведені імітаційні дослідження для перевірки продуктивності системи за різних сценаріїв з використанням заданого профілю навантаження та реальних даних про погоду.

На рисунку 2 показана конфігурація запропонованої системи. Представлена система отримає електричну енергію від сонячних модулів та когенераційної установки. Застосування когенераційної установки з роботою сонячних панелей підвищує продуктивність системи. Для усунення негативного впливу від нестабільної генерації від сонячних панелей в системі також є електричний нагрівач, накопичувач теплової енергії та електрична батарея. Електроенергія використовується для системи освітлення, вентиляції побутових потреб, тепла енергія споживається у вигляді гарячого водопостачання.

У системі відновлювана енергія сонячних модулів, когенераційної установки приймається як основне джерело. Паливо, а саме газ, подається до когенераційної установки, а відпрацьоване тепло використовується для задоволення потреб в опаленні. Коли існує надлишок сонячної генерації, енергія буде накопичуватись у батареї і використовується в системі для забезпечення тимчасової потужності для перехідних процесів і пікового навантаження[5]. Існує кілька способів об'єднання різних альтернативних джерел енергії для формування гібридної системи. Система може бути легко доповнена, тобто інші джерела енергії можуть бути інтегровані в систему, як показано на рисунку 1.

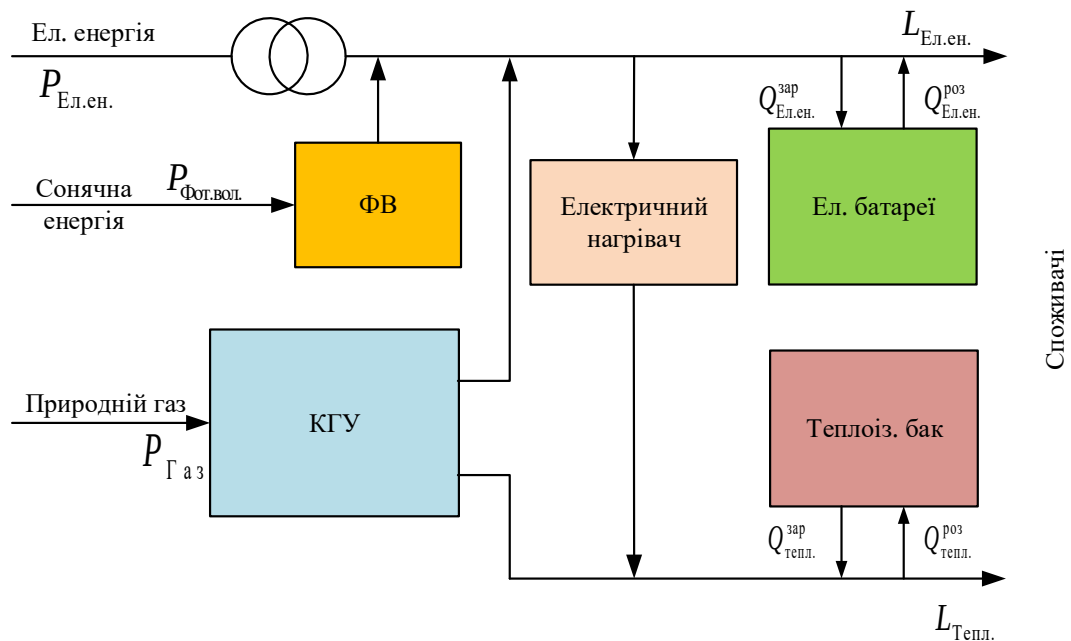


Рисунок 2 – Конфігурація системи енергетичного хабу для забезпечення споживачів електроенергією та теплом

Для моделювання були використані типові графіки споживання електроенергії та тепла в системі гарячого водопостачання для змішаного побутового та промислового навантаження, які показані на рисунку 2.

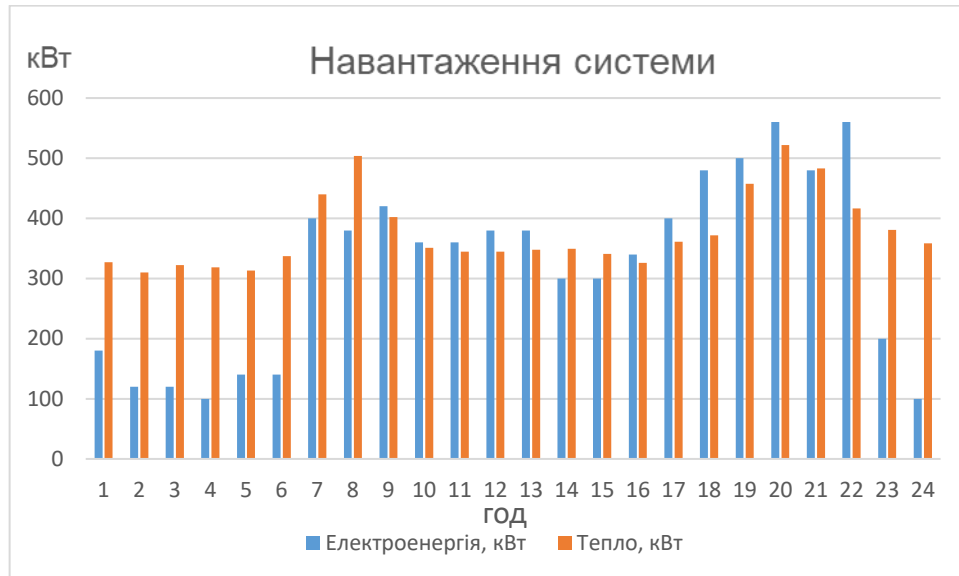


Рисунок 3 – Графіки споживання електричної та теплової енергії

Гібридна система призначена для живлення будинку. У цьому дослідженні використовується типове погодинне середнє навантаження на житло в центральних регіонах України. Коефіцієнт ефективності відновлюваного джерела енергії визначається як

$$\eta_{\text{еф}} = \frac{\bar{P}}{P_{\text{ном}}} \quad (1)$$

де $\bar{P}$ – фактична середня вихідна потужність протягом певного періоду часу, а $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність джерела відновлюваної енергії.

Для сонячних елементів, наведених у [6], коефіцієнт потужності сонячних панелей масиву ($k_{\text{еф.сон.}}$), що використовуються в запропонованій гібридній системі для центральної частини України прийняті 13%. Метою вирішення оптимізаційної задачі є мінімізація різниці між виробленою потужністю ($P_{\text{генерація}}$) від джерела відновлюваної енергії та попитом ($P_{\text{спожито}}$) протягом періоду часу T . Баланс надходження та споживання енергоресурсів представлені у вигляді наступних обмежень. Для електричної потужності

$$P_{\text{мереж}}^t - \left(P_{\text{зард бат}}^t \cdot \eta_{\text{бат}} - \frac{P_{\text{розряд.бат}}^t}{\eta_{\text{бат}}} \right) + P_{\text{КГУ}}^t + P_{\text{сон.пан.}}^t = P_{\text{спож.}} \quad (2)$$

Де $P_{\text{мереж}}^t$ – обмін електроенергією з мережею, при від'ємних значеннях відбувається продаж енергії, при позитивних – купівля.

$P_{\text{зард бат}}^t$ – зарядження батареї, кВт, $P_{\text{розряд.бат}}^t$ – розрядження батареї за одиницю часу t .

$P_{\text{КГУ}}^t$ – потужність, що вироблена когенераційною установкою за період часу t .

$P_{\text{сон.пан.}}^t$ – потужність, що вироблена фотоелектричними панелями за одиницю часу t , враховуючи інсоляцію.

$P_{\text{спож.}}$ – повна потреба у електроенергії для заданого періоду часу.

Згідно підходу, запропонованого у роботі [7], сформулюємо цільову функцію та обмеження оптимізаційної моделі. Цільова функція буде мати такий вигляд:

$$\sum_{k=0}^{T-1} (C_{\text{ел.ен}}(k) \cdot P_{\text{ел.ен}}(k) + C_{\text{газ}}(k) \cdot P_{\text{газ}}(k)) \rightarrow \min \quad (3)$$

де $C_{\text{ел.ен}}(k)$, $C_{\text{газ}}(k)$ – тарифи на електроенергію та газ на ринку за k -ий інтервал

часу (годину), грн/кВт·год;

$P_{\text{ел.ен}}(k), P_{\text{газ}}(k)$ – обсяг покупки електроенергії та газу на ринку за k -ий інтервал часу (годину), кВт·год.

Для визначення оптимальних режимів функціонування елементів хабу крім економічного критерію до уваги може бути прийнятий екологічний критерій. У цьому випадку цільовою функцією може виступати мінімізація викидів CO_2 при виробництві та транспортування енергії. Для нашого випадку, викиди при генеруванні електроенергії можуть бути розраховані із врахуванням національного значення коефіцієнта викидів CO_2 для електроенергії згідно з частиною II [8], розробленому у 2013-2014 роках Об'єднаним Дослідницьким Центром Енергетики і Транспорту (Європейська Комісія), яке для України становить 0,924 кг/кВт·год. Аналогічним чином може бути визначений коефіцієнт для централізованого теплопостачання. Для випадку спалювання газу в когенераційній установці було прийнято середнє значення для такого типу обладнання.

Якщо критрієм оптимізації є мінімізація викидів парникових газів, то цільова функція прийме вигляд:

$$a_{\text{ел.пит}} \sum_{k=0}^{T-1} P_{\text{ел}}(k) + a_{\text{тепл.пит}} \sum_{k=0}^{T-1} P_{\text{тепл}}(k) + a_{\text{газ.пит}} \sum_{k=0}^{T-1} P_{\text{газ}}(k) \rightarrow \min \quad (2)$$

де $a_{\text{ел.пит}}, a_{\text{тепл.пит}}, a_{\text{газ.пит}}$ – питомі викиди на генерацію електрично та теплової енергії при спалюванні газу в когенераційній установці, кг/кВт·год.

Баланс надходження та споживання енергоресурсів задаємо у вигляді обмежень. Перетворення різних видів енергоресурсів представимо за допомогою матриці перетворення Θ . Також у рівняннях балансу враховано можливість накопичувати енергію (в електричних акумуляторах та теплоізованих баках із гарячою водою). Із врахуванням підходів запропонованих у [9], обмеження мають вигляд:

$$\begin{aligned} E(k+1) &= E(k) + A^{\text{зар}} Q^{\text{зар}}(k) - A^{\text{роз}} Q^{\text{роз}}(k) - E_z, \\ L(k) &= \Theta P(k) - Q^{\text{зар}}(k) + Q^{\text{роз}}(k), \\ P(k)^{\min} &\leq P(k) \leq P(k)^{\max}, \\ 0 \leq Q_i^{\text{зар}}(k) &\leq \delta_i^{\text{зар}}(k) \cdot Q_i^{\max}(k) \quad i = 1, \dots, M, \\ 0 \leq Q_i^{\text{роз}}(k) &\leq \delta_i^{\text{роз}}(k) \cdot Q_i^{\max}(k) \quad i = 1, \dots, M, \\ \delta_i^{\text{зар}}(k) + \delta_i^{\text{роз}}(k) &\leq 1 \quad i = 1, \dots, M, \\ E(k)^{\min} &\leq E(k) \leq P(k)^{\max}, E_0 = E_t \end{aligned} \quad (3)$$

P – вектор-стовпець, що представляє вхідні енергетичні потоки (рівні споживання кожного енергоресурсу);

L – вектор-стовпець, що представляє вихідні енергетичні потоки (споживання);

Θ – матриця перетворення типів енергії (містить 0 при неможливості перетворення або значення коефіцієнтів перетворення);

$P^{\min}, P^{\max}$ – вектори-стовпці, що представляють обмеження на мінімальні та максимальні рівні енергетичних потоків, визначається номінальною потужністю та навантажувальною здатністю елементів;

$Q_i^{\text{зар}}, Q_i^{\text{роз}}$ – вектори-стовпці, що представляють обмін енергією з пристроями накопичення енергії;

$A^{\text{зар}}, A^{\text{роз}}$ – діагональні матриці ККД накопичувачів різних видів енергії;

E – вектор, що містить рівень накопиченої енергії в накопичувачах;

E_z – вектор, що містить значення втрат енергії в накопичувачах за одиницю часу;

E_0 – вектор, що містить рівень накопиченої енергії в накопичувачах в початковий момент часу для $k = 0$;

$Q_i^{\max}$ – ємність накопичувачів енергії;

$\delta_i^{зар}, \delta_i^{роз}$ – додаткові бінарні змінні, які введені для реалізації обмеження на неможливість одночасного накопичення і використання енергії з накопичувачів (неможливості заряду і розряду в одну одиницю часу).

Матриці, що входять в рівняння обмежень представимо таким чином

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{Ел.ен.} \\ P_{Газ} \\ P_{Тепл.} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{L} = \begin{bmatrix} L_{Ел.ен.} \\ L_{Тепл.} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{Q}^{зар} = \begin{bmatrix} Q_{Ел.ен.}^{зар} \\ Q_{Тепл.}^{зар} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{Q}^{роз} = \begin{bmatrix} Q_{Ел.ен.}^{роз} \\ Q_{Тепл.}^{роз} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{A}^{зар} = \begin{bmatrix} \eta_{Ел.ен.}^{зар} & 0 \\ 0 & \eta_{тепл.}^{зар} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{A}^{роз} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\eta_{Ел.ен.}^{зар}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\eta_{тепл.}^{зар}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{\Theta} = \begin{bmatrix} \varpi_{Ел.транс.} & \varpi_{КГУ}^{Ел.ен.} & 0 \\ 0 & \varpi_{КГУ}^{Тепл.} & \varpi_{ЦО} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Крім однокритеріальних цільових функцій розглянемо мультикритеріальний підхід до визначення оптимальних режимів функціонування енергетичного хабу. Задачу представимо у вигляді

$$y \rightarrow \min,$$

$$F_1(\mathbf{P}) - w_1 y \leq F_1^*$$

$$F_2(\mathbf{P}) - w_2 y \leq F_2^*$$

$$F_1(\mathbf{P}) = \sum_{k=0}^{T-1} (c_{Ел.ен.}(k)P_{Ел.ен.}(k) + c_{Тепл.}(k)P_{Тепл.}(k) + c_{Газ.}(k)P_{Газ.}(k)) \quad \text{— цільова функція за економічним критерієм,}$$

$$F_2(\mathbf{P}) = \alpha_{Ел.ен.} \sum_{k=0}^{T-1} P_{Ел.ен.}(k) + \alpha_{Тепл.} \sum_{k=0}^{T-1} P_{Тепл.}(k) + \alpha_{Газ.} \sum_{k=0}^{T-1} P_{Газ.}(k) \quad \text{— цільова функція за екологічним критерієм,}$$

w_1, w_2 – вагові коефіцієнти, які виражають міру відносних компромісів між цілями,

F_1^*, F_2^* – значення, до яких ми прагнемо наближати результат цільових функцій.

Значення коефіцієнтів перетворення енергії зведено в таблицю 1. Прийняті максимальні значення потужності енергоустановок представлено в таблиці 2.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів у матриці перетворення енергії

	Енергосистема	КГУ
Електрична енергія	0.94	0.3
Тепло	0	0.4

Таблиця 2 – Максимальні значення потужностей енергоустановок

Трансформатор, кВА	КГУ, кВт	Накопичувач електричної енергії, кВт	Потужність фотоелектричних модулів, кВт
630	350	150	700

Безпосередньо моделювання оптимізаційних задач виконувалося із використанням пакету Optimization Toolbox середовища MATLAB. Результати розрахунків представлені на

рисунках 3. Варіант а відповідає використанню економічного критерію, б – екологічного критерію, в – мультикритеріальний підхід. На рисунках 4-5 додатні значення відповідають накопиченню енергії, а від’ємні – споживанню енергії із акумуляторів.

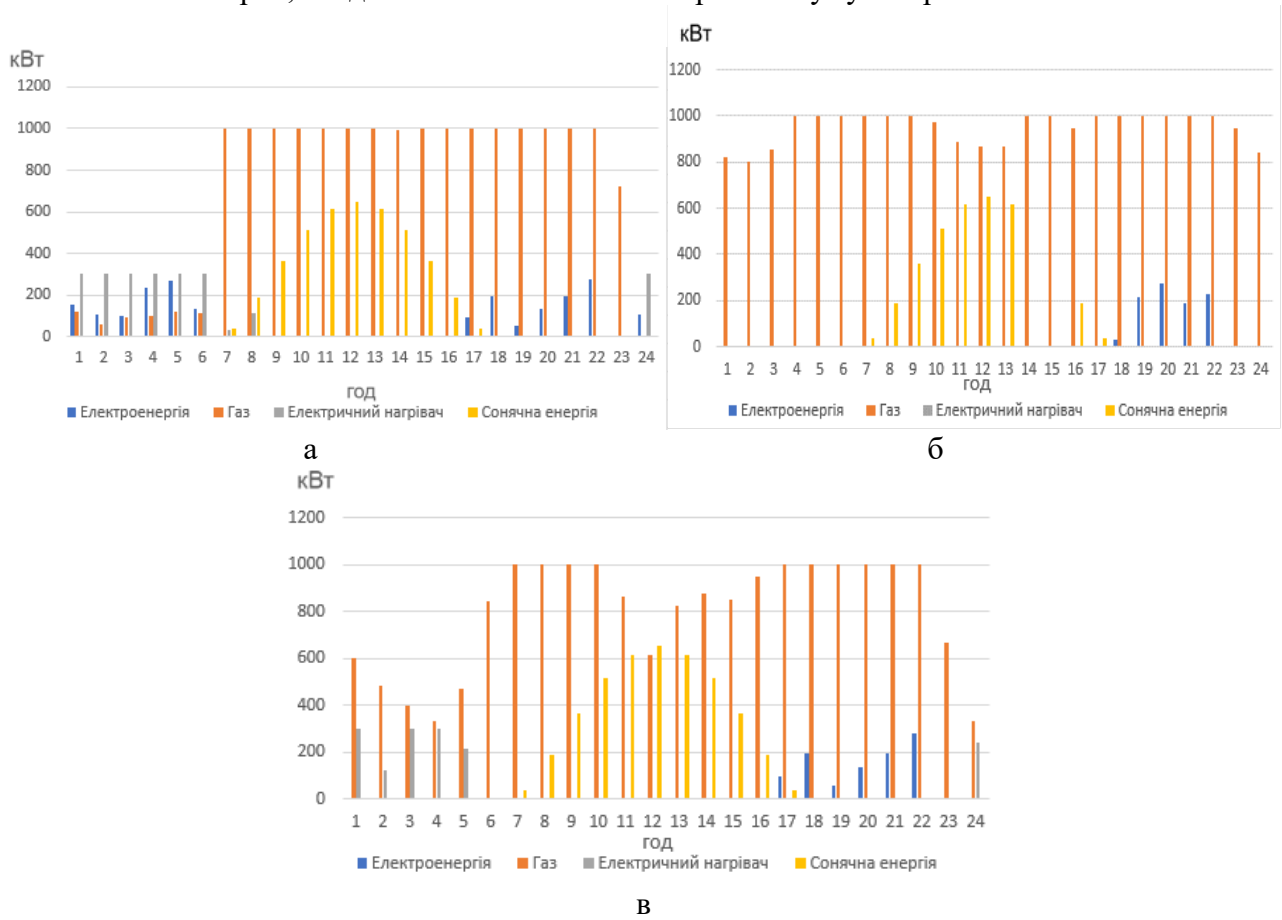


Рисунок 3 – Вхідні енергопотоки системисистеми

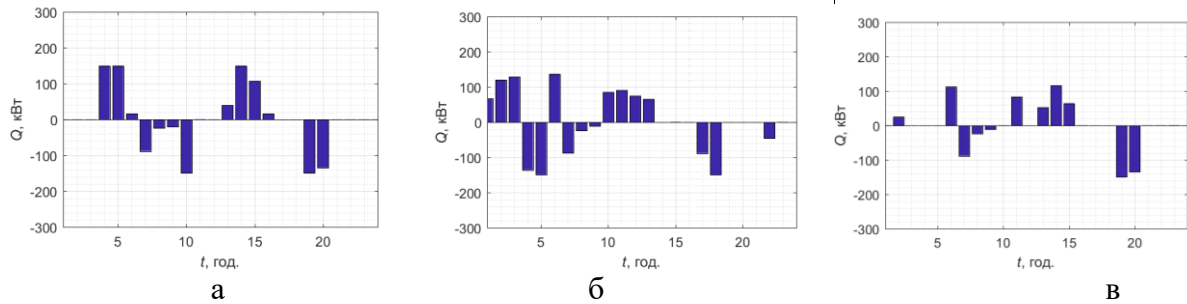


Рисунок 4 – Графіки роботи накопичувачів електричної енергії

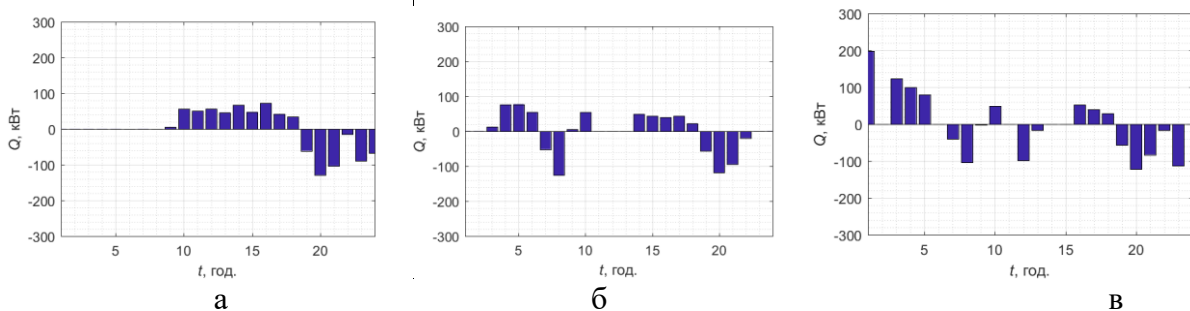


Рисунок 5 – Обмін енергією із тепловими акумуляторами

Як видно із графіків, для різних критеріїв спостерігається дещо різний профіль споживання електроенергії із мережі. Також видно, що для першого критерію робота когенераційної установки виявилася неефективною протягом всієї доби. Режим роботи накопичувачів електричної та теплової енергії також виявився різним. Видно, що для варіанту застосування економічного критерію та мультикритеріальної оптимізації відбувається активне накопичення електроенергії в години доби із низьким тарифом і споживання в години максимальних навантажень. Для сценарію тільки екологічного критерію застосування акумуляторів електроенергії взагалі виявилось непотрібним. Це ж стосується застосування накопичувачів гарячої води для варіанту використання економічного критерію.

Значення цільових функцій, які одержані для різних варіантів, представлено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнтів у матриці перетворення енергії

	Мультикритеріальна оптимізація	Економічний критерій	Екологічний критерій
Витрати коштів, грн/доба	23493	22615	22643
Викиди CO ₂ , кг/доба	6092	7460	5474

Як видно з таблиці 3, при використанні економічного критерію викиди CO₂ значно більші від мінімально досяжного значення. Аналогічно, для екологічного критерію витрати коштів більші за оптимальні. В той же час спільне використання двох критеріїв дає змогу досягти ефективного компромісу, за якого витрати всього більші за оптимальні, при викидах CO₂ близьких до мінімальних.

Висновки. Інтеграція відновлюваних джерел енергії в електричні мережі потребує оптимізацію роботи системи у зв'язку з нестабільною сонячною активністю. Використовувати різні типи енергоносіїв для задоволення попиту споживача в енергії підвищує ефективність використання ресурсів. У даній роботі розроблена модель оптимального управління тепловою та електричною енергією для типового енергетичного хабу. Створено математичну модель енергетичного хабу складовими якого є когенераційну установка, сонячні панелі, накопичувач теплової та електричної енергії. На основі запропонованої структури була сформульована та вирішена задача оптимізації для трьох різних досліджень з цільовою функцією мінімізації загальної вартості енергії, зменшення викидів CO₂, NO_x та SO_x газів, і застосування мультикритеріального підходу.

Список використаної літератури

1. Skarvelis-Kazakos Spyros. Multiple energy carrier optimisation with intelligent agents / Skarvelis-Kazakos Spyros. // ppl Energy. – 2016. – №13. – С. 323–335.
2. P.J. Mago. Analysis and optimization of CCHP systems based on energy, economical, and environmental considerations / [4] P.J. Mago, L.M. Chamra. // , Energy Build. – 2009. – №41. – С. 1099–1106.
3. Kienzle F. Valuing investments in multi-energy conversion, storage, and demand-side management systems under uncertainty, Sustain / F. Kienzle. F., Kienzle, P. Ahcin, G. Andersson // Energy IEEE Trans. – 2011. – №2. – С. 194–202.
4. Beccuti G. Energy hub modelling and optimization: an analytical case-study / Beccuti G, Demiray T, Batic M, Tomasevic N. // IEEE Eindhoven PowerTech. – 2015. – С. 261–273.
5. Belderbos A. Possible role of power-to-gas in future energy systems / Belderbos A, Delarue E, D'haeseleer W.. // 12th International conference on the european energy market, Lisbon, Portugal. – 2015. – №5.

6. O'Malley M. Electricity, gas, heat integration via residential hybrid heating technologies – An investment model assessment / O'Malley M., Burke D, Heinen S. // Energy. – 2016. – №19. – С. 109:906.
7. Martin Geidl. The Energy Hub – A Powerful Concept for Future Energy Sy / Martin Geidl, Gaudenz Koeppel, Patrick Favre-Perrod. // Third Annual Carnegie Mellon Conference on the Electricity Industry. – 2007. – №3. – С. 13 – 14.
8. Parisio, A. A robust optimization approach to energy hub management / Parisio, A, C. Del Vecchio, A. Vaccaro. // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2012. – №42. – С. 98–104.
9. Gabrielaitiene I. План дій по устойчивому энергетическому развитию (ПДУЭР) в городах восточного партнерства и центральной Азии / Gabrielaitiene I., Melica G., Bertoldi P. // JRS science and policy report JRC 9040. – 2014. – №10.

УДК [51.7+330.44]:620.29+621.311

Костюк В.О., канд. техн. наук, доц., **Проташик О.В.**, магістр

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

V.O. Kostiuk, PhD, Associate Prof., **O.V. Protashchyk**, MSc

National Polytechnic University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

РЕСУРСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГНОЗНИХ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Виконано оцінку технічно-досяжного потенціалу вироблення енергії технологіями відновлюваної енергетики та перспективи його освоєння в Україні за прогнозними сценаріями. Увагу зосереджено на загальнодержавній проблемі раціонального теплозабезпечення й застосуванні технологій, що не потребують резервування.

Ключові слова: технології відновлюваної енергетики, енергетичний комплекс, паливно-енергетичні ресурси, вироблення теплової та електричної енергії

RESOURCE BASIS OF RENWABLE TECHNOLOGIES FOR UKRAINIAN POWER SYSTEM EXPANSION PLANNING AND PROGNOSTIC SCENARIOS

Technical potential for energy production with renewable energy technologies and alternative sources and prospects of its utilization in Ukraine with respect of considered scenarios. We focus the viewpoint to the core problem of feasible heat supply and prevailing use of non-redundant electricity generation technologies.

Keywords: renewable energy technologies, energy complex, fuel and energy resources, heat production, electricity generation

Виробництво електроенергії і тепла в Україні традиційно пов'язують з технологіями спалювання викопних палив – вугілля, газу, меншою мірою – мазуту, а також функціонуванням ядерно-енергетичного комплексу. Підтримання малоефективних виробничих потужностей енергетичного сектору за наявної галузевої структури економіки

супроводжується надмірно високими показниками викидів вуглецевмісних сполук у атмосферу. Проте необхідних обсягів постачання первинних енергоносіїв для цих технологій генерування електроенергії (вугілля і збагаченого урану) Україна не може забезпечити самостійно. Частка вугілля у виробництві електроенергії становить біля 35% і до 2030 року має зменшитися. Природний газ більше не відіграє у виробництві електроенергії провідної ролі, а у виробництві тепла його частка до 2030 року має знизитися приблизно до третини від нинішніх обсягів. Частка ядерної енергії у виробництві електроенергії сьогодні становить близько 55%.

Україна має значний технічно-досяжний потенціал вироблення енергії із застосуванням технологій відновлюваної енергетики (ТВЕ) та альтернативних видів палива ([1], таблиця 1), придатний для розвитку державного енергокомплексу. Це приблизно у п'ять разів більше, ніж сьогоднішні обсяги виробництва електроенергії. За оцінками міжнародного агентства IRENA, станом на початок 2018 року Україна має найвищий потенціал серед країн Південно-Східної Європи.

Таблиця 1 Потенціал вироблення енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії

Первинний енергоносіє	Енергетичний потенціал,	
	млрд кВт·год	млн т н.е.
Вітрова енергія	174,4	15
Енергія сонячного випромінювання	48,8	4,2
Енергія водяного потоку малих річок	24,4	2,1
Біоенергетика	252,3	21,7
Геотермальна енергія	97,7	8,4
Теплота довкілля	146,5	12,6
Всього	744,2	64

Біоенергетика: Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпортованих енергоносіїв, у першу чергу, від постачання природного газу, і наявність значного потенціалу біомаси, доступної для виробництва енергії. Країна має доступної біомаси понад 21 млн т н. е. на рік при зафіксованій потребі 11 млн т н. е. на рік. Біоенергетичний потенціал України еквівалентний 25,4 млрд м³ природного газу на рік, сукупною вартістю 6,8 млрд дол. на рік (за ціни газу 270 дол. за тис. м³). Нажаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні досі істотно відстають від європейських. На сьогоднішній день частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні становить 1,78%. Щорічно в Україні для виробництва енергії використовується близько 1,4 млн т н.е./рік біомаси різних видів. На деревину припадає найвищий відсоток використання економічно доцільного потенціалу – 80%, тоді як для інших видів біомаси (за винятком лушпиння соняшника) цей показник на порядок нижче. Найменш активно (на рівні 1%) реалізується енергетичний потенціал соломи зернових культур та ріпаку [2].

Україна має необхідні умови для виробництва рідких біопалив, як за земельними ресурсами і рослинним потенціалом, так і за наявністю власних виробничих потужностей. Вже сьогодні потенціал біомаси в Україні, придатний для рентабельного виробництва рідких біопалив (біоетанолу і біодизелю) дає підстави стверджувати про перспективність цього напрямку. Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал рідкого біопалива в Україні є еквівалентним 1 млн т н.е. Його використання дає змогу щорічно заощаджувати близько 1,2 млрд м³ природного газу. Найбільший потенціал рідкого біопалива зосереджений у

Вінницькій та Полтавській областях, де він становить понад 90 тис. т н.е./рік [3].

Вітроенергетика: Україна має значну перспективу розвитку вітроенергетики завдяки освоєнню вітрового потенціалу степових та гірських районів, зокрема Причорноморського та Приазовського. Для промислового використання енергії вітру економічно обґрунтованими є степові простори південних та південно-східних областей. У перспективі виробництво електроенергії шляхом створення та експлуатації вітроелектричних установок може становити 15 – 20% у загальному балансі електроенергії.

Для того, щоб будівництво вітроелектростанції виявилось економічно виправданим, необхідно, щоб середньорічна швидкість вітру в цьому районі становила не менше 6 м/с. У нашій країні вітряки доцільно будувати на узбережжях Чорного й Азовського морів, у степових районах, а також у гірській місцевості.

Гідроенергетика: В Україні нараховується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95%) є дуже малими (довжиною менше 10 км). Із трьох тисяч більш довгих малих річок 890 (28%) мають площу водозбору від 50,1 до 100 км², ще 797 (25%) – із площею водозбору 20,1 – 50 км². Основною гідрологічною характеристикою річки є її середній багаторічний стік, або норма річного стоку[4].

У чинній редакції Енергетичної стратегії України до 2035 року зазначено, що економічно доцільний потенціал малих гідроелектростанцій (ГЕС) в Україні становить до 4 ГВт. Станом на кінець 2017 року в Україні в експлуатації знаходилось 117 малих ГЕС загальною потужністю всього 93 МВт з середньорічним обсягом виробництва електроенергії біля 210-230 млн кВт·год/рік [5].

Гідроенергетичні об'єкти мають істотний вплив на навколишнє середовище. З огляду на характер впливу, оцінки розрізняють: довготривалому періодові безпосередньої експлуатації передують період спорудження і малих ГЕС. Відповідно, природоохоронні обмеження на використання гідроенергетичного ресурсу річки враховують два типи таких обмежень: обмеження на використання води для виробництва електроенергії малою ГЕС (санітарний попуск, безперервне функціонування рибоходів, межень, повені та паводки, оперативні заходи з регулювання водного потоку через гідроспоруди) та обмеження на використання території для спорудження гідроелектростанцій (національні природні парки, заповідники, пам'ятки природи, місця покладів корисних копалин та мінеральних вод, історико-культурні території, земельні ділянки спеціального призначення).

Енергія сонця: Потенціал використання сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання. Середньорічна кількість сумарної сонячної енергії, що надходить на 1 км² території України, становить майже 1070 кВт·год у північній частині країни та 1400 кВт·год і вище у південних областях.

Геотермальна енергія: Україна має певний потенціал розвитку геотермальної енергетики. Це обумовлено термогеологічними особливостями рельєфу та особливостями геотермальних ресурсів країни [6]. Проте, на даний час наукові, геолого-розвідувальні та практичні роботи в Україні зосереджені тільки на геотермальних ресурсах, які представлені термальними водами. За різними оцінками, економічно-доцільний енергетичний ресурс термальних вод України становить до 8,4 млн т н.е./рік.

Значні запаси термальних вод виявлено і на території Чернігівської, Полтавської, Харківської, Луганської та Сумської областей. Сотні свердловин, у яких виявлено термальну воду і знаходяться у консервації, але можуть бути відновлені для їх подальшої експлуатації в якості системи видобування геотермального тепла.

Для розрахунків кількості можливих обсягів споживання низькотемпературних геотермальних ресурсів в геокліматичних умовах різних регіонів України необхідно

врахувати, що інтенсивна їх експлуатація може призвести до зниження температури ґрунтового масиву та їх швидкому виснаженню. Необхідно підтримувати такий рівень використання геотермальної енергії, який дозволив би експлуатувати джерело енергетичних ресурсів без шкоди для навколишнього середовища. Для кожного регіону України існує певна максимальна інтенсивність видобування геотермальної енергії, яку можна підтримувати тривалий час.

Енергія довкілля: До природних енергетичних джерел довкілля відносять низькопотенціальне тепло атмосферного повітря, води річок, морів, верхнього шару ґрунту та ґрунтові води.

Теплова енергія, що надійшла від Сонця, акумулюється в шарі ґрунту осадових та гірських порід на глибинах до ізотермічної (нейтральної) поверхні. Шар ґрунту між глибиною прогріву та ізотермічною поверхнею може розглядатися як природний сезонний акумулятор теплової енергії, причому, енергія, яка була використана в зимовий період, буде відновлюватись у теплий період року. Це стосується і ґрунтових вод, що містяться у вищевказаних шарах ґрунту та осадових порід.

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал енергії довкілля в Україні є еквівалентним 12,6 млн т н.е., а його використання дозволяє заощадити біля 15,6 млрд м³ природного газу.

Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод може використовуватися для обігріву та вентильовання приміщень. Відбір теплової енергії від ґрунту може здійснюватися за допомогою ґрунтових теплообмінників різних типів. Температура теплоносія у ґрунтовому теплообміннику становить від 3-5°C до 10-12°C і є придатною для застосування теплових насосів, які забезпечують підвищення температури теплоносія до 40-70°C [7]. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують у теплонасосних установках потужністю 10-20 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки. В умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл.

Висновки

Україна має найбільший технічно-досяжний потенціал вироблення енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива серед країн Південно-Східної Європи. Важливими факторами, якими будуть сприяти розвитку ВДЕ у всьому світі та, зокрема, в Україні є подальше здешевлення технологій та вартості електростанцій на основі ТВЕ. Очікується, що витрати на встановлення СЕС промислового масштабу знизяться за 10 років на 57%, а витрати на встановлення ВЕС – на 13%: за умови суттєвого здешевлення вартісних показників конкурентоздатних електростанцій ці технології ще більш привабливими.

Слід зауважити, що на теперішній час обладнання для технологій вітрогенерування та компоненти фотоелектричних електростанцій досі не виробляються не в Україні масово, плата за їх прискорене впровадження є неймовірно високою для держави Україна – оскільки система підтримки через механізм "зелених тарифів" має економічні наслідки для українського суспільства. Також ці технології потребують додаткового спорудження нових об'єктів швидкодіючого мобільного резерву електричної потужності на основі двигунів внутрішнього згоряння (крім ГАЕС), що суперечить політиці декарбонізації.

Також слід зазначити, що країна має надлишок генерувальних потужностей в електроенергетиці, у той час як попит промислових підприємств на електроенергію – суттєво знизився. Отже, на першому плані проглядається проблема загальнодержавного значення – економічного, доступного для споживача за ціною та технологічною реалізованістю теплозабезпечення й переважного застосування технологій електрогенерування, що не

потребують резервування (біоенергетика, гідроенергетика) і для котрих наявними є достатні енергетичні ресурси та виробничі потужності в Україні.

Список використаної літератури

1. Kostiuk, Vasyl. Economic and mathematical modeling to optimize competitive renewable technologies expansion plan / Vasyl O.Kostiuk // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017. – 6 p., DOI: 10.1109/UKRCON.2017.81005202017.
1. Гелетука Г.Г., Железна Т.А. Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні. – Аналітична записка БАУ №2. – 2013. – 24 с.
2. Тимошук О. М. Альтернативне біопаливо // Сільськогосподарські машини. – 2013. – Вип. 24. – С. 359–362. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/silmah_2013_24_53.pdf.
3. Кириленко О.В. Атлас економічно доцільного та технічно обґрунтованого гідроенергетичного потенціалу річок Карпатського регіону /Під ред. О.В, Кириленка. – К.: НАН України, 2006. – 132с.
4. Мороз А.В. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України: Автореф. дис. к-та техн. наук.: спец. 05.14.08 «Перетворювання відновлюваних видів енергії» / Мороз Анастасія Віталіївна; Ін-т відновлюваної енергетики НАН України. –К., 2015. – 20с.
5. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Геотермальна енергія. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/geoenergy>. – Назва з титул. екрану.
6. Уланов Н.М., Уланов М.М., Соломко В.Д. Использование низкопотенциального тепла вод различного происхождения для теплоснабжения в ЖКХ и других отраслях экономики Украины. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.journal.esco.co.ua/2012_8/art190.html.

References

1. Kostiuk, Vasyl. Economic and mathematical modeling to optimize competitive renewable technologies expansion plan / Vasyl O.Kostiuk // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017. – 6 p., DOI: 10.1109/UKRCON.2017.81005202017.
2. Geletuha G.G., ZhelEzna T.A. Bar'Eri dlya rozvitku bloenergetiki v UkraYini. – AnalItichna zapiska BAU #2. – 2013. – 24 s.
3. Timoschuk O. M. Alternativne biopalivo // Silskogospodarski mashini. – 2013. – Vip. 24. – S. 359–362. – Available at: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/silmah_2013_24_53.pdf.
4. Kirilenko O.V. Atlas ekonomIchno dotslnogo ta tehnIchno obGruntovanogo gIdroenergetichnogo potentsIalu rIchok Karpatskogo regIonu /Pid red. O.V, Kirilenka. – K.: NAN UkraYini, 2006. – 132p.
5. Moroz A.V. TehnIchniy potentsIal gIdroenergetichnih resursIv malih rIchok UkraYini: Avtoref. dis. k-ta tehn. nauk.: spets. 05.14.08 «Peretvoryuvannya vIdnovlyuvanih vidIv energIYi» / Moroz AnastasIya VItalIYivna; In-t vIdnovlyuvanoYi energetiki NAN UkraYini. –K., 2015. – 20p.
6. Derzhavne agentstvo z energoefektivnostI ta energozberezhennya UkraYini. Geotermalna energIya. – Available at: : <http://saee.gov.ua/uk/ae/geoenergy>.
7. Ulanov N.M., Ulanov M.M., Solomko V.D. Ispolzovanie nizkopotentsialnogo tepla vod razlichnogo proishozhdeniya dlya teplosnabzheniya v ZhKH i drugih otraslyah ekonomiki Ukrainyi. Available at: http://www.journal .esco.co.ua/ 2012_8/art190.html.

УДК 621.226.3+ 621.311.24+ 620.91/92

Костюк В.О., канд. техн. наук, доц., Тиндирика Ю.О., магістр

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ З ГІДРОАКУМУЛЯЦІЙНИМИ ПРИСТРОЯМИ

Розглядаються практичні можливості застосування гідравлічних акумуляторів у комбінованих системах енергопостачання з вітроенергоустановкою, що функціонує автономно. Співставний аналіз техніко-економічних показників систем з акумуляторами запропоновано виконувати на основі розрахункових значень приведеної собівартості вироблення і зберігання електричної енергії за схемою життєвого циклу.

Ключові слова: акумуляторна батарея, вітроенергоустановка, гідравлічний акумулятор, вартість життєвого циклу

Вітроенергетика є однією з найбільш розвинених сфер практичного використання природних відновлюваних енергоресурсів. Значне поширення вітроенергетичних установок (ВЕУ) пояснюється їх універсальністю у використанні в порівнянні з іншими відновлюваними енергоджерелами. Вони можуть працювати автономно, а також бути приєднаними до розподільної електромережі.

Особливістю роботи автономних вітроелектрогенераторів є їх ізолюваність від системи централізованого електропостачання. Серед основних недоліків – мала щільність енергетичного потоку і мінливість у часі робочих характеристик ВЕУ. Перша обставина змушує розширювати площу, зайняту вітроенергоустановками, що утворюють «вітрополе». Через другу обставину необхідним є резервування енергетичних установок за допомогою інших джерел, або акумуляторів [1].

Основними є два способи резервування: резервування за допомогою акумуляторів електричної енергії, а також використання інших джерел енергії у якості резерву [2]. Використання паливних електростанцій, таких як дизельні та бензинові електростанції, призводить до того, що автономна система енергопостачання перестає бути екологічно чистою [3].

Акумуляторне резервування в переважній більшості випадків здійснюється із застосуванням електрохімічних акумуляторних батарей (АБ), які є компактними і мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД). Недоліками, такого резервування є: висока вартість електрохімічних акумуляторів, обмежена кількість циклів заряду-розряду [4], а також неможливість використовувати всю акумуляовану енергію без зниження тривалості життєвого циклу електрохімічних АБ.

Для досліджень техніко-економічних показників енергопостачальних систем з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) застосовують розрахункові моделі за схемою визначення нормованої ціни виробництва енергії (фактично, середньозваженої собівартості – *Levelised Energy Cost* (LEC)). Поширеним є вжиток поняття «моделі життєвого циклу» для позначення розрахункових схем, кінцевою метою застосування яких є отримання прогностичних значень обсягів та цінових оцінок технологічних об'єктів енергетики. Економіко-математичні моделі, побудовані на основі поняття життєвого циклу, є придатними для розв'язання задач техніко-економічного аналізу об'єктів енергетики на «постанційному» рівні й мають подальшу перспективу застосування у поєднанні зі складними ринковими моделями балансового типу, призначеними для дослідження проблем секторального рівня економіки [5].

Аналіз *LEC* необхідний для порівняння кінцевої вартості технологій з різною

структурою витрат. Аналіз враховує сукупні витрати на початкові капіталовкладення, поточну вартість експлуатаційних витрат та витрат на обслуговування OM (operation and maintenance), вартість акумуляторної системи, враховуючи витрати на заміну акумуляторних батарей відповідно до терміну їх служби (з урахуванням номінального числа циклів заряд - розряд для акумуляторів електрохімічного типу), протягом усього часу експлуатації системи. Тривалість служби акумулятора в основному визначається глибиною розряду DOD (depth of discharge), а також енергією, доступною для заряду акумулятора.

Загальна вартість життєвого циклу системи LCC (life cycle cost) складається з початкового капіталовкладення C_0 , чистої приведеної вартості обслуговування OM та чистої приведеної вартості всіх витрат на заміну батарей R_{pv} за весь період експлуатації (тобто $LCC = C_0 + OM_{pv} + R_{pv}$). Якщо початкова вартість OM становить OM_0 , то чисту приведену вартість всіх витрат на обслуговування визначають [6]:

$$OM_{pv} = OM_0 \left(\frac{1+d}{d-e_0} \right) \times \left(1 - \left(\frac{1+e_0}{1+d} \right)^N \right), \text{ при } d \neq e_0, \quad (1)$$

де e_0 – коефіцієнт ескалації вартості (темп інфляції), d – дисконтна ставка, а N – період функціонування системи у межах тривалості життєвого циклу комбінованої системи, зазвичай визначеного у календарних роках. R_{pv} є функцією загального числа замін акумуляторних батарей brp (battery replacement) за час життя системи і визначається:

$$R_{pv} = B_r C_b \sum_{j=1}^{brp} \left(\frac{1+e_0}{1+d} \right)^{N_j/(brp+1)}, \quad (2)$$

де B_r – це номінальна ємність акумулятора, а C_b – вартість акумулятора. Тривалість життя акумулятора визначається глибиною розряду та специфічними характеристиками батареї, тобто середня тривалість терміну експлуатації N_A (кількість циклів) за заданим DOD та коефіцієнтом батареї B_c , що для батарей з плоскими пластинами становить 0,02–0,03 і для трубчастих батарей від 0,01 до 0,02:

$$N_R = 0.5 N_A \exp(-B_c 100(DOD_d - DOD_0)), \quad (3)$$

причому

$$DOD_d = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{L_m - (E_d)_m}{B_r} \right) = (1 - SOC_d),$$

де SOC_d – це щодобове середнє значення стану заряду, L_m – розрахункова оцінка щодобового обсягу середньомісячного споживання енергії у місяці m ($m = 1, 2 \dots 12$), а E_d – розрахункова оцінка щодобового обсягу енергії, що виробляється. Число замін акумуляторів обчислюють:

$$brp = INT \left(\frac{N}{N_R/365} \right). \quad (4)$$

Середньозважена собівартість за умови застосування рівномірного у часі перенесення вартості системи на вартість виробленої електроенергії: (однаковими частками по усіх періодах життєвого циклу) :

$$LEC = \frac{LCC \times CRF}{\sum_{m=1}^{12} L_m \times N_d}, \quad (5)$$

де N_d – число діб у місяці; а CRF – коефіцієнт відновлення капіталу (capital recovery factor), або коефіцієнт ануїтету, обчислюють за виразом $CRF = d / (1 - (1 + d)^{-N})$ [6].

У зв'язку з необхідністю відносно частої заміни електрохімічних АБ та їх високої вартості, розробляються перспективні акумуляційні системи, які не потребують високих грошових витрат на акумуляування енергії. До них належать акумулятори потенційної енергії на основі піднятого на певну висоту тіла, наприклад води. Однак вони мають дуже низькі показники енергоемності, тому запасання достатнього обсягу енергії зазвичай потребує

спорудження громіздких конструкцій водонапірних веж.

Використання гідроаккумуляторів та/або розташованих на висоті резервуарів дає змогу уникнути проблеми пошуку необхідного місця для розташування ВЕУ, а також може вирішити проблему постачання води, якщо об'єднати системи електропостачання та водопостачання у єдину комбіновану систему енергопостачання. У разі відсутності водоймищ можливим є використання підземних вод.

На рисунку зображена схема вітроелектростанції з використанням гідравлічного акумулятора електроенергії (рис.1), де позначено: 1–вітроелектроустановка, 2 – блок управління і перетворення струму, 3 – ємність для накопичення води, 4 – електрогенератор, 5 – гідротурбіна, 6 – насос, 7 – джерело води. Система працює таким чином:

1.Накопичення енергії. Якщо вироблена вітроустановкою енергія не використовується споживачем, або використовується частково, то отриманий від вітрогенератора струм використовується для живлення електродвигуна насоса. Насос перекачує воду в ємність водонапірної башти. Накопичення води припиняється у разі зупинки вітрогенератора, заповнення ємності, або якщо споживачеві потрібна вся електроенергія, що виробляється вітрогенератором.

2.Використання накопиченої енергії. Якщо вітрогенератор не здатен забезпечити споживача необхідним обсягом електроенергії внаслідок недостатньої швидкості вітру, або його відсутності, то вода з ємності починає надходити до гідроагрегату. Потік води обертає гідротурбіну, яка з'єднана з якорем електрогенератора. Електрогенератор виробляє електроенергію, яка надходить на блок управління і перетворення струму, а потім до споживача.

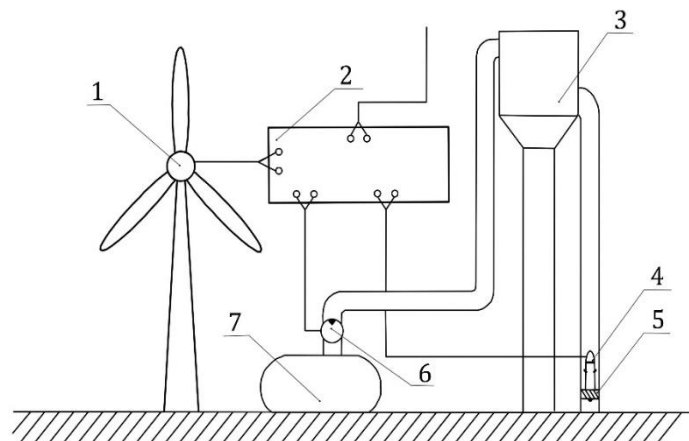


Рис.1 Схема вітроелектростанції з використанням гідравлічного акумулятора електроенергії

Обсяг електроенергії, виробленої гідротурбіною, залежить від витрати води, напору, обсягу резервуара. Потужність на валу гідротурбіни визначається за виразом:

$$N_T = g Q_T H_T \eta_T, \quad (6)$$

де g – прискорення вільного падіння, Q_T – витрата води, H_T – напір, η – ККД турбіни.

Висновки

Швидкий розвиток альтернативних технологій енергопостачання, вітроенергетики зокрема, стримується через мінливість робочих характеристик вітрогенераторів, зумовлені стохастичною природою енергії вітру. Зазвичай безперервність електропостачання забезпечують шляхом резервування вітроустановок. Акумуляування енергії, що виробляється вітроелектростанціями, є одним із ефективних способів підвищення надійності електропостачання споживачів. Застосування електрохімічних АБ, незважаючи на такі

переваги як компактність і високий ККД, має значні недоліки, зумовлені високою початковою вартістю та обмеженим числом циклів заряд-розряд й необхідністю періодичної заміни. Вітроенергетична установка, оснащена водонапірною вежею (резервним накопичувачем) з метою підвищення ефективності комбінованої системи збільшує можливості застосування ВЕУ малої потужності в системах енергопостачання автономних об'єктів.

Список використаної літератури

1. Квитко А.В., Семенов Я.А., Отмахов Г.С. Автономные ветроэлектрические установки и системы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета – 2015, – №112. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/72.pdf>
2. Kostiuk, Vasyl. Economic and mathematical modeling to optimize competitive renewable technologies expansion plan / Vasyl O.Kostiuk // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017. – 6 p., DOI: 10.1109/UKRCON.2017.81005202017.
3. Воронин С.М., Бабина Л.В. Анализ автономных ветроэлектростанций // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – №1. – С. 15-20.
4. Воронин С.М., Закиров И.В. Аккумуляирование энергии в ветроустановке // Вестник аграрной науки Дона. – 2013. – №4. – С. 26-30.
5. Костюк В.О. Модифіковані схеми розрахунку нормованої ціни виробництва в задачах детерміновано стохастичного моделювання нових електрогенерувальних об'єктів // Енергетика: економіка, технології, екологія. –2015. –№2. – С.64-77.
6. Mohan Kolhe. Techno-economic optimum sizing of a stand-alone solar photovoltaic system // IEEE transactions on energy conversion, vol. – 2009. - №2.- P.511-519.

References.

1. Kvitko A.V., Semenov Ya.A., Otmakhov G.S. Autonomous wind power installations and systems // Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University – 2015, – №112. - Available at: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/72.pdf>
2. Kostiuk, Vasyl. Economic and mathematical modeling to optimize competitive renewable technologies expansion plan / Vasyl O.Kostiuk // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017. – 6 p., DOI: 10.1109/UKRCON.2017.81005202017.
3. Voronin S.M., Babina L.V., The analysis of stand-alone wind-driven electric power stations// Bulletin of Don Agrarian Science. – 2010. – №1. – P. 15-20.
4. Voronin S.M., Zakirov I.V., Energy storage in wind installations // Bulletin of Don Agrarian Science. – 2013. – №4. – P. 26-30.
5. Kostiuk, Vasyl. Modifikovani shemi rozrahunku normovanoyi tsini virobnitstva v zadachah determinovano- stohastichnogo modelyuvannya novih elektrogeneruvальnih ob'ektiv // Power engineering: economics, technique, ecology. –2015. –№2. – P.64-77.
6. Mohan Kolhe. Techno-economic optimum sizing of a stand-alone solar photovoltaic system // IEEE transactions on energy conversion, vol. – 2009. - №2.- P.511-519.

УДК 621.311.003.13

Мушка Я.А., магістрант; науковий керівник к.т.н, доцент **Находов В.Ф.**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ НА ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТАХ

Проаналізовано традиційні системи оперативного контролю енергоспоживання на виробничих об'єктах. Запропоновано подальший напрямок удосконалення традиційних систем контролю і планування, який базується на використанні методів статистичного контролю процесів

Traditional systems of operational control of energy efficiency on industrial objects are been analyzed. The way of improvement of traditional monitoring and targeting systems, based on using methods of statistical control has been suggested.

Вступ. Необхідність вирішення задач енергозбереження в усіх ланках національної економіки, і перш за все, у промисловості, яка є найбільшим споживачем палива та енергії всіх видів, стає все більш нагальною[1]. Саме тому все більшого поширення набуває впровадження системи енергетичного менеджменту на вітчизняних підприємствах. Відповідно до стандарту ISO 50001 однією з основних умов функціонування системи енергоменеджменту є постійне покращення рівня енергоефективності.

Однією з необхідних умов досягнення помітних практичних результатів у сфері енергозбереження є об'єктивне, обґрунтоване вирішення завдання кількісної оцінки, контролю та аналізу ефективності використання електричної енергії для різних технологічних і виробничо-господарських об'єктів.[2]

В Україні такий контроль зазвичай здійснюється за допомогою нормування. Проте норми питомих витрат електроенергії не можна вважати достатньо обґрунтованими та достовірними. Тому використання таких норм не дозволяє здійснювати контроль ефективності енерговикористання електричної енергії. Отже, цілком логічно, що потрібно вдосконалювати процес контролю та аналізу енергоефективності.

У зарубіжній практиці існують інші, альтернативні підходи, до контролю енергоефективності, які не ґрунтуються на нормуванні питомих витрат електричної енергії. Одним з таких підходів є побудова та застосування систем оперативного контролю енергоефективності, зокрема систем контролю і планування електроспоживання. Виходячи із зарубіжного досвіду, доцільним напрямом подальшого розвитку діючої в Україні системи нормування питомих витрат електричної енергії слід вважати поєднання удосконалених методик нормування з використанням альтернативних методів, зокрема, з побудовою систем Контролю і Планування (КіП) електроспоживання.[2]

Аналіз методів побудови систем контролю і планування електроспоживання.

Головною метою будь якого виробництва є максимізація кількості виробленої продукції за мінімізації використання ресурсів та викидів. Метою системи моніторингу і контролю є створення детальної картини як і де використовується енергія. Контроль енергоспоживання допомагає досягнути енергоефективності виробництва так як дозволяє відстежувати яким чином реальні значення енергоспоживання відрізняються від цільових.

Традиційні системи КіП дозволяють:

- визначати енергетичні втрати, що трапляються через поганий контроль, недоліки роботи обладнання або людські помилки;
- кількісно оцінити економію від впровадження енергозберігаючих об'єктів;

- визначати напрямки, які можуть бути вивчені більш детально для досягнення кращого рівня енергоефективності;
- провести порівняльний аналіз (бенчмаркетинг).

Побудову системи контролю і планування умовно можна розділити на два етапи. Перший етап включає збір статистичних даних, виділення основних чинників, що впливають на енергоспоживання а також основних закономірностей споживання електроенергії.

Другим етапом є побудова моделі енергоспоживання або так званого «стандарту», який є основним інструментом, що використовується для оцінки рівня енергоефективності в системах КіП є «стандарт» енергоспоживання. Цей «стандарт» являє собою деяку математичну модель обсягу витрати відповідного виду палива або енергії в залежності від значень виробничих і технологічних параметрів, які суттєво впливають на нього [3,4].

«Стандарт» енергоспоживання може бути встановлений у вигляді константи, якщо жоден з наявних виробничих і технологічних параметрів істотно не впливають на витрату палива або енергії на об'єкті. Якщо ж на споживання відповідного паливно- енергетичного ресурсу істотно впливають один або декілька з наявних чинників, то «стандарт» встановлюють у вигляді рівняння одно факторної або багатфакторної, як правило, лінійної регресії. При цьому в традиційних методиках побудови систем КіП при встановленні «стандартів» не рекомендується використовувати більше трьох параметрів, що істотно впливають на енергоспоживання об'єкта, що розглядається [5,6].

У випадку, коли «стандарт» встановлюється у вигляді математичної моделі, тобто свого роду «енергетичної характеристики» він стає доволі гнучким «еталоном» ефективного використання того чи іншого енергоресурсу. Такий «стандарт» дозволяє врахувати не лише можливі зміни обсягів продукції та технологічного процесу, а й зовнішні, що включають також кліматичні умови виробництва.

Побудову системи КіП можна вважати завершеною, коли встановлено «стандарт» енергоспоживання в аналітичному, а також якщо є можливість і графічному вигляді. Отже така система може бути використана для оперативного контролю енергоефективності.

Висновок щодо рівня енергоефективності базується на основі порівняння фактичного значення енергоспоживання отриманого з приладів обліку зі встановленим «стандартом».

Однак традиційні системи КіП мають ряд недоліків:

- Математичні моделі енергоспоживання не включають вплив усіх факторів, що можуть значною мірою впливати на енергоспоживання.
- Відсутні рекомендації щодо вибору об'єктів контролю, тобто визначення окремих технологічних агрегатів чи їх груп для яких технічно та економічно доцільно створювати такі системи контролю.
- Відсутня методика, яка дозволяла б обирати найбільш прийнятний метод побудови та вигляд математичної моделі електроспоживання, виходячи з особливостей кожного конкретного об'єкту контролю.
- Відсутня чітка та об'єктивна процедура контролю виконання встановлених цільових змінних електроспоживання, що дозволяла б виявляти моменти часу, в які відбуваються невідповідності зміни рівня енергоефективності виробничого об'єкту.
- Не передбачено конкретних методів та способів, які б надавали можливість виявлення та аналізу причини, що призводять до перевитрат або економії електричної енергії на відповідному об'єкті контролю енергоефективності.

Отже, традиційні системи контролю і планування можуть бути використані як прототип для побудови досконалої системи моніторингу енергоефективності. Перш за все необхідно зосередити увагу на усуненні вищезазначених недоліків традиційних систем контролю і планування.

Мета роботи. Метою даної роботи є аналіз сучасних систем моніторингу та контролю та виявлення напрямків удосконалення існуючих методів оперативного контролю енергоефективності виробничих об'єктів.

Методики, матеріали і результати досліджень

Традиційно для моніторингу в системах контролю і планування використовуються два методи:

- Шляхом порівняння фактичного рівня енергоспоживання з відповідним значенням визначеним за допомогою моделі.
- За допомогою графіка кумулятивної суми CUSUM.

При цьому величина відхилення фактичного обсягу споживання електроенергії відносно встановлених цільових змінних для деякого i -го етапу контролю визначається:

$$\Delta W_i = W_{\text{факт.}i} - W_{\text{пр.}i}$$

де $W_{\text{факт.}i}$ – фактичний обсяг споживання електроенергії за даний період часу; $W_{\text{пр.}i}$ – величина електроспоживання, визначена на підставі відповідної математичної моделі, тобто цільова змінна, встановлена для цього ж періоду.

Значення кумулятивної суми відхилень фактичної витрати електроенергії після завершення деякого k -го етапу контролю виконання встановлених цільових змінних електроспоживання $\Delta W_{\Sigma k}$ розраховується за формулою [7]:

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k$$

де $\Delta W_{\Sigma k-1}$ – кумулятивна сума відхилень фактичних обсягів споживання електроенергії від відповідних значень цільових змінних, визначена за результатами всіх попередніх $(k-1)$ етапів контролю; ΔW_k – відхилення фактичного електроспоживання від значення цільової змінної, встановленої для k -го етапу контролю.

При цьому від'ємне значення величин ΔW_i , розрахованих на кожному окремому етапі контролю, свідчать про те, що на даному виробничому об'єкті протягом відповідного періоду спостерігалась економія електроенергії, а додатне – про її перевитрату.

Однак така система моніторингу не дозволяє визначити випадковість відхилень фактичних значень від встановлених цільових змінних. Значно підвищити об'єктивність визначення моментів часу, в які відхилення фактичних обсягів споживання електричної енергії від цільових змінних мають не випадковий характер можна, якщо в якості основи для встановлення таких змінних використовувати не саму математичну модель електроспоживання, а побудовані для цієї моделі межі довірчого інтервалу, який дозволяє врахувати залишкову похибку моделювання та недосконалість моделі з точки зору опису нових даних (невизначеність прогнозу) [8].

Одним із способів вирішення цієї проблеми є застосування так званих методів імітаційного моделювання.

Побудова довірчих інтервалів таким способом є придатною для будь-яких методів математичного моделювання, не залежно від вигляду рівняння регресії та його наявності. Проте використання цього способу вимагає наявності достатньо потужної ЕОМ та відповідного програмного забезпечення, що на сучасному рівні розвитку обчислювальної техніки не являє собою значної проблеми. [9]

Основою побудови довірчих інтервалів такими методами є використання «псевдовибірок» на основі яких можна отримати вихідні дані для подальшого даних. Для генерування таких даних можуть бути використані наступні методи: Монте Карло, Bootstrap, Jackknife, тощо.

Використання імітаційних методів зазвичай дає можливість отримати доволі точні значення довірчих інтервалів не залежно від типу моделі (лінійна чи нелінійна). Проте не завжди є можливість використовувати необхідні програмні засоби, що є значною перешкодою для широкого використання наприклад бутстреп (Bootstrap) методу.

В окремих випадках можна натомість використати методи статистичного контролю процесів, хоча вони менш досконалі. Основним інструментом статистичного контролю процесів є спеціальні контрольні карти, за допомогою яких контроль та аналіз змін в будь-яких процесах. Так для моніторингу рівня енергоефективності можуть бути використані Контрольні Карти Шухарта (ККШ). Вони являють собою графік ходу самого процесу, на який нанесено верхню та нижню контрольну межу можливих значень відповідного параметра. Для контролю рівня енергоефективності може бути використаний показник ΔW_i , що є різницею між фактичним споживанням і «стандартом». У цьому межі контрольних карт визначаються наступним чином:

$$UCL(LCL) = \Delta W_{\text{сеп}} \pm \sigma_{\Delta W} A_t$$

де $\Delta W_{\text{сеп}}$ – середнє значення ΔW_i ; $\sigma_{\Delta W}$ – стандартне відхилення величин ΔW_i ; A_t – табличне значення, яке залежить від кількості точок контролю.

Коли точки знаходяться за межами лімітів необхідно визначити причини, що привели до зміни рівня енергоефективності. З цією метою також можуть бути використані контрольні карти Шухарта. Однак для визначення чинника, що вплинув на зміну енергоспоживання необхідно побудувати контрольні карти для кожної незалежної змінної, що використовується в досліджуваній моделі. Такий процес є доволі трудомістким і займає багато часу.

Для контролю невинуватих змін значень одночасно кількох чинників, що впливають на обсяг електроспоживання виробничих об'єктів, можуть бути використані контрольні карти Хоттелінга [11].

Застосування таких багатовимірних контрольних карт дозволяє певним чином враховувати існуючі взаємозв'язки між параметрами технологічного процесу. З цією метою розраховується узагальнена статистика Хоттелінга (T_i^2) [10]:

$$T_i^2 = m(\bar{X}_i - X_{\text{сеп}})^T S^{-1}(\bar{X}_i - X_{\text{сеп}})^T$$

де T_i^2 – розрахункове значення критерію Хоттелінга; m – кількість значень кожного окремого параметра в миттєвій вибірці (для карт індивідуальних значень параметрів m дорівнює 1); $\bar{X}_i$ – вектор фактичних середніх значень параметрів, що аналізуються, для деякого i -го моменту часу; $X_{\text{сеп}}$ – вектор середніх значень чинників, що впливають на електроспоживання, визначених за відповідною передісторією; S – оцінка коваріаційної матриці незалежних змінних.

Критичне значення узагальненої статистики контрольної карти Хоттелінга оцінюють за таблицею квантилів розподілу χ^2 [10]:

$$T_{\text{кр}}^2 = \chi_{1-\alpha}^2(p)$$

де p – кількість виробничих параметрів, які контролюються; α – рівень значимості χ^2 .

Багатовимірні карти Хоттелінга дозволяють не лише встановити чи зміни рівня енергоефективності пов'язані зі змінами значень досліджуваних технічних параметрів, а також дозволяє виявити причину, тобто який з чинників спричинив зміну в енергоспоживанні. Для цього визначаються часткові характеристики критерія Хоттелінга:

$$T_j^2 = \frac{m [c_j^T (\bar{X}_{t0} - X_{\text{сеп}})^2]}{[c_j^T S c_j]}$$

де m – кількість значень кожного окремого параметра в миттєвій вибірці (для карт індивідуальних значень параметрів m дорівнює 1); c_j – вектор стовбець з нулями в усіх рядках,

крім j -го, який відповідає умовному номеру виробничого параметра, що розглядається (в цьому рядку міститься значення 1); $\bar{X}_{t0}$ – матриця поточних значень технологічних параметрів, що розглядаються, в i -й момент часу; $X_{\text{сер}}$ – вектор середніх значень чинників, що впливають на електроспоживання.

Отже, застосування контрольних карт Шухарта або Хоттелінга дозволяє проаналізувати, чи зміни рівня ефективності використання електричної енергії на деякому об'єкті були спричиненні зміною числових значень технологічних параметрів, що враховані у математичній моделі електроспоживання, чи енергоефективність об'єкту змінилася під впливом деяких невідомих чинників, визначення і врахування яких у подальшому може бути доцільним.

Висновки. У роботі розглянуто традиційні системи моніторингу та контролю рівня енергоефективності, які мають певні недоліки. За допомогою імітаційних методів можна усунути випадковість відхилень фактичних значень від встановлених цільових змінних. Однак такі методи можна використовувати далеко не завжди. Менш досконалі є методи статистичного контролю, зокрема карти Шухарта, проте їх можна використати в окремих випадках. Разом з тим контрольні карти Шухарта і Хоттелінга дозволяють визначати причини зміни рівня енергоефективності. У подальших дослідженнях необхідно удосконалити процедуру здійснення оперативного контролю, таким чином, щоб при аналізі результатів контролю за допомогою карт Шухарта і Хоттелінга відхилення були не випадковими, а також розподіляти причини відхилень на такі, що залежали та не залежали від дій персоналу.

Список використаних джерел

1. Находов В.Ф. Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / В. Ф. Находов // Промелектро. – 2007. – № 1. – С. 34-42.
2. Находов В.Ф., Бориченко О.В. Концепція побудови інтегрованих систем контролю ефективності використання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – №1. – С. 72-78
3. Pooley John. Quick Start Guide to Energy Monitoring&Targeting (M&T) [Електронний ресурс] / John Pooley // Effective Energy Management Guide. – 2005. – Режим доступу: <http://www.oursouthwest.com/SusBus/susbus9/m&tguide.pdf>.
4. Jones Phil. Getting started with Monitoring&Targeting (M&T) / Phil Jones // Fundamental Series. – 2004. – №7. – Р. 29-32
5. Праховник А.В. Контроль і нормалізація енергоспоживання / А.В. Праховник, Г.Р. Трапп // Управління енерговикористанням : зб.доп. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – С. 387-398
6. Энергетический менеджмент / [А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко и др.] – К.: ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. – 472 с.: ил.
7. Hilliard A. Recursive Estimates as an Extension to CUSUM-based Energy Monitoring & Targeting. / A. Hilliard, G.A. Jamieson / Proceedings of the 2013 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry Niagara Falls, NY: ACEEE. – 2013. – Р. 4–13.
8. Горяинов В.Б. Математическая статистика / В.Б. Горяинов, И.В. Павлов, Г.М. Цветкова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – 2001. – 424 с.
9. Chernick M. R. Bootstrap Methods: A Guide for Practitioners and Researchers// M. R. Chernick – Wiley Series in Probability and Statistics, 2007. – 400 p.
10. Клячкин В.Н. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии// В.Н. Клячкин – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. — 304 с.
11. Bersimis S. Multivariate Statistical Process Control Charts: An Overview. / S. Bersimis, S. Psarakis, J. Panaretos // Quality and Reliability in Engineering. International. – 2007. – Р. 517-543.

УДК 621.311:65.035

Чекамова В.В. магістрант, **Находов В.Ф.** к.т.н., доцент, **Замулко А.І.** к.т.н., доцент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОЇ УЧАСТІ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У ВИРІВНЮВАННІ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

ESTIMATION OF THE POTENTIAL PARTICIPATION OF TRANSMISSION COMPANIES IN THE ALIGNMENT OF DAILY LOAD SCHEDULES OF THE GRID

У статті розглядаються графіки навантаження енергосистеми, а також її можливе оптимальне навантаження, що знаходиться за допомогою вирішення оптимізаційної задачі методом Хука-Дживса.

The paper considers the load diagrams of the power system, as well as its possible optimal load, which is solved by the solution of the optimization problem by the Huck-Jevsy method.

Вступ. На сьогоднішній день питання вирівнювання добових графіків електричного навантаження енергосистеми є актуальним та достатньо проблематичним. Існує багато різноманітних методів та способів управління попитом споживачів, але, на жаль, деякі з них потребують великої кількості часу, наприклад, збільшення кількості маневрених потужностей, або ці методи вже вичерпали свої стимулюючі ефекти, що стосується диференційованих за зонами доби тарифів. Тому виникає необхідність у створенні нових більш ефективних засобів управління попитом споживачів на електричну потужність.

Мета роботи. Постановка та вирішення оптимізаційної задачі, розрахунок оптимального графіку навантаження енергосистеми, а також «оптимальних» графіків електричного навантаження електропередавальних організацій. Визначення індивідуального впливу кожної з електропередавальних організацій у вирівнюванні добового графіку навантаження енергосистеми.

Методики, матеріали і результати досліджень. Попит споживачів на електричну потужність в об'єднаній енергетичній системі України має нерівномірний характер. В зв'язку з цим існує потреба в покритті даної нерівномірності, а це, в свою чергу, значно ускладнює процес планування покриття навантаження ОЕС та управління режимами виробництва електроенергії, знижує економічність функціонування енергосистеми, а також негативно впливає на надійність електропостачання споживачів і якість електроенергії.

Для уникнення вище згаданих проблем необхідно ефективно та цілеспрямовано управляти попитом споживачів на електричну потужність в енергосистемі. В Україні діють диференційовані за часом тарифи на електроенергію, за допомогою яких здійснюється регулювання попиту споживачів на електричну потужність. На сьогоднішній день, можна стверджувати, що такі тарифи вичерпали свої можливості дієвого стимулювання споживачів, які не можуть і на далі активно приймати участь у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми. При чому, існуючі диференційовані за часом доби тарифи майже не сприяють до залучення нових, а також великих споживачів. [1,2]

Таким чином, було запропоновано створення нового економічного способу адресного управління попитом споживачів на електричну потужність. Основна мета даного способу полягає в тому, щоб залучати якомога більше нових та потужних споживачів, за допомогою більш нових дієвих стимулів, тобто пропонується встановлення та використання при

розрахунках між продавцями і покупцями електричної енергії плати за профіль електричної потужності, тобто за визначену конфігурацію добових графіків електричного навантаження електропередавальних організацій, окремих споживачів чи їх груп.

Запропонований спосіб управління попитом споживачів на електричну потужність складається з трьох етапів: підготовчий етап, етап планування, етап остаточних розрахунків.

Саме на підготовчому етапі визначаються «оптимальні» графіки навантаження кожної з обленерго, що приймають участь в регулюванні. Дані графіки повинні забезпечувати найбільш рівний (оптимальний) графік навантаження енергосистеми. Після чого розраховується максимальна величина економії затрат енергосистеми на вироблення електроенергії, яка може бути отримана у разі підтримання запропонованого графіка. Для розподілу економії між обленерго, що приймають участь в регулюванні, визначаються коефіцієнти індивідуального впливу кожної з них у формуванні оптимального графіка навантаження енергосистема і пропорційно цим коефіцієнтам розподіляється отримана економія.

Формування «оптимальних» графіків навантаження

Для енергетичної системи найбільш бажаним режимом виробництва і споживання електроенергії є робота з ідеально рівним графіком навантаження, при якому годинні значення потужності, що споживається, були б рівні її середньодобовій величині. Отже, необхідно знайти такі значення погодинного навантаження відповідних електропередавальних організацій (обленерго), при яких буде досягнуто найбільш рівний із можливих добових графіків електричного навантаження ОЕС.

Як зазначалось раніше, одним із найбільш очевидних статистичних показників, що характеризують нерівномірність добових графіків навантаження будь-яких об'єктів, є дисперсія погодинних величин електричного навантаження. Таким чином, визначення потрібних графіків навантаження обленерго, що приймають участь у регулюванні, можна сформулювати у вигляді відповідної оптимізаційної задачі, цільова функція якої має вигляд:

$$\sum_{j=1}^{24} (P_{ec,j} - P_{ec,cr})^2 \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де $P_{ec,j}$ – можлива величина електричного навантаження енергосистеми в j -ту годину доби, що визначається на кожному кроці рішення оптимізаційної задачі;

$P_{ec,cr}$ – середньодобове значення навантаження енергосистеми.

У свою чергу, можливі значення навантаження енергосистеми, що розраховані на кожному кроці оптимізації, визначаються:

$$P_{ec,j} = P_{ост.обл,j} + \sum_{i=1}^{N_{обл.}} P_{обл,i,j}, \quad (1.2)$$

де $P_{ост.обл,j}$ – електричне навантаження в j -ту годину доби всіх інших електропередавальних організацій (обленерго), що не приймають участь у Проекті (у процесі рішення оптимізаційної задачі залишається незмінною);

$N_{обл.}$ – кількість обленерго, що беруть участь у регулюванні;

$P_{обл,i,j}$ – величина електричного навантаження i -го обленерго в j -ту годину доби, що визначається на кожному кроці оптимізації.

Отже, під час вирішення даної задачі змінними оптимізації є годинні значення електричного навантаження кожної з електропередавальних організацій (обленерго), що приймають участь у регулюванні. При цьому загальна кількість змінних оптимізації ($N_{пер.онтм.}$) складає:

$$N_{пер.онтм.} = 24N_{обл.} \quad (1.3)$$

На числові значення кожної зі змінних оптимізації накладаються наступні обмеження:

$$P_{обл.ij.min} \leq P_{обл.ij} \leq P_{обл.ij.max}; \quad (1.4)$$

$$P_{обл.ij} > 0,$$

де $P_{обл.ij.min}$ та $P_{обл.ij.max}$ – відповідно мінімально та максимально можлива величина електричного навантаження i -го обленерго в j -ту годину доби (визначаються кожною обленерго, що бере участь у регулюванні, до початку рішення оптимізаційної задачі).

Таким чином, визначення оптимальних графіків навантаження електропередавальних організацій, що беруть участь у регулюванні, представляє собою задачу дискретного квадратичного програмування з обмеженнями, для рішення котрої можуть бути використані методи прямого пошуку оптимального значення цільової функції n змінних, зокрема, метод покоординатного спуску чи метод Хука-Дживса, блок схема якого наведена на рисунку 1.

Погодинні значення навантаження відповідних електропередавальних організацій (обленерго), знайдені у процесі рішення розглянутої оптимізаційної задачі з використанням одного з вказаних методів, забезпечують найкращий із можливих результатів вирівнювання добового графіка електричного навантаження ОЕС (за умови участі у регулюванні тільки цих обленерго).

Очевидно, що цей результат буде досягнуто у тому випадку, якщо обленерго, що беруть участь у регулюванні, сформулюють та будуть підтримувати визначені для них «оптимальні» добові графіки навантаження. Тому встановлені на рівні ОЕС «оптимальні» графіки навантаження мають бути доведені до кожної електропередавальної організації, що бере участь у регулюванні.

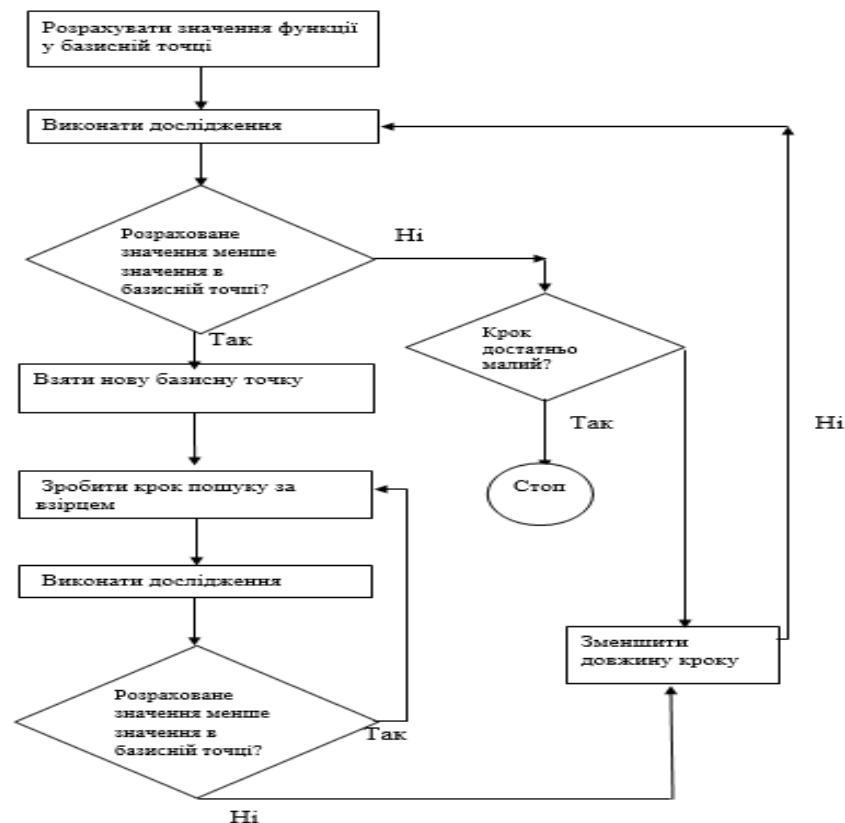


Рисунок 1 – Блок-схема метода Хука-Дживса

Приклад побудови та функціонування способу адресного управління режимами споживання електричної потужності в енергосистемі

Запропонований спосіб адресного управління попитом споживачів на електричну потужність здійснюється на трьох рівнях управління (об'єднана енергосистема, обленерго та споживач), в свою чергу, процес його функціонування та створення ділять на 3 етапи (підготовчий, плановий та остаточних розрахунків).

Розрахунки було проведено на основі графіка електричного навантаження ОЕС України для зимового режимного дня 2016 року. В розглянутому прикладі зроблено припущення, що згоду на прийняття участі в регулюванні дали три електропередавальні організації (обленерго). Необхідні дані наведено в таблиці 1.

На підготовчому етапі на рівні енергосистеми знаходять «оптимальні» графіки навантаження обленерго. Вирішується задача оптимізації з цільовою функцією, що відповідає формулі 1.1, та рівняння обмеження – 1.4. Під час вирішення поставленої задачі визначаються такі значення годинних навантажень, при яких графік навантаження енергосистеми матиме найбільш рівну конфігурацію (зменшення попиту споживачів на електричну енергію під час пікових годин та збільшення в години нічних провалів), за участь обраних трьох електропередавальних організацій.

Для вирішення встановленої задачі кожна з ЕПО, що приймає участь в регулюванні, повинна надати постачальнику електроенергії необхідні дані про можливі годинні електричні навантаження (максимальні та мінімальні), які можуть створити приєднані до неї споживачі (таблиця 2).

Вирішення задачі оптимізації проводилось за допомогою програмного продукту QBasic64. Отримані дані наведено в таблиці 3.

Таблиця 1 – Існуючі графіки навантаження ОЕС України та трьох обленерго для режимного дня 21.12.2016 р. (МВт)

Година доби	Графік навантаження ЕС	Графік навантаження Київобленерго	Графік навантаження Харківобленерго	Графік навантаження Дніпробленерго	Графік навантаження інших споживачів
1	13897	723	813	3357	9004
2	13463	678	760	3360	8665
3	13138	650	756	3283	8448
4	13185	655	746	3415	8369
5	13410	671	760	3471	8509
6	13951	691	805	3538	8917
7	14929	751	900	3515	9763
8	15950	803	1011	3409	10728
9	16998	850	1118	3563	11467
10	17632	901	1189	3565	11977
11	17855	909	1176	3721	12049
12	17504	902	1169	3599	11835
13	17316	881	1145	3633	11657
14	17341	884	1153	3624	11680
15	17373	883	1143	3664	11681
16	17764	906	1161	3823	11875
17	18132	945	1190	3586	12410
18	18225	948	1181	3568	12528
19	17811	931	1156	3469	12255
20	17513	921	1117	3549	11927
21	17003	902	1083	3488	11531
22	16709	891	1043	3696	11078
23	15733	850	960	3602	10321
24	14899	787	880	3523	9709

Таблиця 2 – Максимальні та мінімальні навантаження кожної з обленерго

Обленерго	Існуюче макс. навантаження, МВт	Можливе макс. навантаження, МВт	Існуюче мін. навантаження, МВт	Можливе мін. навантаження, МВт
Київобленерго	948	1000	650	600
Харківобленерго	1190	1250	746	700
Днепробленерго	3823	3900	3283	3200

Після сумування «оптимальних» графіків навантаження всіх обленерго, що приймають участь в регулювання, формується оптимальний графік навантаження енергосистеми, отримані дані наведено у таблиці 3 та зображено на рисунку 2.

На основі сформованого оптимального графіка навантаження енергосистеми необхідно визначити очікувану максимальну економію витрат на вироблення електроенергії, що виникає у випадку формування та підтримування максимально рівного графіка навантаження енергосистеми, який може бути досягнуто за участю обленерго, що розглянуті в прикладі.

Для спрощення кількісної оцінки очікуваної економії була побудована регресійна залежність між СКО добових графіків навантаження ЕС та сумарної величини очікуваного зниження річних витрат енергосистеми на вироблення електроенергії [3]. Регресійна залежність наведена на рисунку 3

Таблиця 3 – Оптимальний графік навантаження енергосистеми та «оптимальні» графіки навантаження обленерго

Година доби	ОЕС, МВт	Київобленерго, МВт	Харківобленерго, МВт	Днепробленерго, МВт
1	15154	1000	1250	3900
2	14815	1000	1250	3900
3	14598	1000	1250	3900
4	14519	1000	1250	3900
5	14659	1000	1250	3900
6	15067	1000	1250	3900
7	15913	1000	1250	3900
8	15976	762,1	1057	3429
9	15977	600	708	3202
10	16477	600	700	3200
11	16549	600	700	3200
12	16335	600	700	3200
13	16157	600	700	3200
14	16180	600	700	3200
15	16181	600	700	3200
16	16375	600	700	3200
17	16910	600	700	3200
18	17028	600	700	3200
19	16755	600	700	3200
20	16427	600	700	3200
21	16032	601	700	3200
22	15977	663	759	3477
23	14821	600	700	3200
24	15859	1000	1250	3900

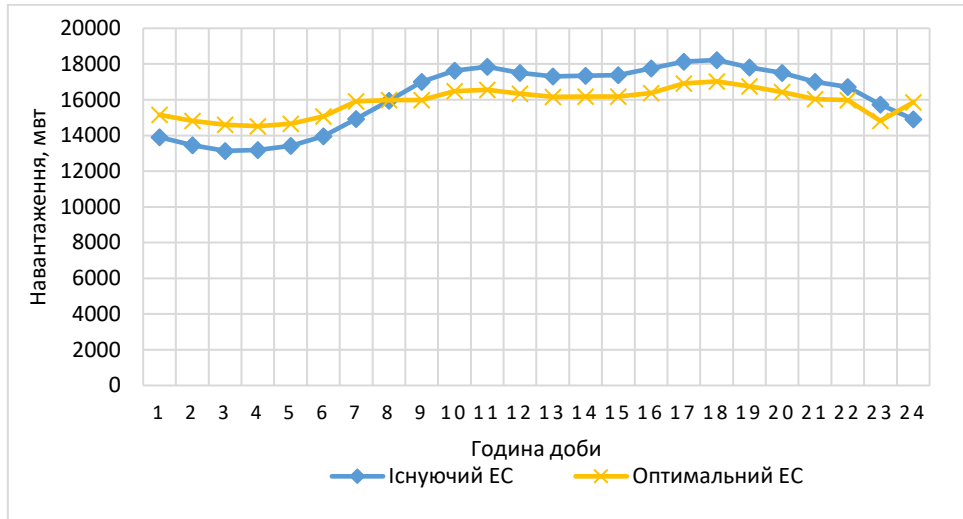


Рисунок 2 – Існуючий та оптимальний графік навантаження ЕС станом на 21.12.2016 р.



Рисунок 3 - Регресійна залежність між СКО добових графіків навантаження ЕС та сумарній величині очуківаного зниження річних витрат енергосистеми на вироблення електроенергії

Для оцінки максимальної економії витрат ЕС, що виникає при покритті оптимального графіку навантаження, необхідно визначити СКО добових значень потужності цього графіку. Для оцінки величини максимальної винагороди кожної з обленерго, що приймають участь в регулюванні, необхідно визначити коефіцієнти індивідуального впливу на зміну графіка навантаження енергосистеми кожної з обленерго.

$$K_{\text{інд.впл.і}} = \frac{(D_{\text{існ.}}^{\text{ЕС}} - D_{\text{існ.і}}^{\text{ЕС}})}{(D_{\text{існ.}}^{\text{ЕС}} - D_{\text{опт}}^{\text{ЕС}})} \cdot 100\%,$$

де $D_{\text{існ.і}}$ – дисперсія існуючого графіка навантаження і-ої групи споживачів у відповідний режимний день.

Для визначення цих коефіцієнтів необхідно визначити дисперсію існуючого графіка навантаження енергосистеми, а також її графіків, що сформовані в результаті зміни конфігурації графіків навантаження кожної з обленерго (від існуючого до оптимального). Після визначення даних коефіцієнтів індивідуального впливу кожної з ЕПО, пропорційно їм визначають максимальну економію витрат енергосистеми на вироблення електроенергії та

розподіляють між ними.

Отримані результати коефіцієнтів індивідуального впливу кожної з ЕПО наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Коефіцієнт індивідуального впливу кожної з облэнерго

Облэнерго	Коефіцієнт індивідуального впливу
Київоблэнерго	0,346
Харківоблэнерго	0,493
Дніпроблэнерго	0,473

На рисунках 4-6 зображено існуючі та «оптимальні» графіки навантаження для кожної з груп споживачів на прикладі режимного дня 21.12.2016.

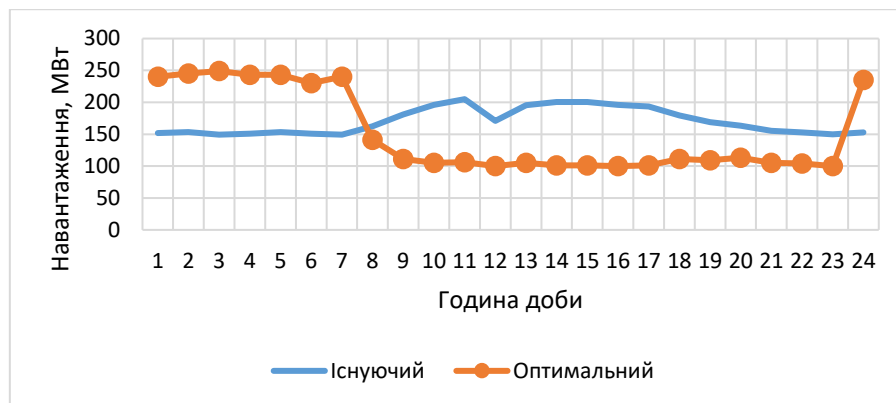


Рисунок 7 – Існуючий та «оптимальний» графіки навантаження промислових споживачів Київоблэнерго 21.12.2016 р.

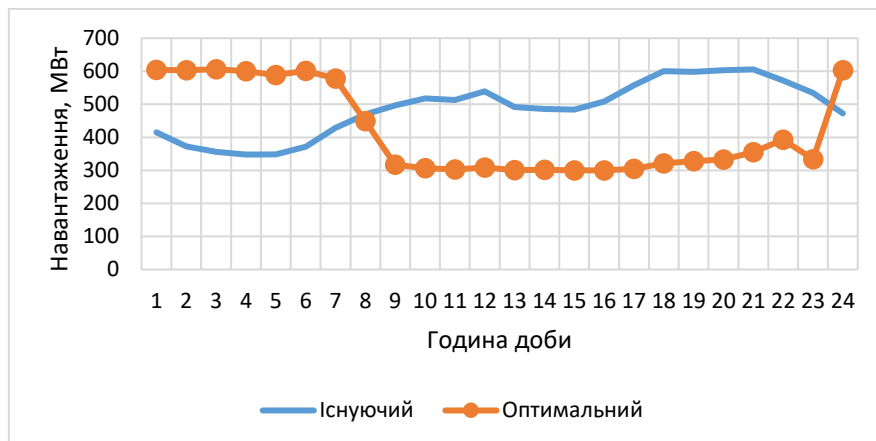


Рисунок 5 – Існуючий та «оптимальний» графіки навантаження побутових споживачів Київоблэнерго 21.12.2016 р.

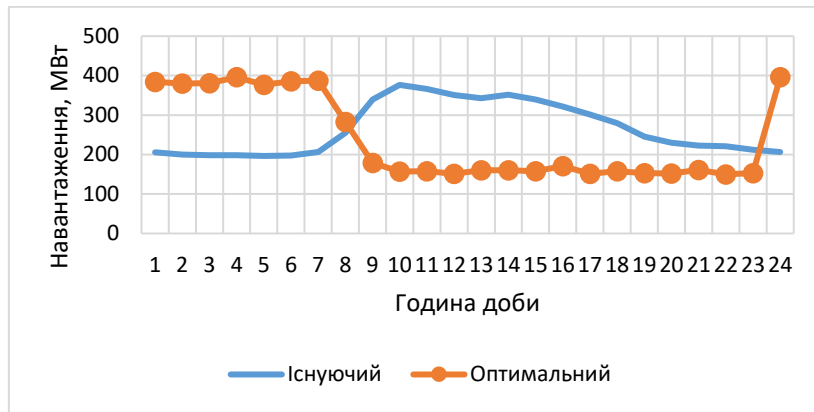


Рисунок 6 – Існуючий та «оптимальний» графіки навантаження промислових споживачів Харківобленерго 21.12.2016 р.

Висновки. Проведення даних розрахунків, а саме вирішення оптимізаційної задачі, дає нам змогу побачити, якими саме повинні бути навантаження ЕПО для того, щоб добовий графік навантаження енергосистеми мав найбільш «оптимальну» конфігурацію.

Проведені розрахунки дають нам змогу побачити результати впровадження запропонованого стимулюючого способу адресного управління попитом споживачів на електричну потужність. Після чого можемо зробити висновки, що даний спосіб можна впроваджувати для використання.

Список використаних джерел

1. Оценка влияния изменения спроса потребителей на электрическую мощность на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы/ В.Ф.Находов, А.И.Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д.А.Мединцева // Наукові вісті 2016. № 1- С.31-38.
2. Определение первоочередных направлений совершенствования дифференцированных тарифов на электрическую энергию / В.Ф.Находов, А.И.Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Ю.Н.Исаенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. - № 6/1(78). – С. 24 – 32.
3. Находов В.Ф. Оцка потенциала снижения затрат энергосистемы в результате выравнивания суточных графиков ее электрической награвзки [Текст] / В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, В.В. Чекамова // Наукові вісті НТУ«ХПІ». – 2016. – № 4.(1176) – С.21–31.

УДК 621

В.В. Прокопенко канд. техн. наук, доцент; **В.В. Коротенко** магістр

Т.В. Гребенюк, канд. техн. наук

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

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА ПОРІВНЯННЯ ЙОГО З ІНШИМИ МЕТОДАМИ

Показано порівняння методів прогнозування електричного навантаження на підприємствах з переробки зернових: регресійного аналізу, нейронних мереж, нечітких нейронних мереж. Порівняння підходів ґрунтується на вирішенні завдання помісячного прогнозування величини електричного навантаження.

Ключові слова: прогнозування енергоспоживання, регресійний аналіз, штучні нейронні мережі.

The comparison of methods for predicting electric load in grain processing enterprises: regression analysis, neural networks, fuzzy neural networks. Comparison of approaches is based on solving the problem of monthly forecasting of the electric load.

Вступ.

Прогнозування електричного споживання забезпечує основну вихідну інформацію для прийняття рішень при управлінні.

Більшість алгоритмів прогнозування електричного споживання, розроблених в електроенергетиці, являють собою комбінацію різноманітних статистичних процедур. Існують методи прогнозування, в яких проводиться виділення так званої базової складової в змінах навантаження. Крім цього є методи, в яких зміни навантаження розглядаються як випадковий процес. Однак точне моделювання досить непросте через нелінійні і складні відносини між енергоспоживанням і факторами, від яких воно залежить. Крім цього слід зазначити, що існуючі методи прогнозування електроспоживання не можуть працювати з неповними даними, в той час як в реальному житті часто доводиться мати справу саме з такою інформацією. Тому необхідні нові підходи, методи для прогнозування електричного споживання, які б могли враховувати дані різного роду, вміли працювати з неточними, неповними вхідними даними. Одним з таких нових, що розвиваються підходів є метод, заснований на нейронних мережах, що отримав назву нечіткі нейронні мережі. Такий метод може використовувати заздалегідь відому інформацію, навчається, прогнозує, виконує класифікацію образів і крім цього нечіткі нейронні мережі є достатньо наочними для користувача.

Аналіз стану питання.

Для того щоб управляти будь-якою системою або об'єктом, необхідно прогнозування. При керуванні електроенергетичними системами одним з інструментів передбачення для прийняття управлінських рішень є прогнозування електричного навантаження. Прогнозування електроспоживання грає важливу роль в управлінні потужними підприємствами. До теперішнього часу розроблено велику кількість методів і моделей прогнозування електричного навантаження. Аналіз розроблених методів прогнозування показав, що практичне застосування їх пов'язане з певними труднощами. Одні методи призводять до значних погрешностей в оцінці прогнозованих величин, інші через складності математичного апарату не отримали широкого застосування для вирішення практичних

завдань електроенергетики. Тому проблема розробки методики прогнозування навантаження вельми актуальна.

Мета роботи – підвищення точності прогнозування енергоспоживання підприємств з переробки зернових.

Методи прогнозування. Основні положення штучних нейронних мереж і нечітких нейронних мереж.

Порівняння даних підходів ґрунтується на вирішенні завдання добового прогнозування величини електричного навантаження. Основними критеріями порівняння цих методів є найменша помилка прогнозування (точність), працездатність при неповній вхідній інформації, стійкість до перешкод (іншими словами стійкість до спотвореної, неточної інформації). В якості вихідних даних використовується архів споживання електроенергії, вологість продукції, яка підлягає переробці та температури навколишнього середовища в цілому за робочий період. Слід зауважити, що вхідні параметри задавалися інтервально, тобто для кожного з них вказувалися мінімальні і максимальні значення. Прогнозування електричного навантаження виконувалося окремо для робочих днів і окремо для вихідних днів.

Вперше нейронні мережі в енергетиці були використані в 1991 році. Але лише в наш час на них почали звертати увагу спеціалісти, які займаються прогнозуванням, в тому числі споживанням енергоресурсів.

Нейронні мережі - це нелінійні функції, які спроможні виконувати аппроксимації нелінійних залежностей. Виходи штучної нейронної мережі являються лінійними або нелінійними математичними функціями її входів, а в свою чергу входи можуть бути виходами інших мережевих елементів. Перевагою технології нейронних мереж є інтелектуальна обробка, яка може імітувати роботу людського мозку. Недоліком є те, що процес навчання є відносно повільним, та це не гарантує схожості між фактичними та прогнозованими даними. Чим складніша штучна нейронна мережа, тим точніше відбувається прогнозування. Вибір структури штучної нейронної мережі здійснюється в відповідності з особливостями та складністю завдання.

Нейронні мережі можуть виконувати такі функції: аппроксимація, класифікація, прогнозування, оцінювання. Перевага їх традиційним моделям обумовлено тим, що при цьому не потрібно побудови моделі об'єкта, не губиться працездатність при неповній вхідній інформації. Однак нейронні мережі все ж мають недоліки. Відомо, що нейронні мережі автоматично можуть набувати, накопичувати знання. Але сам процес їх навчання проходить досить повільно, а подальший аналіз вже навченої нейронної мережі є складним. Багато з цих недоліків можуть бути вирішені за допомогою систем з нечіткою логікою.

Саме нечітке управління виявляється найбільш корисним, в тому випадку якщо технологічні процеси є занадто складні ми для аналізу за допомогою загальноприйнятих кількісних методів або коли вихідна інформація інтерпретується неточно, невизначено. Нечітка логіка, на якій засновано нечітке управління, ближче за духом до людського мислення. Слід зазначити, що системи, в яких застосовується нечітка логіка, дозволяють вирішувати завдання прийняття рішень, розпізнавання образів, класифікації даних і багато інших. Однак вони не можуть автоматично навчатися і здобувати нові знання. Для користувача такі системи є зручними ще й тим, що вони дозволяють йому бачити структуру системи нечіткого виведення і виконувати в ній необхідні зміни. Резюмуючи вище сказане можна помітити, що штучні нейронні мережі і системи з нечіткою логікою еквівалентні один одному. Це твердження лягло в основу апарату нечітких нейронних мереж. Основна ідея нечітких нейронних мереж за лягає у тому, що використовується існуюча вибірка даних для визначення параметрів функцій приналежності, які найкраще відповідають деякій системі логічного

висновку, тобто висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки. А для знаходження параметрів функцій приналежності використовуються алгоритми навчання нейронних мереж. Такі системи можуть виконувати заздалегідь відому інформацію, навчатися, здобувати нові знання, прогнозувати часові ряди, і крім цього вони є цілком наочними для користувача. Процес прогнозування навантаження може складатися з наступних етапів: підбір архітектури нечіткої нейронної мережі; вибір навчальних і тестових даних; тренінг мережі; тестування мережі на контрольному безлічі даних; використання мережі як засіб прогнозування.

Регресійний аналіз

Регресійний аналіз має найбільш широке застосування в енергетиці. Методи регресійного аналізу зазвичай використовуються для моделювання взаємозв'язків споживача енергоресурсів з іншими факторами, наприклад, для підприємств з переробки зернових це вологість продукції, градус-доба та тип продукції.

Регресійний аналіз - статистичний метод дослідження встановлення впливу однієї або декількох незалежних змінних на залежну змінну. Незалежні змінні інакше називають регресорами або предикторами, а залежні - критеріальними. Термінологія залежних і незалежних змінних відображає лише їх математичну залежність, а не причинно-наслідкові зв'язки. Регресійний аналіз проводиться на основі побудованого рівняння регресії і визначає частку кожної незалежної змінної в варіації досліджуваної (прогнозованої) залежною змінною величини. В результаті, основним завданням регресійного аналізу є визначення впливу чинників на результативний показник (в абсолютних показниках). Перш за все для цього необхідно підібрати і обґрунтувати рівняння зв'язку, яке відповідає характеру аналітичної стохастичної залежності між досліджуваними ознаками. Рівняння регресії показує як в середньому змінюється результативна ознака під впливом зміни факторних признаков. Визначення параметрів множинної регресії вимагає трудомістких розрахунків із застосуванням комп'ютерних систем. Однак отримані результати будуть достовірними і можуть широко використовуватися в економічній та управлінській діяльності перш за все для складання довгострокових прогнозів, а однофакторна модель може бути використана для короткострокових прогнозів. В результаті можна відзначити такі недоліки регресійного аналізу моделі, які мають дуже маленьку складність, можуть виявитися неточними, а моделі, які мають надлишкову складність, можуть виявитися перенавчання; - даний метод є статистичним і не враховує аргумент часу, а, отже, не цілком придатний для випадку прогнозування показників електроспоживання.

Переваги: простота обчислювальних алгоритмів, наочність та інтерпритованість результатів. Недоліки: порівняно невисока точність прогнозу, відсутність пояснювальної функції, суб'єктивний характер вибору виду конкретної залежності.

Висновки

Як показує проведене порівняння використання методів моделювання при вирішенні завдання вибору і побудови моделі прогнозування електроспоживання, що задовольняє всім вимогам не існує. Всім розглянутим математичним моделям притаманні певні недоліки, що обмежують їх універсальне застосування в даній задачі. Так, структуру штучної нейронної мережі необхідно створювати з самого початку, а класичний регресійний аналіз не враховує змінну часу, та недостатньо точний. Кожен метод потрібно підлаштовувати під конкретне завдання та об'єкт.

Список використаних джерел

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. / С. Хайкин. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
3. Мозгалин А.В. Методика обеспечения точного почасового прогнозирования электропотребления промышленных предприятий на сутки впе- ред. – Вестник МЭИ. – 2007. – № 2.
4. Бэнн Д.В., Фармер Е.Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 200 с.
5. Валь П.В. Прогнозирование электропотребления с использованием авторегрессионного метода / П.В. Валь, А.С. Торопов // XVI Международная научно-практическая конференция (современная техника и технологии), 2009 - С. 23-24.
6. Круглов В.В. Нечеткая логика и нейронные сети/В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. М.:Физматлит, 2001. – 221 с.
1. Osovskiy S. Neural networks for information processing / Trans. from the Polish ID. Rudinsky. - Moscow: Finance and Statistics, 2004. - 344 p.
2. Khaikin S. Neural networks: full course, 2nd edition: Trans. with English. / S. Khaikin. - M.: Publishing house "Williams", 2006. - 1104 p.
3. Mozgalin AV Method for ensuring accurate hourly forecasting of power consumption of industrial enterprises per day ahead. - Bulletin of MPEI. - 2007. - No. 2.
4. Bann D., Farmer E.D. Comparative models of electric load forecasting: Per. with English. - Moscow: Energoatomizdat, 2007. - 200 c.
5. Val PV. Forecasting power consumption using the autoregressive method. Val, A.S. Toropov // XVI International Scientific and Practical Conference (modern technology and technology), 2009 - P. 23-24
6. Kruglov V.V. Fuzzy logic and neural networks / V.V. Kruglov, M.I. Long, R.Yu. Golunov .- M.: Fizmatlit, 2001. - 221 p.

Трофимишин О.О., магістрант; **Ткаченко В.В.**, к.т.н, доц;

Журавльов А.О., старший викладач

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

МОДЕЛІ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОЇ РЕКОНФІГУРАЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Реконфігурація розподільної мережі залишається хорошим варіантом для зменшення технічних втрат. Однак, при використанні великих розподільних мереж цю нелінійну комбінаторну проблему нелегко оцінити точними методами, це вимагає багато часу для обчислень. Для вирішення проблем такого роду деякі дослідники вважають за краще використовувати метаевристичні методи за рахунок швидкості зближення, майже оптимальних рішень та простого програмування. Деякі роботи спеціалізуються на темах, що стосуються оптимізації реконфігурації енергетичної мережі, і намагаються охопити більшість прийомів. Але це не дозволяє правильно деталізувати використання кожної методики, що важливо для визначення тенденції. В цій роботі розглядаються цільові функції та обмеження, що використовуються в реконфігурації розподільної мережі, з найбільш використовуваними метаевристиками.

Ключові слова: комбінаторні проблеми; розподільні мережі метаевристика; оптимізація; реконфігурація.

The reconfiguration of the distribution network remains a good option for reducing technical losses. However, when using large distributive networks, this nonlinear combinatorial problem is not easy to evaluate by precise methods, it takes a lot of time for calculations. To solve this kind of problem, some researchers prefer to use metaheuristic methods at the expense of the speed of convergence, almost optimal solutions and simple programming. Some works focus on topics related to optimizing the reconfiguration of the power grid, and try to reach the majority of techniques. But this does not allow us to properly detail the use of each method, which is important for determining the trend. In this paper, the target functions and constraints used in the reconfiguration of the distribution network, with the most used metaheuristics, are considered.

Keywords: combinatorial problems; distribution networks; metaheuristics; optimization; reconfiguration.

Вступ.

На розподільну мережу впливають високі втрати потужності внаслідок зниження напруги, що забезпечує вищі струми в порівнянні з тими, що знаходяться в системах передачі. Це відбувається тому, що опір провідників протистоїть струму, тим самим розсіює енергію як тепло (тобто втрати потужності). Оператори розподільних систем мають декілька альтернатив для вирішення цієї проблеми. Найкращі з них: використання розосередженої генерації [1], встановлення конденсаторів [2], реструктуризація подач [3] та реконфігурація мережі [4, 5]. Реконфігурація є хорошим варіантом, оскільки мережа може бути оптимізована з існуючими комутаторами або шляхом інвестування грошей для оптимізації топології мережі і тим самим зменшення втрат електроенергії.

Аналіз стану питання.

Реконфігурація розподільної мережі передбачає зміну топології мережі за допомогою з'єднувальних та секційних перемикачів, які бувають "ввімкнені" та "вимкнені" відповідно. Це комбінаторна нелінійна задача, обмежена електричними властивостями елементів

енергетичної системи. Метою цього процесу є зменшення втрат потужності шляхом визначення найкращої комбінації перемикачів у прийнятний термін. Проте точні алгоритми вимагають багато часу, щоб знайти рішення, тоді як метаевристика може оцінювати різні комбінації з більш швидкою конвергенцією.

Основними факторами впровадження реконфігурації є:

1. Розподільна мережа страждає від незбалансованості генеруючої потужності та навантаження, що впливає на якість електроенергії та ціни на електроенергію.
2. Середня втрата потужності енергетичних комунікацій становить приблизно 12-14% від загального обсягу споживання електроенергії, коли, за оцінками, 60-70% збитків втрачається у розподільній мережі.

Мета роботи: представлення найбільш використовуваних цільових функцій та обмежень щодо проблеми реконфігурації розподільної мережі.

Методики, матеріали і результати досліджень.

Дослідження проводилися на основі баз даних Scopus та ISI Web of Science для статей у журналах та конференціях. Часові рамки щодо статей в базах даних були визначені між 2011 і 2016 роками. Найбільш часто використовуваними цільовими функціями є зменшення втрат потужності, а потім покращення профілю напруги та покращення індексу навантаження. Найчастіше використовуваними рівняннями є (1) - (5). Крім того, часто використовуваними обмеженнями є баланс потужностей, порогові напруги, порогові струми, подача навантажень і кількість гілок.

1. Формування цільових функцій для задачі реконфігурації розподільної мережі зменшення втрат потужності[6].

Рівняння для мінімізації технічних втрат потужності (1), де nbr - загальна кількість гілок, R_l - опір лінії l , а I_l - струм у гілці l :

$$\min P_{loss} = \sum_{l=1}^{nbr} R_l I_l^2. \quad (1)$$

Покращення профілю напруги[7].

Рівняння для покращення профілю напруги (2), де ΔV_D являє собою зміну напруги, V_1 - рівень напруги мережі (базова напруга), а V_i - напруга у вузлі i :

$$\min \Delta V_D = \max \left(\frac{V_1 - V_i}{V_1} \right) \forall i = 1, 2, K, N. \quad (2)$$

Покращення індексу навантаження[8].

Рівняння для індексу профілю навантаження (3) - (5), де LUI - індекс використання лінії, S_i - повна потужність, що протікає в гілці i , $S_i^{\max}$ - порогове значення потужності для гілки i , S_{nbr} - повна потужність у гілці n , $S_{nbr}^{\max}$ - порогове значення повної потужності для гілки n , X - вектор LUI , а LBI - індекс урівноваження навантаження:

$$LUI = \frac{S_i}{S_i^{\max}}, \quad (3)$$

$$X = \left[\frac{S_i}{S_i^{\max}} K \frac{S_{nbr}}{S_{nbr}^{\max}} \right], \quad (4)$$

$$\min LBI = \text{var}(X). \quad (5)$$

Мінімізація операцій переключення[9].

Рівняння (6) мінімізує загальну вартість обслуговування завдяки операціям перемикачів в розподільній мережі, де SW_c - це вартість перемикачів виїзною бригадою неавтоматизованих мереж. N_{SW} - це загальна кількість перемикачів, встановлених у розподільній мережі, x_i - стан перемикача i після реконфігурації, а x_{i0} - стан перемикача i перед

реконфігурацією, він рівний 1 для замкнутого перемикача і 0 для розімкнутого:

$$\min SW_{cost} = SW_c \cdot \sum_{i=1}^{N_{sw}} |x_i - x_{i0}|. \quad (6)$$

2. Формування обмежень для задачі реконфігурації розподільної мережі

В задачі реконфігурації розподільної мережі використовується кілька обмежень. Далі представлено найчастіше використовувані обмеження.

Баланс потужностей.

Баланс потужностей представлений в (7), де вираз $g(x)$ являє собою потік електроенергії, який повинен бути рівним нулю:

$$g(x) = 0. \quad (7)$$

Межі напруги.

Межі напруги всіх вузлів енергосистеми можуть бути представлені як обмеження, визначені в (8). Значення V_{imin} - це мінімальне значення напруги в вузлі i , значення V_{imax} - це максимальне значення напруги в вузлі i , а значення V_i - напруга на вузлі i :

$$V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax}. \quad (8)$$

Відділення порогового струму.

Струм кожної лінії I_l обмежується максимальним струмом кожного елемента I_{lmax} , де I_l - це струм, що протікає у l -гілці, і I_{lmax} - це максимальне значення струму у гілці l :

$$I_l \leq I_{lmax}. \quad (9)$$

Живлення всіх навантажень.

Обмеження, визначене в (10), гарантує, що мережа є радіальною, і всі навантаження з'єднані, де A - матриця сусідніх вузлів. Таким чином, коли визначник A дорівнює 0, система не наповнюється повністю і коли визначник A дорівнює 1 або -1, всі шини отримують живлення:

$$\det(A) = \pm 1. \quad (10)$$

Максимальна кількість гілок.

Для радіальних мереж кількість гілок може бути обмежена, як показано у (11), де nbr - кількість гілок, а N - загальна кількість вузлів:

$$nbr = N - 1. \quad (11)$$

Висновки.

Важливо зазначити, що реконфігурація розподільної мережі вирішує проблему з перенавантаженими та недовантаженими ділянками мережі, що призводить до зменшення втрат потужності, але для вирішення даної задачі необхідно застосовувати декілька цільових функцій і обмежень, які зумовлені електричними властивостями елементів електропостачальної системи.

Підбиваючи підсумок, більшість наукових праць розглядають функцію як покращення мінімізації втрат електроенергії та поліпшення профілю напруги, тоді як в інших роботах розглядаються показники напруги та зсуву навантаження серед інших функцій. Найбільш використовуваними обмеженнями є баланс потужностей, порогові напруги, порогові струми, подача навантажень і кількість гілок.

Необхідно розробити нові підходи, щоб зробити ці моделі швидшими у зв'язку з розширенням енергетичних системи та розвитком технологій. Швидші технології дозволять операторам мережі постійно вдосконалюватись. Дослідники отримають кращі шанси для прийняття оптимальних рішень.

Список використаних джерел

1. Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, and R. Seethapathy, "Optimal Renewable Resources Mix for Distribution System Energy Loss Minimization," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 1, pp. 360–370, Feb. 2010.
2. A. K. Singh and S. K. Parida, "Selection of load buses for DG placement based on loss reduction and voltage improvement sensitivity," in *2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, 2011, pp. 1–6.
3. L. Ramesh and S. Chowdhury, "Minimization of power Loss in distribution networks by different techniques," *Int. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, pp. 521–527, 2009.
4. Y.-K. Wu, C.-Y. Lee, L.-C. Liu and S.-H. Tsai, "Study of Reconfiguration for the Distribution System with Distributed Generators," *IEEE Trans. Power Deliv.* vol. 25, no. 3, pp. 1678–1685, Jul. 2010.
5. R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 317– 325, Feb. 2013.
6. A. Y. Abdelaziz, F. M. Mohamed, S. F. Mekhamer, and M. A. L. Badr, "Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, no. 8, pp. 943–953, Aug. 2010.
7. H. Bagheri Tolabi, M. H. Ali, and M. Rizwan, "Simultaneous Reconfiguration, Optimal Placement of DSTATCOM, and Photovoltaic Array in a Dis-tribution System Based on Fuzzy-ACO Approach," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 210–218, Jan. 2015.
8. A. M. Eldurssi and R. M. O'Connell, "A Fast Nondominated Sorting Guided Genetic Algorithm for Multi-Objective Power Distribution System Re-configuration Problem," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 2, pp. 593–601, Mar. 2015.
9. A. Zidan and E. F. El-Saadany, "Distribution system reconfiguration for energy loss reduction considering the variability of load and local renewable generation," *Energy*, vol. 59, pp. 698–707, Sep. 2013.

УДК 622:658.012.011.56

Бориченко О.В., к.т.н., доцент, **Остапчук Ю.Ю.**, магістрант. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Дана стаття присвячена аналізу доцільності використання методу головних компонент для формування математичної моделі електроспоживання карусельної сушарки з метою оцінювання рівня енергоефективності. В результаті застосування методу головних компонент визначено чинники, які мають найбільший вплив на споживання електроенергії. Точність сформованих регресійних моделей електроспоживання оцінювалась на основі середньої відносної похибки, середньоквадратичної похибки, визначення коефіцієнта варіації.

Ключові слова: метод головних компонент, регресійний аналіз, математична модель, споживання електроенергії, рівень енергоефективності.

This article is devoted to the analysis of the feasibility of using of Principal Component Analysis for the formation of a mathematical model of electric consumption of a carousel dryer to assess the level of energy efficiency. As a result of applying the Principal Component Analysis, factors that have the greatest impact on electricity consumption are identified. The accuracy of the generated regression models of electricity consumption was estimated on the basis of average relative error, mean square error, determination of the coefficient of variation.

Key words: Principal Component Analysis, regression analysis, mathematical model, electric power consumption, level of energy efficiency.

Вступ.

Вдосконалення системи управління споживання електроенергії сприяє підвищенню ефективності енерговикористання. На підприємстві з виробництва алкогольних та безалкогольних напоїв існує необхідність вдосконалення методів аналізу, оцінювання та управління процесами споживання електроенергії для зменшення рівня нераціонального енерговикористання.

З числа відомих методів для вирішення задачі було обрано наступні методи: метод регресійного аналізу та метод головних компонент. В якості об'єкта дослідження взято карусельну сушарку солодового цеху підприємства.

Точність прогнозування споживання електроенергії об'єктом дослідження вимагає аналізу внутрішніх виробничих чинників. Як показало дослідження, може бути значна кількість чинників, які впливають на електроспоживання об'єкта дослідження [3]. Існує необхідність визначення наявності лінійної залежності між чинниками в регресійній моделі з метою уникнення зміщення оцінок параметрів моделі, збільшення коваріації оцінок та незначущості параметрів моделі. Необхідно визначити найбільш інформативні чинники, які слід включити в математичну модель.

Аналіз стану питання.

Згідно чинного національного стандарту України ДСТУ ISO 50006:2016 "Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанови" (ISO 50006:2014, IDT) для кількісної оцінки рівня досягнутої енергоефективності застосовують показники енергоефективності. Базовий рівень енергоспоживання застосовується для порівняння значень енергоефективності протягом

тривалого часу та кількісного оцінювання змін в рівні досягнутої енергоефективності. Для здійснення оцінки рівня енергоефективності традиційно використовується регресійний аналіз [1].

Аналіз можливості застосування методу головних компонент для формування математичної моделі процесу електроспоживання представлено в роботах [3; 4; 6].

Метою роботи є аналіз доцільності використання регресійного аналізу та методу головних компонент для оцінювання та контролю рівня досягнутої енергоефективності на підприємстві.

Методики, матеріали і результати досліджень.

Для вирішення задачі відбору інформативних чинників необхідно визначити такі, які не несуть корисної інформації в контексті вирішення поставленої задачі. До розгляду було обрано чинники, параметри яких можна визначити в період роботи карусельної сушарки. За методом експертних оцінок було опитано фахівців та технічних працівників підприємства, в результаті чого з перелічених показників визначено чинники, які можуть впливати на споживання електроенергії в процесі роботи карусельної сушарки, а саме: продуктивність сушарки (т/добу); продуктивність вентилятора ($\text{м}^3/\text{год}$); вологість зеленого солоду (%); вологість готового солоду (%); відносна вологість зовнішнього повітря (%); температура солоду на вході в сушарку ($^{\circ}\text{C}$); температура солоду на виході з сушарки ($^{\circ}\text{C}$); зовнішня температура повітря ($^{\circ}\text{C}$); атмосферний тиск (мм. рт. ст.); тиск пари на вході в калорифер ($\text{кгс}/\text{м}^2$); швидкість пари на вході в калорифер (м/с); статистичний тиск пари на вході у вентилятор (мм. вод. ст.); статистичний тиск пари на виході з вентилятора (мм. вод. ст.). В результаті аналізу отриманих значень показників, з дослідження було вилучено чинники, значення яких є постійними.

Для проведення аналізу запропонованими методами дослідження було обрано наступні чинники впливу:

- X1 - продуктивність сушарки (т/добу);
- X2 - продуктивність вентилятора ($\text{м}^3/\text{год}$);
- X3 - вологість зеленого солоду (%);
- X4 - відносна вологість зовнішнього повітря (%);
- X5 - температура солоду на вході в сушарку ($^{\circ}\text{C}$);
- X6 - зовнішня температура повітря ($^{\circ}\text{C}$);
- X7 - атмосферний тиск (мм. рт. ст.);
- X8 - статистичний тиск пари на вході у вентилятор (мм. вод. ст.).

Обсяг вибірки - 30 спостережень.

При проведенні аналізу зв'язку між явищами широко застосовується кореляційний та регресійний аналізи. Кореляційний аналіз полягає у визначенні ступеню зв'язку між величинами. Коефіцієнт парної кореляції – це міра тісноти лінійного зв'язку між двома змінними, який оцінюється за вибіркою з n пов'язаних пар спостережень $(x_i; y_i)$ із загальної сукупності X та Y [7]. Обрані чинники було оброблено в програмному забезпеченні MS Excel пакет "Аналіз даних". В таблиці 1 наведено результати кореляційного аналізу.

Для оцінювання мультиколінеарності чинників необхідно обчислити визначник кореляційної матриці:

$$\det(r_{xx}) = \begin{vmatrix} r_{x_1x_1} & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_8} \\ r_{x_2x_1} & r_{x_2x_2} & \dots & r_{x_2x_8} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_8x_1} & r_{x_8x_2} & \dots & r_{x_8x_8} \end{vmatrix} = 0. \quad (1)$$

Визначник матриці дорівнює нулю. Отриманий результат вказує на повну лінійну залежність та мультиколінеарність чинників.

Таблиця 1

Результати кореляційного аналізу чинників

	$X1$	$X2$	$X3$	$X4$	$X5$	$X6$	$X7$	$X8$
X1	1	0,9928	-0,2296	-0,3349	0,1012	0,0715	0,4556	-0,1393
X2	0,9928	1	-0,1901	-0,3515	0,0626	0,0303	0,4734	-0,0763
X3	-0,2296	-0,1901	1	0,4209	-0,5964	-0,5502	-0,4574	0,4403
X4	-0,3349	-0,3515	0,4209	1	-0,1793	-0,0549	-0,6823	0,0076
X5	0,1012	0,0626	-0,5964	-0,1793	1	0,9540	0,3597	-0,5203
X6	0,0715	0,0303	-0,5502	-0,0549	0,9540	1	0,2030	-0,5420
X7	0,4556	0,4734	-0,4574	-0,6823	0,3597	0,2030	1	-0,1179
X8	-0,1393	-0,0763	0,4403	0,0076	-0,5203	-0,5420	-0,1179	1

Застосування регресійного аналізу.

Загальний вигляд початкової регресійної моделі:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8, \quad (2)$$

де a_0 - вільний член рівняння, який не залежить від чинників X_i ; $a_1...a_8$ - коефіцієнти регресії; $x_1...x_8$ - факторні показники.

На рисунку 1 представлено результати виконання регресійного аналізу.

Вывод итогов					
Регрессионная статистика					
Множественный R	0,999236077				
R-квадрат	0,998472738				
Нормированный R-квадрат	0,998296515				
Стандартная ошибка	4,832059697				
Наблюдения	30				
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	3	396881,2623	132293,7541	5665,976365	1,02851E-36
Остаток	26	607,0688237	23,34880091		
Итого	29	397488,3311			
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%
Y-пересечение	224,5855066	34,93328318	6,428983658	8,21748E-07	152,7791154
X2	0,024218209	0,000200436	120,8279311	2,74723E-37	0,023806208
X3	-1,812889371	0,576327945	-3,145586443	0,004121517	-2,997548417
X6	-12,36301149	0,327410458	-37,75997742	3,04596E-24	-13,03601331
			Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
			296,3918979	152,7791154	296,3918979
			0,02463021	0,023806208	0,02463021
			-0,628230325	-2,997548417	-0,628230325
			-11,69000966	-13,03601331	-11,69000966

Рисунок 1 – Результат виконання регресійного аналізу

В результаті застосування регресійного аналізу визначено чинники, які найбільш суттєво впливають на споживання електроенергії карусельної сушарки, а саме: продуктивність вентилятора ($X2$), вологість зеленого солоду ($X3$) та зовнішня температура повітря ($X6$). З отриманих результатів регресійна модель має наступний загальний вигляд:

$$y = 224,58 + 0,02x_2 - 1,81x_3 - 12,36x_6. \quad (3)$$

На рисунку 2 представлено порівняння отриманої базової лінії електроспоживання та фактичного споживання електроенергії карусельної сушарки.

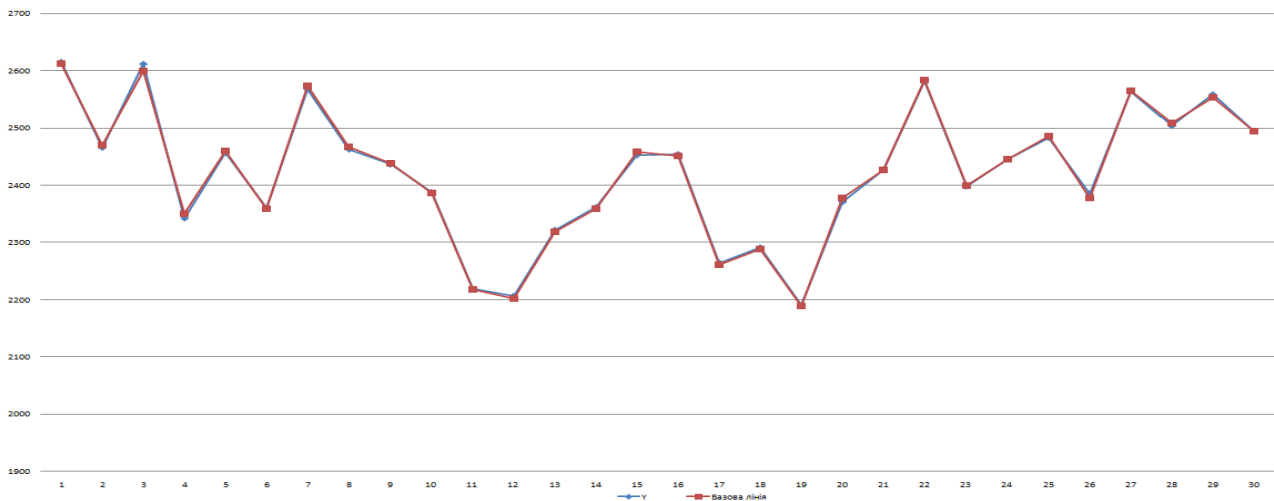


Рисунок 2 – Порівняння отриманих результатів

На рисунку 2 видно, що побудована базова лінія електроспоживання та фактичне споживання електроенергії карусельної сушарки практично співпадають.

Застосування методу головних компонент.

При виконанні аналізу даних існує необхідність створення спрощеної моделі, яка повинна максимально точно описувати вихідні данні. Досить часто чинники мають значну залежність один від одного та їх одночасна наявність є надлишковою. Деякі ознаки/фактори мають неявну залежність. Знаючи залежності та їх силу за допомогою методу головних компонент можна виразити декілька чинників через один, тобто об'єднати, і працювати з більш простою моделлю. Уникнути втрати інформації при цьому неможливо, але метод головних компонент надає можливість їх мінімізувати. Даний метод апроксимує n -мірний простір («хмару») спостережень до еліпсоїда, піввісі якого будуть майбутніми головними компонентами і при проєкції на такі осі (зменшення розмірності) зберігається найбільша кількість інформації [2].

Метод головних компонент заснований на конструюванні чинників (як метод відбору інформативних ознак). Головна ідея методу полягає в об'єднанні декількох корельованих змінних в одну, яка представлятиме собою лінійну комбінацію вихідних змінних. Метою методу є дослідження внутрішньої структури досліджуваної системи величин, "стиснення" цієї системи без істотної втрати інформації шляхом виявлення невеликого числа чинників, які пояснюють мінливість і взаємозв'язок величин [2; 5].

Для виконання розрахунків застосовується програмне забезпечення STATISTICA.

При формуванні моделі для карусельної сушарки солодового цеху методом головних компонент, програмою автоматично було визначено оптимальну кількість головних компонент, а саме: PC1, PC2 та PC3. Отримані головні компоненти є фіктивними, тобто такими, що не мають фізичної реалізації, однак надають можливість об'єднувати декілька реальних кореляційно пов'язаних чинників в один. Інформацію про головні компоненти наведено в таблиці 1.

Таблиця 2

Результати опису головних компонент

Component	Principal Components Analysis Summary (KC-45)					
	Number of components is 3 83,9182% of sum of squares has been explained by all the extracted components.					
	R ² X	R ² X(Cumul.)	Eigenvalues	Q ²	Limit	Q ² (Cumul.)
1	0,430485	0,430485	3,443883	0,155804	0,155172	0,155804
2	0,272802	0,703288	2,182418	0,219417	0,173469	0,341035
3	0,135895	0,839182	1,087158	0,239145	0,197531	0,498623

В результаті застосування методу головних компонент визначено чинник, який має найбільший вплив на споживання електроенергії карусельної сушарки, а саме: продуктивність сушарки (X1).

Значення власних векторів кореляційної матриці представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

Розрахунок векторів кореляційної матриці

Variable	Eigenvector spreadsheet (KC-45)			
	Number of components is 3			
	Variable number	Component 1	Component 2	Component 3
X1	1	-0,316773	0,446328	0,434784
X2	2	-0,300817	0,476882	0,402725
X3	3	0,415995	0,146745	0,208468
X4	4	0,303593	-0,278259	0,580462
X5	5	-0,411974	-0,374660	0,014344
X6	6	-0,373921	-0,422333	0,132422
X7	7	-0,384442	0,246340	-0,381631
X8	8	0,294296	0,308210	-0,324033

Оскільки головні компоненти ортогональні, видалення останніх двох компонент не призводить до змін власних векторів першої головної компоненти (PC1). Отримаємо математичну модель першої головної компоненти:

$$PC_1 = -0,317Z_1 - 0,301Z_2 + 0,416Z_3 + 0,304Z_4 - 0,412Z_5 - 0,374Z_6 - 0,384Z_7 + 0,294Z_8, \quad (4)$$

де $Z_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma_i}$ - стандартизоване значення змінних X_i , $\bar{X}_i$ - середнє значення змінних,

σ_i - середньоквадратичне відхилення.

На рисунку 5 представлено графік власних значень головних компонент.

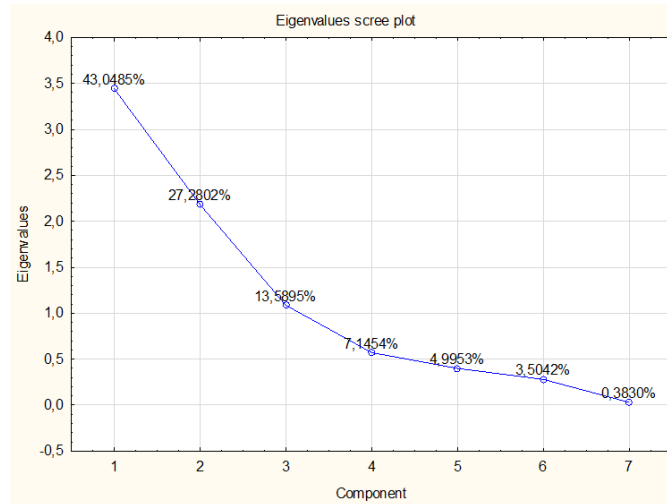


Рисунок 5 - Власні значення головних компонент

Отже, перше власне значення першої головної компоненти охоплює 43,05 % мінливості даних. Однак ця тенденція зменшується в міру додавання до моделі додаткових компонент.

Виконаємо аналіз залежності споживання електроенергії від продуктивності сушарки. В результаті виконання аналогічних розрахунків, математична модель матиме вигляд:

$$y = 0,68 + 0,315Z_1 - 0,023Z_2 - 0,313Z_3 - 0,132Z_4 + 0,347Z_5 - 0,357Z_6 - 0,238Z_7 + 0,138Z_8. (5)$$

На рисунку 6 представлено результати в графічному вигляді.

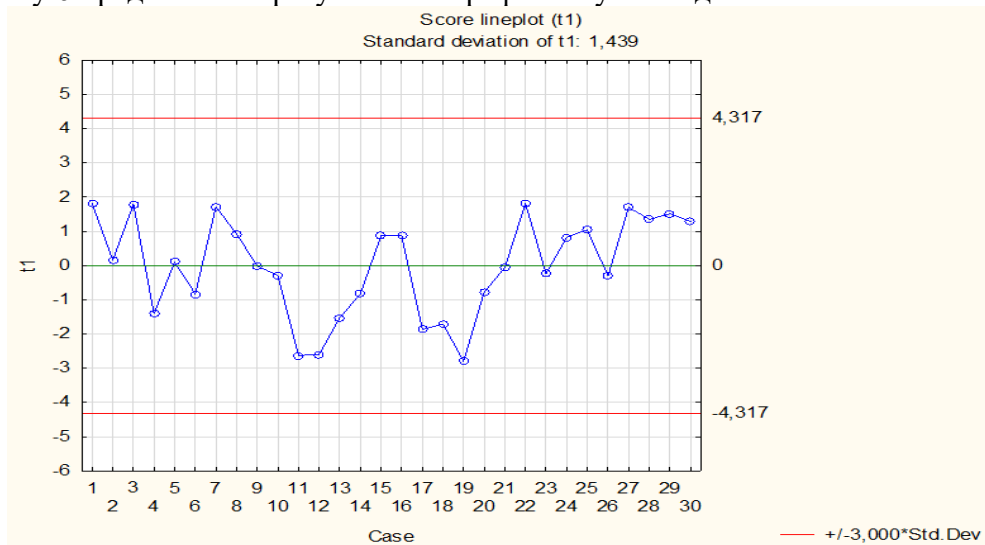


Рисунок 6 – Залежність споживання електроенергії від продуктивності сушарки

На рисунку 7 наведено графік порівняння спрогнозованих значень споживання електричної енергії за регресійним аналізом та методом головних компонент з фактичним електроспоживанням карусельної сушарки за наступний період.

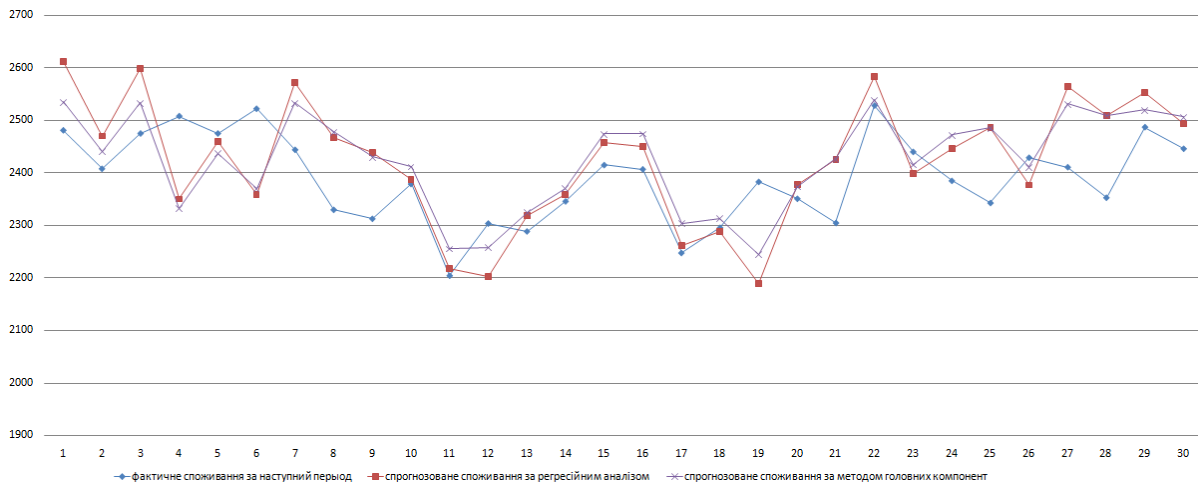


Рисунок 7 – Порівняння фактичних та спрогнозованих значень споживання електроенергії

Оцінювання точності побудованих математичних моделей може бути проведено за такими показниками:

- MAPE (mean absolute percentage error) середня відносна похибка:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|W_{act} - W_{mod}|}{W_{act}} \cdot 100\%; \quad (6)$$

- RMSE (root mean squared error) середньоквадратична похибка:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (W_{act} - W_{mod})^2}; \quad (7)$$

- CV (coefficient of variation) коефіцієнт варіації:

$$CV = \frac{RMSE}{\bar{W}_{act}}, \quad (8)$$

де W_{act} - фактична витрата електроенергії; W_{mod} - спрогнозована витрата електроенергії за таким же набором чинників впливу; $\bar{W}_{act}$ - середнє значення фактичної витрати електроенергії; n - обсяг вибірки [3].

Отримані результати зведено в таблицю 4.

Таблиця 4

Порівняння точності отриманих математичних моделей

Назва методу	MAPE (%)	PMSE (кВт·год)	CV
Регресійний аналіз	3,40	99,43	0,042
Метод головних компонент	3,06	88,17	0,037

Висновки. Результати аналізу показали, що точність моделі, побудованої на основі методу визначення головних компонент вища, ніж для регресійного аналізу, і тому більш доцільно застосовувати метод головних компонент для визначення найбільш суттєвих чинників, які впливають на обсяги споживання електроенергії карусельної сушарки при моделюванні процесу електроспоживання.

Точність сформованих регресійних моделей електроспоживання оцінювалась на основі середньої відносної похибки, середньоквадратичної похибки, визначення коефіцієнта варіації.

Список використаних джерел

- 1 – ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення і настанова» (ISO 50006:2014, IDT).
- 2 – Калинина В.Н. Введение в многомерный статистический анализ: учебное пособие / В.Н. Калинина, В.И. Соловьев. - М., 2003. - 66 с.
- 3 – Комяков А.А. Применение метода главных компонент для формирования математической модели процесса электропотребления на железнодорожном транспорте / А.А. Комяков // Машиностроение: сетевой электронный журнал. - 2016. - № 3. - С. 27-31.
- 4 – Использование метода главных компонент для оценки конкурентоспособности машиностроительных предприятий [Электронный ресурс] / А.В. Кендюхов, Д.О. Толкачев // Маркетинг і менеджмент інновацій. - 2013. - № 4. - С. 219-225. Режим доступа: <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua>.
- 5 – Principal Component Analysis (PCA) and Partial Least Squares (PLS) Technical Notes / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://documentation.statsoft.com>.
- 6 – Кузнецов В.Г. Прогнозирование месячных расходов электроэнергии электрифицированных участков на основе метода выделения главных компонент ряда / В.Г. Кузнецов // Вісник приазовського державного технічного університету. - 2013. - Вип. 26. - С. 216-220.
7. – Э.Е. Тихонов. Методы прогнозирования в условиях рынка : учебное пособие. - Невинномысск, 2006. - 221 с.

Козлов О.В., магістрант; **Ткаченко В.В.**, к.т.н, доц; **Журавльов А.О.**, старший викладач
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ І ВІДБІР ФАКТОРІВ, ЩО ВРАХОВУЮТЬСЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ОЦІНОК ЧАСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Основним завданням електричної мережі є забезпечення сталого постачання електричної енергії споживачам, приєднаних до цієї мережі. Тому якість роботи електричної мережі, перш за все, слід оцінювати надійністю електропостачання споживачів. Важливим методичним аспектом при дослідженні надійності електричної мережі є поняття «відмови». Під відмовою розуміється непередбачене припинення або втрата об'єктом здатності виконувати в необхідному обсязі (розмірі) свої функції понад допустимого часу.

Причинами відмов в електричній мережі в більшості випадків можуть бути пошкодження в обладнанні, апаратурі і конструкціях об'єктів електричної мережі або поява неприпустимих режимних параметрів в елементах мережі, яка потребує вжиття невідкладних дій по їх усуненню.

Незаперечним є той факт, що тривалість раптових перерв електропостачання може істотно вплинути на стійкість технологічного процесу окремих промислових об'єктів і розміру збитків, що наноситься їм. Тому важливим аспектом вирішення завдань управління надійністю ЕПС на всіх рівнях їх ієрархії є оцінка одного з основних показників надійності - часу відновлення електропостачання (τ).

Ключові слова: електрична мережа, надійність електропостачання, відмова, час відновлення електропостачання.

The main objective of the electric network is to ensure a sustainable supply of electricity to consumers connected to this network. Therefore, the quality of the electrical network, first of all, should be assessed by the reliability of electricity supply to consumers, for example, the likelihood that continuous supply of energy to consumers of the required quality will be ensured.

an important methodological aspect in the study of the reliability of an electrical network is the concept of "failure". A failure is an unintended termination or loss by an object of the ability to perform its functions in the required volume (size) over the permissible time.

Causes of failures in the electrical network in most cases may be damage in equipment, equipment and structures of power grid facilities or the appearance of unacceptable mode parameters in network elements, requiring urgent action to eliminate them.

There is no doubt that the duration of sudden interruptions in power supply can significantly affect the stability of the technological process of individual industrial facilities and the extent of damage caused to them. Therefore, an important aspect of solving the problems of managing the reliability of EPS at all levels of their hierarchy is the assessment of one of the main indicators of reliability - the time of restoration of electricity supply (τ).

Keywords: electric network, reliability of power supply, failure, time of restoration of power supply.

Вступ. Розрахунок параметра τ в повітряних розподільних електричних мережах 6-10 кВ значно складніший, ніж в основних енергетичних мережах 35 кВ і вище, що працюють зазвичай в замкнутому режимі. Це пов'язано з тим, що РМ середньої напруги потребують декілька менших витрат, а відмови в них супроводжуються локальними наслідками. До

теперішнього часу створені досить досконалі методи розрахунку енергетичних мереж зазначених напруг [3, 7 і т.д.].

Тривалість відключення всіх або частини навантажень аварійно відключеної ПРЕМ 6-20 кВ визначається тривалістю всіх або частини необхідних операцій по визначенню місця пошкодження, його локалізації, ввімкнення резерву, дотримання заходів безпеки і т.д. У свою чергу тривалість виконання перерахованих операцій залежить від багатьох випадкових факторів і для кожної конкретної СЕП в залежності від обставин може змінюватися в широкому діапазоні. Вияв цих факторів вимагає [4] розробки і використання опису процесу, який починається аварійним відключенням лінії і завершується відновленням її працездатності і включенням всіх приєднаних до лінії навантажень. Основна вимога до такого опису - адекватне врахування впливу на параметр τ оснащення мережі (лінії) [1].

Аналіз стану питання. Основні енергетичні мережі характеризуються досить високим ступенем автоматизації та резервуванням вузлів навантаження (ПС), в тому числі і в мережах більш низьких напруг. Внаслідок цього тривалий (на час, більше часу виконання необхідних післяаварійних оперативних перемикачів) пошкодження вузла навантаження в основній мережі - досить нечаста подія [2], обумовлена частіше за все кількома пошкодженнями одночасно (наприклад, в результаті стихійного лиха).

Перехід від якісного опису процесу відновлення працездатності лінії до кількісного у вигляді математичної моделі дозволяє отримати оцінки параметра τ . Крім того, оскільки модель цього процесу відображає зміни в діях оперативно-виїзної бригади (ОВБ), обумовлені проведенням заходів, спрямованих на зниження тривалості відключення і величини відключеного навантаження (оснащення мережі (лінії) СПН), то вона також є [5] основою для розробки методів розрахунку ефективності і оптимізації цих заходів.

Основні вимоги до моделі [2] - адекватність опису процесу відновлення, компактність і наочність. Задоволення першої вимоги забезпечує точність (відносно) одержуваних з використанням моделі розрахункових результатів, а задоволення двом іншим вимогам - зручність і простоту розрахунків, аналізу та інтерпретації отриманих результатів. Очевидно, що ці вимоги суперечливі [4]. Так, облік в моделі процесу відновлення працездатності лінії елементарних операцій (наприклад, вихід персоналу ОВБ з машини, перехід від неї до мережевого апарату, включення або відключення його і т.п.) неминуче призводить до збільшення складності і громіздкості моделі, тобто до відсутності компактності і наочності.

Мета роботи: полягає у обґрунтуванні застосування прийому розбиття процесу відновлення електропостачання на окремі етапи з боку дій ОВБ

Методики, матеріали і результати досліджень. Концепція побудови математичної моделі процесу відновлення лінії при вирішенні завдань управління надійністю РМ середньої напруги є загальноприйнятою у всіх відомих школах по дослідженню надійності цих мереж: радянської [4], польської [10], французької [11], північноамериканської [12]. Структура і зміст всіх моделей однакові і в загальному вигляді можуть бути представлені [4] формулою:

$$\tau = \sum_s \tau_s = \sum_s \sum_r t_{rs}, \quad (1)$$

де t_s - тривалість s -го етапу процесу відновлення лінії;

t_{rs} - час на виконання персоналом або автоматикою r -ї дії (переїзду, комутаційної операції) на s -му кроці.

Зазначені моделі відрізняються розподілом на етапи процесу відновлення, детальністю опису процесу, проте вони в принципі є [4] гранично строгим інструментом розрахунку показників надійності. Точність оцінки цих показників визначається тільки детальністю опису моделі процесу і точністю використовуваних вихідних даних.

Вважаємо, що процес відновлення працездатності лінії ділиться на наступні етапи[1]:

- від моменту відключення лінії до початку пошуку пошкодження (індекс "д");
- пошук і локалізація пошкодженої ділянки, а також підключення тих навантажень, які можуть бути відключені при відсутності в схемі пошкодженої ділянки ("пл");
- визначення точного місця, характеру і масштабів пошкодження ("ХМП");
- підготовка і проведення ремонтно-відновлювальних робіт (РВР) на пошкодженій ділянці з подальшим підключенням навантажень, відключених до початку ремонту ("РВР").

Час відновлення електропостачання в лінії при пошкодженні i -ї ділянки:

$$\tau_i = \tau_{di} + \tau_{pli} + \tau_{xmpi} + \tau_{rvri}, \quad (2)$$

де τ_{di} , τ_{pli} , τ_{xmpi} , τ_{rvri} - час, витрачений в процесі відновлення лінії на кожному з перерахованих етапів.

Величина τ_{di} визначається [3] відповідно до формули:

$$\tau_{di} = t_{inf} + t_{och} + t_{di}, \quad (3)$$

де t_{inf} - час від моменту відключення до отримання диспетчером мережі інформації про це;

t_{och} - час очікування готовності ОВБ до виїзду на пошкоджену лінію;

t_{di} - витрата часу на цей переїзд.

Тривалість отримання інформації про пошкодження в електричних мережах t_{inf} залежить в першу чергу від наявності телесигналізації (ТС) на диспетчерському пункті (ДП) ПЕС або РЕМ. Якщо ТС з'явився, то диспетчер отримає інформацію через кілька секунд (максимум, через кілька хвилин), і при розрахунках цією змінною можна знехтувати. В іншому випадку (якщо ТС відсутній), величина t_{inf} може вимірюватися як хвилинами, так і (що частіше) годинами [4, 5]. При цьому, як стверджують автори [4], по-перше, немає ніякого аналітичного виразу для часу t_{inf} ; по-друге, практично неможлива статистична оцінка t_{inf} , тому що момент аварійного відключення в ПРЕМ 6-20 кВ в більшості випадків залишається невідомим. З урахуванням сказаного, найбільш доцільна експертна оцінка часу t_{inf} (бажано для кожної лінії окремо) працівниками експлуатації. Якщо ж така оцінка з якихось причин складна, то слід скористатися ЛЛП, і за допомогою БЗ (акумуляючої експертної інформації по ряду РЕМ та ПЕМ) і НЛВ отримають оцінку t_{inf} в залежності, наприклад, від наступних факторів [4, 5] - характеру і відповідальності споживачів, наявності споживачами засобами зв'язку, якістю роботи засобів зв'язку.

Відзначимо, що серед перерахованих відсутні такі найважливіші фактори, які суттєво впливають практично на всі показники надійності (і не тільки надійності) ПРЕМ 6-20 кВ, як сезон і час доби, коли сталося відключення лінії. Автор даної роботи вважає, що при вирішенні завдань управління (оптимізації) надійності ПРЕМ 6-20 кВ в рамках АСУ показники надійності повинні розраховуватися (оцінюватися, прогнозуватися) для кожного з сезонів окремо, і вже потім, при необхідності, зводиться до річного значення. Такий підхід дозволить підвищити ефективність як вибору заходів щодо підвищення надійності з одного боку, так і беручи до уваги фактор невизначеності з іншого. Що стосується часу доби, то доцільно вважати, що аварія сталася в світлий час доби. Це пов'язано з тим, що для ПРЕМ 6-20 кВ, по-перше, ймовірність отримання повідомлення від споживачів про аварію в нічний час (при відсутності ТС) досить мала, а по-друге, в більшості випадків всі роботи на лінії виконуються [5] в світлий час доби.

Час $t_{оч}$ визначається зайнятістю ОБВ аварійними і плановими роботами, яка, в свою чергу, залежить [4] від розмірів і форми обслуговування бригадою території, щільності розташування на ній ліній і мережевих об'єктів, їх пошкоджуваності, дефіцитом в кількості ОБВ і інших чинників. Оскільки частині з перерахованих факторів в реальних умовах можна дати лише лінгвістичну оцінку (наприклад, щільність розташування об'єктів - "висока", "середня", "низька"), то і для прогнозування часу $t_{оч}$ слід використовувати або експертні оцінки, або ЛЛП і НЛВ.

Для визначення витрат часу на переїзд ОБВ на підстанцію або прямо на відключену лінію (наприклад, при відключенні не головного, а секціонуального вимикача) є [4] ряд аналітичних залежностей, досить адекватних реальній ситуації. Однак слід зауважити, що в цих залежностях $t_{дi}$ є функцією від швидкості руху ОБВ (що є цілком зрозумілим), а остання, в свою чергу, залежить від таких факторів, як якість транспортних засобів ОБВ і стан транспортних комунікацій на обслуговуваній нею території.

Час $\tau_{плi}$ в загальному випадку (також як і $\tau_{дi}$) являє собою суму трьох доданків [5]:

$$\tau_{плi} = t_{пi} + t_{дi} + t_{вi}, \quad (4)$$

де $t_{пi}$ - час пошуку пошкодженої ділянки;

$t_{дi}$ - час локалізації пошкодженої ділянки (тобто відділення його від тих ділянок ПЛ, живлення яких може бути відновлено від основного або резервного джерела);

$t_{вi}$ - час відновлення електропостачання споживачів тих ділянок лінії, які можуть бути включені при відключенні зі схеми лінії пошкодженої ділянки.

Тут під ділянкою лінії (під ділянкою лінії будемо розуміти таку її частину, яку не можна розділити відключенням встановлених на лінії комутаційних апаратів. По суті, при відсутності в лінії автоматичних СП, ділянка є зоною ручного відокремлення пошкодження за допомогою наявних на лінії роз'єднувачів і інших апаратів, які керуються вручну (наприклад, вимикачі навантаження), які розглядаються при визначенні $\tau_{плi}$ як роз'єднувачі [2].

З вище сказаного випливає, що визначити час $\tau_{плi}$ доцільно лише при наявності в лінії неавтоматичних СП (спільно з іншими СПН), що в реальних умовах наявні в більшості ліній, що відносяться до ПРЕМ 6-20 кВ.

Найбільш відповідним реальній ситуації способом оцінки часу $\tau_{плi}$ є [4] використання багатокрокових алгоритмів пошуку пошкодженої ділянки [4, 6, 7, 8]. Ці алгоритми моделюють дії (переїзди уздовж лінії, комутаційні операції і т.д.) ОБВ, які виконують вказівки диспетчера РЕМ (ВЕЗ) по послідовності операцій, спрямованих на пошук пошкодженої ділянки, і відрізняються в основному стратегією (схемою) пошуку. Найбільш поширена в експлуатації так звана послідовна схема [4, 7] пошуку пошкодженої ділянки, відповідно до якої послідовний поділ лінії роз'єднувачами в порядку збільшення відстані від підстанції до місця їх установки. Однак на практиці застосовуються і інші стратегії пошуку, наприклад, поділом лінії навпіл [6] або з урахуванням пріоритетності навантажень [8].

Незалежно від обраної схеми пошуку пошкодженої ділянки для визначення часу $\tau_{плi}$ в кожному конкретному випадку впливають такі чинники [1]:

- конфігурація і розміри лінії;
- кількість, вид і місця установки СПН (включаючи розташованих на місцях можливого підключення резервних джерел живлення);
- коефіцієнт кривизни доріг по відношенню до повітряної прямої, яка з'єднує кінцеві точки маршруту переїзду ОБВ;

- якість транспортних засобів ОББ і стан транспортних комунікацій в районі даної лінії, що визначають швидкість пересування ОББ вздовж лінії.

Прелічені фактори є визначальними і при оцінці другого і третього доданків формули - часу $t_{лі}$ і часу $t_{ві}$. Ця обставина робить недоцільним поділ часу $\tau_{пнi}$ на етапи при проведенні розрахунків.

Необхідно відзначити, що так як алгоритми [4, 6, 7, 8] моделюють по суті, не сам об'єкт (ПЛ), а дії людей які управляють цим об'єктом, то ефективна реалізація цих алгоритмів в складі АСУ можлива за допомогою використання елементів продукційних (тобто заснованих на правилах) ЕКС (наприклад, НЛВ).

Витрати часу на пошук точного місця, визначення характеру і масштабів пошкодження на i -й ділянці лінії в загальному випадку визначаються як [4]:

$$\tau_{пнi} = t_{пai} + t_{пni}, \quad (5)$$

де $t_{пai}$ - витрати часу на переїзди ОББ на даному етапі процесу відновлення лінії;

$t_{пni}$ - витрати часу на перехід пішки.

Час $t_{пni}$ визначається за формулою:

$$t_{пni} = \frac{k_{кр} \cdot l_{п}}{V_a}, \quad (6)$$

де $k_{кр}$ - коефіцієнт кривизни доріг;

V_a - швидкість пересування транспорту ОББ уздовж лінії;

$l_{п}$ - протяжність маршруту переїзду від точки, в якій знаходилася ОББ в кінці попереднього етапу процесу відновлення лінії, до початку i -ї ділянки або її частини, що локалізується засобами, які прискорюють пошук пошкодження (наприклад, УКЗ або дистанційним вимірювачем).

Вираз для часу $t_{пni}$ можна отримати [4] виходячи з того, що обхід i -ї ділянки виконується однією ОББ, яка рухається від початку ділянки вздовж найдовшої його частини, яку будемо називати магістраллю ділянки з довжиною l_{mi} . Вважаємо, що якщо при обході зустрічається глухе відгалуження, то ОББ обходить його і, не знайшовши пошкодження, повертається на магістраль. Приймемо, що середня швидкість обходу - $V_{п}$, а швидкість при поверненні від відгалуження (рух без огляду) - $\alpha V_{п}$. Можна показати, що якщо l_i - повна (разом з глухими відгалуженнями) довжина розглянутої ділянки, то:

$$t_{пni} = \frac{l_i}{2 \cdot V_{п}} + \frac{l_i - l_{mi}}{2 \cdot \alpha V_{п}}. \quad (7)$$

Скористаємось спрощеною формулою для знаходження часу $t_{пni}$:

$$t_{пni} = \beta \frac{l_i}{2V_{п}}, \quad (8)$$

де β - коефіцієнт, що враховує подовження маршруту обходу.

Очевидно, що формули (6) і (7) є наближеними, однак істотно підвищити їх адекватність реальній ситуації можна, якщо врахувати (за допомогою показника $V_{п}$ і НЛВ) вплив на $t_{пni}$ таких факторів, як найбільш ймовірний характер пошкодження для даної лінії (або її ділянки), стан зовнішнього середовища, кваліфікацію і сумлінність (трудова дисципліна) робочих ОББ. Про важливість врахування двох останніх чинників говорить те, що (як зазначено в роботі [5]) іноді при низькій кваліфікації або несумлінності перевіряючих

ПЛ тривалість визначення точного місця, характеру і масштабів пошкодження може бути більше доби (тобто за величиною $t_{\text{пнi}}$ може перевищувати всі інші складові часу τ_i разом взяті).

І нарешті, останній доданок формули (2) - час $\tau_{\text{рвpi}}$ можна також розбити на кілька складових:

$$\tau_{\text{рвpi}} = t_c + t'_{\text{ди}} + t_{\text{рpi}} + t'_{\text{ви}}, \quad (9)$$

де t_c , $t'_{\text{ди}}$ - відповідно тривалість збору і прибуття до місця роботи ремонтно-відновлювальних бригад (РВБ), оснащених матеріалами, обладнанням і механізмами;

$t_{\text{рpi}}$ - тривалість власне ремонтно-відновлювальних робіт;

$t'_{\text{ви}}$ - тривалість передачі на ДП інформації про закінчення робіт і включення відремонтованого обладнання або ділянки мережі (визначається аналогічно часу $t_{\text{ви}}$ з формули (4)).

Перш ніж приступити до аналізу складових формули (9), розглянемо такий фактор, що характеризує роботу РЕМ (ВЕЗ), як форма організації оперативного обслуговування.

Існують такі основні форми організації оперативного обслуговування в РЕМ (ВЕЗ) [9]:

- оперативне обслуговування РМ всього РЕМ здійснюється централізовано однією бригадою, яка виконує тільки роботи з оперативного обслуговування (форма ОВБ);
- оперативне обслуговування РМ всього РЕМ здійснюється централізовано однією бригадою, яка виконує як роботи з оперативного обслуговування, так і роботи з технічного обслуговування (форма ОЕБ);
- оперативне обслуговування РМ в РЕМ здійснюється кількома бригадами (кожна в своїй зоні), які виконують як роботи з оперативного обслуговування, так і роботи з технічного обслуговування та капітального ремонту (форма ОРБ).

Очевидно, що при формах організації оперативного обслуговування ОЕБ і ОРБ в більшості випадків (а саме, при відсутності особливо складних видів пошкоджень, що вимагають, наприклад, застосування спеціалізованої техніки) складові формули t_{ci} і $t'_{\text{ди}}$ (9) можна вважати рівними нулю (вважаючи, що після визначення точного місця, характеру і масштабів пошкодження бригада відразу приступає до проведення ремонтно-відновлювальних робіт). При формі ОВБ тривалості t_{ci} і $t'_{\text{ди}}$ можна оцінити аналогічно тому, як це робиться для доданків $t_{\text{ож}}$ і в формулі (3) (природно, розглядаючи перераховані для $t_{\text{оч}}$ і $t'_{\text{ди}}$ фактори відносно РВБ).

Тривалість власне ремонтно-відновлювальних робіт $t_{\text{рpi}}$ залежить [5] від характеру і масштабів пошкодження, кваліфікації та трудової дисципліни виконавців робіт, рівня матеріально-технічної забезпеченості, можливості оперативного управління роботами, впливу зовнішнього середовища (погоди, часу доби і т.п.), і може становити від декількох годин до декількох діб. Беручи до уваги те, що, по-перше, практично всі з перерахованих вище факторів важко формалізуються, а, по-друге, ті фактори які найбільш впливають на характер часу $t_{\text{рpi}}$ і масштаби пошкодження в свою чергу залежать від великої кількості інших факторів, слід вважати доцільним застосування ЛЛП до оцінки $t_{\text{рpi}}$. Такий підхід дозволить істотно підвищити адекватність оцінки часу $t_{\text{рpi}}$ в кожному конкретному випадку.

Висновки. Як видно з наведеного вище аналізу, параметр τ не є однорідною величиною, а оцінка окремих його складових може бути здійснена за допомогою:

- 1) алгоритмів, що моделюють процес управління диспетчером робіт з відновлення лінії ($\tau_{\text{пл}}$, $t'_{\text{в}}$);

2) наближених аналітичних формул (t_d , $t_{хмп}$);

3) використання експертної інформації ($t_{інф}$, $t_{оч}$, t_c , t_{pp}).

Частина факторів, що впливають на параметр τ , має якісний характер.

Зазначені обставини підтверджують думку про неефективність і недоцільність застосування при оцінці параметра τ ймовірісно-статистичних методів. В якості альтернативи останнім в даному випадку пропонується використовувати ЛЛП і пов'язаний з ним НЛВ (який, як зазначалося вище, дозволяє працювати як з невизначеною кількісною та якісною, так і з детермінованою інформацією).

Список використаних джерел

1. Скопинцев В. А. Оценка надежности работы электрической сети / В. А. Скопинцев, В. И. Чемоданов, М. И. Чичинский. // ОАО «Институт «Энергосетьпроект», Москва, 2004.
2. Виноградов А. В., Семенов А.Е., Сияков А.Н. Анализ времени восстановления электроснабжения сельских потребителей при отказах в линиях электропередачи / А. В. Виноградов, А. Е. Семенов, А. Н. Сияков. // Политерра. – 2017. – С. 12-20.
3. Биллinton Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем.- М.: Энергоатомиздат, 1988.- 288 с.: ил.- (Надежность и качество).
156. Оптимизация надежности электроэнергетических систем./Волков Г.А.// М.: Наука, 1986.- 116 с.
4. Прусс В.Л., Тисленко В.В. Повышение надежности сельских электрических сетей.- Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989.- 208 с.: ил.- (Промышленность - селу).
5. Андриевский В.Н. Ремонтно-восстановительные работы в электрических сетях.- М.: Энергоатомиздат, 1984.- 280 с.: ил.- (Промышленность - селу).
6. Смирнов А.И., Гриб Б.А. Схемы поиска междофазных повреждений в распределительных электрических сетях 6-20 кВ.// Энергетик.- 1977.- N 12.- С. 24-26.
7. Прусс В.Л., Лимонов А.И. Модели и алгоритмы оценки эффекта в задачах совершенствования управления сельскими электрическими сетями.//Электронное моделирование.- 1988.- N 1.- С. 66-73.
8. Алгоритм восстановления распределительной электрической сети с учетом приоритетности нагрузок./ Aoki Kenichi, Nara Koichi, Satoh Taiji// Дэнки гаккай ромбунси. С = Trans. Inst. Elec. Eng. Jap. C.- 1990.- 110, N 8.- С. 710-718.- Яп.
9. Рекомендации по выбору основных видов обслуживания электрических сетей./ М.: СПО "Союзтехэнерго", 1987.
10. Popczyk I., Cui S. Efektownost srodkow poprawy ciaglosci zasilania z napowietrznych sieci sriednego napiecia // Energetyka.- 1980.- N 8. -P. 268-271.- пол.
11. Mestres C., Frigaux B., Messenger P. Etude de la continute du service sur un resean acien a moyenne tension // Bulletin de la Direction des Etudes et Rescherehes.- 1967.- N 2.- P. 541-560.- фран.
12. Koval D., Billinton R. Evaluating the effects of isolating-restoration procedures on distribution circuits reliability indices // IEEE Summer Power Meeting.- A-78.- N 516-6.- 1978.- Los-Angeles (California).- P. 381-385.- англ.

Попов В.А. д.т.н., професор; **Коценко О.А.** магістрант

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

ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ

У статті розглянуто можливість використання паливних комірок, котрі працюють разом з електролізними установками для вирівнювання графіка електричних навантажень. Оцінено ефективність запропонованої системи. Розрахунки представлені на прикладі часткового енергозабезпечення котеджного містечка. Виявлено проблеми, які виникають при проектуванні таких систем, а саме вибір електролізної установки та спосіб акумулювання водню.

Ключові слова: паливна комірка, розосереджена генерація, електролізна установка, металогідридні акумулятори.

The article considers the possibility of using fuel cells that work together with electrolysis plants to equalize the schedule of electrical loads. The efficiency of the proposed system is estimated. Calculations are presented on an example of partial power supply of a cottage town. The problems that arise in the design of such systems, namely the choice of the electrolysis plant and the way of hydrogen storage, are determined.

Key words: fuel cell, distributed generation, electrolysis plant, metal hydride accumulators.

Вступ. В технічній літературі мається велика кількість публікацій, де проблема інтеграції в електричні мережі джерел розосередженої генерації розглядалась переважно в двох аспектах. З одного боку, аналізувалися проблеми, яким чином нові генеруючі (та/або акумулюючі) установки будуть впливати на рівень втрат потужності і електричної енергії, як вони діють на режим напруги і показники якості електричної енергії в цілому. З іншого боку, в інших роботах пропонувалися заходи по запобіганню можливого негативного впливу засобів розосередженої генерації на режими електричних мереж, а також методики і конкретні алгоритми, які обґрунтовують їх оптимальні параметри і локалізацію з позицій загальних інтересів енергокомпаній та незалежних виробників електроенергії.

На сьогоднішній день в Україні найбільшої популярності набуло впровадження таких джерел розосередженої генерації як вітрові та сонячні електростанції. Цей ріст пояснюється державною політикою країни, оскільки існує досить суттєве стимулювання приватних інвесторів або підприємств запроваджувати генерацію електричної енергії для продажу її в енергосистему за так званим “зеленим тарифом”. Тому зазначені вище дослідження торкаються саме цих джерел енергії. В вітчизняних нормативних документах не йдеться мова про використання водню, та взагалі водневої енергетики, для можливості продажу виробленої енергії за “зеленим тарифом”. Частково це пов'язано з тим, що широкої популярності зазначені пристрої поки що не отримали. В той же час, низка країн наполегливо розвиває напрямок пов'язаний з використанням водню в електроенергетичній сфері, проводять активні дослідження з метою економічного та практичного обґрунтування його раціональності [1].

Метою роботи є показати можливість використання паливних комірок функціонуючих разом з електролізними установками на прикладі часткового (спільно з централізованим) енергозабезпечення котеджного містечка, а також оцінка ефективності такого рішення. Оцінка ефективності запропонованої структури електропостачання базується на зіставленні графіків

електроспоживання та величин втрат електричної енергії в окремих елементах системи розподілу електричної енергії у випадку традиційного централізованого електропостачання споживачів та при використанні інтегрованої системи електропостачання.

Дослідження повинні включати вирішення таких питань, як розробка алгоритму вибору оптимальної потужності паливної комірки що працює автономно в період максимуму навантаження різної тривалості, вирішення аналогічної задачі при взаємному застосуванні паливної комірки і електролізної установки як при орієнтації на звичайні тарифи на електричну енергію, так і при тарифах диференційованих за часом доби, аналіз різних способів збереження отриманого в електролізній установці водню і обґрунтування найбільш безпечного з них, що є принциповою вимогою при використанні локальних пристроїв водневої енергетики.

Основна частина.

В базовому варіанті, електропостачання котеджів відбувається від двох ТП з двома трансформаторами номінальною потужністю 400 кВА ($\Delta P_{\text{хх}} = 0,83$ кВт, $\Delta P_{\text{кз}} = 5,5$ кВт). Від кожної ТП живиться 9 котеджів з розрахунковою потужністю 100 кВт, $\cos \varphi = 0,92$ кожен. На рисунку 1 представлена умовна схема електропостачання.

Рисунок 1 – Умовна схема електропостачання котеджного містечка

Розподільна мережа (від ЦП до ТП) виконана двома кабелями ААБ2л перерізом 50 мм² і має сумарну довжину 1,68 км. Мережа низької напруги є радіальною, кожен котедж живиться двома кабелями АВВГ перерізом 35 мм². Середня довжина низьковольтних ліній складає 160 м. Добовий графік навантаження котеджа представлений на рисунку 2.

Наведені дані дозволяють розрахувати втрати електричної енергії в елементах системи централізованого енергопостачання (розподільній мережі, розподільних трансформаторах, лініях низької напруги). Результати розрахунків приведені в таблиці 1.

Розглянемо варіант електропостачання котеджного містечка з використанням паливної комірки, працюючої разом з електролізною установкою, або реверсивної паливної комірки, що, по своїй суті, ідентично по ступеню впливу на режим електроспоживання.

В період часу з 18 до 22 години, паливна комірka працює в прямому режимі, генеруючи електричну енергію в мережу, а в період нічного провалу навантаження (з 0 до 6 - ої години) паливна комірka працює в реверсивному режимі (по аналогії з електролізною установкою), споживаючи енергію з мережі з метою вироблення водню. Іншу частину доби навантаження котеджів покривається на 100% за рахунок централізованого енергопостачання.

Для вирішення задачі вибору параметрів устаткування (паливної комірки і електролізної

установки) з метою мінімізації коефіцієнту форми ($k_f \rightarrow \min$) графіка навантаження, який буде сформований, використовуємо ітераційний розрахунок.

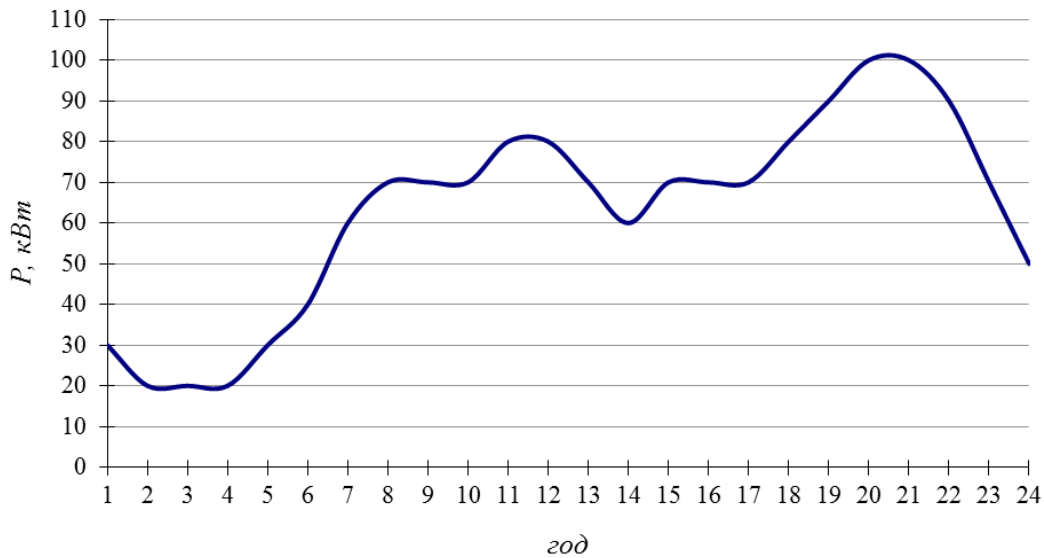


Рисунок 2 – Базовий графік навантаження котеджа

При цьому необхідно відмітити, що так як процес електролізу (виробництво водню), природно не має 100% ККД, тому сумарне споживання електроенергії при використанні зазначеної технології підвищується.

Введемо показник, який відображає зміну сумарного споживання електроенергії на кожному кроці ітераційного процесу:

$$W_i = \frac{W_{(i)}}{W_{(i-1)}}$$

При цьому в якості початкового значення ($W_{(0)}$) розглядається енергоспоживання, котре мало місце без використання як джерела розподіленої генерації, так і електролізної установки.

Ітераційний процес полягає у покроковому (з деяким попередньо вибраним кроком ΔP_{DG}) нарощуванні потужності джерела розосередженої генерації і відповідної зміни потужності електролізної установки ΔP_E . На кожному кроці має місце як зміна (збільшення) сумарного споживання електричної енергії, котре характеризується показником W_i , так і зміна (зменшення) значення коефіцієнту форми графіка навантаження (k_{fi}).

Враховуючи, що показники W_i і k_{fi} мають практично ідентичну розмірність, для вирішення проблеми може бути використаний підхід, зв'язаний з формуванням узагальненого, наприклад, мультиплікативного, критерію оптимальності:

$$\Psi_i = W_i k_{fi}$$

Таким чином бікритеріальна оптимізаційна задача зводиться до однокритеріальної ($\Psi_i \rightarrow \min$), враховуючи, що як перший (k_{fi}), так і другий (W_i) часткові критерії оптимальності потребують мінімізації.

Відповідний алгоритм вирішення зазначеної задачі представляється наступною послідовністю кроків.

1. Для початкового графіка навантаження визначаємо показники $k_f(0)$, $W(0)$, $\Psi(0)$.
2. Вибираємо крок дискретності (ΔP_{DG}) нарощування потужності джерела розосередженої генерації.

3. Знаходимо параметри електролізної установки в функції від потужності джерела розосередженої генерації. Таким чином визначається величина ΔP_E , яка відображає рівень збільшення сумарної потужності в період функціонування електролізної установки.

4. Формуємо новий сумарний графік електричного навантаження.

5. На кожній ітерації визначаємо нові значення $P_{\max(i)}$, $P_{\min(i)}$.

6. Розраховуємо параметри $k_{f(i)}$, $W_{(i)}$, $\Psi_{(i)}$.

7. Порівнюємо значення $\Psi_{(i)}$ і $\Psi_{(i-1)}$. Якщо $\Psi_{(i)} - \Psi_{(i-1)} > 0$, переходимо до пункту 3 даного алгоритму. В протилежному випадку переходимо до пункту 8.

8. Завершаємо розрахунки. Отримані на заключному кроці значення потужності джерела розосередженої генерації та електролізної установки приймаються в якості остаточного рішення.

При реалізації запропонованого алгоритму передбачається, що відносне зменшення коефіцієнта форми графіку навантаження не може бути менше ніж відносне збільшення споживання електричної енергії.

В наведеному алгоритмі потужність паливної комірки визначаємо у відповідності з виразом:

$$P_{FC} = \frac{P}{\eta_{eFC}},$$

де P – потужність, котру паливна комірка повинна генерувати в мережу,

$\eta_{eFC} = 0,6$ - ККД паливної комірки.

Параметри електролізної установки, при яких буде забезпечена можливість вироблення водню в обсязі, що буде достатнім для плануемого режиму роботи паливної комірки заданої потужності, розраховуються у відповідності з наступною формулою:

$$P_{Et} = \frac{1,0135 \cdot P_{FC} \cdot h_{FC} \cdot U_E}{U_{FC} \cdot \eta_E \cdot h_E},$$

де $h_{FC} = 4$ години – час роботи паливної комірки, $h_E = 6$ годин – час роботи електролізної установки, $U_E = 1,7$ В – напруга електролізної установки, $U_{FC} = 0,74$ В – напруга паливної комірки, $\eta_E = 0,7$ – ККД електролізної установки.

В таблиці 2 представлені результати відповідних розрахунків. З наведених результатів видно, що раціональна потужність паливної комірки складає близько 24 кВт, що забезпечує на виході потужність приблизно 14 кВт. При цьому необхідна потужність електролізної установки становить біля 50 кВт.

Таблиця 1 – Втрати потужності в елементах ЕПС без використання джерел розосередженої генерації

Години доби	Навантаження у в.о.	ΔP_{nn}	ΔP_{tr}	ΔP_{pc}
0.00 - 1.00	0,3	2,49	1,016	0,12
1.00 - 2.00	0,2	1,11	0,91	0,05
2.00 - 3.00	0,2	1,11	0,91	0,05
3.00 - 4.00	0,2	1,11	0,91	0,05
4.00 - 5.00	0,3	2,49	1,016	0,12
5.00 - 6.00	0,4	4,42	1,16	0,2
6.00 - 7.00	0,6	9,95	1,573	0,47
7.00 - 8.00	0,7	13,55	1,84	0,64
8.00 - 9.00	0,7	13,55	1,84	0,64
9.00 - 10.00	0,7	13,55	1,84	0,64
10.00 - 11.00	0,8	17,69	2,15	0,83

Продовження таблиці 1

11.00 - 12.00	0,8	17,69	2,15	0,83
12.00 - 13.00	0,7	13,55	1,84	0,64
13.00 - 14.00	0,6	9,95	1,573	0,47
14.00 - 15.00	0,7	13,55	1,84	0,64
15.00 - 16.00	0,7	13,55	1,84	0,64
16.00 - 17.00	0,7	13,55	1,84	0,64
17.00 - 18.00	0,8	17,69	2,15	0,83
18.00 - 19.00	0,9	22,39	2,5	1,04
19.00 - 20.00	1	27,65	2,89	1,29
20.00 - 21.00	1	27,65	2,89	1,29
21.00 - 22.00	0,9	22,39	2,5	1,04
22.00 - 23.00	0,7	13,55	1,84	0,64
23.00 - 24.00	0,5	6,9	1,346	0,32
ΔW_{nn}		301,08		
$\Delta W_{тр}$			42,36	
$\Delta W_{рс}$				14,02
ΔW_{Σ}			357,46	

Графік електроспоживання, що формується при взаємному використанні паливної комірки з електролізною установкою (або реверсивної паливної комірки) наведено на рис. 3.

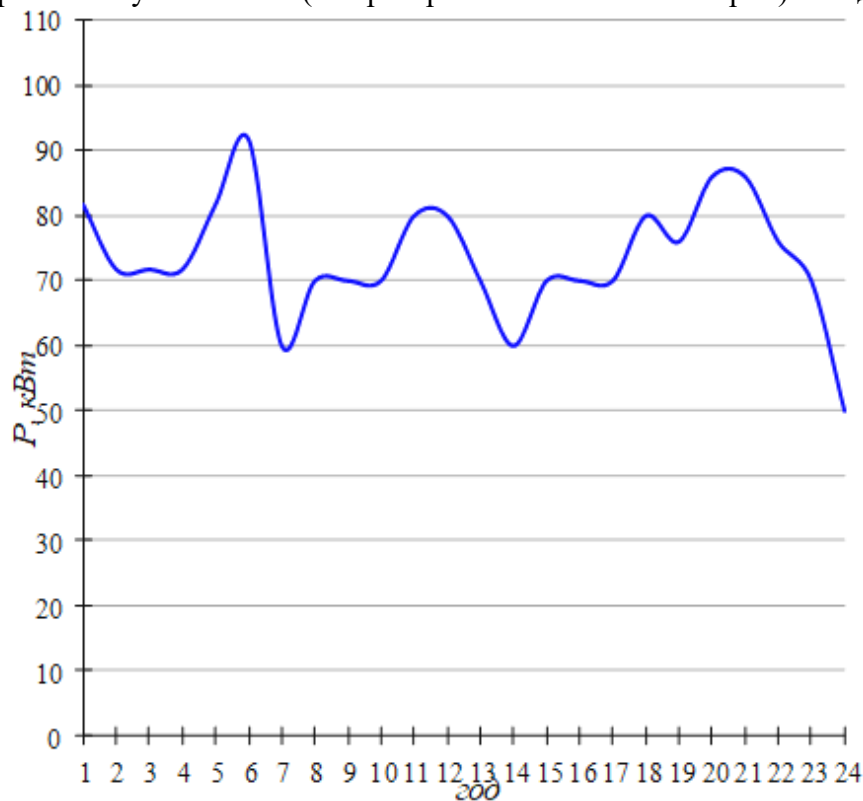


Рисунок 3 – Графік електроспоживання при взаємному використанні централізованого електропостачання, а також паливної комірки разом з електролізною установкою (при умові функціонування електролізної установки в період 0-6 годин)

Таблиця 2 – Визначення раціональних параметрів паливної комірки та електролізної установки (при умові функціонування електролізної установки в період 0-6 годин)

Час суток	P, кВт	ΔP , кВт	2	4	6	8	10	12	14	16
0.00 - 1.00	30		37,391	44,783	52,174	59,566	66,957	74,349	81,740	89,132
1.00 - 2.00	20		27,391	34,783	42,174	49,566	56,957	64,349	71,740	79,132
2.00 - 3.00	20		27,391	34,783	42,174	49,566	56,957	64,349	71,740	79,132
3.00 - 4.00	20		27,391	34,783	42,174	49,566	56,957	64,349	71,740	79,132
4.00 - 5.00	30		37,391	44,783	52,174	59,566	66,957	74,349	81,740	89,132
5.00 - 6.00	40		47,391	54,783	62,174	69,566	76,957	84,349	91,740	99,132
6.00 - 7.00	60		60	60	60	60	60	60	60	60
7.00 - 8.00	70		70	70	70	70	70	70	70	70
8.00 - 9.00	70		70	70	70	70	70	70	70	70
9.00 - 10.00	70		70	70	70	70	70	70	70	70
10.00 - 11.00	80		80	80	80	80	80	80	80	80
11.00 - 12.00	80		80	80	80	80	80	80	80	80
12.00 - 13.00	70		70	70	70	70	70	70	70	70
13.00 - 14.00	60		60	60	60	60	60	60	60	60
14.00 - 15.00	70		70	70	70	70	70	70	70	70
15.00 - 16.00	70		70	70	70	70	70	70	70	70
16.00 - 17.00	70		70	70	70	70	70	70	70	70
17.00 - 18.00	80		80	80	80	80	80	80	80	80
18.00 - 19.00	90		88	86	84	82	80	78	76	74
19.00 - 20.00	100		98	96	94	92	90	88	86	84
20.00 - 21.00	100		98	96	94	92	90	88	86	84
21.00 - 22.00	90		88	86	84	82	80	78	76	74
22.00 - 23.00	70		70	70	70	70	70	70	70	70
23.00 - 24.00	50		50	50	50	50	50	50	50	50
P, кВт			2	4	6	8	10	12	14	16
P _{FC} , кВт			3,3334	6,6668	10	13,334	16,667	20	23,33	26,667
P _E , кВт			7,3915	14,783	22,174	29,566	36,957	44,349	51,74	59,132
P _{сп} , кВт	62,917		64,4312	65,9457	67,4603	68,9748	70,4894	72,0039	73,5184	75,033
P _с , кВт	67,361		67,7277	68,3026	69,0803	70,0541	71,2161	72,5570	74,0673	75,7368
K _f	1,071		1,05116	1,03574	1,02401	1,01565	1,01031	1,00768	1,00747	1,00938
W _i	1510		1546,35	1582,70	1619,05	1655,40	1691,74	1728,09	1764,44	1800,79
Ψ _i	1,0964		1,0759	1,0595	1,0470	1,0379	1,0320	1,0289	1,0282	1,0298

Висновки.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що використовуючи розосереджені джерела живлення (зокрема водневих паливних комірок) можна досягти підвищення рівномірності графіка електричних навантажень і тим самим зменшити навантаження на мережу централізованого електропостачання та зменшити втрати енергії в лініях електропередачі. Тому, доцільно продовжити подальші дослідження відносно використовувати паливні комірки у якості джерел електроенергії наприклад, для приватних домогосподарств, відносно віддалених від централізованих електричних мереж.

Використання паливних комірок разом з електролізною установкою дозволяє зменшити провал навантаження у нічний час (за рахунок споживання електроенергії для

генерування водню) та мінімізувати коефіцієнт форми графіку навантаження і тим самим збільшити ефективність інтегрованої системи електропостачання та зменшити втрати потужності в лініях та трансформаторах.

На сьогоднішній день привабливість водню, як екологічно чистого джерела енергії, його широке застосування сповільнюється високою ціною технології та важкістю забезпечення необхідного рівня безпеки. При цьому не останню роль в цьому грає вибір способу і форми його акумулювання та зберігання [2].

На сьогоднішній день існує багато способів отримання водню, але для систем електропостачання локальних об'єктів найбільш привабливим залишається електроліз. Перевага електролітичного способу полягає в його компактності та в тому, що отриманий водень може бути легко очищений від домішок, тоді як в продуктах переробки викопних вуглеводів містяться деякі забруднюючі речовини, видалення яких ускладнене.

Найбільш перспективним напрямом зберігання водню з точки зору безпеки розглядається використання металогідридних акумуляторів [3]. В основі металогідридної технології лежить здатність окремих металів або їх з'єднань абсорбувати водень. В такому випадку при певній зміні термодинамічних умов (температура та тиск) має місце рекуперація водню. Тому, в подальших роботах будуть розглядатися та досліджуватися системи, які складаються з паливних комірок, електролізних установок та металогідридних акумуляторів.

Список літератури.

1. Amrouche S.O., Rekioua D., Recioua T., Bacha S. Overview of energy storage in renewable energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016. Vol. 1. Pp. 1–14.
2. Lototsky M.V., Yartys V.A., Pollet B.G., Bowman Jr. Metal hydride hydrogen compressors: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014. Vol. 39. No. 11. Pp. 5818–5851.
3. Shuang Y.U., Mays T.J., Dunn R.W. A new methodology for designing hydrogen energy storage in wind power systems to balance generation and demand. *International Conference on Sustainable Power Generation and Supply*. Nanjing, China, 2009.

УДК 338.46

Дмитренко В.М. магістрант; **Коцар О.В.**, к.т.н., доцент

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

УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ ІНСТРУМЕНТАМИ ВНУТРІШНЬОДОБОВОГО РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

В статті систематизовано методи управління попитом на електроенергію, що є необхідною передумовою ефективної фінансової діяльності енергопостачального підприємства. Визначено склад попиту та пропозиції на електроенергію та визначено систему управління попитом на електроенергію інструментами внутрішньодобового ринку електроенергії.

Ключові слова: електроенергія, попит, управління попитом, споживачі електроенергії.

The article describes the methods of managing demand for electricity, which is a prerequisite for the efficient financial activity of the energy supplying enterprise. The composition of supply and demand for electricity is determined and the electricity demand control system is defined by the instruments of the internal electricity market.

Key words: electricity, demand, demand management, electricity consumers.

Вступ. Специфіка електроенергетики та її продукції полягає в тому, що процеси виробництва та споживання відбуваються одночасно і зберігати електроенергію у значних обсягах неможливо, адже її зберігання пов'язане із значними втратами та капіталовкладеннями. На ринку електроенергії короткостроковий дисбаланс між попитом і пропозицією може призвести до втрати стійкості ринку. При цьому можливі дві ситуації: коли переважає пропозиція і коли переважає попит. В першому випадку створюють генеруючі та додаткові потужності для виробництва електроенергії в час пік. Це призводить до зростання витрат і знижує ефективність діяльності суб'єктів енергоринку. Але можливі примусові відключення частини споживачів в умовах дефіциту електроенергії або аварії призводять до зниження споживання, але не попиту. Тому попит на ринку електроенергії не завжди дорівнює споживанню. Це призводить до необхідності управління попитом на електроенергію.

Аналіз стану питання. Необхідність та доцільність управління електровикористанням була обґрунтована ще у 30-х роках у роботах Кукіль-Краєвського. Згодом вирішенням цих проблем займалися вітчизняні вчені. Проблема управління попитом у еоретичному аспекті достатньо ґрунтовно розкрита у працях вітчизняних та зарубіжних вчених. Механізми управління попитом та споживанням електроенергії, використання диференційованих тарифів досліджували О. Згуровець, Г. Костенко, Н. Мица, Н. Находов, Б. Папков та інші. У своїх працях вони проаналізували закордонний досвід застосування методів управління попитом та переваги використання диференційованих тарифів. Питання трансформації архітектури та розвитку електроенергетики на основі сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в своїх працях досліджували такі вітчизняні вчені, як: Б. Стогній [9, 10], О. Кириленко, С. Денисюк, С. Дубовський. У роботах названих авторів доведено, що застосування нових методів управління споживанням електроенергії надає переваги як споживачам, так і енергетичним компаніям, наводяться приклади існуючих технічних можливостей регулювання споживанням з боку споживачів електроенергії. Незважаючи на значну кількість публікацій, питання управління попитом на електроенергію та надійної роботи існуючої енергосистеми недостатньо розкриті в якості економічного механізму та потребують подальшого дослідження стосовно впровадження ринкових механізмів регулювання попиту [2].

Також питанню вирівнювання графіків навантаження ОЕНС України присвячено ряд робіт [4], але в них розглядається лише технічний аспект раціоналізації електровикористання та ціноутворення без урахування прибутковості діяльності енергетичних підприємств на різних сегментах роздрібного ринку електроенергії, необхідності налагодження системи маркетингових комунікацій.

Мета роботи. Удосконалення управління попитом на електроенергію інструментами внутрішньодобового ринку електроенергії з метою підвищення ефективності фінансової діяльності енергопостачального підприємства.

Методики, матеріали і результати досліджень. Під управлінням попитом будемо розуміти цілеспрямований і планомірний вплив енергокомпаній на обсяги, структуру та режими енергоспоживання в регіоні, що обслуговується. Важливо, що при цьому підвищується ефективність використання енергії і розвиток енергогенеруючих (мережевих) потужностей компанії, розглядаються як взаємодоповнювані способи енергопостачання

споживачів. Зекономлена електроенергія виступає в якості додаткового ресурсу, що заміщує виробіток (передачу) на нових установках. В результаті активного впливу на формування попиту на електроенергію і потужність енергокомпанія отримує можливість забезпечити додаткові енергетичні потреби в будь-якому секторі економіки свого регіону з мінімальними витратами. В такій ситуації управління попитом здійснюється в рамках методу інтегрованого планування енергетичних ресурсів, в основу якого покладено принцип узгодження інтересів енергокомпанії, споживачів та регіону (довгострокових суспільних інтересів) [3].

Оскільки виробництво і споживання електроенергії по часу співпадають, то можна виділити найбільш значимі фактори, що визначають динаміку і величину попиту:

- денні коливання попиту, що залежать від часу доби (день / ніч);
- сезонні коливання попиту, пов'язані з порою року (зима / літо), – споживання з метою опалення та кондиціювання;
- рівень завантаженості виробничих потужностей чи інтенсивності, в першу чергу, промислового виробництва.

Управління попитом повинно охоплювати наступні взаємопов'язані процеси:

- широке впровадження ефективних електротехнологій;
- енергозбереження;
- вирівнювання попиту.

Перші два напрямки спрямовані на зниження попиту і представляють демаркетинг, третій – синхромаркетинг – передбачає врівноваження попиту і пропозиції. Перший напрямок пов'язаний з тим, що застосування електротехнологій на виробництві дозволяє економити виробничі ресурси, підвищувати якість робіт та послуг, отримувати екологічний ефект, що базується на гігієні та чистоті електроенергії як носія.

Внутрішньодобовий ринок є важливим ринковим елементом у створенні ефективно функціонуючого ринку електроенергії. Зокрема, внутрішньодобовий ринок дає можливість Учасникам ринку, скорегувати свої торговельні позиції на основі їх ризиків з урахуванням ринкових і системних умов, що змінюються при наближенні режиму реального часу. Здатність учасників ринку корегувати свої позиції також має важливе значення для інтеграції до ринку електроенергії непрогнозованих ВДЕ, таких як енергія вітру і сонячна енергія. Це дозволяє використовувати більш точні короткострокові прогнози для їх виробництва і зменшити їх небаланс в реальному часі [7].

Учасники внутрішньодобового ринку в Україні зможуть корегувати свої торговельні позиції після закриття воріт РДН з урахуванням нової інформації щодо свого виробництва і споживання, роботи ринку і системних умов. Безперервна торгівля працює тільки по принципу розподілу "перший прийшов-перший отримав".

Специфіка електроенергетики полягає в тому, що процеси виробництва та споживання електроенергії відбуваються одночасно і зберігати електроенергію у значних обсягах неможливо, адже її накопичення пов'язане зі значними капіталовкладеннями.

На ринку електроенергії короткостроковий дисбаланс між попитом і пропозицією може призвести до втрати стійкості ринку. При цьому можливі дві ситуації: коли переважає пропозиція і коли переважає попит. У першому випадку відбувається відключення частини енергоблоків. Це призводить до зростання витрат і знижує ефективність діяльності суб'єктів енергоринку. В іншому випадку можливі примусові відключення частини споживачів в умовах дефіциту електроенергії (так звані віялові відключення). Тобто аварійні відключення призводять до зниження споживання, але не попиту. Тому попит на ринку електроенергії не завжди дорівнює споживанню, хоча споживання завжди відповідає генерації.

На противагу законсервованій структурі встановлених генеруючих потужностей України протягом останніх двох десятиріч років істотно змінилася структура споживання

електроенергії. Головною ознакою стало збільшення в електробалансі частки населення, яке має чітке рознесення пікових ранкових та вечірніх навантажень. Крім того, самі піки в абсолютному вираженні також збільшилися через зростання використання електроприладів, у тому числі для охолодження та обігріву помешкань. Не в останню чергу впливають на графік навантаження зміни в розміщенні продуктивних сил, особливо на регіональному рівні.

Енергозбереження в більшості випадків потребує здійснення капіталомістких проєктів, тому енергопостачальні підприємства повинні виявляти та аналізувати технічні, економічні й фінансові особливості енергозбереження з урахуванням умов регіону як у споживачів, так і в своїй власній діяльності [11].

Вирівнювання попиту на електроенергію не потребує значних капіталовкладень з боку енергопостачальних підприємств. Нерівномірність графіків навантаження енергопостачальних компаній протягом доби, тижня, року значно ускладнює роботу ОЕНС України та генеруючих компаній. Особливий інтерес становить добовий графік активного електричного навантаження, що характеризується такими показниками, як максимальне та мінімальне навантаження.

Для вирівнювання графіка навантаження маркетингова діяльність енергетичних підприємств полягає у знаходженні певних споживачів електричної енергії, використання яких для регулювання графіка електричних навантажень було б пов'язане із виключенням негативних соціальних наслідків і наявністю позитивного регулювального ефекту в енергопостачанні і не знижувало б ефективність роботи цих споживачів. Увесь склад споживачів-регуляторів можна поділити на дві групи. До першої належать ті, для яких регулювальні заходи мають на меті зниження максимальних електричних навантажень. Це промислові, найчастіше потужні електроустановки (цементні млини, електрозварювальне і електротермічне обладнання тощо). У другу групу входять споживачі-регулятори, які спеціально створюються для використання їх у нічні години, зокрема теплові установки із системою акумуляування низькотемпературного тепла, що можуть використовуватися для опалення й нагрівання технічної та побутової води [5].

Для споживачів-регуляторів першої групи регулювальні заходи можуть бути здійснені бездодаткових капіталовкладень або із додатковими капіталовкладеннями. Перший спосіб передбачає проведення організаційно-технічної підготовки, пов'язаної, наприклад, зі зміною графіка роботи тих електроприймачів, які без збитків можна перевести на роботу переважно у години, що не збігаються із максимумом навантаження ОЕНС України. До цієї групи заходів належать такі способи організації електроспоживання:

- збільшення продуктивності агрегатів і доробків виробництва (у фазах виробництва з великою продуктивністю задається перервний режим роботи частини агрегатів, при якому утворюються доробки виробництва);
- відімкнення допоміжного обладнання чи проведення профілактики технічного обладнання у години максимального навантаження ОЕНС України, зокрема: перенесення часу зарядження акумуляторних батарей, вимкнення транспортних механізмів, які істотно не впливають на технологічний процес, централізація ремонтних служб для здійснення ремонтних робіт у період максимального споживання із зупинкою на ремонт у цей період найбільшої кількості обладнання, яке необхідне для цього технологічного циклу тощо;
- зміна режиму роботи електромістки агрегатів протягом доби з урахуванням можливостей регулювання електроспоживання.

До загальноорганізаційних заходів, які проводяться без додаткових капіталовкладень, належать також: розподіл вихідних днів підприємств, зсув початку роботи, обідніх і міжзмінних перерв. Але ці заходи безпосередньо стосуються соціально-побутових умов життя і тому повинні здійснюватися дуже обережно.

Використовуючи їх, необхідно враховувати іноземний досвід. Наприклад, у Німеччині широко розповсюджене перенесення часу початку і закінчення робочого дня. Зокрема, на підприємстві "Volkswagen" автомобілі з конвеєрів починають сходити о 5 год. 30 хв. ранку [8].

Серед заходів, які вимагають додаткових капіталовкладень, можна виділити створення споживачів-регуляторів дискретної дії для використання їх у режими позапікового споживання електроенергії. Для забезпечення нормального перебігу технологічного процесу розбитого на окремі ланки, необхідне установа спеціальної буферної місткості для акумуляції і збереження протягом короткого періоду часу газоподібних, рідких і твердих речовин. Крім того, на ряді виробництв можна передбачити встановлення додаткового обладнання, яке випускатиме продукцію у позапікові години.

У ролі споживачів-регуляторів другого типу можна вже сьогодні використовувати електротеплоакумулююче устаткування для нагрівання води у всіх типах домашніх господарств, опалення одноквартирних будинків, виробітку тепла на технологічні потреби сільськогосподарського виробництва.

Окрім заходів спрямованих на вирівнювання попиту протягом доби, у межах маркетингової діяльності енергетичних підприємств необхідно розробляти заходи, спрямовані на вирівнювання сезонних та річних графіків електричного навантаження. Тут як споживач-регулятори можна використовувати сільськогосподарські підприємства, наприклад, іригаційні насосні установки [10].

Мотивація енергокомпаній до управління попитом формується за допомогою як зовнішніх факторів, так і цілеспрямованого впливу з боку регіональних регулюючих органів.

Серед зовнішніх факторів найбільш важливими стимулами в сучасних умовах виступають:

- ✓ зростаючі витрати на будівництво та експлуатацію нових енергоджерел та мереж;
- ✓ невизначеність майбутнього попиту на енергію;
- ✓ посилення конкуренції з боку незалежних (позасистемних) джерел електро- та теплоенергії;
- ✓ регулювання тарифів на енергію.

Разом з тим, наявні такі важливі передумови, як наявність значного потенціалу енергозбереження в різних секторах народного господарства та відносно низькі витрати і терміни окупності інвестицій у підвищенні ефективності енергозбереження. Наприклад, в середньому зекономлена кіловат-година коштує в 3 рази дешевше, ніж вироблена [7]. Слід підкреслити, що такий значний розрив у ефективності інвестицій у виробництво та енергозбереження робить вкладання коштів в економію енергії для енергокомпаній більш привабливим, ніж для самих споживачів, що орієнтуються на гранично низькі терміни окупності (1-2 роки).

Існують декілька апробованих світовою практикою економічних методів управління попитом на електроенергію. У США зіткнулися з необхідністю впровадження управління споживанням під час енергетичних криз 1973 та 1979 років. Тоді уряди багатьох країн взяли за створення програм скорочення енергоспоживання.

Одним з перших прикладів стало прийняття Закону про національну політику енергозбереження (National Energy Conservation Policy Act) у 1978 році у США. У відповідь на зростання цін на первинні енергоресурси та їх дефіцит було розроблено ряд заходів, що отримали назву DSM (Demand Side Management або управління споживанням). DSM розвивалося найбільш швидко в Каліфорнії та північно-західній частині США і вже до середини 1980-х поширилося на решту території як засіб зменшення потреби в будівництві нових станцій і мереж. Створене в 1974 році Міжнародне енергетичне агентство (International Energy Agency) у 1993 році почало міжнародну програму з розвитку та просування DSM

технологій. На сьогодні ця програма включає 21 країну Європи, Азії, Америки та Австралії [1].

DSM включало ряд інструментів, орієнтованих як на загальне зниження рівня споживання, так і на вирівнювання графіка навантаження шляхом зменшення піків, зміщення споживання у часи меншого навантаження енергосистеми, стимулювання попиту в провалах графіка навантаження енергосистеми. Загалом DSM розділяється на два класи інструментів: методи енергоефективності (Energy efficiency) та управління попитом (Demand response (DR) або Load management (LM) (рис.1).

Однак на практиці найбільш поширеними стали лише два методи: динамічна тарифікація та добровільне обмеження попиту з боку споживачів. Промислово розвинуті країни використовують три основні концепції формування тарифних ставок.

1. Тариф розраховується виходячи з повного доходу, достатнього для покриття витрат протягом періоду експлуатації енергоджерела та утворення певного прибутку.

2. На основі розрахунку короткострокових граничних (маржинальних) витрат встановлюються тимчасові змінні тарифи (добові, сезонні), що відображають коливання в графіку навантаження та пов'язані з цим витрати енергокомпаній на маневрування потужністю. Це дозволяє балансувати попит і пропозицію на ринку електроенергії.

3. Ціна на електроенергію встановлюється на основі довгострокових граничних витрат, що враховують витрати на спорудження та введення в експлуатацію нових електрогенеруючих потужностей. [10]



Рис. 1. Інструменти управління попитом внутрішньодобового ринку електроенергії [3]

Зокрема, в Японії для промислових споживачів тарифи диференційовані за класами напруги та часу доби. У США встановлені єдині для всіх компаній види тарифів на

електроенергію:

- добові тарифи;
- сезонні тарифи;
- тарифи за категоріями споживачів (промисловий, сільськогосподарський, побутової тощо);
- тарифи по надійності електропостачання споживачів, згодних на перерви в електропостачанні або значне зниження обсягу електроспоживання в години максимальних навантажень та соціально орієнтовані тарифи [7].

Диференціювання тарифів на електроенергію вирішує принципово важливі в ринкових умовах завдання:

- 1) встановлення зв'язку між її вартістю та фактичними витратами на виробництво й розподіл;
- 2) обмеження монополії виробників та підприємств, що надають послуги з передачі електроенергії;
- 3) підвищення надійності електропостачання; залучення споживачів для управління власним навантаженням і графіком навантаження енергосистеми;
- 4) стимулювання енергозбереження та енергоефективності.

Для підвищення економічності роботи енергосистем велике значення має встановлення тарифів, диференційованих за сезонами року та зонами добового часу. Структура тарифу реального часу складається з погодинної ціни за спожиту в цей годину електроенергію без фіксованої плати за заявлений максимум навантаження, плюс фіксована плата, заснована на минулому споживанні з урахуванням знижок при постачанні на середній та високій напрузі, поправок на втрати трансформації, знижок під час перерв в електропостачанні в минулому тощо, що гарантує споживачеві стабільність оплати за цим тарифом – не вище оплати за електроенергію при використанні нормальних тарифів.

Для здійснення проектів з управління споживанням необхідна розробка регуляторних стимулів, що давали б поштовх до їх впровадження й розвитку. Досить поширеною практикою (наприклад, у США) є включення витрат DSM-програм у тариф на електроенергію (до 16-17%) і не включення інвестиційної складової витрат енергокомпаній, поки нові станції не вводяться в експлуатацію (істотне збільшення ризику інвестицій в нові електростанції призводить до прискореного розвитку альтернативних програм управління споживанням). Для вирішення конфлікту, викликаного зниженням продажів через зменшення споживання електроенергії, здійснюється індексація втрат доходів. Зокрема, допускається одержання зі споживачів чистого доходу (який мали б компанії без зменшення продажів енергії). Метод розділення доходів гарантує енергокомпаніям доходи незалежно від обсягу продажів. Енергокомпанії складають балансові рахунки відхилення доходів і цю різницю включають у розрахунок ціни на енергію для споживачів на наступний рік. Такий механізм розриває зв'язок між обсягами продажів і прибутком [6].

Висновки. В умовах ринку і розвитку конкурентних відносин в електроенергетиці виникає потреба у підвищенні ефективності фінансової діяльності підприємства. Оскільки основним джерелом надходження грошових коштів енергопостачального підприємства є дохід від реалізації енергії, а її зберігання та передача потребують додаткових капіталовкладень, то виникає потреба в регулюванні попиту. Попит на електроенергію суттєво коливається в межах доби і року. Невідповідність попиту і пропозиції в електроенергетиці призводить або до зайвих втрат електроенергії, або до обмеження споживання, найчастіше шляхом відімкнення окремих груп споживачів. Управління попитом на електроенергію нами було об'єднано в два напрямки: демаркетинг, що спрямований на зниження енергоспоживання шляхом оптимізації її використання, і синхромаркетинг – спрямований на вирівнювання

попиту.

Для повномасштабного й ефективного використання вищенаведених економічних механізмів управління попитом потрібно створити систему з моніторингу, прогнозування, планування та управління використанням електроенергії як на регіональному, так і на національному рівні. Така система має бути створена з використанням новітніх технологій «інтелектуальних електромереж» та «інтелектуального обліку» в рамках відповідної національної технологічної платформи.

Загалом проблему узгодження попиту та пропозиції необхідно регулювати на державному та регіональних рівнях. Це дозволить підвищити енергоефективність вітчизняної економіки та вітчизняних товаровиробників

Список використаних джерел

1. Башмаков И. Опыт оценки параметров ценовой эластичности спроса на энергию [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cenef.ru/file/Wpaper100.pdf>.
2. Герасимчук В.И. Методы ценообразования на рынке электроэнергии / Герасимчук В.И.,
3. Гительман Л.Д. Энергетический бизнес : [уч. пособие] / Л.Д. Гительман, М.Е. Ратников. – :Дело, 2006. – 600 с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 року / Інформаційно-аналітичний бюлетень «Відомості Мінпаливенерго України». Спеціальний випуск. Київ, 2006. – 113 с.
5. Згуровець О.В. Эффективные методы управления потреблением электрической энергии / О.В. Згуровець, Г.П. Костенко // Проблемы загалової енергетики. – 2007. – №16. – С. 75-80.
6. Мица Н.В. Управління попитом на електроенергію як необхідна передумова ефективної фінансової діяльності енергопостачального підприємства / Н.В. Мица // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – №6. – Т.3. – С. 93-98.
7. Про засади функціонування ринку електричної енергії України: Закон від 24.10.2013 № 663-VII [Електронний ресурс]. / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/663-18>.
8. Серебрянников Б.С. // Международная научная конференция «Унитех'03», 20-21 ноември 2003. – Габрово: Университетское издательство «Васил Априлов», 2003. – Т. 2. – С. 90-93
9. Стогній Б.С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк, А.В. Праховник // Технічна електродинаміка. – 2012. – №5. – С. 52-67.
10. Стогній Б.С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2010. – №6. – С. 44-50.
11. Судак И. Тарифообразование и расчеты на оптовом рынке электроэнергии Украины / Судак И., Романов А., Джафарова Е. // ТЭК. – 2000. – № 9. – С. 23-33.

УДК 621.311.1

Т. Л. Цішковська; науковий керівник проф. **В. В. Зорін**

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

АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ ВЕЛИКИХ МІСТ

У статті приведено короткий аналіз нинішнього стану електричних розподільних мереж великих міст. На основі аналізу, запропоновано методи підвищення пропускної здатності мереж, такі як перехід на більш високий клас напруги з використанням глибоких вводів та кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену.

Ключові слова: розподільна електрична мережа, пропускна здатність, клас напруги, глибокий ввід, кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ БОЛЬШИХ ГОРОДОВ

В статье приведен краткий анализ нынешнего состояния электрических распределительных сетей крупных городов. На основе анализа, предложены методы повышения пропускной способности сетей, такие как переход на более высокий класс напряжения с использованием глубоких вводов и кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, пропускная способность, класс напряжения, глубокий ввод, кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

ANALYSIS OF STATUS AND INCREASE OF CAPACITY OF ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORKS OF LARGE CITIES

The article gives a brief analysis of the current state of electrical distribution networks in large cities. According to the results of the analysis, methods of increasing the capacity of the network, such as switching to a higher voltage class using deep inserts and cables with insulation made of cross-linked polyethylene, are proposed.

Keywords: distribution electric network, capacity of network, a higher voltage class, the deep inserts, cables with insulation made of cross-linked polyethylene.

Вступ. На сьогодні стан розподільних електричних мереж характеризується наступними показниками: 11,5% ліній електропередавання напругою 0,4 - 10(6) кВ прийшли в технічно непрацездатний стан і потребують значних щорічних зростаючих витрат на технічне обслуговування та ремонт; фактичні втрати електроенергії в мережах в середньому складають 12,1%, а в мережах окремих компаній сягають 18%. Витрати на ремонт електричних мереж по роках зменшилися і складають близько 60% від необхідних, які визначаються Правилами технічної експлуатації електричних мереж [1].

Міста є великими споживачами електричної енергії, так як в них проживає понад 60% населення країни і розташована велика кількість промислових підприємств. Відбувається збільшення витрат електроенергії на побутові потреби населення, що вимагає будівництва житла і, відповідно, проектування і будівництва розподільних електричних мереж [2].

Особливої уваги потребує зростання попиту на електроенергію, що визначає необхідність збільшення пропускної спроможності існуючих мереж 10 кВ міст та

забезпечення їх ефективного функціонування при мінімальних значеннях втрат електричної енергії. Одним з оптимальних рішень цього питання з економічної точки зору може бути підвищення номінальної напруги розподільної мережі, створення центрів живлення та прокладання нових кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену.

Мета роботи. Дослідити шляхи та переваги технологічної модернізації розподільних електричних мереж великих міст України.

Результати дослідження. Для великих міст, характерно спільне використання мереж різного призначення і напруги. Використовують електропостачальні мережі напругою 35-110 кВ, які пов'язані з мережами 220-330 кВ енергосистеми, але для електропостачання основної маси споживачів використовується розподільна мережа напругою 10 кВ. Довжини кабельних ліній розподільних мереж в залежності від напруги та відпрацьованих років наведені в табл. 1 [3, 4].

Табл. 1

Назва показника	Одиниця виміру	Міненерго
Довжина кабельних ліній електропередавання, всього	км	45474,299
у т.ч. напругою: 110 кВ	-"	137,943
35 кВ:	-"	482,854
з них працюють більше 30 років	-"	307,232
10 кВ:	-"	24097,637
з них працюють більше 30 років	-"	11836,005
6 кВ:	-"	20765,136
з них працюють більше 30 років	-"	13364,335
3 кВ:	-"	15,792
з них працюють більше 30 років	-"	15,36

Тобто, в Україні досить великі обсяги електричних мереж і на реконструкцію необхідні значні капіталовкладення, що не дозволяє виконати їх одночасне переведення на напругу 20 кВ, тому необхідний довгостроковий перехід, щоб існуючі електричні розподільні мережі 10(6) кВ поступово доповнювати та замінити мережами 20 кВ.

Зараз існують десятки закордонних прикладів використання розподільних мереж середнього класу з підвищеними значеннями номінальних напруг (18, 20, 22, 23 кВ). Близько 80 % країн Європи використовують клас напруги 20 кВ, зокрема Франція, Німеччина, Австрія, Швеція, Фінляндія, Латвія (20 кВ), Японія (22 кВ), Болгарія (22 кВ), Чехія (22 кВ), Словаччина (22 кВ), США (18, 23 кВ) [5]. А також азіатські країни: Сінгапур, Корея, Китай і багато інших [6]. Проте в Україні досі продовжують розвивати міські розподільні мережі на класі напруги 10 кВ, для яких основні технологічні та схемні рішення були сформовані в середині минулого століття. До початку XXI століття вони стали неефективними, морально застарілими та неконкурентоспроможними [7].

На сьогодні, в Києві максимальна щільність досягла 9 МВт/км² (середня – 2,4 МВт/км², а реактивна – 3,6 МВАр/км²) [8]. Таку щільність мала Франція у Парижі в 1973 році, коли починала експлуатувати клас напруги 20 кВ.

Пропускна здатність лінії середньої напруги можна представити:

$$S = \sqrt{3} U_n J F, \quad (1)$$

де S - потужність передачі; U_n - номінальна напруга лінії; J – щільність струму, F - площа поперечного перерізу проводу.

Якщо площа поперечного перерізу проводу однакова $F_{10}=F_{20}$, то можна стверджувати,

що:

$$\frac{S_{20}}{S_{10}} = \frac{\sqrt{3}U_{20}JF}{\sqrt{3}U_{10}JF} = 2 \quad (2)$$

З розрахунку видно, що пропускна здатність мережі 20 кВ в два рази більша за пропускну здатність мережі 10 кВ і одна лінія може замінити дві. ТП 20 кВ в 1,1 рази дорожче 10 кВ тієї ж потужності. Зіставлення сумарних витрат при 20 і 10 кВ показує, що криві витрат перетинаються в радіусі дії РП в 3 км [10].

У варіанті 20 кВ питомі витрати значно менші, ніж у варіанті 10 кВ, так як економічна потужність підстанції 20 кВ приблизно на 40% більше. По мережах н. н. в обох варіантах немає суттєвої різниці в капіталовкладеннях. У той же час для ТП при більш високій напрузі підвищується вартість апаратури і матеріалів, які використовують при монтажі, приблизно на 20%, трансформаторів – на 5-7%. Кубатура приміщення при напрузі 20 кВ збільшується на 50-75%; для трансформаторних камер істотно не змінюється. Приміщення з низьковольтної апаратурою в ТП однакові. Вартість ТП 20 кВ з будівельною частиною дорожче ТП 10 кВ тієї ж потужності в середньому на 10-15%.

Район дії головної підстанції в варіанті 20 кВ на 40% більше, ніж при 10 кВ; відповідно збільшується навантаження кабелів 20 кВ. Величина струму, що надходить в мережу 20 кВ від підстанції, складає 70% від його величини при напрузі 10 кВ. Відповідно зменшується перетин кабелів при 20 кВ. Подорожчання ізоляції кабелю 20 кВ компенсується економією від зниження перерізу провідної жили і від зменшення втрат енергії. Щорічні витрати по кабельних мережах 10 і 20 кВ також майже рівні [12].

Застосування розподільної напруги 20 кВ обумовлено рядом переваг [13]:

1. Збільшення радіусу дії мереж:

$$l = \frac{\Delta U_{\text{доп}} \cdot U_{\text{ном}}}{P(r_0 + tg \varphi \cdot x_0)} \quad (3)$$

2. Збільшення пропускної здатності лінії:

$$P_{\text{пр}} = \min\{P_{\text{ту}}, P_U\} \quad (4)$$

3. Зменшення втрат напруги в мережі 20 кВ:

$$\Delta U' = \frac{P(r_0 + tg \varphi \cdot x_0)l}{U_{\text{ном}}} \quad (5)$$

4. Зменшення втрат потужності в мережі 20 кВ приблизно в 4 рази менше порівняно з 10 кВ, отже, і втрати електроенергії:

$$\Delta P = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} r_0 l, \quad \Delta \Sigma = \int_0^T \Delta P(t) dt \quad (6)$$

Також однією з важливих проблем на сьогодні є значна кількість пожеж в кабельних лініях ВН і СВН з ізоляцією з СПЕ, причиною яких, є невідповідність пропускної здатності кабельних ліній за умови стабільності теплового балансу кабелів при протіканні по них перетоків потужності. Сумарні втрати на одиницю довжини, що у загальному випадку викликають нагрів кабелю і знижують його пропускну здатність описуються виразом [14]:

$$W\Sigma = W_{\text{тпж}} + W_d + W_e + W_{\text{бр}} + W_{\text{ос}}, \quad (7)$$

де: $W\Sigma$ - сумарні втрати; $W_{\text{тпж}}$ - втрати в ТПЖ; W_d - діелектричні втрати в ізоляції кабелю; W_e - втрати в металевих екранах кабелю, обумовлені вирівнюючими і вихровими струмами; $W_{\text{бр}}$ - втрати в броні кабелю; $W_{\text{ос}}$ - втрати в навколишньому кабельному просторі.

Порівняння втрат електроенергії в залежності від марки кабелю, перерізу та напруги живлення наведено табл. 2 [9].

Табл. 2

Переріз живлючої лінії, мм ²	Втрати електричної енергії до кількості, що надійшла в мережу, %					
	10 кВ			20 кВ		
	ВЛ (АС)	КЛ (АПвПБ)	КЛ (СБл)	ВЛ (АС)	КЛ (АПвПБ)	КЛ (СБл)
25	2,12	2,31	1,37	0,59	0,58	0,347
35	1,47	1,65	0,98	0,36	0,41	0,24
50	1,09	1,15	0,68	0,27	0,286	0,17
70	0,78	0,87	0,47	0,19	0,21	0,12
95	0,56	0,61	0,36	0,14	0,15	0,09
120	0,45	0,48	0,28	0,11	0,12	0,07
150	0,38	0,38	0,26	0,09	0,09	0,06
185	0,28	0,31	0,184	0,07	0,08	0,05
240	0,22	0,22	0,14	0,05	0,05	0,03

Заміна на кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену має такі переваги: можливість прокладки на складних трасах, монтаж без використання спеціального обладнання, зниження собівартості прокладки, відсутність небезпеки забруднення довкілля через відсутність масла, а також свинцевої оболонки, низька питома пошкоджуваність кабелю (на 1-2 порядки нижче, ніж у масло наповненого кабелю і на 2-3 порядки, ніж у кабелю з паперовою ізоляцією).

Для забезпечення розвитку комплексів споживачів потрібне будівництво нових джерел живлення. Відповідно до вимог сучасного містобудування, а також з урахуванням санітарно-гігієнічних умов потужні електростанції не повинні споруджуватися на територіях великих міст. Отже, велику кількість електроенергії до великих міст необхідно передавати від джерел, розташованих за межами міста.

Зростаюча концентрація споживання електроенергії промисловими підприємствами та неухильне зростання щільності побутового навантаження в містах висунули питання про технічну та економічну необхідність наближення основних живлячих центрів, до яких електрична енергія подається на більш високу напругу, до центрів навантаження, з метою полегшення мереж вторинних, більш низьких напруг. Такі, наближені до центрів навантаження, що їх живлять, називаються глибокими вводами (ГВ) [11]. На рис. 1 показаний варіант передачі електроенергії в центр електрифікованого району за допомогою ГВ та без.

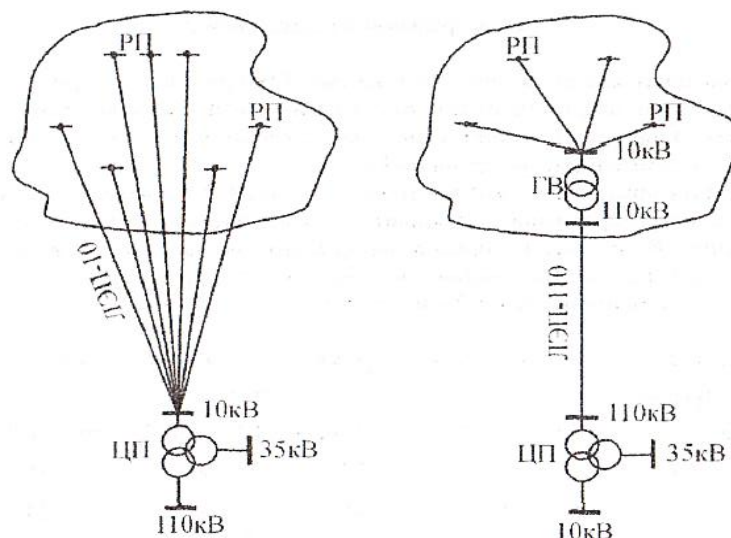


Рис. 1 Варіанти передачі електричної енергії на напругу 10 і 110 кВ

Як видно з рис. 1 в другому варіанті з підстанцією ГВ вдалося скоротити кількість РП і протяжність ліній живлення 10 кВ.

Використання ГВ, дозволяє підвищити пропускну здатність ЛЕП, знизити втрати потужності і електричної енергії, створити більш сприятливі умови для регулювання напруги [11]. При такій передачі електричної енергії забезпечується зниження втрат електроенергії, економія кольорового металу і покращуються умови підтримки стійких рівнів напруги в міській мережі, що має важливе значення, з точки зору якості електропостачання.

Висновки. Комплексний підхід до модернізації існуючих розподільних мереж великих міст України забезпечить перехід на сучасні економічно-виправдані мережі підвищеної пропускну здатності, що водночас вирішить існуючі проблеми та дозволить перейти на вищий рівень електропостачання споживачів України, зменшити технологічні втрати, підвищити якість електроенергії, енергобезпеку й надійність функціонування систем електропостачання. Поетапний перехід з 10 кВ на 20 кВ не потребує великих додаткових затрат, через невелику різницю в вартості обладнання і тому, при реконструкції ліній і ТП чи при будівництві нових мереж, відразу варто переводити їх на вищий клас напруги. Кабельні лінії з ізоляцією із зшитого поліетилену забезпечать необхідну пропускну здатність за умови теплового балансу кабелів та повністю задовільняють конструктивні особливості та основні фізичні процеси, що відбуваються при експлуатації. Наближення основних живлячих центрів до центрів навантаження дозволить скоротити кількість РП і протяжність ліній живлення.

Список використаних джерел

1. Ахромкін А. О. Сучасні характеристики електричних мереж України // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – №6. – С. 223.
2. Зорін В. В. Тісенко В. В «Системи електропостачання загального призначення» - Чернівці, 2005.
3. Циганенко Б.В. Підвищення показників якості електропостачання в розподільних електричних мережах / Б.В. Циганенко, В.В. Кирик // Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції “Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті”, 29 - 30 вересня 2016 р., м. Київ, НТУУ КПІ. – Київ, 2016. – С.157-162.
4. Забезпечення безпеки експлуатації електричних мереж в рамках енергетичної стратегії України шляхом впровадження пілотних проєктів з переходу системи передачі та розподілу електричної енергії з триступеневої на двоступеневу [Електронний ресурс]: презентація. – НКРЕКП. – Київ, 2016. – Режим доступу: <http://www.slideshare.net/NKREKP/18072016-64339669> – URL.
5. Буре И. Г. Повышение напряжения до 20–25 кВ и качество электроэнергии в распределительных сетях / И.Г. Буре, А.В. Гусев // Электро. – Москва, Роспечать, 2005. – Выпуск 5. – С.30–32.
6. Krishans Z. Fundamentals of power engineering enterprises management / Z. Krishans. – Riga:Riga Technical University,1997. – 122 p. – (in Latvian).
7. Циганенко Б. В. Перспективи переведення розподільних мереж України на номінальну напругу 20 кВ [Електронний ресурс] / Б.В. Циганенко // Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2016. – №1. – С. 1-4. Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/464/462>
8. Tsyganenko B. Modernization of power distribution networks in the power system of Ukraine / V. Kyryk, B.Tsyganenko // International Scientific and Practical Conference. – Dubai, UAE. – №7 (11), July 2016. – Vol.1. – P.10–12.

9. Асташев Д. С., Бедретдинов Р. Ш., Кисель Д. А., Соснина Е. Н. Применение напряжения 20 кВ для распределительных электрических сетей России // Вестник НГИЭИ. 2015. № 4 (47). С. 6–9.
10. Сангишев С.С. Сопоставление распределительных сетей 10/0,4кВ и 20/0,4кВ // Наука, техника и образование № 5 (35), 2017. - С. 1-3 Режим доступа: <https://3minut.ru/images/PDF/2017/35/sopostavlenie-raspredelitelnykh.pdf>
11. Глазунов А. А., Кузнецова Т. А., Федосеев А. А. Экономически целесообразные напряжения и мощности глубоких вводов в городах // Электричество. 1983. № 2. С. 20—25.
12. Распределительные сети 20 кВ. Оборудование для объектов нового поколения [Электронный ресурс] // Новости электротехники. – 2016. – №1(97). – Режим доступа до журналу: <http://www.news.elteh.ru/arh/2016/97/16.php>.
13. Ахромкін А. О. Сучасні характеристики електричних мереж України // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – №6. – С. 223.
14. Ларина Э. Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии: Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1996.

В.П. Калінчик, к.т.н., доцент

Є.В.Мірошніченко, В.О.Пономаренко, магістранти

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ НА ДІЛЯНЦІ СПОЖИВАЧА

Вступ. Основною задачею оптимального управління нормальними режимами роботи є забезпечення надійного електропостачання споживачів при оптимальних показниках якості електричної енергії та мінімальних експлуатаційних витратах. Слід зазначити, що багатокритеріальна оптимізація режимів генерації та споживання ділянки розподіленої мережі заключається у формуванні оптимальних з точки зору комплексу встановлених критеріїв мінімізації втрат, мінімізації експлуатаційних витрат, максимізації якості електроенергії та інших при врахуванні технічних обмежень на генерацію, транспорт, та споживання електроенергії [1]. Така задача може бути вирішена з застосуванням апарату лінійного та нелінійного програмування з обмеженнями у вигляді рівнянь встановленого режиму і нелінійних нерівностей.

Метою роботи є мінімізація втрат активної потужності розподіленої мережі електропостачання підприємства скляної промисловості.

Постановка задачі. В залежності від навантаження необхідно розподілити потужність, задав пріоритет генератору, в залежності від його розташування. Якщо певний генератор не має достатньої потужності, то система імітації доповнює необхідну енергію від найближчого генератору.

Умовні позначення генераторів:

G₁ - централізованого електропостачання

G_2 - сонячна електрична установка (СЕУ),
 G_3 - вітрогенеруюча установка (ВЕУ),
 G_4 - когенераційна установка (КЕУ)

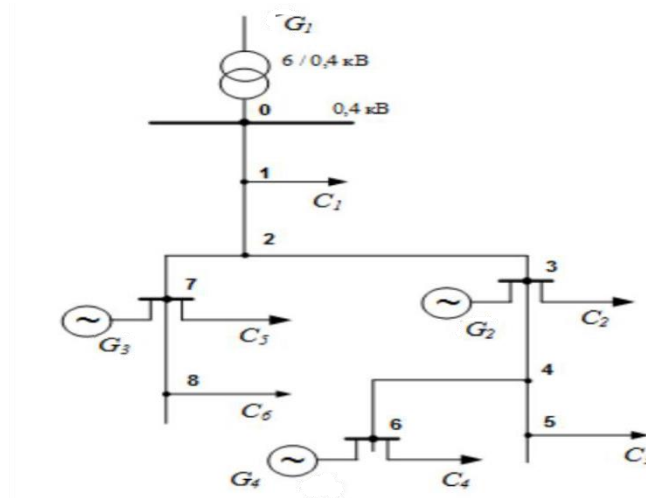


Рисунок 2. Схематичне зображення розподіленого навантаження та електропостачання скляного підприємства, де G_{1-4} – генератори, C_{1-6} – споживачі

Якщо розглянути задачу оптимізації на прикладі мережі (рисунок 2), що складається з n генераторів та m споживачів електроенергії, втрати при передачі електроенергії тим більші, чим більше відстань від генератору до споживача [2].

Цільова функція задачі розподілу повної потужності в локальній мережі матиме вигляд:

$$F(x) = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

де C_{ij} - втрати при передачі потужності від i -го генератору до j -го споживача; X_{ij} - передана потужність від i -го генератору до j -го споживача при умовах:

$$\begin{aligned} \sum x_{ij} &= a_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \\ \sum x_{ij} &= b_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0. \end{aligned} \quad (2)$$

де x_{ij} – потужність генератору/споживача.

З формули (2) знаходимо обмеження на споживання та генерацію електроенергії

В таблиці 1 приведені обмеження на споживання та генерацію, а також коефіцієнти втрат при передачі одиниці електроенергії, задані по умовам розміщення об'єктів

Отримали вихідну умову для вирішення *транспортної задачі* [3].

Відповідно до (1) цільова функція:

$$\begin{aligned} F(x) = & 0,05 \cdot x_{11} + 0,03 \cdot x_{12} + 0,09 \cdot x_{13} + 0,1 \cdot x_{14} + 0,17 \cdot x_{21} + 0,04 \cdot x_{22} + 0,06 \cdot x_{23} + 0,14 \cdot x_{24} \\ & + 0,09 \cdot x_{31} + 0,1 \cdot x_{32} + 0,07 \cdot x_{33} + 0,04 \cdot x_{34} + 0,05 \cdot x_{41} + 0,07 \cdot x_{42} + 0,009 \cdot x_{43} + 0,18 \cdot x_{44} + 0,14 \cdot x_{51} + 0,03 \cdot x_{52} \\ & + 0,04 \cdot x_{53} + 0,07 \cdot x_{54} + 0,3 \cdot x_{61} + 0,022 \cdot x_{62} + 0,02 \cdot x_{63} + 0,04 \cdot x_{64} \end{aligned}$$

Таблиця 1

Генератори	Споживачі						Сумарна генерація, кВт
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	
G ₁	0,05	0,17	0,09	0,05	0,14	0,3	607,68
G ₂	0,03	0,04	0,1	0,07	0,03	0,022	10,8
G ₃	0,09	0,06	0,07	0,009	0,04	0,02	17,28
G ₄	0,1	0,14	0,04	0,18	0,07	0,04	84,24
Сумарне споживання	17,9	140	90	312	71,9	76	

Розв'язок. Розрахунок проведено в програмному середовищі Python 3.6 v.2015 (бібліотека Pandas for Science Calculation).

Використовуючи метод *північно-західного кута* побудуємо опорний план транспортної задачі. Результат представлено у таблиці 4.

Таблиця 4

	v ₁ =0,5	v ₂ =0,5	v ₃ =0,5	v ₄ =0,5	v ₅ =0,5	v ₆ =0,5	v ₇ =0,5
u ₁ =0	0,05[18]	0,17[112]	0,09[90]	0,05[312]	0,14[64]	0,3	0,05[12]
u ₂ =-1,3	0,03	0,04[11]	0,1	0,07	0,03	0,022	0,03
u ₃ =-1,1	0,09	0,06[17]	0,07	0,009	0,04	0,02	0,09
u ₄ =-0,7	0,1	0,14	0,04	0,18	0,07[8]	0,04[76]	0,1

Опорний план є оптимальним, так як усі оцінки вільних клітин задовольняють умові $u_i + v_j \leq c_{ij}$

Мінімальні витрати потужності складуть $F(x) = 0,05 \cdot 12 + 0,17 \cdot 112 + 0,09 \cdot 90 + 0,05 \cdot 312 + 0,14 \cdot 64 + 0,05 \cdot 12 + 0,04 \cdot 11 + 0,06 \cdot 17 + 0,07 \cdot 8 + 0,04 \cdot 76 = 57,7$ кВт

Висновок. Отже, проведений розрахунок оптимізації по повній потужності ділянки мережі електропостачання заводу дозволяє оптимально розподілити споживання електроенергії з мінімальними втратами.

Список використаної літератури.

1. Smart Energy Management System for Optimal Microgrid Economic Operation / C. Chen, S. Duan, T. Cai, B. Liu, G. Hu // Renewable Power Generation, IET. – May, 2011. – Vol. 5, № 3. – P. 258–267.
2. И.О.Волкова., М.В. Губко, Е.А. Сальникова. Активный потребитель. Задача оптимизации потребления электроэнергии и собственной генерации // Управление сложными технологическими процессами и производствами - №6 • 2013 – С 53 – 61.
3. Кічкин А.В., Чудінов А.В., Оптимізація розподілу потужності в напівнатуральній моделі локальної активно-адаптивної мережі, - Вестник НППУ № 11, 2014
4. Варганов Д.Е., Оптимізація режимів роботи джерел розподіленої генерації в умовах промислових систем електропостачання, - ЭСйК. №4(29). 2015
5. Полунатурное моделирование активно - адаптивной электрической сети / А . Б . Петроченков , Т . Франк , А . В . Ромодін , А . В . Кычкин //Электротехника . – 2013. – № 11. – С . 60–63.
6. Варганова А.В. О методах оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и сетей// Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering. 2017, vol. 17, no. 3, pp. 76–85

В.П. Калінчик, к.т.н., доцент

Є.В. Мірошніченко, В.О. Пономаренко, магістранти

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

ВИКОРИСТАННЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГАЛУЗЕЙ НА ГРАФІК НАВАНТАЖЕННЯ ОЕС УКРАЇНИ

Вступ. Останні роки постає актуальним питання ефективного аналітичного способу дослідження графіка ОЕС України, як для технічних так і для маркетингових цілей. Кластерний аналіз являється таким способом аналізу даних, який дозволяє здійснити висновок стосовно: ступеню впливу кластера; його якісну характеристику та спорідненість з іншими кластерами.

Метою роботи є представлення способу кластерного аналізу часових рядів графіка навантаження на прикладі літніх та зимових режимних днів 2016 року.

Виклад матеріалу. Проблема покриття нерівномірних графіків електричного навантаження ОЕС вирішується, як правило, трьома основними шляхами: створенням у енергосистемі оптимальної структури генеруючих потужностей, використанням перетоків із сусідніми енергосистемами та залученням споживачів до вирівнювання графіка навантаження енергосистеми за рахунок адміністративних (обмежуючих) та економічних (стимулюючих) мір [1,2,3].

Кластеризація. Дослідження будемо проводити на прикладі галузі машинобудування.

Для того щоб проаналізувати місце машинобудування та металообробки в графіку навантаження ОЕС України серед графіків навантажень інших галузей, визначити подібні за характером і структурою навантаження галузі, виконано кластерний аналіз. Для виконання зазначеного аналізу було використано програмне забезпечення PASW Statistics.

Кластерний аналіз проводився за такими характеристиками графіків навантаження: коефіцієнт нерівномірності графіка навантаження K_n ; коефіцієнт заповнення графіка навантаження K_z ; коефіцієнт максимуму графіка навантаження K_{max} ; коефіцієнт внеску в графік навантаження $K_{вн}$; коефіцієнт впливу на графік навантаження $K_{впл}$ [2].

Всі вищезазначені коефіцієнти було підраховано для чотирьох режимних днів, у таблиці 1 наведені результати розрахунків для зимнього режимного дня 2016 року.

Значення внеску машинобудування та металообробки у загальний графік навантаження коливається від 2,5 – 3 %. Це є досить суттєвою часткою, проте цього недостатньо, щоб стверджувати, що зазначена галузь, є одним із основних (найвагоміших) складових графіка ОЕС України. Основною проблемою являється те, що ці невисокі покази коефіцієнта внеску мають такий характер навантаження, що вносить несприятливі профілі навантаження в графік ОЕС України [4,5].

Таблиця 1 – Розраховані значення коефіцієнтів графіків навантажень обраних галузей для режимного дня 21.12.16 р.

Показники	K_n	K_{max}	K_z	$K_{вн}$	$K_{впл}$
1. Паливна	0,85	1,07	0,93	-0,85	-0,31
2. Чорна металургія	0,87	1,05	0,95	-14,73	-5,56
3. Кольорова металургія	0,93	1,03	0,97	0,51	0,09
4. Хімічната нафтохімічна	0,84	1,11	0,90	1,26	5,88
5. Машинобудування та металопереробна	0,42	1,60	0,63	3,13	9,07
6. Лісова та деревопереробна	0,66	1,25	0,80	1,18	1,58
7. Будівельних матеріалів	0,76	1,15	0,87	1,06	0,86

8. Скляна та фарфорофаясова	0,86	1,07	0,94	-0,02	-0,01
9. Легка	0,41	1,53	0,65	0,32	1,05
10. Харчова	0,74	1,17	0,85	2,64	2,59
11. Інші.промис.виробн.	0,66	1,24	0,81	1,84	0,10

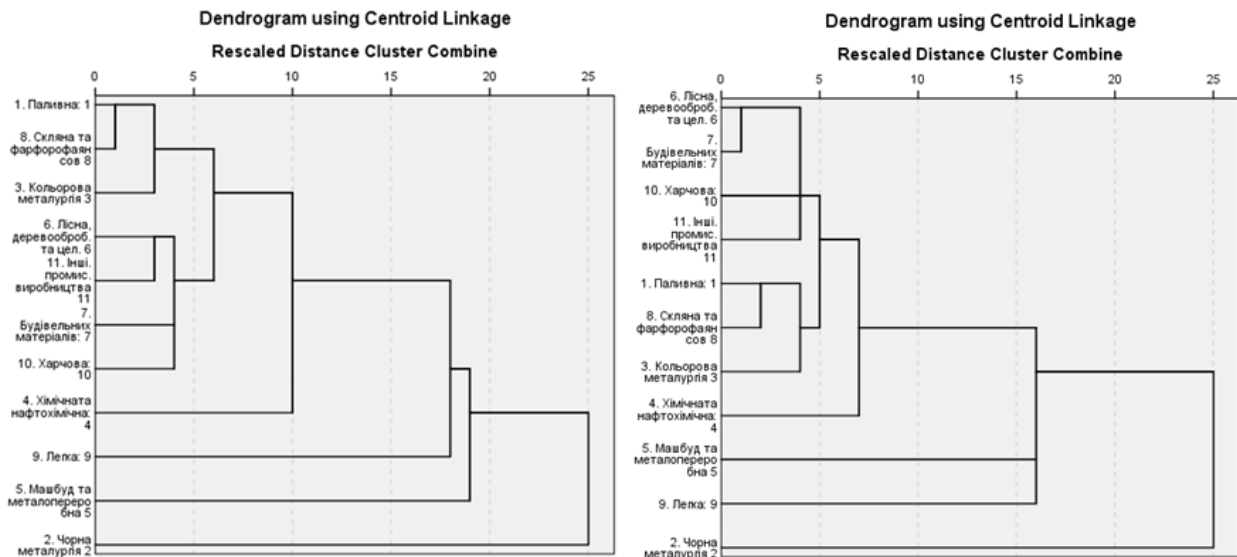


Рисунок 2 – Дендрограма кластеризації за 21.12.16 р. та 15.06.16

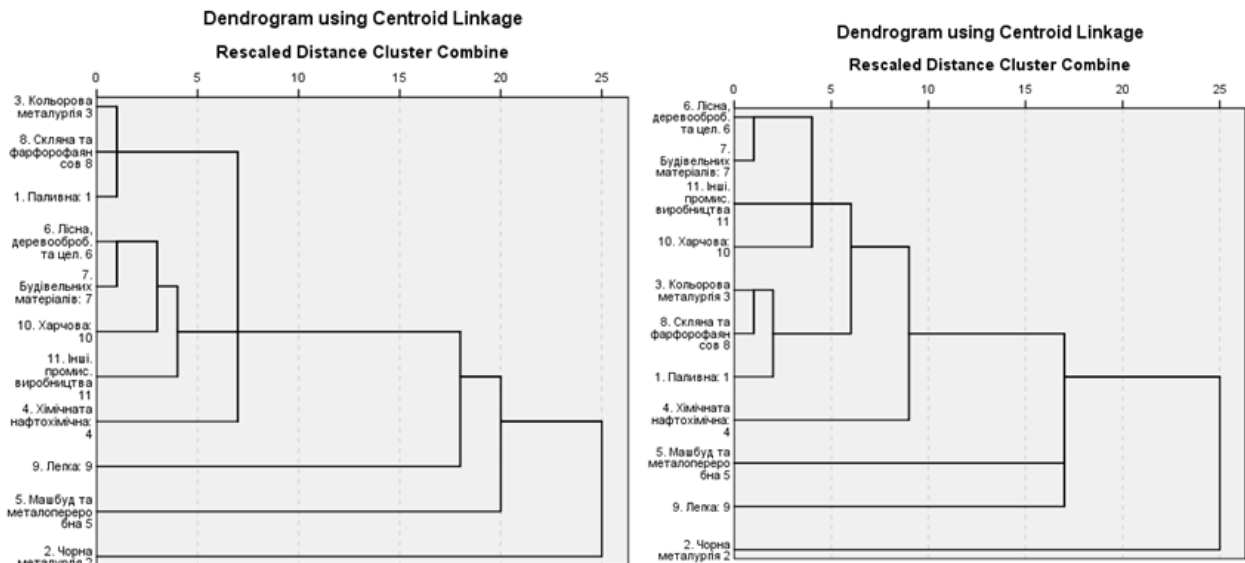


Рисунок 3 – Дендрограма кластеризації за зимні режимні дні 2015-2016рр. та літні режимні дні 2015-2016рр.

Дендрограми кластиризації дозволяють провести аналіз і зазначити що машинобудування та металообробка об'єднуються в спільний кластер з іншими галузями аж на 16-18 рівні, при чому роблять це і у 2015 році і влітку 2016 року разом із легкою промисловістю (спостерігається повторюваність). Чітко можна зазначити, що машинобудування і галузь легкої промисловості утворюють окремий кластер, щоправда з дендрограми 2016 році видно, що ці галузі мають вже більшу розбіжність графіків навантаження [6]. Найподібнішою галуззю до машинобудування та металообробки згідно кластерному аналізу за характером графіка навантаження є легка промисловість. Наступні за подібністю хімічна і нафтохімічна галузь та чорна металургія. Спорідненість

машинобудування та легкої промисловості можна пояснити, подібністю режимів їх роботи (переважно денна зміна), спорідненістю типів, розмірів і кількості підприємств, тощо.

Список використаних джерел

1. Річний огляд діяльності Деренергонагляду за 2016 рік / - 2017 рік- 54с.
2. Методичні рекомендації до виконання розрахункової роботи кредитного модуля «Маркетингові дослідження в енергетиці» для студ. спец. «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергетичний менеджмент» / Уклад. : А. І. Замулко, Ю. В. Чернецька, Ю. А. Веремійчук. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 65 с.
3. Розен В. П. Підвищення якості проведення енергетичного моніторингу ВНЗ шляхом застосування методів кластерного ієрархічного аналізу та центрографічного методу визначення концентрації згущення об'єктів / В. П. Розен, Ф. В. Ткаченко // Енергетика та електрифікація. — 2013. — № 3. — С. 32—37.
4. Лукань Л. Застосування кластерного аналізу для оцінки розвитку малого підприємництва в регіонах України / Л. Лукань, Г. Цегелик // Формування ринкової економіки в Україні. — 2009. — Вип. 19. — С. 73—80.
5. Звіти вимірів електричного навантаження в режимний день/ Укренерго – 2015 р.
6. Звіти Укрстату: Економічна статистика / Економічна діяльність / Енергетика / Кінцеве енергоспоживання за 2007 - 2015 роки.

Калінчик В.,

Колісніченко І., магістрант

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

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ

Енергоефективність та енергозбереження є пріоритетними напрямками енергетичної політики більшості країн світу. Це обумовлено вичерпністю невідновлювальних паливно-енергетичних ресурсів, відсутністю реальних альтернатив їх заміни та наявністю ризиків при їх виробництві і транспортуванні.

У зв'язку із загальною нестабільністю у регіонах видобутку паливно-енергетичних ресурсів, напругою на енергетичних ринках та несприятливими прогнозами щодо подальшого зростання цін на ресурси, ці чинники набувають все більшого значення. Розвинені країни світу, у першу чергу держави-члени ЄС, які вже досягли значних успіхів у вирішенні проблем енергоефективності, продовжують пошук нових джерел енергозабезпечення та ведуть розробку заходів щодо енергозбереження.

З огляду на важливість проблеми заощадження енергії в глобальному масштабі, практично у всіх країнах проводяться різні заходи, які покликані зменшити кількість споживаної енергії як у промисловості, так і в соціальній сфері.

На стадії проектування або реконструкції систем освітлення існують два основні способи економії ЕЕ:

а) підвищення енергетичної ефективності, тобто зниження питомої встановленої потужності освітлювальної установки (ОУ);

б) оптимізація режиму експлуатації ОУ (скорочення часу використання електричного освітлення).

Реалізація першого способу енергозбереження активно ведеться з використанням розробок ОУ на основі енергоефективних джерел світла, в тому числі сучасних – світлодіодних.

Другий спосіб енергозбереження – регулювання часу роботи і потужності установок штучного освітлення автоматичними системами управління за рахунок збільшення частки використання практично необмеженого і повсюдно доступного ресурсу природного світла.

Основним джерелом природного освітлення (ПО) приміщень є світлові прорізи (вікна) різної геометрії, конструкції, розміщення. При цьому, світлопрозорі конструкції, будучи конструктивним елементом передачі природного світла в приміщення, одночасно є каналом значних теплових втрат. І хоча сучасні матеріали дозволяють створювати світлопрозорі конструкції з підвищеним опором теплопередачі, вікна і раніше залишаються основними джерелами теплових втрат будівлями (до 40-45 %).

Друга проблема освітлення через вікна – традиційні вертикальні вікна забезпечують нормований рівень природної освітленості в приміщенні тільки на відстані приблизно 6 м від вікна при асимптотичному зменшенні природної освітленості в міру віддалення від нього. Очевидно, що для підвищення її значень вглибині приміщення буде потрібно значне збільшення розмірів віконного отвору. Це сприяє збільшенню природного освітлення, створення комфортного світлового середовища і економії електричної енергії на штучне освітлення. Однак будь-яке збільшення площі світлових прорізів веде до охолодження і/або нагрівання приміщення, викликаних інфільтрацією і трансмісійними втратами, що зводить до нуля досягнуту економію ЕЕ.

Система природного освітлення є найбільш ефективною в забезпеченні рівномірності освітлення при взаємодії бічного і верхнього природного світла. Верхні світлові прорізи, будучи додатковим джерелом світла, є одночасно і каналом відтоку/припливу тепла ззовні.

Таким чином, з позицій оптимізації енергетичного балансу на конструктивне рішення приміщення накладаються певні обмеження в питанні влаштування світлових в огорожувальних конструкціях – при будівництві та реконструкції споруд з метою ефективного використання енергоресурсів параметри світлового прорізу слід вибирати з урахуванням економії електроенергії на штучне освітлення і скорочення витрат енергії на заповнення тепловтрат через світлові прорізи взимку і кондиціонування/вентиляцію для компенсації надлишкового теплонадходження через них влітку.

Список використаних джерел

1. Айзенберг, Ю.Б. Как повысить энергоэффективность освещения / Ю.Б. Айзенберг, Л.П. Варфоломеев // Спец. выпуск АВОК. – 2011. – №3. – С.52-56.
2. Боммел, В.Ван. Качество освещения и эффективность: критический обзор / В.Ван. Боммел // Светотехника. – 2011. – №1. – С.6-11.
3. U.S. Department of Energy. Energy Savings Potential of Solid-State Lighting in General Illumination Applications. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_energy-savings-report_jan-2012.pdf

Калінчик В.

Колісніченко І., магістрант

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

КОНЦЕПЦІЯ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СУМІЩЕНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Інтеграція штучного і природного світла в будівлях може розглядатися як інженерний прийом оптимізації світлового середовища, за допомогою якого враховуються всі особливості, включаючи переваги і недоліки, обох видів освітлення. При цьому, одночасне використання двох систем, спільна робота яких не було запроєктовано на початковому етапі, як правило, не дає позитивних результатів очікуваного масштабу.

Першу концепцію поєднаного освітлення PSALI (Permanent Supplementary Artificial Lighting- постійне додаткове штучне освітлення) почали розробляти в 1959 році [1]. Однак передумови, на яких вона ґрунтувалася, в даний час не існує. У той час згідно Британським Норм рівні штучної освітленості для шкільних класів регламентувалися на рівні близько 160лк, а для конторських приміщень - близько 200 лк. Таким чином, в глибоких приміщеннях з недостатньою кількістю штучного світла виникала ілюзія надмірно похмурого інтер'єру і яскравих вікон. Для вирівнювання світлового середовища і забезпечення необхідних рівнів освітленості в глибині приміщень в денний час доби, рекомендувалися більш високі значення штучного світла. З цієї концепції випливало, що чим вище зовнішня освітленість, тим вище повинні бути рівні штучної освітленості в приміщенні. Такий підхід в сучасному світі суперечить одному з головних принципів природного освітлення - економія енергетичних ресурсів.

Пізніше, зі збільшенням нормативних рівнів освітленості [1-3] була запропонована концепція, в якій природне світло забезпечував тільки суб'єктивні вимоги забезпечуючи контакт із зовнішнім середовищем, тоді як необхідні рівні освітленості забезпечувалися за допомогою електричного світла. Однак енергетична криза 70-х років перекреслив і цю концепцію.

В основі сучасного підходу до проектування освітлювальних систем збереглися ті ж принципи і вимоги до якості світлового середовища, але з акцентом на енергозбереження і підвищення енергоефективності застосовуваних технологій.

Тільки мінімальне використання електричного світла і переважання природного, використовуючи світлопрозорі отвори, не може забезпечити мінімум енергетичних витрат, так як ліквідація додаткових теплопоступлень і заповнення тепловтрат через них неминуче призведе до зростання енерговитрат. Домогтися раціонального суміщеного освітлення дозволяє оптимізація проектування.

Вимоги до суміщеного освітлення можуть бути поділені на такі групи:

1. Ефективність використання енергії.

При аналізі кількості енергії, що витрачається на суміщене освітлення, необхідний комплексний облік всіх енерговитрат: Слід враховувати, що світлопрозорі огорожувальні конструкції в зимовий період є джерелом додаткових тепловтрат, а влітку надлишкових теплопостачань; електричні втрати в мережі, в ПРА світильника, пікову потреба в електроенергії в залежності від часу дня і періоду року.

2. Самопочуття людей і продуктивність праці.

Світлове середовище характеризується якісними та кількісними параметрами. Якісними характеристиками освітлення є динаміка в часі інтегрованого світла, його спектральний склад, спрямованість світлових потоків, обмеження осліпленості. До

кількісних показників відноситься освітленість, що забезпечується на робочій поверхні або в просторі відповідно до нормативних документів в залежності від характеру об'єктів розрізнення

3. Автоматичне регулювання. Динаміка висвітлення.

Система автоматичного управління освітленням дозволяє управляти світловим потоком джерел світла в залежності від рівня зовнішньої освітленості, графіка робочого часу з урахуванням перерв виробничих процесів і характеру технологічних процесів.

4. Економічна ефективність систем суміщеного освітлення.

При техніко-економічній оцінці ефективності систем суміщеного освітлення і терміну їх окупності в складі капітальних витрат пристрої систем необхідно враховувати витрати на пристрій сонцезахисту, світлових, систем штучного освітлення, включаючи їх автоматичне регулювання, витрати на чистку, ремонт систем, амортизаційні відрахування.

Концептуально система суміщеного освітлення, регульованого автоматично, відкриває перспективи досягнення найвищої енергетичної ефективності внутрішнього освітлення і, з позицій оптимізації енергетичного балансу приміщення, є раціональною системою.

Список використаних джерел

1. Phillips, D. Lighting Modern Buildings / D. Phillips/ – CRC Press, 2013. – 248 p.
2. Боммел, В.Ван. Качество освещения и эффективность: критический обзор / В.Ван. Боммел // Светотехника. – 2011. – №1. – С.6-11.
3. U.S. Department of Energy. Energy Savings Potential of Solid-State Lighting in General Illumination Applications. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_energy-savings-report_jan-2012.pdf

УДК 62-83-52.003(082)

Закладний О.О., к.т.н., доцент; **Корягін М.К.**, магістрант

Гребенюк Т.В., к.т.н.

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

**МЕТОДИКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБГРУНТУВАННЯ
РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСІВ КОМУНАЛЬНОГО ТЕПЛО -
ВОДОПОСТАЧАННЯ**

У статті наведені основні положення розробленої методики та програмного забезпечення, що дозволяють оцінювати енергетичну та економічну ефективність використання різних видів регульованого електроприводу в системах тепло- і водопостачання в залежності від основних параметрів обладнання: потужність та ККД насоса, глибини регулювання, відносного протитиску в системі, типу електропривода, ККД привода, ККД перетворювача, кількості працюючих насосів, періоду роботи насосної установки, цін на регульований електропривод, тарифу на електроенергію, коефіцієнта амортизації, ставки дисконтування, очікуваного строк життя проекту.

Ключові слова: енергозбереження, регульований електропривод, енергетична ефективність, насоси тепло- водопостачання.

The article describes the main provisions of the developed methodology and software that allow estimating the energy and economic efficiency of using different types of regulated electric drives in

the systems of heat and water, depending on the main parameters of the equipment: power and efficiency of the pump, depth of regulation, relative pressure in the system, type the electric drive, the efficiency of the drive, the efficiency of the converter, the number of operating pumps, the period of operation of the pump installation, prices for regulated electric drive, the tariff for electric energy, depreciation rate, expected lifetime of the project.

Key words: energy saving, regulated electric drive, energy efficiency, heat-water pumps.

Вступ.

Системи комунального тепло та водопостачання потребують регулювання продуктивності. Традиційні способи регулювання подачі насосних установок полягають у дроселюванні напірних ліній і зміні числа працюючих агрегатів за одним з технологічних параметрів. Ці способи регулювання спрямовані на вирішення технологічних задач і практично не враховують енергетичних аспектів транспортування води. Таке регулювання призводить до підвищення тиску в мережі, перевитрат електроенергії, збільшення витоків та невиробничих витрат води, підвищеного зношування устаткування [1].

Аналіз стану питання.

Ефективним способом регулювання режиму роботи систем теплопостачання є кількісний, а саме, зміною подачі насосних установок за допомогою регульованого електропривода.

Рис. 1 ілюструє можливості зниження потужності, споживаної двигуном насоса, при регулюванні швидкості електропривода в порівнянні з регулюванням дросельною заслінкою [2].

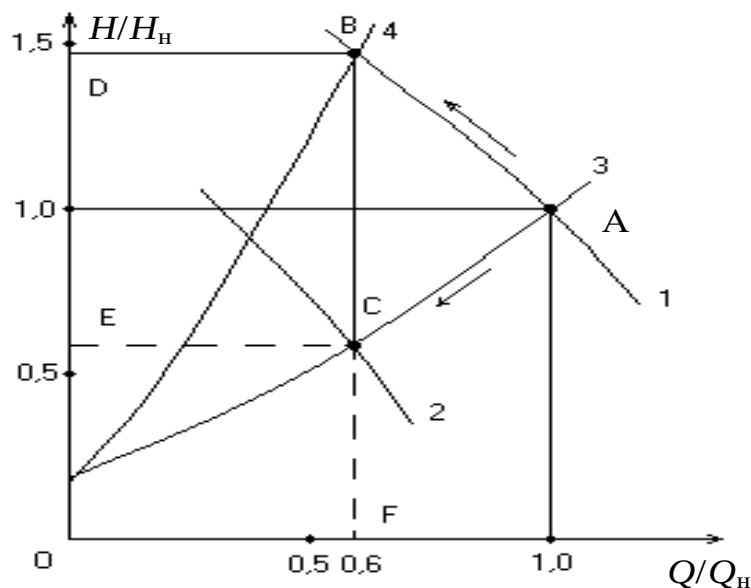


Рисунок 1 - Характеристики насосу та магістралі при різних способах регулювання

При номінальній витраті і напорі насос працює в точці А, що відповідає характеристиці магістралі 3 і характеристиці $Q - H$ насоса (крива 1) при номінальній швидкості двигуна. Зі зменшенням витрати при нерегульованому електроприводі (на рисунку показана витрата, що складає $0,6Q_n$) за рахунок дросельного регулювання відбувається зміна опору магістралі (крива 4). Насос працює в точці В кривої 1, що призводить до зростання напору, який стає більшим від номінального. Потужність, споживана насосом, пропорційна площі прямокутника

ODBF.

При використанні регульованого електропривода за рахунок зниження швидкості насос працює при зниженні витрати в точці С, що відповідає іншій характеристиці $Q - H$ (крива 2) при незмінній характеристиці магістралі (крива 3). Потужність, споживана електроприводом у цьому випадку, пропорційна ОЕСФ, що наочно ілюструє можливості істотного зниження енергоспоживання при впровадженні регульованих електроприводів насосів.

Методики, матеріали і результати досліджень.

На практиці постає задача вибору типу регульованого електроприводу насосу комунального тепло- водопостачання, застосування якого слід аналізувати як з енергетичної, так і з економічної точок зору. Пропонуються методичні засади, що дозволить виконати розрахунки з використанням необхідного числа вхідних даних, а саме:

- номінальних параметрів насосних агрегатів і двигунів (потужність $N_{\text{пот}}$, ККД насоса η , двигунів і пристроїв застосовуваних для регулювання);
- глибини регулювання λ (відношення мінімальної продуктивності $Q_{\text{м}}$ до максимальної $Q_{\text{б}}$ установки);
- відносного протитиску $H_{\text{п}}^*$ (відношення тиску, що відповідає максимальній продуктивності $H_{\text{б}}$ до протитиску $H_{\text{п}}$) як гідравлічної характеристики трубопроводу.

Надлишковий тиск на напірній лінії насоса створюється при його дроселюванні затвором або засувкою. При цьому додатково витрачається енергія. Економія електроенергії за рахунок зняття надлишкового тиску обчислюється за формулою [3]

$$W_{\text{е}} = N_{\text{б}} T \left\{ H_{\text{п}}^* \left(\frac{1,25}{H_{\text{п}}^*} - 1 \right) \frac{1}{4} (1 + \lambda) [2 - (1 + \lambda^2)] \right\}, \quad (1)$$

де $N_{\text{б}} = 10^3 Q_{\text{б}} H_{\text{б}} / \eta$ – споживана насосом потужність, кВт.

За своїми енергетичними характеристиками регульовані приводи поділяються на 3 основні групи:

- приводи з втратами ковзання - приводи з гідравлічними й електромагнітними муфтами ковзання (МК), електродвигуни з реостатом у колі ротора;
- приводи з рекуперацією енергії ковзання асинхронно-вентильні каскади (АВК);
- приводи, які регулюються без втрат ковзання - частотно-регульовані приводи (ЧРП), вентильні двигуни (ВД) та багатошвидкісні двигуни.

Втрати ковзання в приводі істотно залежать від режиму роботи насосної установки і їх можна розрахувати за формулою [3]

$$W_{\text{к}} = N_{\text{б}} T \frac{1 - H_{\text{п}}^*}{3(1 - \lambda) \sqrt{1 - H_{\text{п}}^* / 1,25}} \times \left[\left(3 \frac{H_{\text{п}}^*}{1 - H_{\text{п}}^*} - 2 \frac{H_{\text{п}}^* / 1,25}{1 - H_{\text{п}}^* / 1,25} + 1 \right) \times \sqrt{1 + \frac{H_{\text{п}}^* / 1,25}{1 - H_{\text{п}}^* / 1,25}} - \right. \\ \times \left. \left(3 \frac{H_{\text{п}}^*}{1 - H_{\text{п}}^*} - 2 \frac{H_{\text{п}}^* / 1,25}{1 - H_{\text{п}}^* / 1,25} + \lambda^2 \right) \times \sqrt{\lambda^2 + \frac{H_{\text{п}}^* / 1,25}{1 - H_{\text{п}}^* / 1,25}} - \frac{3}{4} (1 - \lambda^2) \times \right. \\ \times \left. \sqrt{1 - \frac{H_{\text{п}}^*}{1,25}} \left(1 + \lambda^2 + 2 \frac{H_{\text{п}}^*}{1 - H_{\text{п}}^*} \right) \right]. \quad (2)$$

Приводи з втратами ковзання. Втрати в таких приводах визначаються головним чином величиною втрат ковзання W_K . Інші втрати (на вентиляцію, тертя в підшипниках, щіткових контактах і т.п.) складають у середньому 5...10 % втрат ковзання, тому їх можна враховувати орієнтовно [3]

$$W_B = W_K + (0,05...0,1)W_K, \quad W_B \cong 1,075W_K. \quad (4)$$

Приводи з рекуперацією енергії ковзання. В каскадних схемах втрати, що залежать від ковзання, складають

$$W_B = W_K(1 - \eta_K), \quad (5)$$

де η_K - ККД каскадної схеми перетворення.

Крім того, застосування каскадних схем збільшує постійні втрати в приводі, що у свою чергу складають 4...6% споживаної потужності. Тому

$$W_B = W_K(1 - \eta_K) + (0,05 N_B T). \quad (6)$$

Приводи, які працюють без втрат ковзання. Для агрегатів з частотним перетворювачем додаткові втрати обумовлені втратами в перетворювачі і деяким зниженням ККД двигуна через несинусоїдальність перетвореного струму

$$W_B = N_B T(1 + \zeta - \eta_{ПР}), \quad (7)$$

де $\zeta = 0,03...0,05$ - коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок несинусоїдальності перетвореного струму, $\eta_{ПР}$ - ККД перетворювача.

У двошвидкісних двигунах ККД на 2...3% нижчий ніж одношвидкісних, тому додаткові втрати визначають за формулою

$$W_B = (0,02...0,03)N_B T. \quad (8)$$

Регулювання частоти обертання насосів зменшує споживання енергії, що витрачається на перекачування води, але викликає додаткові втрати енергії в приводі. Тому результуюча економія енергії дорівнює

$$W_P = W_E - W_B, \quad (9)$$

де W_E – економія енергії, одержувана за рахунок регулювання частоти обертання насоса; W_B – додаткова витрата енергії на компенсацію втрат у приводі.

Режим роботи групи насосів відрізняється від режиму роботи одного насоса. В рівняння, які визначають результуючу економію енергії, вводиться коригувальний коефіцієнт ϕ (Таблиця). Надлишковий тиск, створюваний групою насосів, менший ніж тиск, створюваний одним насосом з еквівалентною подачею, тому економія енергії менша

$$W_P = (W_E - W_B)\phi. \quad (10)$$

Таблиця. Значення коефіцієнта ϕ залежить від кількості робочих агрегатів.

Число робочих агрегатів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ϕ	1,0	0,75	0,66	0,56	0,5	0,47	0,44	0,42	0,4	0,38

Для оцінки економічної ефективності прийняті такі показники ефективності капітальних вкладень [4]:

- строк окупності (PP);
- дисконтований строк окупності (PPB);

- чиста приведена вартість (NPV);
- внутрішня норма прибутковості (IRR).

PP можна виразити в такий спосіб

$$PP = \frac{K_0}{\text{ЧП} + A},$$

де K_0 – загальна вартість проекту, ЧП – чистий прибуток від проекту, A – амортизаційні відрахування.

PBP – час, необхідний для покриття початкових інвестицій за рахунок чистого грошового потоку, який генерується інвестиціями.

NPV – поточна вартість майбутніх грошових потоків інвестиційного проекту, – визначається з урахуванням дисконтування, за винятком інвестицій. Вона розраховується з використанням прогнозованих грошових потоків, пов'язаних із планованими інвестиціями за формулою

$$NPV = \sum_{i=1}^N \frac{NCF_i}{(1+r)^i} - INV,$$

де NCF_i – чистий грошовий потік для i -го періоду, INV – початкові інвестиції, r – ставка дисконтування (вартість капіталу, задіяного для інвестиційного проекту).

IRR – ставка дисконтування, при якій сумарна приведена вартість доходів від здійснюваних інвестицій дорівнює вартості цих інвестицій. IRR визначає максимальну вартість задіяного капіталу, при якій інвестиційний проект залишається вигідним. В іншому формулюванні, – це середній доход на вкладений капітал, забезпечуваний даним інвестиційним проектом.

Математичне визначення внутрішньої норми рентабельності

$$\sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+IRR)^j} = INV,$$

де CF_j – вхідний грошовий потік у j -ий період, INV – значення інвестиції.

Дані проказники, так само як і відповідні їм методи, використовуються в двох варіантах:

- для визначення ефективності незалежних інвестиційних проектів (так звана абсолютна ефективність), коли робиться висновок про те, прийняти проект чи відхилити;
- для визначення ефективності взаємовиключаючих проектів (порівняльна ефективність), коли робиться висновок про те, який проект прийняти з декількох альтернативних.

Кожний з методів аналізу інвестиційних проектів дає можливість розглянути окремі характеристики й особливості проекту. Найефективнішим засобом оцінки і вибору інвестиційних проектів слід визнати комплексне застосування всіх основних методів при аналізі кожного з цих проектів.

Авторами було розроблено програмне забезпечення для оцінки енергетичної та економічної ефективності використання регульованого електропривода в системах тепло та водопостачання на базі методики, наведеної вище. Воно призначене для роботи на персональному комп'ютері в середовищі операційної системи WINDOWS. Програмне забезпечення розраховує доцільність використання основних видів регульованого приводу (ЧРП, ВД, АВК, МК) в залежності від конкретних параметрів – потужності та ККД насоса, глибини регулювання, відносного протитиску в системі, виду електропривода, ККД приводу, ККД перетворювача, кількості працюючих насосів, періода роботи насосної установки, ціни на електропривод, тарифу на електроенергію, коефіцієнта амортизації, ставки дисконтування,

очікуваного строку життя проекту.

Програмне забезпечення має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача (рис.2) і вираховує економічну ефективність за допомогою економічних показників (PP , PPB , NPV , IRR), видає порівняльну характеристику економічної доцільності застосування різних видів електроприводу, а також будує графіки залежності наведених показників від параметрів заданої системи. Останнє дозволяє оцінити доцільність використання регульованого приводу не лише в конкретній ситуації, а й у межах області значень параметрів, що дозволяє користувачу прийняти вірне рішення.

На рис. 3 зображена залежність чистої приведеної вартості від глибини регулювання для порівняних приводів при потужності двигуна 100 кВт. З рисунка видно, що для області значень глибини регулювання $\lambda = 0,1 \dots 0,83$ найвигіднішим є застосування ЧРП, а на області значень $\lambda = 0,84 \dots 1,0$ застосування регульованого приводу взагалі недоцільне. Можна зробити висновок - чим більша глибина регулювання тим вигідніше стає використання регульованого приводу. При потужностях електроприводу понад 150 кВт доцільнішим стає застосування ВД.

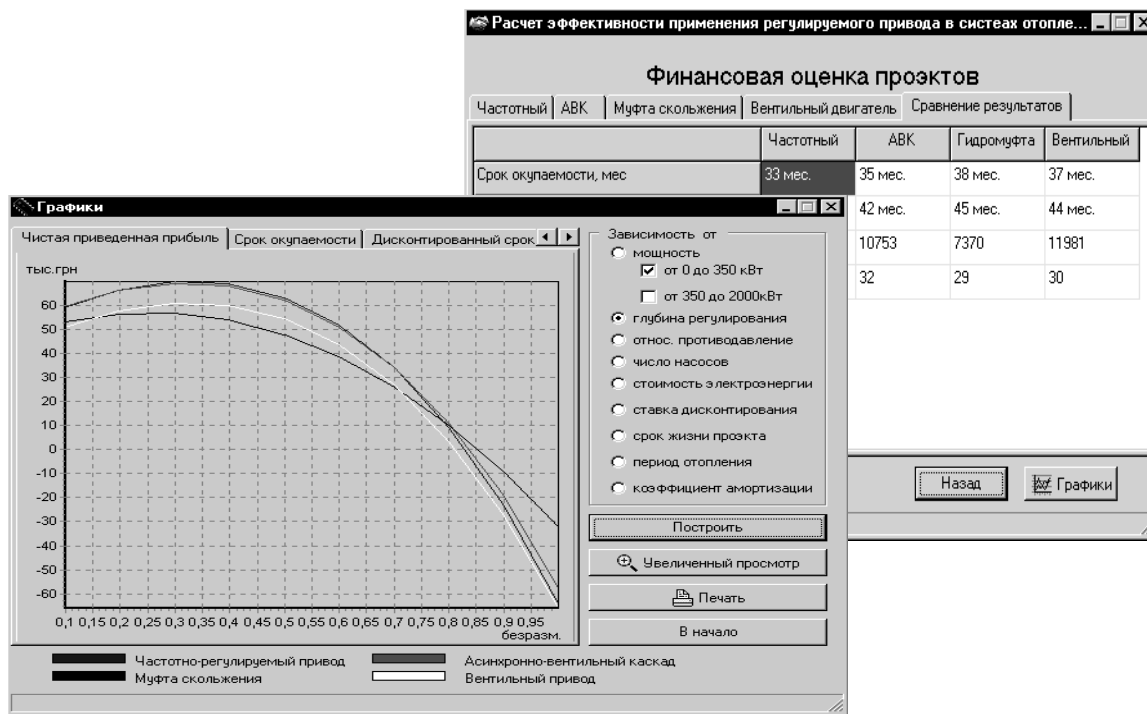


Рисунок 2 - Програмне забезпечення для визначення економічної доцільності впровадження регульованого електроприводу насосів комунального тепло- водопостачання

На рис. 4 зображено залежність NPV від періоду опалювання T_o при $\lambda = 0,8$. Так, наприклад, для Києва $T_o = 4224$ год., тому є доцільним застосування ЧРП, а для Ялти, де $T_o = 2856$ год., застосування цього приводу при тих самих умовах є недоцільним. Тобто, чим триваліший період опалювання - тим вигіднішим стає застосування регульованого приводу.

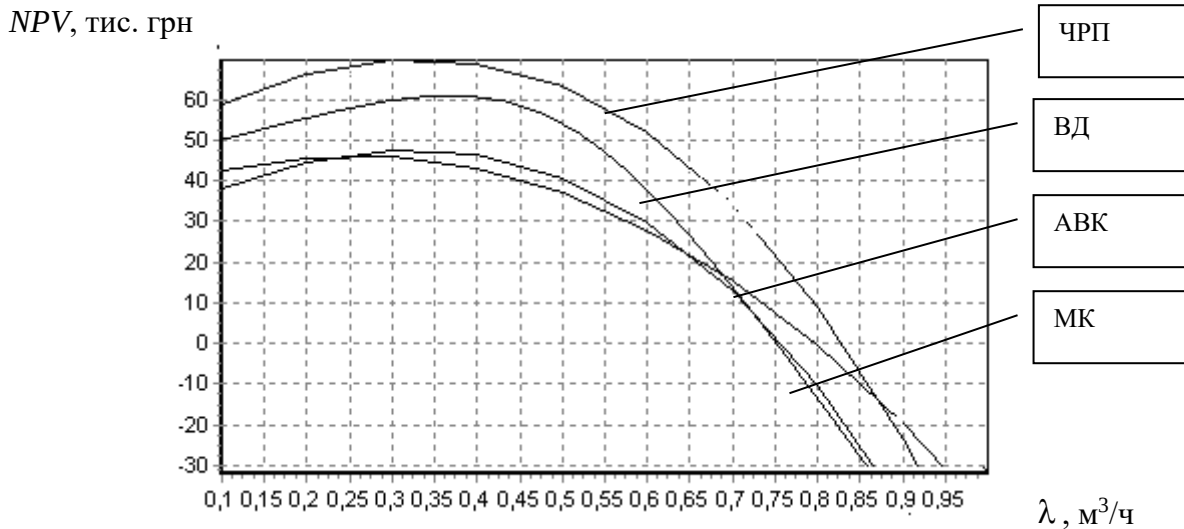


Рисунок 3 - Залежність чистої приведеної вартості заходу з впровадження регульованого електроприводу від глибини регулювання

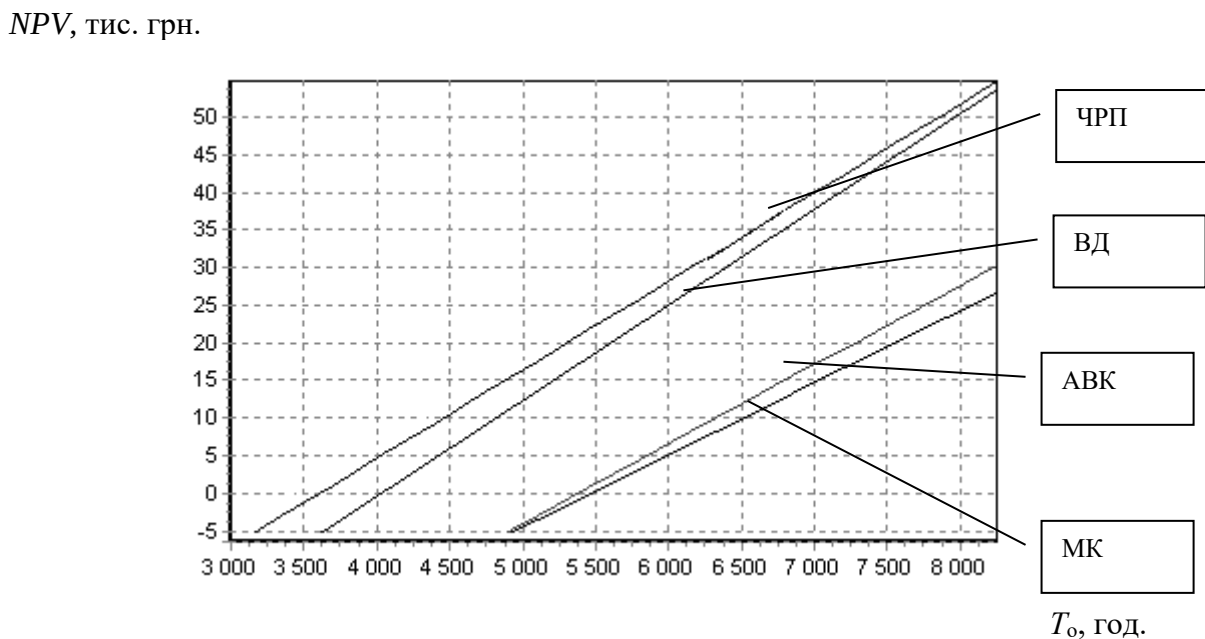


Рисунок 4 - Залежність чистої приведеної вартості заходу з впровадження регульованого електроприводу від періоду опалювання

На рис. 5 зображено залежність NPV від ставки дисконтування r при $\lambda = 0,8$. Базове визначення r – це ставка доходу, який можна одержувати на свої гроші, якщо відмовитися від аналізованих інвестицій вмістити їх до інвестиційних проектів, не пов'язаних з помітним ризиком (банківські депозити, стабільні цінні папери і т.ін.), тобто ставка “природного приросту грошей”.

З рис. 5 видно, чим вищий показник r , тим нижча NPV , при цьому якщо $r \leq 35\%$, то найдоцільнішим є застосування ЧРП.

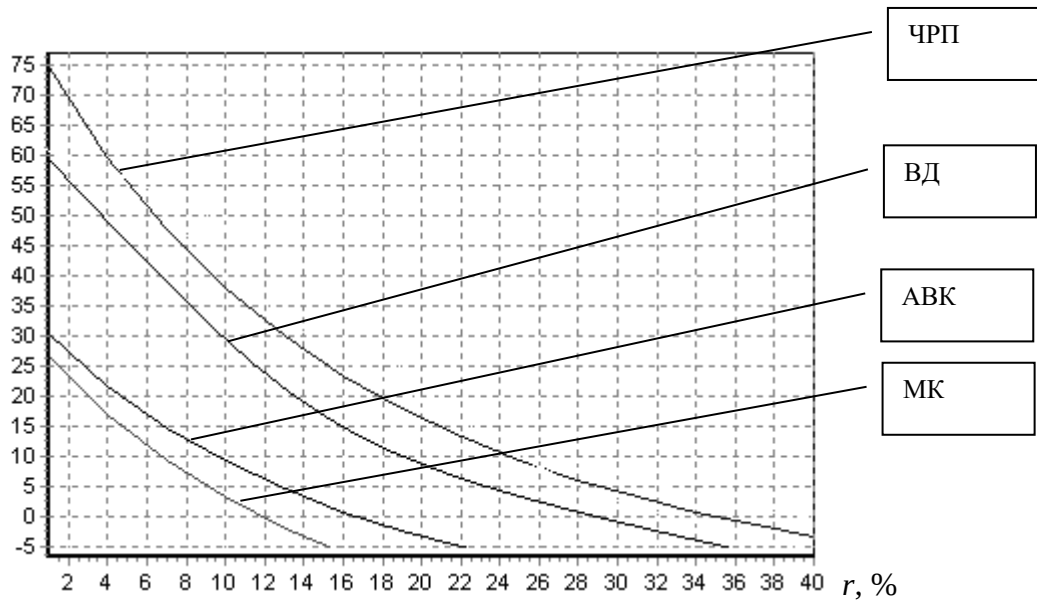
NPV , тис. грн

Рисунок 5 - Залежність чистої приведеної вартості заходу з впровадження регульованого електроприводу від ставки дисконтування

На рис. 6 зображено залежність NPV від строку життя проекту $t_{ж}$. З рисунка видно, що починаючи від строку життя 4,5 роки вигідним стає застосування ЧРП, а при 6,2 року – ВД, причому зі зростанням строку життя проекту різниця між економічною доцільністю застосування ЧРП та ВД зменшується.

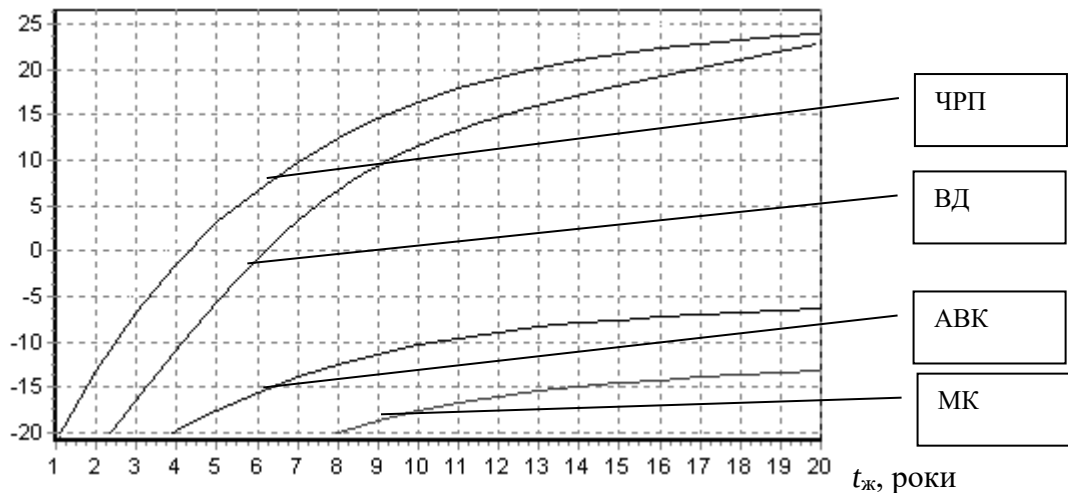
 NPV , тис. грн

Рисунок 6 - Залежність чистої приведеної вартості заходу з впровадження регульованого електроприводу від строку життя проекту

Висновок. Розроблене програмне забезпечення дозволяє оцінювати енергетичну та економічну ефективність використання того чи іншого регульованого електропривода в системах тепло та водопостачання.

Запропонована методика враховує основні параметри обладнання: потужність та ККД насоса, глибину регулювання, відносний протитиск в системі, тип електропривода, ККД привода, ККД перетворювача, кількість працюючих насосів, період роботи насосної

установки, ціни на регульований електропривод, тариф на електроенергію, коефіцієнт амортизації, ставку дисконтування, очікуваний строк життя проекту. Остаточний вибір системи електропривода необхідно здійснювати за допомогою таких фінансових критеріїв, як чиста дисконтована вартість, внутрішня норма рентабельності та дисконтований строк окупності.

Розроблене та експериментально перевірене програмне забезпечення може бути застосоване при проведенні енергетичного аудиту та в проектній практиці.

Список використаної літератури.

1. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник/ В.В.Прокопенко, О.М.Закладний, П.В.Кульбачний. – Київ.: Освіта України, 2009. – 438с. .
2. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник.-К: Кондор, 2005. – 408 с.
3. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках-М.:Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
4. Царев В.В Оценка экономической эффективности инвестиций. С.–Пб.: Питер 2003. – 464 с.

УДК 62-83-52.003(082)

О.О. Закладний, канд. техн. наук, доцент; **С.Л. Прядко** старший викладач

М.А. Іорк, магістрант.

ПОКАЗНИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Стаття присвячена питанням визначення технічного стану електромеханічних систем з асинхронними двигунами за допомогою показника відносної зношеності ізоляції та аналізу складників втрат, які доцільно застосовувати в smart системах технічного діагностування.

Ключові слова: електромеханічна система, діагностичні ознаки, аварійні режими, асинхронні двигуни, smart системи технічного діагностування.

The article is devoted to the definition of technical condition of electromechanical systems with induction motors using relative insulation deterioration and loss analysis components that should be used in the systems of functional diagnostics.

Key words: electromechanical system, diagnostic signs, emergency mode, asynchronous motors, smart technical diagnosis system.

Вступ. Значна частина промислових установок і механізмів на підприємствах України експлуатуються з перевищенням установленого строку служби, що призводить до їх високої аварійності та виходу з ладу двигунів. Аварії поділяються на технологічні – близько 35%, експлуатаційні – 50% та конструкційні – 15% [2]. Щороку виходять з ладу до 20% двигунів у машинобудівній промисловості, 30% - у гірничовидобувній, 15% - у металургійній, 55% - у будівництві, 20% - у машинобудуванні, 10 -15% - у хімічній [3].

Експлуатація електромеханічних систем (ЕМС), яка супроводжується численними

ремонтами, призводить до того, що на підприємствах використовуються електроприводи, реальні технічні та енергетичні показники яких значно нижчі декларованих виробником, а середній строк служби двигунів не перевищує 5-7 років. Тимчасом електропривод розраховано на термін служби 15 – 20 років без капітального ремонту за умови його експлуатації відповідно до ТУ і виконання.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення діагностичних показників технічного стану двигунів для застосування у smart системах діагностування, яке здійснюється шляхом контролювання показників у реальному часі та оцінювання технічного стану ЕМС для виявлення неефективних режимів роботи та прийняття обґрунтованих рішень щодо подальшої експлуатації.

Матеріали і результати досліджень. Найпоширенішими аваріями в ЕМС є струмові. Ознаки, за якими можна визначити аварійні режими та їх вплив на електропривод, наведено в [4].

Причиною більшості механічних аварій є радіальна вібрація через асиметрію напруги живлення, механічні перевантаження на валу двигуна, виробничий брак комплектуючих елементів або неакуратне складання.

Значна кількість аварій має прихований характер і виявляється лише після відповідних випробувань або розбирання двигуна, однак постійний контроль мережевої напруги та струму ЕМС за допомогою засобів діагностування дозволяє у більшості випадків звести цю ймовірність до мінімуму.

На сьогодні не існує універсального критерію визначення технічного стану ЕМС придатного для застосування в smart системах технічного діагностування. Пропонується визначати технічний стан ЕМС за допомогою показника відносної зношеності ізоляції та аналізу складників втрат, за якими діагностується ушкодження у відповідному вузлі.

Зношеність ізоляції для роботи ЕМС з графіком електричного навантаження із постійним навантаженням

$$\xi = \frac{1}{Z} = c e^{b\tau},$$

де Z - строк придатності ізоляції; c і b – сталі коефіцієнти для даного виду ізоляції.

Відносна зношеність ізоляції

$$\chi = \frac{\xi}{\xi_n} = e^{b(\tau - \tau_n)} = e^{b\Delta\tau}.$$

Середнє значення відносної зношеності ізоляції двигуна за період часу T

$$\bar{\chi} = \frac{1}{T} \int_0^T e^{b\Delta\tau} dt.$$

Якщо ЕМС працює зі зниженим навантаженням, то відносна зношеність ізоляції, як правило, нижча від номінального значення. Коли робоча температура вища припустимої, відносна зношеність перевищує одиницю. Таким чином, головна умова справного технічного стану - відносна зношеність ізоляції за певний період часу (цикл роботи, зміну тощо) не повинна перевищувати одиницю.

Таким чином, відносна зношеність може розглядатись як діагностична ознака, а його значення понад одиницю свідчить про перехід двигуна до ненормального, передаварійного режиму.

Як другу ознаку технічного стану пропонується застосовувати величину втрат у його вузлах. Аналіз цих величин здійснюється шляхом порівняння фактичних значень складових втрат ΔP_{ϕ} з їх еталонними значеннями ΔP_e . Якщо $\Delta P_{\phi} > \Delta P_e$, двигун ЕМС знаходиться у незадовільному технічному стані. Таким чином, за складовими втрат діагностується несправність у відповідному вузлі ЕМС.

Результати моделювання асинхронного двигуна 40 кВт для роботи його відповідно до типового графіка електричного навантаження насосної установки, в припущенні несправності в обмотці статора, вираженої в суттєвому зниженні її опору внаслідок міжвиткових замикань, наведено на рис. 1.

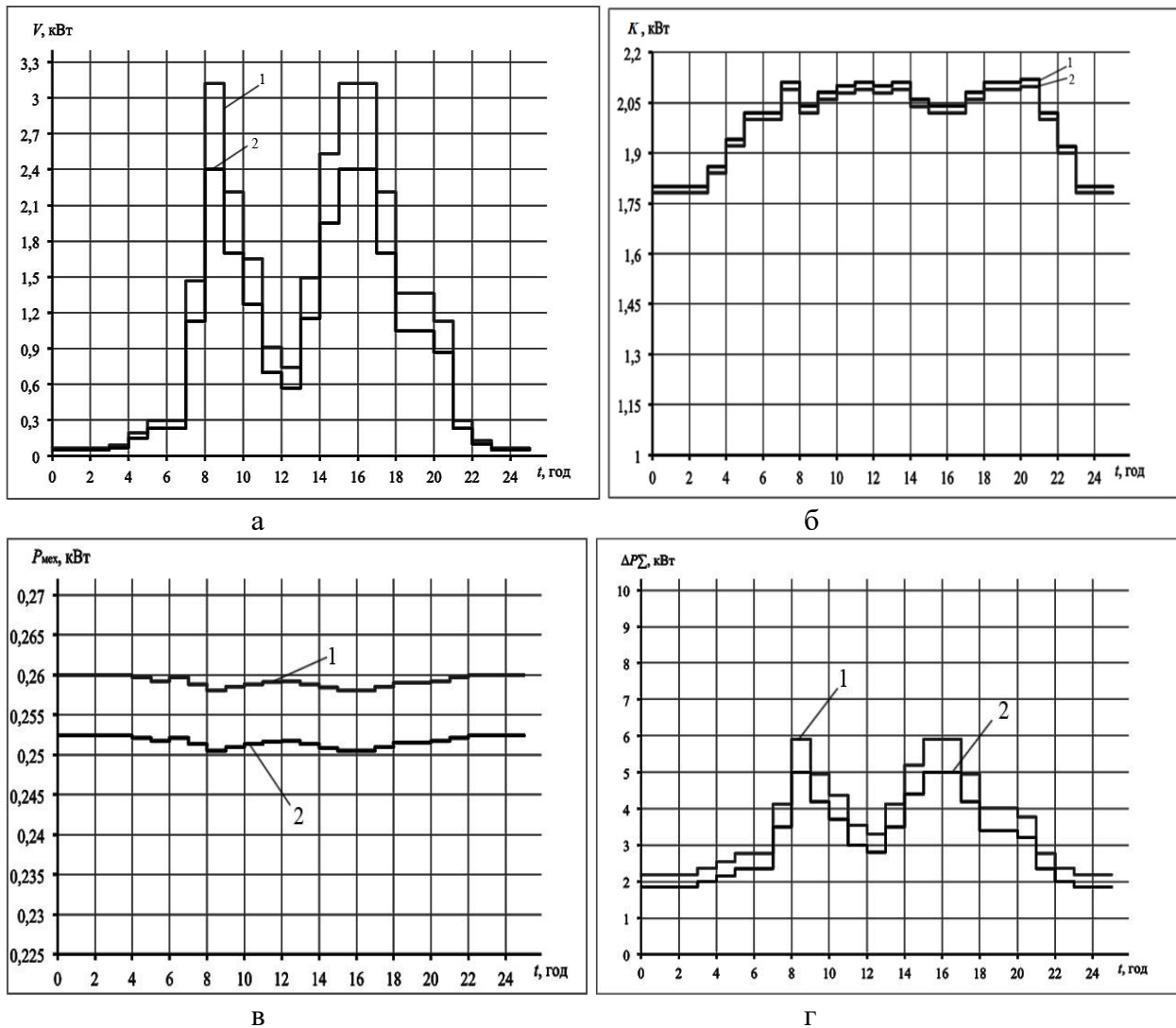


Рис. 1 Результати моделювання складових втрат асинхронного двигуна насосної установки з несправностями обмотки статора (1 – несправний двигун, 2 - справний): а - змінні втрати; б - постійні втрати; в - механічні втрати; г - повні втрати

Як видно з рис. 1, суттєво більшими порівняно з еталонними є значення змінних втрат. А саме, зросли на 50% втрати в обмотці статора внаслідок збільшення струму, що споживається. Це свідчить про несправність в обмотці статора. Змінні втрати в роторі лишились практично сталими. Постійні втрати зменшились на 1% внаслідок спадання напруги

в обмотці ротора через збільшення спожитого струму асинхронного двигуна. Механічні втрати збільшились на 3% через виникнення гальмівних моментів під час роботи несправного двигуна. Загальні втрати зросли на 18%. Крім того, ККД знизився на 2%. Таким чином, аналізуючи складники втрат, можна зробити висновок про пошкодження в обмотці статора.

Висновки.

Для визначення технічного стану та виявлення механічних несправностей ЕМС запропоновано використовувати показник відносної зношеності ізоляції та аналіз складників втрат.

Результати математичного моделювання асинхронного двигуна насосної установки підтверджують, що показник відносної зношеності ізоляції та аналіз складників втрат можуть використовуватись як діагностичні ознаки, які доцільно застосовувати в smart системах технічного діагностування. Аналіз складників втрат виявляє несправність у відповідному вузлі двигуна, а значення показника відносної зношеності ізоляції понад одиницю свідчить про перехід двигуна до передаварійного режиму роботи.

Список літератури

1. Вовк О.Ю. Метод періодичного діагностування асинхронних двигунів/ О.Ю. Вовк, Л.М. Безменнікова, С.О. Квітка // Праці ТДАТУ. – 2010. - № 10, Т4. - С. 39-46.
2. Котеленец Н.Ф. Испытания и надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов по спец. “Электромеханика” / Н.Ф. Котеленец, Н.Л. Кузнецов – М.: Высш. шк., 1988. – 232 с.
3. Державний комітет статистики України «Статистичний довідник «Україна в цифрах» за 2007 рік», - К.: Вид-во «Консультант», 2008 – 260 с.
4. Закладний О.М., Закладний О.О., Оборонов Т.Ю. Діагностичні ознаки аварійних режимів асинхронних електродвигунів // Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро. 2011. №2. С. 23-30.

УДК 621

В.В. Прокопенко, канд. техн. наук, доцент, **Ю.І. Красицький**, магістр

О.О. Закладний, канд. техн. наук, доцент

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

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПІДПРИЄМСТВА

У статті наведено результати порівняння методів підвищення енергоефективності технологічного електроприводу підприємства за рахунок: встановлення енергоефективного двигуна, двигуна з оптимальною номінальною потужністю, ремонту двигуна, приводів з змінною швидкістю, встановлення високоефективних передач / трансмісій з редуктором, управління якістю електропостачання.

Ключові слова: електропривід, підвищення енергоефективності, електропостачання, енергоефективний двигун

The comparison of the methods of increasing the energy efficiency of a technological electric drive of the enterprise is shown by: installation of an energy efficient engine, an engine with optimum rated power, engine repair, variable speed drives, installation of high-efficiency transmissions / gearboxes, and power supply quality management.

Вступ

Системи з електроприводом є практично на всіх промислових підприємствах, де доступна електроенергія. Практична застосовність конкретних методів і економічний ефект від їх застосування залежать від масштабів і конкретних умов підприємства. Вибір заходів, одночасно відповідають критеріям практичної можливості бути реалізованим і економічної ефективності, доцільно здійснювати на основі аналізу потреб підприємства в цілому і конкретної системи (підсистеми). Цей аналіз повинен здійснюватися силами кваліфікованого консультанта в області електроприводів або власного інженерного персоналу підприємства, що володіє належною кваліфікацією. Зокрема, ретельний аналіз такого роду важливий при розгляді варіантів, пов'язаних з приводами зі змінною швидкістю і енергоефективними двигунами, оскільки при певних умовах впровадження цих пристроїв може призвести не до енергозбереження, а до додаткових енерговитрат. Крім того, важливо оцінити як пропонувані плани впровадження нових систем з електроприводом, так і потенціал модернізації існуючих систем. Підсумком такого аналізу має бути перелік заходів, які можна застосувати в умовах конкретного підприємства, з оцінкою обсягів заощадження, витрат та терміну окупності кожного заходу.

Наприклад, при виробництві енергоефективних двигунів використовується більше матеріалів (міді і сталі), ніж при виробництві традиційних двигунів. При цьому енергоефективні двигуни характеризуються більш високим ККД, але також і меншим ковзанням (наслідком чого є більш висока частота обертання) і більш високою величиною пускового струму. Нижче наведено кілька прикладів ситуацій, в яких використання енергоефективного двигуна не є оптимальним рішенням:

При експлуатації системи в умовах повного навантаження заміна традиційного двигуна на енергоефективний призводить до збільшення швидкості обертання вентиляторів (внаслідок меншої величини ковзання) і, як наслідок, моменту навантаження. В цьому випадку впровадження енергоефективного двигуна може призвести до збільшення енергоспоживання в порівнянні з традиційним приводом. У разі використання енергоефективного двигуна конструктивна схема повинна передбачати заходи, що дозволяють уникнути збільшення частоти обертання кінцевого обладнання;

якщо система експлуатується менше 1-2 тис. год / рік, впровадження енергоефективного двигуна може не внести суттєвий внесок в енергозбереження

якщо система часто запускається і зупиняється, зекономлена електроенергія може бути витрачена внаслідок більш високого пускового струму, характерного для енергоефективних двигунів;

якщо система зазвичай функціонує з частковим навантаженням (наприклад, насоси), але протягом тривалого часу, обсяги енергозбереження в результаті впровадження енергоефективного двигуна можуть виявитися незначними в порівнянні з потенціалом приводу зі змінною швидкістю. Методи підвищення енергоефективності підсистеми з електроприводом наведені в таблиці 1.

Аналіз стану питання. Як відомо, основну частину електроприводів складають асинхронні електропривода загальнопромислового призначення, тому завдання підвищення енергоефективності цих приводів є досить актуальним.

Мета роботи – підвищення енергоефективності технологічного електроприводу підприємства.

Методи підвищення. Екологічні переваги та мотиви впровадження.

Таблиця 1: Методи підвищення енергоефективності підсистеми з електроприводом

Методи підвищення енергоефективності підсистеми з електроприводом	Величина енергозбереження в %
Встановлення нового або реконструкція старого обладнання	
Енергоефективний двигун	2-8
Двигун з оптимальною номінальною потужністю	1-3
Ремонт двигуна, який забезпечить енергоефективність	0,5-2
Приводи з змінною швидкістю	4-50
Високоєфективні передачі/трансмисії з редуктором	2-10
Управління якістю електропостачання	0,5-3
Експлуатація і технічне обслуговування системи	
Регулювання, замазка та налаштування	1-5

Вплив на різні компоненти навколишнього середовища

Гармоніки, створювані регуляторами швидкості, можуть призводити до додаткових втрат енергії в двигунах і трансформаторах. Виробництво енергоефективного двигуна вимагає більшої кількості природних ресурсів (міді і сталі). Витрати на придбання енергоефективного двигуна перевищують вартість традиційного двигуна приблизно на 20%.

При придбанні або ремонті електродвигуна важливо оцінити енергоспоживання і розглянути можливості його мінімізації з урахуванням наступних міркувань:

для двигунів змінного струму період окупності може становити 1 рік або навіть менше;

для двигуна з підвищеною енергоефективністю може вимагатися більш тривалий період окупності за рахунок енергозбереження.

Мотиви впровадження

Приводи змінного струму часто використовуються з метою забезпечення кращого управління машинами і механізмами;

При виборі двигуна мають значення й інші фактори, наприклад, безпеку, якість і надійність, реактивна потужність, періодичність технічного обслуговування.

Приклади

LKAB (Швеція): це гірничодобувне підприємство споживає 1700 ГВт • год електроенергії на рік, причому 90% енергоспоживання припадає на 15 тис. електродвигунів. Перейшовши на високоєфективні двигуни, підприємство змогло скоротити щорічні витрати на енергію на кілька сот тисяч доларів (дата не вказана);

Фабрика по виробництву продуктів харчування компанії Heinz (Великобританія): новий енергетичний центр буде на 14% ефективніше завдяки використанню дуттєвих вентиляторів, керованих приводами змінного струму. В енергетичному центрі, який замінив раніше існуючу котельню, є чотири котлоагрегату.

Вибір оптимальної номінальної потужності двигуна

Дуже часто номінальна потужність електродвигуна є надлишковою з точки зору навантаження - двигуни рідко експлуатуються при повному навантаженні. За даними досліджень, що проводилися на підприємствах країн ЄС, в середньому двигуни експлуатуються при навантаженні, що становить 60% від номінальної.

Електродвигуни досягають максимального ККД при навантаженні від 60 до 100% номінальної, як показано на (Рис.1). Індукційні двигуни досягають максимального ККД при навантаженні близько 75% номінальної, і величина ККД залишається практично незмінною

при зниженні навантаження до 50% номіналу. При навантаженні нижче, ніж 40% номінальної, умови роботи двигуна істотно відрізняються від оптимальних, і ККД знижується дуже швидко. У двигунів високої потужності поріг, нижче якого відбувається різке зниження ККД, становить близько 30% номінального.

Використання двигунів з оптимальною номінальною потужністю:

- Сприяє підвищенню енергоефективності, дозволяючи експлуатувати двигуни при максимальному ККД;
- Може сприяти зниженню втрат в мережах, пов'язаних з низьким коефіцієнтом потужності;
- Може сприяти деякому зниженню частоти обертання вентиляторів і насосів і, як наслідок, енергоспоживання цих пристроїв.

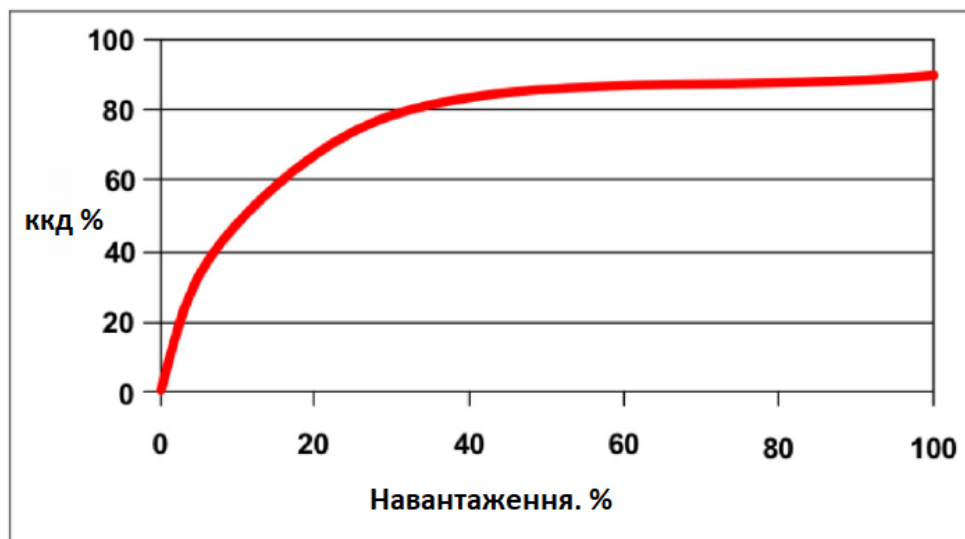


Рисунок 1 - Залежність ККД електродвигуна від його навантаження

Електроприводи зі змінною швидкістю

Використання приводів зі змінною швидкістю, що представляють собою поєднання електродвигуна з регулюючим пристроєм, здатне привести до значного енергозбереження, пов'язаного з більш ефективним управлінням характеристиками технологічного процесу. Інші позитивні ефекти застосування таких пристроїв включають, зокрема, зменшення зносу механічного устаткування і зниження рівня шуму. При роботі в умовах змінного навантаження приводи зі змінною швидкістю дозволяють істотно знизити рівень енергоспоживання. Зокрема, для таких застосувань, як відцентрові насоси, компресори та вентилятори, скорочення енергоспоживання, може перебувати в діапазоні -4-50%. Використання приводів зі змінною швидкістю сприяє скороченню рівня енергоспоживання і підвищенню загальної продуктивності таких пристроїв з обробки матеріалів, як центрифуги, млини і різні верстати, а також таких пристроїв по переміщенню матеріалів, як накати (стрічкопротяжні механізми), конвеєри і підйомники.

Можливі позитивні ефекти використання приводів із змінною швидкістю включають: розширення діапазону можливих режимів експлуатації встановлених виконавчих пристроїв; ізоляцію двигунів від мереж, що може сприяти більш стабільному режиму роботи двигунів і підвищенню ККД;

можливість точної синхронізації декількох двигунів;

підвищення швидкості і надійності реагування на зміну умов праці.

Приводи зі змінною швидкістю не є оптимальним рішенням для будь-яких умов. Зокрема, їх застосування не є виправданим в умовах постійного навантаження (наприклад, для дуттєвих вентиляторів печей киплячого шару, компресорів окисного повітря і т.д.), оскільки втрати в регулюючому пристрої становлять 3-4% споживаної енергії (перетворення частоти, коригування фази).

Частотно-регульований електропривід

Одним з головних переваг використання регульованого електроприводу насосних агрегатів є можливість адаптації його характеристик до характеристик гідравлічної мережі за допомогою вибору раціональної номінальної швидкості обертання робочого колеса, що відповідає основним режиму роботи установки. При цьому номінальна швидкість може бути як вище, так і нижче стандартного значення. Більшість насосів і насосних станцій працює або об'єктивно повинні працювати зі змінною продуктивністю.

Переваги частотного регулювання

- зниження навантаження на електричну мережу завдяки відсутності пускових струмів двигуна;
- плавність регулювання тиску в порівнянні зі ступінчастим його зміною при включенні / виключенні додаткових насосів;
- усунення гідравлічних ударів, зношують трубопроводи, клапани та насоси.

Висновки

В статті показані методи підвищення енергоефективності технологічного електроприводу підприємства. Щоб правильно вибрати метод, який підходить підприємству, необхідно провести його аналіз. Відповідно до проведеного аналізу, фінансових можливостей підприємства та побажання керівництва, вибирається один із вище наведених методів, який найбільше підходить за зазначеними вище критеріями. В залежності від вибраного методу, енергоефективність підприємства може бути підвищена на 50 %.

Список літератури

1. Електропривод / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний.- Київ НТУУ«КПІ» 2007. -26- 27с.
2. Экономическое обоснование внедрения на промышленных предприятиях энергосберегающих технологий и оборудования / Г.Я. Вагин, Н.Н. Головкин, Е.Б. Солнцев, А.А. Лямин // Промелектро. – 2005. – № 4. – С. 46 – 59.
3. Лезнов Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках. – М: Энергоатомиздат, 1991 – 144 с.

УДК 621**В.В. Прокопенко**, канд. техн. наук, доцент, **В.В. Лазарєв**, магістр

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

ВИКОРИСТАННЯ КОНДЕНСАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

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 реактивної 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, енергетична ефективність.

In the framework of the aforementioned fundamental method for reactive power 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 loads of electrotechnics, transformers and distributive devices; changing the stained glass to pay for electricity; in the Virgin type of installations, reduce higher harmonics; suppress the smallest and reduce the asymmetry of the phases; make distributive networks more reliable and more economical.

Key words: energy saving, compensation, reactive power, energy efficiency.

Мета дослідження: аналіз сучасних систем і комплексів компенсації реактивної потужності та алгоритмів їх функціонування, дослідження зниження втрат електричної енергії в мережах, а також керування компенсуючими установками.

Предмет дослідження: способи компенсації реактивної потужності, енергетичні характеристики режимів роботи джерел реактивної потужності.

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 перетворюється в корисну – механічну, теплову та ін. енергію. 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.

У загальному випадку вираз для визначення реактивної потужності має вигляд $Q = U \times I \times \sin\varphi$. Вона позитивна при струмі, який відстає (індуктивне навантаження — $0 < \varphi < 180$) і негативна при струмі, який випереджає (ємнісне навантаження — $180 < \varphi < 360$). Показником споживання реактивної енергії (потужності) є коефіцієнт потужності $\cos\varphi$, який показує співвідношення активної потужності P і повної потужності S , споживаній електроприймачами

з мережі: $P = S \times \cos\varphi$. Одиницею вимірювання реактивної потужності є вольт-ампер реактивний (ВАр).

Значення коефіцієнта потужності некомпенсованого устаткування наведені в табл.1. В оптимальному режимі показник повинен прямувати до одиниці і відповідати нормативним вимогам.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта потужності некомпенсованого устаткування.

Тип навантаження	Приблизний коефіцієнт потужності
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

Реактивна потужність, яка споживається промисловим підприємством у кожній даній точці мережі, визначається величиною намагнічувальної потужності, яка необхідна для окремих елементів електроустановки, які розташовані за даною точкою в напрямку передачі енергії. Реактивні навантаження підприємств не залишаються незмінними не тільки протягом більш-менш тривалих проміжків часу доби місяця року, але й протягом однієї виробничої зміни. Ці навантаження безупинно змінюються залежно від виробничої програми окремих струмоприймачів, від ступеня їхнього завантаження і відносної тривалості ввімкнення, від коливань напруги в мережі, від якості обслуговування устаткування експлуатаційним і ремонтним персоналом та від інших факторів.

Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії.

Основи компенсації реактивної потужності.

Реактивний струм додатково навантажує лінії електропередачі, що призводить до збільшення перерізів проводів і кабелів і відповідно до збільшення капітальних витрат на зовнішні і внутрішньо майданчикові мережі. Реактивна потужність разом з активною потужністю враховується постачальником електроенергії, а отже, підлягає оплаті по тарифах, що діють, тому складає значну частину рахунку за електроенергію.

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивної потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів і синхронних компенсаторів). За рахунок приєднання до мережі компенсуючого пристрою КП зменшуються втрати потужності і напруги. На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99.

Відносну ефективність зменшення реактивного навантаження в тому чи іншому пункті електричної мережі можна оцінити за допомогою так названого економічного еквівалента реактивної потужності. Економічний еквівалент чисельно дорівнює зменшенню втрат активної потужності в мережах при зменшенні реактивного навантаження на 1 кВАр.

Види та способи компенсації.

Основним джерелом реактивної потужності (РП) є синхронні генератори електростанцій. Передавання РП з енергосистеми до споживачів не є раціональним, оскільки виникають додаткові втрати активної потужності у всіх елементах систем електропостачання, обумовлені завантаженням РП, та додаткові втрати в живлячих мережах. Щоб знизити ці втрати, необхідно біля споживачів встановлювати додаткові джерела РП, основними серед яких є конденсатори.

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 $\cos\phi$ від заданого значення контролер підмикає 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.

При виборі конденсаторної установки необхідна потужність конденсаторів визначається як

$$Q_c = P \cdot (\operatorname{tg}\phi_1 - \operatorname{tg}\phi_2),$$

де $\operatorname{tg}\phi_1$ – коефіцієнт потужності споживача до встановлення компенсуючих пристроїв;

$\operatorname{tg}\phi_2$ – коефіцієнт потужності після встановлення компенсуючих 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 $\cos\phi$, 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.

Компоненти систем компенсації реактивної потужності .**Мікропроцесорні контролери DCRK та DCRJ фірми VEM.****Мікропроцесорний контролер DCRK.****Основні параметри:**

- цифрове програмування;
- кількість ступенів 5, 7, 8 та 12;
- 5- або 7-ступенева конфігурація в корпусі 96x96 мм;
- 8- або 12-ступенева конфігурація в корпусі 144x144 мм;
- захист від перевантажувального струму конденсаторів;
- внутрішній захист від перегріву щита керування;
- інтерфейс програмування TTL/RS232;
- автоматична настройка;

- конфігуровані аварійні сигнали.



Рис. 1

Технічні характеристики (рис. 1):

- напруга живлення і керування U_e 380-415 В (стандарт);
 - напруга живлення і керування U_e 220/415/440/480/525 В (по запити);
 - номінальна частота 50/60 Гц;
 - споживана потужність 6,2ВА (DCRK5/7) та 5 ВА (DCRK8/12);
- Малюнок 1 – Технічні характеристики конденсаторної установки марки «VEM» .

- номінальний струм I_e 5А;
- регулювання коефіцієнта потужності 0,8 індуктивного- 0,8 ємнісного;
- вимірювання напруги 0,85...1,1 U_e ;
- вимірювання струму 2,5%... 120% I_e ;
- вимірювання температури -30...+85°C;
- вимірювання перевантаження конденсаторів 0...250%;
- час перекомутації ступеней 5...240с;
- ступінь захисту IP54 (DCRK5/7) та IP41 (DCRK8/12).

Мікропроцесорний контролер DCRJ.

Основні параметри.

- цифрове програмування;
- 8- або 12-ступенева конфігурація в корпусі 144x144 мм;
- подвійний дисплей;
- розділений вхід вимірювання напруги;
- захист від перевантажувального струму конденсаторів;
- сенсорний контроль температури щита керування;
- внутрішній та зовнішній захист від перегріву;
- інтерфейс програмування RS485;
- автоматична настройка;
- вимірювання гармонік струму і напруги;
- журнал станів;
- конфігуровані аварійні сигнали;
- можливість роботи в мережі середньої напруги.

Технічні характеристики:

- подвійна напруга живлення і керування U_e 100-690 В (стандарт);
- номінальна частота 50/60 Гц;
- споживана потужність 0,3ВА;
- номінальний струм I_e 5А;
- регулювання коефіцієнта потужності 0,8 індуктивного- 0,8 ємнісного;
- вимірювання напруги 85...760 В;
- вимірювання струму 2,5%... 120% I_e ;
- вимірювання температури -40...+85°C;
- вимірювання перевантаження конденсаторів 0...250%;
- час перекомутації ступеней 5...240с;
- ступінь захисту IP41.

Опис

Регулятор коефіцієнта потужності **DCRK / DCRJ** — цифровий пристрій, який виконує функції контролю і регулювання реактивної потужності системи і здійснює зчитування показів коефіцієнта потужності з високою точністю, на яку не впливають зміни властивостей електронних компонентів.

Алгоритм контролю забезпечує нормальну роботу приладу навіть в системі, яка характеризується високим коефіцієнтом гармонік. Коефіцієнт потужності системи регулюється групою перемикаючих конденсаторів виходячи з розрахованої реактивної потужності системи своєчасно і точно. Результатом є суттєве зменшення кількості перемикачів і більш ефективне використання конденсаторних батарей.

Відображення значень параметрів

В нормальному режимі роботи дисплей відображає коефіцієнт потужності системи, причому світлодіоди **IND** і **CAP** відображають характер навантаження (індуктивне і ємнісне відповідно). Мигаюча десяткова крапка означає від'ємне значення (віддача реактивної енергії в мережу).

Для відображення і перемикання значень натиснути кнопку **MODE**.

При висвічуванні світлодіодів **V**, **A**, **$\Delta kvar$** і т. д. на дисплеї відображаються відповідне значення.

При висвічуванні світлодіоду **$\Delta kvar$** , на дисплеї відображається значення реактивної потужності, необхідне для регулювання коефіцієнта потужності системи до встановленого значення.

Для кожного параметра передбачено додаткові функції, які можна переглядати натискуванням кнопки, при цьому світлодіод мигає.

Для деяких параметрів передбачено друга додаткова функція, яка відображається на дисплеї клавішею.

При висвічуванні світлодіоду **SET COS ϕ** відбувається встановлення потрібного коефіцієнта потужності з допомогою клавіш $\uparrow$ і $\downarrow$. Діапазон від 0.8 індуктивного до 0.8 ємнісного.

Таблиця 2 - додаткових функцій .

Параметр	Опис	«↑»	«↓»
V	Напруга	Максимальне значення напруги	
A	Струм	Максимальне значення струму	
Δkvar	Кількість квар необхідне для досягнення бажаного cosφ	Σ kvar – сумарна потужність системи	Кількість ступенів необхідних для досягнення бажаного cosφ
Week P.F.	Середнє значення коефіцієнта потужності за тиждень (1)	Значення cosφ на даний момент	
-I I- CURR %	Перевантаження конденсаторів в % (2)	Максимальне значення перевантаження	Лічильник станів перевантаження
TEMP	Електрична панель температури (3)	Максимальне значення температури	Одиниці вимірювання С або F
SET COSφ	Потрібний коефіцієнт потужності	Зменшення значення коефіцієнта потужності	Збільшення значення коефіцієнта потужності

1. – значення визначається активною і реактивною потужністю, виміряною за тиждень і тільки в додатніх квадрантах.
2. – перевантаження за струмом, через гармонічні складові напруги на клеммах конденсатора.
3. – Увага! Вимірювання температури дійсне тільки через 20-30 хвилин після ввімкнення регулятора

Таблиця 3 - контактори для комутації конденсаторних батарей фірми «VEM» .

	Тип	Потужність, кВАР при напрузі			
		220-240В	380-400В	415-440В	575-690
	BFK09 10 A....	4,5	7,5	9	10
	BFK12 10 A....	7	12,5	14	16
	BFK18 10 A....	9	15	17	20
	BFK26 10 A....	11	20	22	22
	BFK32 10 A....	14	25	27,5	30
	BFK38 10 A....	17	30	33	36
	11 BF50K 10 A....	22	38	41	46
	11 BF65K 10 A....	26	45	50	56
	11 BF70K 10 A....	30	50	56	65
	11 BF80K 10 A....	34	60	65	70

Стандартна напруга катушки:

- 50/60 Гц 024/ 048/ 110/ 230 В АС;

- 60 Гц 024 60/ 048 60/ 120 60/ 230 60/ 460 60/ 575 60 В АС.

Приклад. ВFK09 10 230 - з катушкою на 230 В АС.

Розрахунок терміну окупності .

На даний момент на підприємстві використовується 54.21 квар реактивної потужності. Конденсаторна установка марки “VEM” дозволяє витратити на 20% менше реактивної потужності.

Визначення розрахункової потужності (з урахуванням компенсації) :

$$S_{pky} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{pky})^2},$$
$$S_{pky} = \sqrt{71,7^2 + (54,21 - 10,842)^2} = 83,37 \text{ кВА},$$

де Q_{pky} – розрахункове навантаження реактивної потужності з урахуванням компенсації (20%) ;

P_p^2 – розрахункова активна потужність.

Знайдемо економію електроенергії:

$$E_{ен} = S_p - S_{pky} = 89,88 - 83,37 = 6,51 \text{ кВА} = 5208 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}},$$

де S_p – розрахункова потужність (без урахування компенсації).

Тоді, економія грошових ресурсів складе:

$$E = E_{ен} \cdot T = 5208 \cdot 1,94 = 10103,52 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

де T – існуючий тариф на електроенергію.

Знаючи, що вартість конденсаторної установки становить 21830 грн, можемо обчислити простий термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_{грн}} = \frac{21830}{10103,52} = 2,2 \text{ років.}$$

Отже, захід виправдовує себе за терміном окупності, та є рекомендованим до застосування.

Висновок

З вище представлених розрахунків , впливає те що на даний момент , встановлення конденсаторних установок на промисловому підприємстві є найкращим методом компенсації реактивної потужності . Термін окупності дуже малий , що є дуже вигідним. Встановлення конкретної конденсаторної установки марки “VEM” дозволяє витратити на 20% менше реактивної потужності на промисловому підприємстві «СІМОЛ».

Список літератури

1. Правила улаштування електроустановок. Видання 3-є, перероблене і доповнене, 736с.
2. Довідник сільського електрика /За редакцією кандидата технічних наук В.С. Олійника. — 3-тє видання, перероблене і доповнене. — Київ, Вид-во «Урожай», 1989. — 264 с.

3. Загальнопромислові електроприймачі. Конспект лекцій для студентів спеціальності (6.090600) «Електротехнічні системи електропостачання» усіх форм навчання/ І. В. Огородник. Луцьк: ЛДТУ, 2003.

4. Ачкасов А. Є., Лушкін В. А., Охріменко В. М., Кузнецов А. І., Чернявська М. В., Воронкова Т. Б. Електротехніка у будівництві: Навчальний посібник. — Харків: ХНАМГ, 2009–363 с.

5. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. Чинний від 1995-01-01. — Київ: Держспоживстандарт України, 1995. — 65 с.

УДК 621.311.019(063)

Закладний О.О., к.т.н., доцент; **Прокопенко В.В.** к.т.н., доцент

Корягін М.К., магістрант

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

ОГЛЯД ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

У статті наведена коротка характеристика методів та засобів регулювання якості електричної енергії, яка може бути погіршена використанням регульованого електропривода з перетворювачем частоти. Проблема пропонується вирішувати за рахунок зниження рівнів вищих гармонік засобами мережі живлення; використання традиційних засобів компенсації реактивної потужності (синхронні двигуни і компенсатори, а також батареї конденсаторів); застосування багатофункціональних пристроїв; використання спеціальних способів керування і схемних рішень вентильних перетворювачів регульованого електропривода.

Ключові слова: якість електричної енергії, синхронні двигуни, синхронні компенсатори, фільтрокомпенсуючі та фільтросиметруючі пристрої.

The article gives a brief description of the methods and means of regulating the quality of electric energy, which may be degraded by the use of a regulated electric drive with a frequency converter. The problem is proposed to be solved by reducing the levels of higher harmonics by means of a power supply; use of traditional reactive power compensation equipment (synchronous motors and compensators, as well as capacitor batteries); the use of multifunction devices; the use of special methods of control and circuitry solutions of the valve converters of a regulated electric drive.

Key words: electrical energy quality, synchronous motors, synchronous compensators, filter compensating and filter-sensing devices.

Регульований електропривод з перетворювачем частоти являє собою нелінійне навантаження для мережі живлення змінного струму і є джерелом реактивної потужності, а також генерує в мережу гармоніки кратні частоті мережі і несучій частоті широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) інвертора. Зниження коефіцієнта потужності електропривода збільшує реактивну потужність в електропостачальній системі (ЕПС), що призводить до додаткових

втрат напруги й енергії в ній і вимагає збільшення пропускної здатності її елементів. Підвищення рівня електромагнітних перешкод у мережі призводить до збою в роботі інших електронних систем, що працюють у безпосередній близькості від перетворювача частоти та мають спільні з ним шини змінного струму.

Як відомо, показниками несинусоїдальності напруги є коефіцієнт викривлення синусоїди напруги

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^l U_{(n)}^2}}{U_n} 100, \%, \quad (1)$$

та коефіцієнт кратності вищих гармонік (ВГ) (рівень гармонік)

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_n} 100, \%, \quad (2)$$

де $U_{(n)}$ і U_n — напруга n -ї гармоніки і номінальна напруга мережі.

Відповідно до ГОСТ 13109-97 припустиме значення K_U обмежується 5% з інтегральною ймовірністю 95% за час вимірювання, зазначений у стандарті. Номер останньої з гармонік, що враховуються, не наведений.

За останні роки в промислово розвинених країнах запроваджені стандарти з жорсткими вимогами до якості електроенергії [1]. Так, у Швеції для мереж 0,25...0,43 кВ припустимі значення K_U відповідають 4%, для мереж 3,3...24 кВ – 3%, 36...72 кВ – 2%, вище 84 кВ – 1%. У Японії для мереж 1...66 кВ і більше – відповідно 2 і 1%. У Європейському стандарті EN 50.006 припустимі значення гармонік напруги задаються на затискачах еталонних опорів, що рівносильне нормуванню гармонік струму. У публікації 555-2 МЕК передбачене також обмеження гармонік струму, створюваних побутовими електроприладами в низьковольтній системі електропостачання.

На даний час застосовують такі методи забезпечення якості електроенергії:

- зниження рівнів ВГ засобами мережі живлення;
- використання традиційних засобів компенсації реактивної потужності (КРП) (синхронні двигуни і компенсатори, а також батареї конденсаторів);
- застосування багатофункціональних пристроїв;
- використання спеціальних способів керування і схемних рішень вентильних перетворювачів регульованого електропривода.

Зниження рівнів ВГ засобами мережі живлення досягається раціональною побудовою ЕПС, при якому забезпечується припустимий рівень ВГ напруги на шинах споживача. Найбільш поширеними засобами є застосування трансформаторів з підвищеною первинною напругою 110...220 (330) кВ; живлення нелінійних навантажень від окремих трансформаторів чи підімкнення їх до окремих обмоток триобмоточних трансформаторів або окремих обмоток двообмоточних трансформаторів з розщепленою вторинною обмоткою; підімкнення паралельно нелінійним навантаженням синхронних двигунів. Застосування в перетворювальних агрегатах трансформаторів з первинною напругою 110...220 кВ виключає вплив різкозмінних навантажень на споживачі розподільних мереж 0,38...10 кВ. Перешкодою до використання таких засобів може бути поява неприпустимих напруг 11, 13-ї гармонік (меншою мірою- 17, 19-ї) в мережах енергосистеми живлення.

Синхронні двигуни є ефективним засобом КРП в ЕПС. Виконуючи свою основну функцію приводного двигуна, вони одночасно можуть генерувати в мережу реактивну потужність, тобто працювати з випереджальним $\cos\phi$. Це забезпечується відповідним регулюванням їх струму збудження. Однак зміна струму збудження призводить до

збільшення габаритної потужності двигуна. Відношення повної (габаритної) потужності S до активної P можна подати рівням

$$\frac{S}{P} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{P} = \sqrt{1 + \left(\frac{Q}{P}\right)^2}. \quad (3)$$

Нехай необхідна реактивна випереджальна потужність Q складає 40% активної потужності, тобто $Q/P = 0,4$. Розрахунок за формулою (3) показує, що при цьому відношення S/P складе 1,08, тобто генерування зазначеної реактивної потужності вимагає збільшення габаритної потужності лише на 8%.

Синхронні компенсатори призначені для компенсації КРП мережі і підтримки номінального рівня напруги в районах зосередження споживчих навантажень. Нормальним є перезбуджений режим роботи синхронного компенсатора, коли він віддає в мережу реактивну потужність. Компенсатори позбавлені приводних двигунів і з погляду режиму своєї роботи, по суті, є синхронними двигунами, що працюють на неробочому ходу. Тому синхронні компенсатори завантажені також невеликим активним струмом і споживають з мережі активну потужність для покриття своїх втрат.

Однак у періоди спаду споживчих навантажень (наприклад, уночі) нерідко виникає необхідність роботи синхронних компенсаторів також у недозбудженому режимі, коли вони споживають з мережі індуктивний струм і реактивну потужність. У цьому випадку напруга мережі прагне зрости, і для підтримки її на номінальному рівні необхідно завантажити мережу індуктивними струмами, що викликають у ній додаткове зниження напруги. Для цього кожен синхронний компенсатор забезпечується автоматичним регулятором збудження, що підтримує напругу на затискачах компенсатора сталою.

Конденсатори являють собою спеціальні ємності, призначені для генерування реактивної потужності. Конденсатори в порівнянні з іншими джерелами реактивної потужності мають такі переваги, як малі втрати реактивної потужності, простоту монтажу й експлуатації. До їх недоліків слід віднести залежність генерованої реактивної потужності від напруги, недостатню стійкість при перевантаженнях по струму і напрузі, а також погіршення роботи в мережах з підвищеним вмістом вищих гармонік.

Прикладом багатофункціональних пристроїв є так звані **фільтрокомпенсуючі та фільтросиметруючі пристрої**. Перші, поряд зі зниженням рівня ВГ, генерують у електричну мережу реактивну потужність. Другі можуть використовуватися також для симетрування системи нелінійних напруг в електричній мережі. Резонансні фільтри можуть використовуватися для поділу лінійних і нелінійних навантажень (загороджувальні фільтри) чи для шунтування (поглинання) струмів вищих гармонік.

Поділ лінійних і нелінійних навантажень може здійснюватися за допомогою **фільтрів низьких частот чи смугових фільтрів**. Останні більш складні, ніж низькочастотні. Найпростішим фільтром низької частоти є Г-подібний фільтр, контур якого утворюється індуктивністю трансформатора перетворювача і ємністю батареї конденсаторів, підключеної до шин підстанції. Щоб уникнути резонансних підвищень напруги на частотах ВГ, резонансна частота контуру мережа - батарея конденсаторів повинна бути меншою частоти найменшої ВГ амплітудного спектра струму нелінійного навантаження. Однак для ефективного зниження рівнів ВГ за допомогою Г-подібного фільтра потрібна потужність батареї конденсаторів того ж порядку, що і потужність трансформатора живлення.

Зниження розмахів коливань напруги в ЕПС може здійснюватися за допомогою **високошвидкісних пристроїв КРП**. Статичні тиристорні компенсатори (СТК) чи активні фільтри (АФ) будуються з використанням компенсаційних перетворювачів, що мають штучну

комутацію вентилів. Такий перетворювач має на стороні випрямленого струму реактор (індуктивний акумулятор енергії) чи батарею конденсаторів (ємнісний акумулятор енергії). Поєднання перетворювача з реактивним елементом дозволяє створити пристрій для регулювання реактивної потужності в ЕПС.

АФ може підключатися паралельно чи послідовно нелінійному споживачу (рис. 1). На цьому рисунку позначено: U_c – напруга мережі; I_1, I_{nc} – відповідно струми першої та n -ї гармонік мережі; U_{c1}, U_{cn} – відповідно напруги першої та n -ї гармонік мережі; U_{af}, I_{af}, Z_R – відповідно напруга, струм та внутрішній опір активного фільтра; Z_n – внутрішній опір нелінійного навантаження; I_{nn}, U_{xn} – відповідно струм та напруга n -х гармонік нелінійного навантаження.

Для мінімізації реактивної потужності всіх гармонік струму, включаючи основну, перетворювач працює в режимі генератора антигармонік, що виключає чи обмежує їх надходження в електричну мережу ЕПС. Таким чином, відбувається захист мережі від негативного впливу потужності ВГ, а також поліпшення коефіцієнта потужності основної гармоніки. Крім того, при необхідності може здійснюватися і регулювання потоку не лише реактивної, але й активної потужності. В такому режимі перетворювач працює з імпульсною модуляцією параметра струму, що дозволяє регулювати потоки активної і реактивної потужності в мережі в залежності від її завантаження споживачами, одночасно обмежуючи рівень ВГ струму.

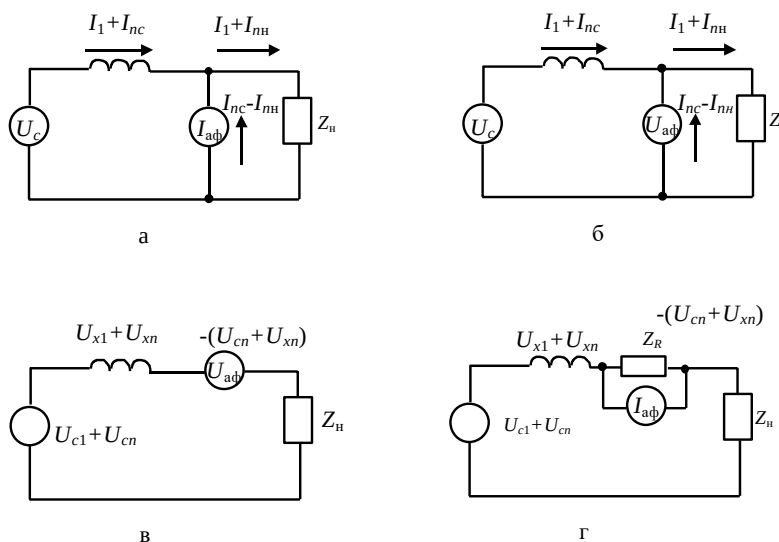


Рис.1. Основні типи активних фільтрів: а – паралельне джерело струму; б – паралельне джерело напруги; в - послідовне джерело напруги; г - послідовне джерело струму.

Як стабілізатор напруги з АФ може бути використана схема, зображена на рис. 2.

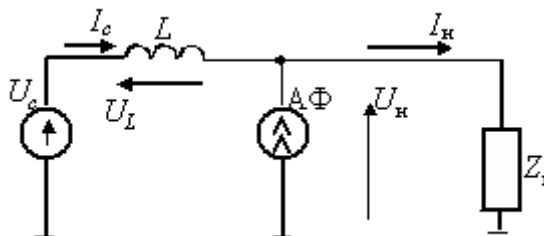


Рис. 2. Схема стабілізатора напруги з АФ

У цій схемі АФ компенсує ВГ струму нелінійного навантаження Z_n . Стабілізація ж напруги U_n здійснюється за рахунок регулювання реактивної потужності основної гармоніки. При незначних відхиленнях напруги від заданого значення (5 %) вхідний коефіцієнт потужності по основній гармоніці залишиться близьким до $\cos\varphi = 1$ за рахунок повної КРП навантаження.

У випадку ж незначного зниження вхідної напруги чи її підвищення коефіцієнт потужності зменшується з одночасною зміною характеру потужності. При зниженні напруги вона має ємнісний характер, а при підвищенні – індуктивний. Слід зазначити, що наявність вхідного реактора L підвищує захищеність схеми від різких сплесків і провалів напруги. Наявність же ємнісного акумулятора в АФ дозволяє забезпечити захист споживача протягом короточасних відхилень напруги від норми. Очевидно, що ефективність такого захисту визначається значенням ємності чи інших акумуляторів енергії на стороні постійного струму. Основним недоліком АФ є відносно велика встановлена потужність перетворювачів, що входять до їх складу. Практично вона розраховується на потужність нелінійного споживача.

Більш перспективними є **гібридні фільтри**, що поєднують переваги традиційних пасивних фільтрів з реактивних елементів і активних фільтрів відносно невеликої потужності. Відомо, що зміна реального частотного спектру ВГ струму чи напруги в мережі має стохастичний характер. Крім того, на параметри фільтрів впливають технологічні допуски і процеси старіння їх елементів. У результаті практично виключається їх настроювання на строго фіксовані частоти. З іншого боку, точність настроювання і висока добротність фільтрів, як правило, впливають на перехідні процеси, викликаючи, наприклад, перенапруги в мережі. Це може призвести до виникнення явища «антирезонансу» на частотах, близьких до резонансної (рис. 3).

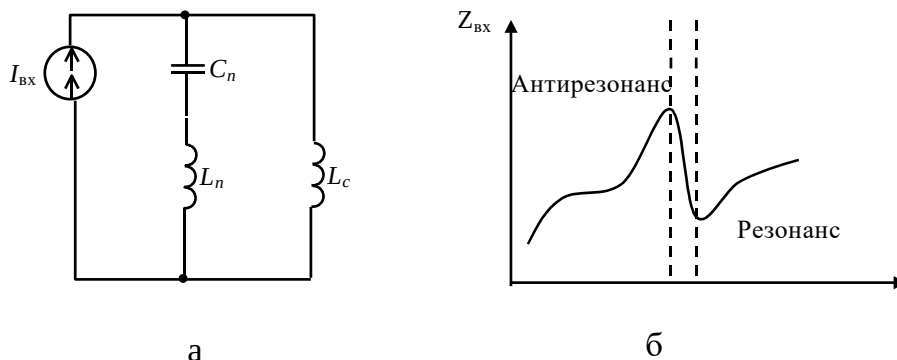


Рис. 3. Явище антирезонансу: а - принципова схема; б – частотна залежність вхідного повного опору

Використання АФ як регульованого імпедансу дозволяє виключити антирезонансні явища і поліпшити якість перехідних процесів при комутації навантаження. При цьому встановлена потужність перетворювача активного фільтра може бути знижена до 10 % і менше від потужності джерела гармонік струму. Наприклад, при коефіцієнті викривлення синусоїди струму навантаження 35,9 % застосування двох пасивних LC – кіл і широкосмугового RLC - фільтра знижує цей коефіцієнт до 28 %, а при додаванні двох малопотужних коригувальних перетворювачів - до 3,9 %.

На даний час з'явилася тенденція розширення функцій пристроїв «**акумуляторна батарея – перетворювач**» (АБП) із метою регулювання якості електроенергії в електричній мережі [4]. При цьому структура пристрою типу «on-line» дозволяє стабілізувати параметри напруги, яка живить споживачі. Однак такий пристрій рідко використовується, оскільки має

відносно високу вартість. Структура пристрою складається, як мінімум, із двох перетворювальних ланок, кожна з яких розрахована на повну потужність споживача.

Для того, щоб виключити часте підключення інвертора до батареї при низькій якості напруги мережі, використовують структури з додатковим стабілізатором напруги мережі, що забезпечує необхідний рівень напруги на навантаженні при відносно невеликих відхиленнях напруги: +10...-15%. Наприклад, схема з вольтододавальним трансформатором і перемиканням обмоток. Для більш точного регулювання послідовно з ним ввімкнено реактор малої індуктивності. Також може використовуватися малопотужний інвертор з підключенням обмоток вихідного трансформатора послідовно з навантаженням для регулювання напруги у вузькому діапазоні. При цьому основний перетворювач пристрою працює в режимі АФ. Малопотужний інвертор використовується також для підзарядки акумуляторної батареї.

Виключити генерування ВГ струму і поліпшити коефіцієнт потужності споживача за основною гармонікою можна і на етапі його розробки різними схемотехнічними засобами, наприклад, за рахунок підвищення числа фаз перетворювачів регульованого електропривода. Рядом фірм розроблені коректори потужності, що вбудовуються безпосередньо в нелінійні споживачі. Такий коректор підключається безпосередньо на стороні постійного струму первинного випрямляча і забезпечує споживання струму, близького за формою до синусоїдального, а також коефіцієнт потужності $\cos\phi = 1$ у всіх режимах роботи. З урахуванням масового використання ефект від коректорів потужності може бути значним.

При використанні перетворювачів частоти регульованого електропривода ефективним способом поліпшення електромагнітної сумісності є застосування пасивних фільтруючих пристроїв. Використання LC-фільтрів є більш вигідним з технічної й економічної сторони.

Список літератури

1. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. - К: Кондор, 2005. - 408 с.
2. Каневский Г. SEMIX S2. Новая серия модулей IGBT с кристаллами SPT+ (Semikron)//Новости электроники. - 2006. - №7. - С. 22-23.
3. Розанов Ю.К. Современные методы регулирования качества электроэнергии средствами силовой электроники //Электротехника. -1999. -№4.- С. 28-32.
4. Прня Р. Качество напряжения – новое в решении проблемы компенсации реактивной мощности //Электротехника. - 1999. - №4. - С. 32-34.

СЕКЦІЯ 2.
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

УДК536.24; 62.971

С.В. Руденко, Б.В. Олійник, студенти, А.С. Гавриш, к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Теплоенергетичний факультет, кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

ПРО ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ КОЖУХОПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Анотація - Сучасний кожухопластинчастий теплообмінник являє собою рішення, яке поєднує конструкцію традиційного кожухотрубного теплообмінника і деякі деталі з обмеженнями кутового з'єднання пластин. Таке поєднання конструкції забезпечує термічну ефективність і компактність теплообмінника з каркасно-пластинчастою системою. Випробування також довели можливість роботи кожухопластинчастих теплообмінників в умовах різних рідин, газів, парів і двофазних сумішей.

Ключові слова – кожухопластинчастий теплообмінник, теплообмін, рифлені пластини.

S.V. Rudenko, B.V. Oliynyk, students, A.S. Gavrish, Ph.D., Associate Professor

National technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Heat power faculty, Department of Theoretical and industrial heat engineering

ABOUT FEATURES OF CONSTRUCTIONS OF LIPBOARD HEAT EXCHANGERS AND THE PERSPECTIVES OF THEIR APPLICATION

Annotation– Modern housing plate heat exchanger is a solution that combines traditional design casing pipe heat exchanger and some details limited angular connection plates. This combination of design provides thermal efficiency and compactness of the heat exchanger of the frame-plate system. The test also demonstrated the ability to work jacket heat exchangers under different liquids, gases, fumes and two-phase mixtures.

Key words –.casing lamellar heat exchanger, heat exchange, corrugated plates

Вступ

Протягом останніх двох десятиріч великого попиту набули кожух пластинчасті теплообмінники. Це пов'язано з тим, що цей вид теплообмінників має ряд переваг порівняно з кожух трубними і пластинчастими аналогами [1-4]. Переваги застосування кожухопластинчастих теплообмінників добре відомі. Вони більш ефективні, займають менше простору, менш тяжкі, при цьому немає необхідності їх часто чистити, як це відбувається з кожухотрубними теплообмінниками. Коли матеріал апарату є традиційним або «екзотичними» (висока вартість), ціна пластинчастого теплообмінника буде також нижче вартості традиційного кожухотрубного теплообмінника внаслідок меншої площі теплообміну. Отже, будуть економно витратитися кошти в разі застосування корозійних рідин.

Аналіз стану питання

Сучасний кожухопластинчастий теплообмінник являє собою рішення, яке поєднує конструкцію традиційного кожухотрубного теплообмінника і деякі деталі з обмеженнями

кутового з'єднання пластин. Таке поєднання конструкції забезпечує термічну ефективність і компактність теплообмінника з каркасно-пластинчастою системою. Хоча можливість керування тиском і температурою теплоносіїв вимагає, навпаки, застосування кожухотрубного теплообмінника. Згідно з іншою схемою класифікації, за схемою руху циркулюючих середовищ теплообмінники поділяються на апарати змішування і поверхневі.

За родом охолоджуючої речовини теплообмінники можна розділити на апарати з відведенням теплоти в зовнішнє середовище і з утилізацією тепла. При відведенні теплоти в зовнішнє середовище в якості охолоджуючого агента зазвичай виступає повітря чи вода. При утилізації теплоти в якості охолоджуючого агента може виступати практично будь-яка речовина, наприклад одна з речовин технологічної схеми, яка вимагає нагріву.

Мета роботи

Порівняти кожухопластинчастий теплообмінник з кожухотрубними та пластинчастими апаратами, дослідити їх конструкцію проаналізувати переваги та недоліки і довести, що хороший опір до температурної втоми і втоми до тиску робить його поза конкуренцією перед вище згаданими теплообмінниками. Розглянемо сфери застосування та технічні характеристики нового теплообмінника HEATEX

Результати досліджень

Зварні кожухопластинчасті теплообмінники (КПТ) є компактними міцними пристроями без ущільнень, об'єднуючи всі вигідні властивості кожухотрубного і пластинчастого теплообмінників. Зварні кожухопластинчасті теплообмінники стійкі до високого тиску (до 140 бар), стійкі до високих температур (до 900 °C), а також мають високий коефіцієнт теплопередачі.

Серцевина кожухопластинчастого теплообмінника - це цілком зварений пакет пластин, що знаходиться в зовнішньому кожусі. Спочатку пластини по парам зварюють одна з одною в портах, а потім зварюють по периметру в пакет, який згодом вкладається в циліндричний кожух. Одне середовище проникає через приєднувальні патрубки зварного пакета пластин. Пластини є увареними в кришку. З них же виходить інший потік на боці пластин.

Вторинне середовище проникає через приєднувальний патрубок, розміщений на циліндричній поверхні кожуха. Це середовище рухається по каналах між пластинами за допомогою периферійних металевих напрямних, і потім виходить через вихідний патрубок, створюючи потік на стороні кожуха.

Теплопередаюча поверхня кожухопластинчастого теплообмінника складається з штампованих гофрованих пластин. Стінки, зварені між собою по периметру, утворюють два контури каналів складної форми. Канали є герметичними і такими, що поперемінно чергуються (Рис. 2). Максимальний рівень теплопередачі досягається шляхом впровадження гофрованих профілів, які природним чином турбулізують рухомі потоки. Рух носіїв може здійснюватися протитоком, прямо током, або перехресно.

Основною конструкцією кожухопластинчастих апаратів, яку розрізняють в першу чергу, є цілком зварена конструкція. Трохи рідше оперують з конструкцією із кришкою при одноходовому русі по стороні пластин. Завдяки наявності кришки в таких апаратах можна діставати пакет пластин, оглядати їх і чистити. Також в цьому випадку можна домогтися компактності конструкції - помістити вхідний і вихідний патрубки кожуха на передній кришці.

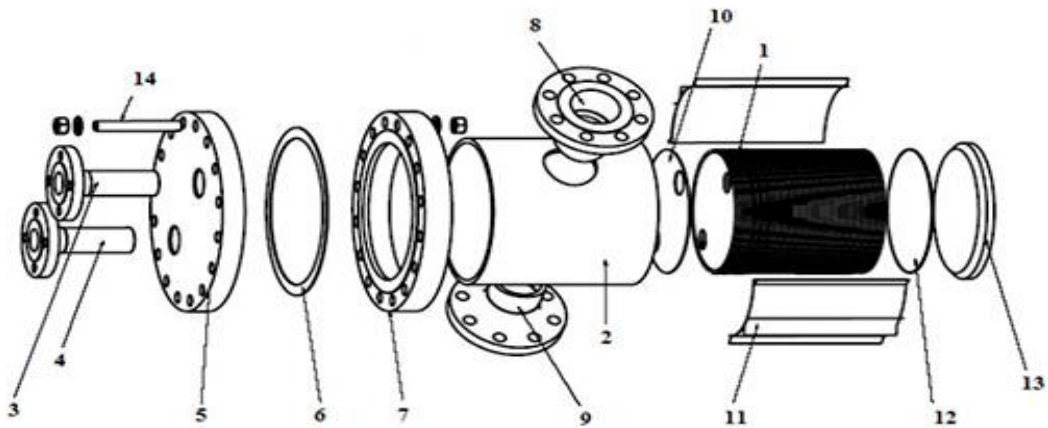


Рис 1. Конструкція кожухопластинчастого теплообмінника:

1 - пакет пластин; 2 - кожух; 3 - вхід зі сторони пластин; 4 - вихід зі сторони пластин; 5 - фланцева заглушка; 6 - ущільнення; 7 - фланець кожуха; 8 - вхід зі сторони кожуха; 9 - вихід зі сторони кожуха; 10 - з'єднувальний диск; 11 - напрямок потоку; 12 - кінцевий диск; 13 - кінцева пластина; 14 – болтове з'єднання

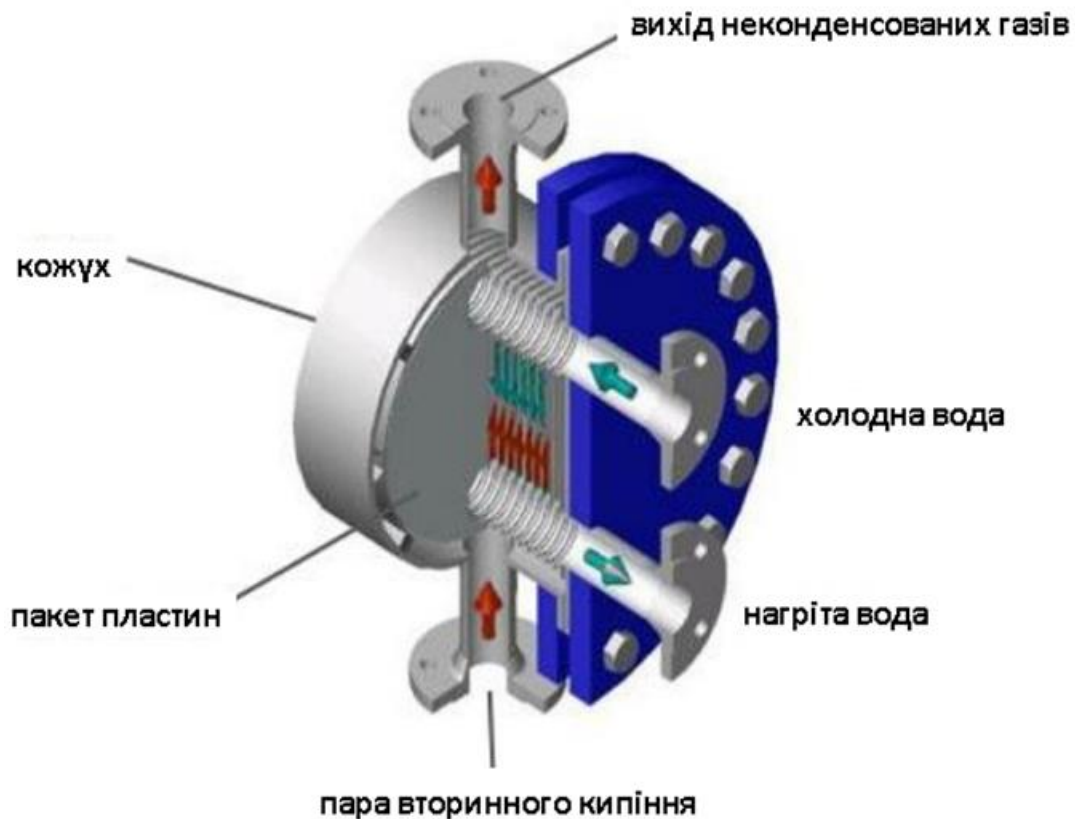


Рис. 2 Принцип дії КПТ

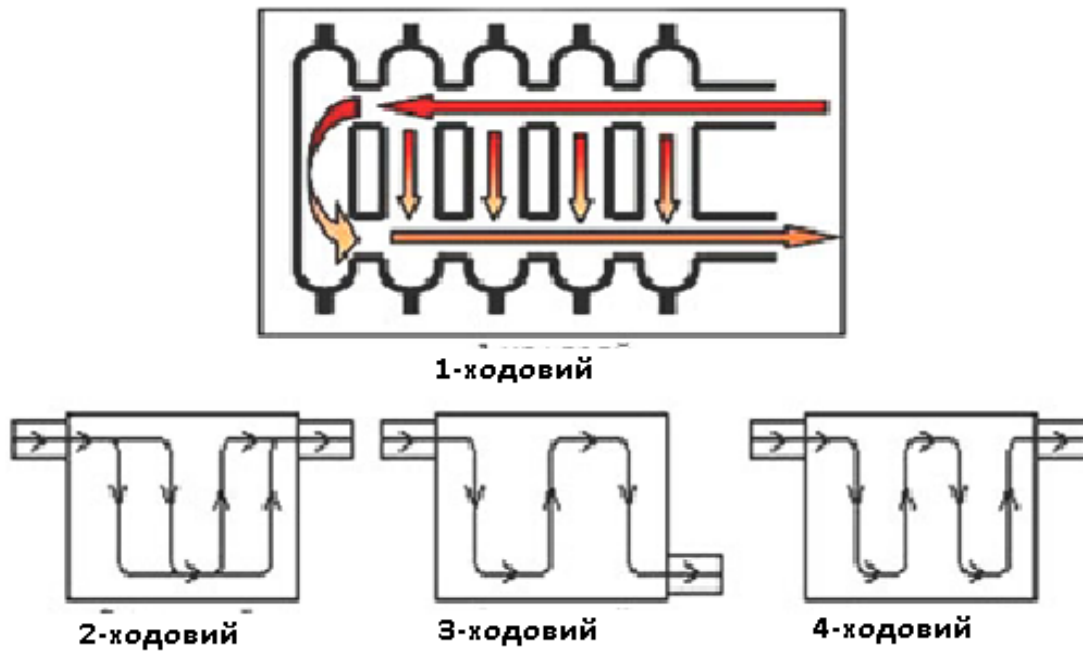


Рис.4. Рух потоків в кожухопластинчастих апаратах.

Приклад конструкції одно-, дво- і багатоходового апарату наведений на Рис.4

Якщо є необхідність, суцільнозварні теплообмінники можуть бути виконані в багатоходових варіантах не тільки на стороні пластин, а й на стороні кожуха. В останньому випадку ходи утворюються за допомогою спеціальних напрямних і розділових компонентів. Наприклад, такі схеми реалізуються у випадках, якщо необхідною є мала різниця температур між первинним і вторинним теплоносіями.

Сумарні переваги кожухопластинчастих теплообмінників порівняно з іншими типами апаратів є наступними:

1. За умови решти незмінних факторів кожухопластинчастий теплообмінник складає менш ніж половину розміру кожухотрубного аналога.
2. Система рифлених пластинок робочих поверхонь кожухопластинчастих апаратів створює умови для отримання більш високого коефіцієнта теплопередачі, тощо.
3. Турбулентний потік навіть при низьких швидкостях сприяє тому, що на пластинах не утворюється накип, і вони не забруднюються, як при ламінарному потоці в системі кожухотрубних теплообмінників.
4. Легкість монтажу завдяки вибору знімних блоків пластин порівняно із системами, закріпленими болтовими з'єднаннями на одному кінці кожуха в комбінованих традиційних установках.
5. Кращі порівняно з будь-якими іншими типами зварних теплообмінників експлуатаційні характеристики внаслідок відсутності кутових зварних швів, які є критичними в інших конструкціях з чотирма кутовими зварними з'єднаннями.

Серед переваг даного типу теплообмінників доцільно виокремити ще й такі позитивні сторони:

- Високі граничні експлуатаційні характеристики;
- Висока ефективність експлуатації;
- Висока надійність;

- Простота установки теплообмінного пакета в рамі;
- Ідеальні характеристики для застосування на підприємствах харчової та фармацевтичної промисловості;
- Простота обслуговування і чищення;
- Розділові пластини дозволяють організувати багатоходові схеми теплообміну.

Всі ці переваги дозволили нам майже в десять разів зменшити масу і габаритний об'єм апаратів порівняно з традиційними кожухотрубними і розбірними пластинчастими аналогами. Таким чином, для кожухопластинчастих апаратів забезпечується цілий комплекс переваг порівняно з іншими відомими нам апаратами. Але є і недолік у цих апаратах. Це неможливість розбирання тепло утилізатора. По стороні пакету пластин, цей простір доступний тільки для безрозбірного миття хімічними реагентами.

На сучасному ринку теплотехнічного і теплоенергетичного обладнання з'явилися кожухопластинчасті теплообмінні апарати різних виробників. Одним із представників такого обладнання є теплообмінні системи PSHE droplet separator. Теплообмінник-випарник, що складається із зварених сепаратора і трубної системи, яка відокремлює вологу і віддає її назад на випаровування. Теплообмінник PSHE є яскравим представником кожухопластинчастих апаратів. Теплообмінник може бути цілком зварений, або зі знімним фланцем. Теплообмінник PRHE фактично є представником пластинчато-кільцевої конструкції. Особливістю цілком звареної конструкції апарата є великий отвір по центру розташування пластин в кожусі. Середовище на стороні кожуха має характерний радіальний рух. Це унікальні пластинчасті теплообмінники, стійкі до високого тиску. Застосовуються в процесах конденсації, або випаровування при роботі з однофазними середовищами. Незаперечною перевагою таких теплообмінників є простота конструкції і повний доступ до по-поверхні теплообміну (Рис.5).



Рис.5. Типи кожухопластинчастих теплообмінних апаратів

Теплообмінник складається з пакету прямокутних касет, які утворюються з двох пластин, зварених по двох протилежних сторонах. Пакет касет поміщається в спеціальну раму, яка складається з чотирьох стійок, закріплених між двома днищами. Касети в пакеті розташовуються з однаковими зазорами, що утворюють другий контур апарату. В теплообміннику здійснюється перехресний рух потоків. У вільному просторі між стійками, касетами і кришками-дверима утворюються розподільні камери. Вони можуть мати розділові перегородки по кожному контуру для оптимізації циркуляції рідин при багатоходовій схемі.

Канали кожного контуру відкриті по всій ширині вхідної і вихідної розподільної камери і закриті з боків в поздовжньому напрямку. Оскільки теплообмінні касети повністю доступні,

то можуть бути проінспектовані всі зварні шви касет. Теплообмінники зі звареними касетами HEATEX ідеальні для застосування на підприємствах нафтогазового комплексу та хімічної промисловості (Рис.6).

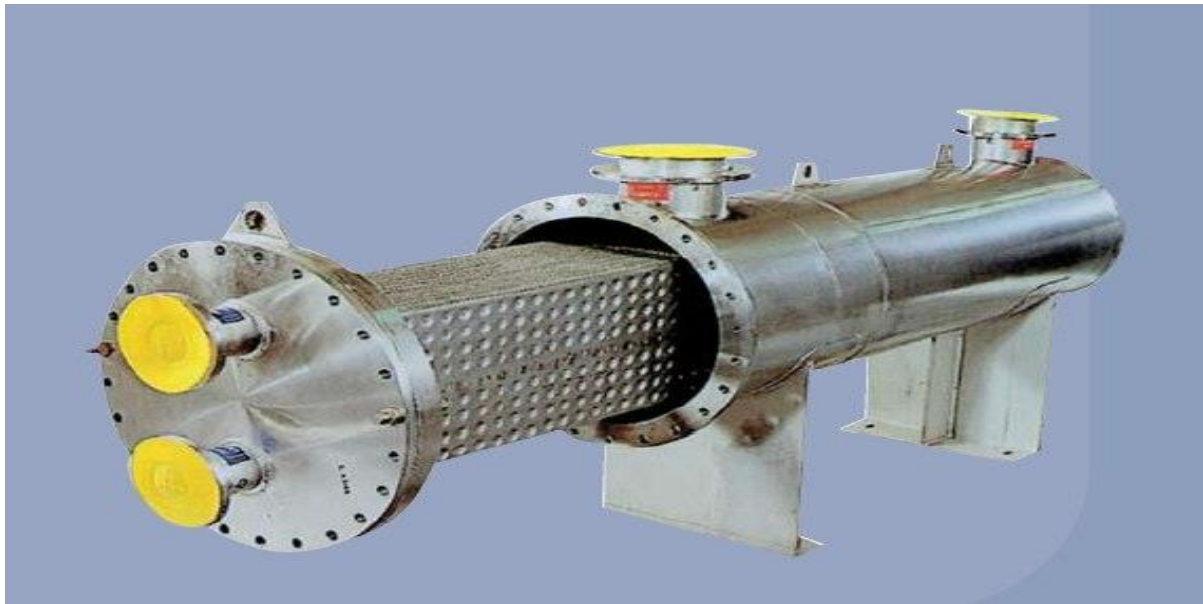


Рис.6. Конструкція і основні характеристики теплообмінного апарату зі зварними касетами

Апарати HEATEX мають такі переваги:

- Високі граничні експлуатаційні характеристики.
- Широкі проточні канали - для вузьких середовищ і суспензій.
- Ідеальні характеристики для застосування на підприємствах харчової та фармацевтичної промисловості.
- Простота обслуговування і чищення.
- Розділові пластини дозволяють організувати багатоходові схеми теплообміну.
- 4 бічні кришки-двері можуть бути оснащені петлями, що забезпечують більш легкий і швидкий доступ до обох контурів проточних каналів при обслуговуванні теплообмінника.
- Глибина обслуговування каналу – його чистки - досягає 500 мм.
- Оскільки теплообмінні касети повністю доступні, то можуть бути проінспектовані всі зварні шви касет

Основні сфери застосування пластинчастих теплообмінних апаратів можна систематизувати наступним чином.

1. Працюють в системах централізованого тепlopостачання в якості конденсатора і випарника.
2. Встановлюються кожухопластинчасті теплообмінники для комплексів обігріву та охолодження масла.
3. Застосовуються в ролі економайзера і рекуператора для утилізації газів.
4. Встановлюються в якості первинного теплообмінного апарату котельень, побічно виконуючи роль захисту котла від відкладень і шкідливих домішок з теплотраси.
5. У схемах, що передбачають наявність великих і асиметричних потоків рідких робочих середовищ. Дане тепломеханічне обладнання вигідно відрізняється на тлі альтернативних видів рекуператорів.

6. Широко поширеними є у великій теплоенергетиці, хімічній, нафтовій, металургійній і газовій промисловості.

ВИСНОВКИ

Порівнявши кожухопластинчасті теплообмінники з іншими видами теплообмінників, можна зробити висновок, що ці теплообмінники перевершують конструкції з чотирма звареними кутами, так як у них опір до втоми від температури і тиску значно краще, особливо для динамічних процесів, де неминучі чутливі зміни.

«Пластинчасту» технологію застосовують в основних вуглеводневих процесах більше десяти років.

Процеси стиснення газу - це можливість використовувати переваги всіх зварних кожухопластинчастих теплообмінників.

Але не в усіх випадках дотепер застосовуються такі апарати. Адже бувають різні фізичні умови і кожному споживачу потрібний теплообмінник з конкретними технічними характеристиками. Загальна картина ефективності кожухопластинчастих теплообмінників потребує подальшого вивчення і вдосконалення.

Література

1. Пришляк В.М., Яропуд В.М. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету “Обґрунтування конструктивних параметрів рекуперативних теплоутилізаторів для тваринницьких приміщень”. - Вінниця: ВНАУ, 2014. – 388 с.
2. Гавелін Стефан, Збірник наукових праць «Нефтегазовые технологии» / стаття «Кожухопластинчатые теплообменники», 2010.- С. 88-90.
3. Консетов В.В. Исследование теплоотдачи при конденсации чистого насыщенного пара внутри труб: Дис. канд. техн. наук. – Л., 1962. – 93с.
4. Сайт <https://www.kazedu.kz/referat/180319/3>

УДК536.24

Д.О. Дуб'яга, студент, А.С. Гавриш, к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Теплоенергетичний факультет, кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

ПРО ТЕПЛОВІДДАЧУ ПРИ ПСЕВДО КРАПЛИННІЙ КОНДЕНСАЦІЇ СУМІШІ ВОДЯНИХ ПАРІВ ЕТАНОЛУ НА ФІБРИЛІЗОВАНИХ ТРУБКАХ

Анотація - Застосування профільованих горизонтальних труб дозволяє суттєво інтенсифікувати тепловіддачу при псевдо краплинній конденсації парової суміші вода-етанол. При невеликій концентрації етанолу (приблизно 1% у паровій фазі) коефіцієнт тепловіддачі в псевдо краплинному режимі збільшується в кілька разів порівняно з конденсацією чистої пари. Співіснування різних конденсатних утворень і різних режимів конденсації: краплинної, псевдо краплинної, псевдо плівкової, плівкової і змішаної, дозволяє широко варіювати техніко-економічні показники теплотехнічного обладнання.

Ключові слова – теплообмін, тепловіддача, псевдо краплинна конденсація, парова суміш.

D.O. Dubiaha, student, A.S. Gavrish, Ph.D., Associate Professor

National technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Heat power faculty, Department of Theoretical and industrial heat engineering

ABOUT HEAT TRANSFER DURING PSEUDO-DROPWISE CONDENSATION OF WATER-ETHANOL VAPOR MIXTURE ON HORIZONTAL FINNED TUBES

***Annotation** - The use of horizontal profiled pipes can significantly intensify the heat in the pseudo drop vapor condensation water-ethanol mixture. With a small concentration of ethanol (about 1% in the vapor phase) heat transfer coefficient in pseudo drip mode increases several times compared to pure vapor condensation. The coexistence of different formations and condensate different modes of condensation: dropwise, pseudo-dropwise, pseudo-film, film and mixed allows widely varied technical and economic performance of the equipment.*

Key words - heat exchange, heat transfer, pseudo dropwise condensation and steam mixture.

Вступ

Останнім часом зростає інтерес вчених різних країн до отримання і використання в промислових масштабах високо інтенсивних теплообмінних процесів. Цьому сприяє зростання можливостей сучасних технологій, які дозволяють синтезувати новітні композиції, до яких також належать поверхнево-активні речовини (ПАР). Компоненти ПАР повинні створювати умови для захисту теплообмінного обладнання від корозійно-ерозійних процесів. Вони можуть наноситись безпосередньо на поверхню, впорскуватись в пару, додаватись в контур та ін. Також в цьому контексті викликає інтерес дослідження реальних робочих тіл, до яких належать парові суміші.

В окремих випадках у краплинному або псевдо краплинному режимах може бути сконденсована лише перша невеличка порція пари, потім настає заливання теплообмінної

поверхні і конденсація триває в плівковому режимі. Процес краплинної або псевдо краплинної конденсації є високо інтенсивними процесами теплообміну для яких значення коефіцієнтів тепловіддачі в кілька разів перевищують описані Нуссельтовським рішенням для плівкової конденсації [1-6].

Аналіз стану питання із можливості отримання псевдо краплинної конденсації

Конденсатори отримали широке розповсюдження в різних установках промислової теплоенергетики. Конденсація водяної пари, як найпоширенішого робочого тіла в промисловості, має достатню інтенсивність та представляє особливий інтерес для дослідження (Рис.1). З метою інтенсифікації теплообміну в поверхневих теплообмінних апаратах (ТОА) застосовують різні способи зниження термічного опору конденсату. Руйнування конденсаційної плівки та забезпечення безпосереднього контакту пари з поверхнею теплообміну досягається застосуванням поверхнево-активних речовин, або створенням специфічних парових сумішей. Сама по собі металева теплообмінна поверхня є в більшості випадків гідрофільною (Рис.1а).

Процеси багатокомпонентної конденсації для вивчення є пріоритетними, але занадто складними. Проміжним варіантом для вивчення є бікомпонентна конденсація парової суміші, яка дозволяє одночасно вирішити декілька питань. До них належить інтенсифікація теплообміну і захист теплообмінної поверхні. З одного боку можливо отримати захисне покриття робочої поверхні, осадженням одного із компонентів суміші. При цьому класична плівкова конденсація переходить в краплинну (Рис.1г). З іншого боку, достатньо мала кількість одного із компонентів суміші може змінити поверхневий натяг конденсату і перевести конденсацію в псевдо краплинний режим (Рис.1в). Робоча поверхня залишається гідрофільною, а інтенсивність теплообміну стає сумірною з яскраво вираженим краплинним режимом.

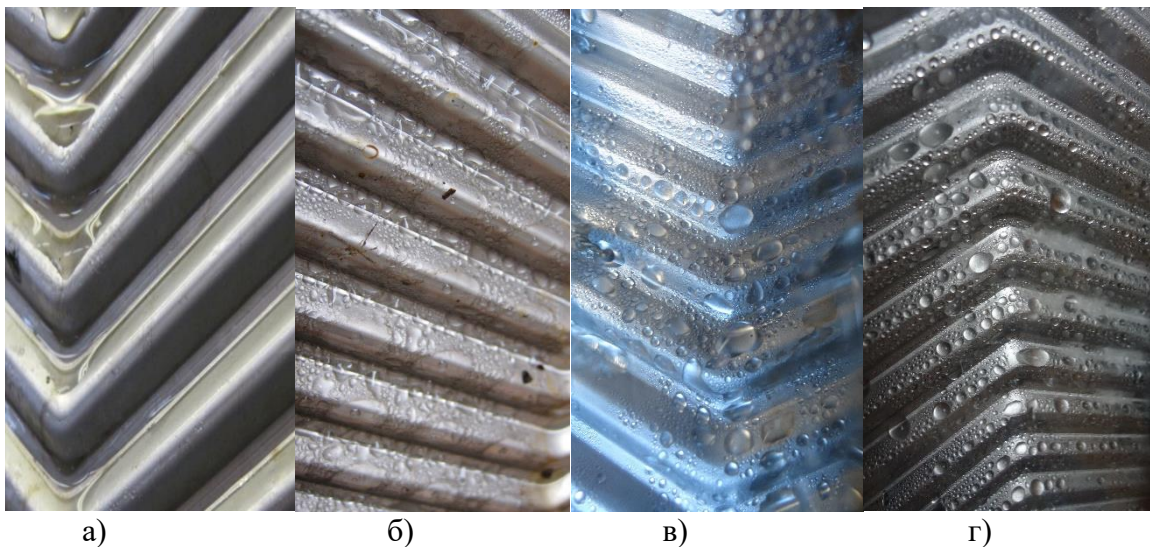


Рис.1. Режими конденсації на фібрилізованих поверхнях в теплообмінних апаратах:
а) плівковий; б) псевдо плівковий; в) псевдо краплинний; г) краплинний.

Для псевдо краплинного режиму одночасно можна також застосувати й інші варіанти впливу на рух конденсатних утворень по поверхні і для руху речовини в самих утвореннях. Найбільш доречним для цього є специфічне ребрення, яке дозволяє отримати так звані

фібрилізовані поверхні.

Мета роботи

Дана робота присвячена аналізу питання, щодо тепловіддачі парової суміші при псевдо краплинній конденсації. Мета її полягає в тому, щоб відобразити процес інтенсифікації процесу теплообміну на фібрилізованих поверхнях. Цікавим також є вивчення впливу неконденсуючого газу в суміші, швидкості суміші, тиску та інших факторів.

Результати досліджень

Типова схема експериментальної установки представлена на Рис.2. Вона дозволяє в автоматичному режимі збирати та обробляти первинні дані, контролювати експериментальні параметри з високою точністю та отримати залежність коефіцієнта тепловіддачі від різниці температур від пари до стінки $\Delta T = T_s - T_w$.

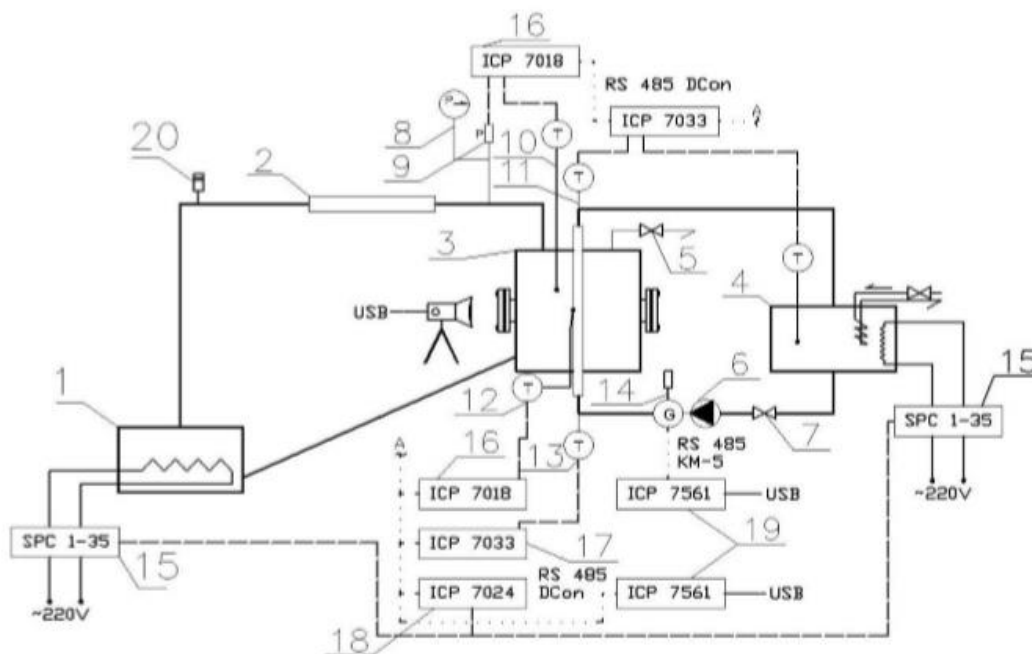


Рис.2. Принципова схема експериментальної установки:

1 - парогенератор; 2 - пароперегрівач; 3 - тестовий блок; 4 - термостат; 5 - продувний клапан; 6 - циркуляційний насос; 7 - запобіжний клапан; 8 - манометр; 9 - датчик тиску; 10 - термопари; 11 - термометр опору; 12 - термопари; 13 - платиновий термометр опору; 14 - електромагнітний витратомір; 15 - регулятор потужності; 16 - модуль для виведення сигналів термопар; 17 - модуль для виведення сигналів термометрів опору; 18 - вихідний модуль 0-10В; 19 - перетворювач інтерфейсів RS485 / USB; 20 - камера для подачі етанолу.

Установка складається з двох замкнутих контурів: головного та допоміжного. Основний контур включає парогенератор, пароперегрівач і випробувальний пристрій. Передбачено переведення експериментів як на горизонтальних, так і на вертикальних трубах. Допоміжний контур складається з термостата з дистильованою водою, циркуляційного насоса, електромагнітного витратоміра та регулюючих клапанів. Він призначений для відведення тепла з випробувального блоку, а також пов'язаний з системою автоматизації

експериментальної установки. Тиск підтримується з високою точністю за допомогою пропорційно-інтегрально-диференціального контролера-регулятора (ПІД-контролера) шляхом зміни потужності парогенератора. Термостат також керується ПІД-регулятором, при чому температура стінки була обрана як контрольний параметр. Це дозволило отримати залежність коефіцієнта тепловіддачі від ΔT з заданими кроками.

Найбільш простим, доступним і дешевим варіантом суміші є вода – етанол. Експерименти з конденсацією цієї парової суміші доречно проводити при різній концентрації C_V етанолу в паровій фазі. Як правило це значення C_V від 8 до 15%.

Із Рис.3 видно, що в діапазоні ΔT від 8 до 20 К коефіцієнт тепловіддачі для псевдо краплинної конденсації суміші з $C_V = 8,7\%$ і кроком оребрення трубки $s = 2$ мм є вищим, ніж при плівковій конденсації чистої пари на тій самій фібрилізованій трубці. Для $\Delta T > 20$ К коефіцієнти тепловіддачі при конденсації суміші та чистої пари є приблизно рівними. Вони майже в двічі вищі, ніж для плівкової конденсації чистої пари на гладкій трубці. Загальний термічний опір $R = (T_s - T_w) / q_w$ при конденсації парової суміші буде складатися з двох частин. Перша частина термічного опору є $R_d = (T_s - T_i) / q_w$. Вона відповідає дифузійному пласту пари. Інший термічний опір відповідає рідкій фазі $R_c = (T_i - T_w) / q_w$. Тут T_i - температура міжфазної поверхні.

Натомість специфікою такого процесу при $\Delta T < 8$ К є наявність малорухомих псевдо плівкових конденсатних утворень, що погіршує умови теплообміну навіть порівняно із класичною плівковою конденсацією. Суттєвим також є питання наявності додаткового термічного опору за умов присутності неконденсованих газів на зразок повітря. Навіть мала концентрація повітря – менше 1%, здатна вдвічі знизити інтенсивність тепловіддачі. Попередня дегазація дозволяє мінімізувати від'ємний вплив такого фактора.

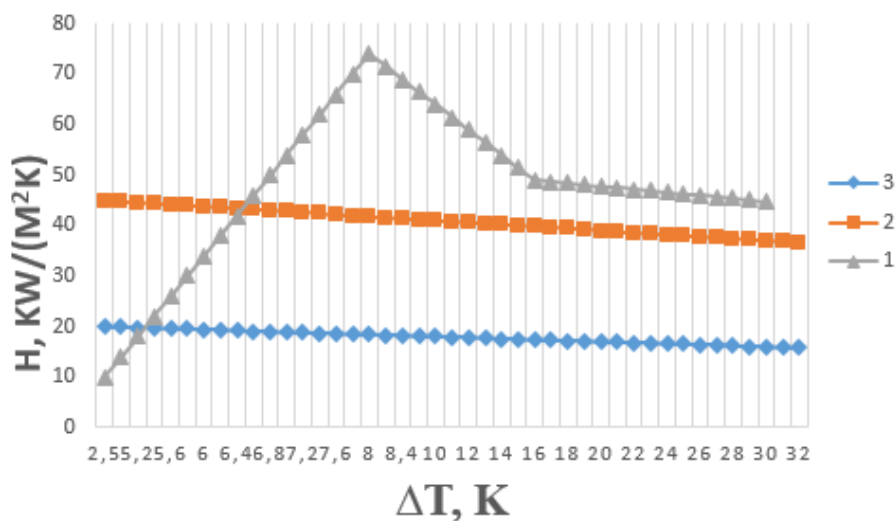


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тепловіддачі від різниці температур пари і поверхні під час конденсації суміші вода-етанол і чистої пари на поверхні фібрилізованої трубки $s = 2,0$ мм при: 1 - $C_V = 8,7\%$; 2 - $C_V = 0\%$. 3 - теорія Нуссельта для гладкої трубки, $C_V = 0$

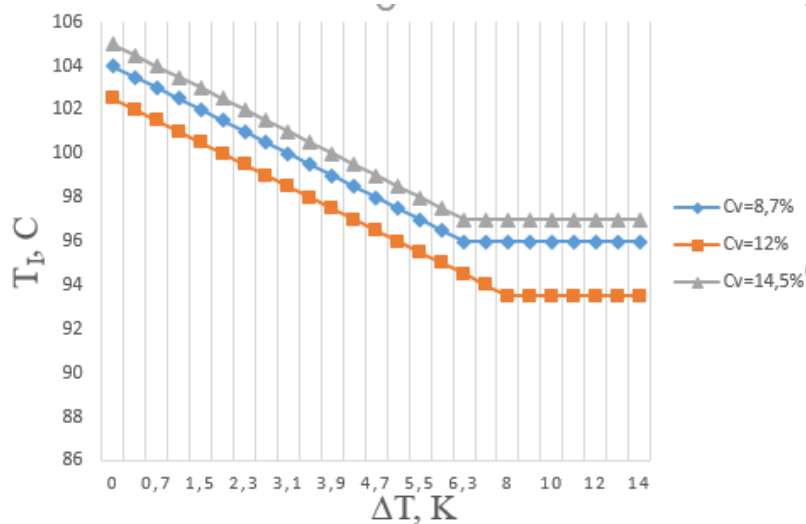


Рис. 4. Температура міжфазної поверхні: $P = 0,12$ МПа для $C_v = 8,7\%$ і 12% , $P = 0,15$ МПа для $C_v = 14,5\%$.

Аналіз результатів показує, що при зростанні напору ΔT , температура міжфазної поверхні спочатку зменшується лінійно. Для спадаючих зон кривих конденсації T_i дорівнює температурі точки роси, яка визначається з діаграми фазової рівноваги для даного складу суміші (Рис.4). Це означає, що концентрація суміші у рідкій фазі дорівнює концентрації в паровій фазі. Такий характер залежності є притаманним для спадаючих зон кривих конденсації.

На Рис.5 показані термічні опори R , R_d та R_c при конденсації парової суміші вода-етанол. Крок ребрення трубки $S = 2$ мм та концентрація етанолу $C_v = 12\%$. Подібні залежності термічних опорів від напору ΔT є притаманним і для інших значень S і C_v .

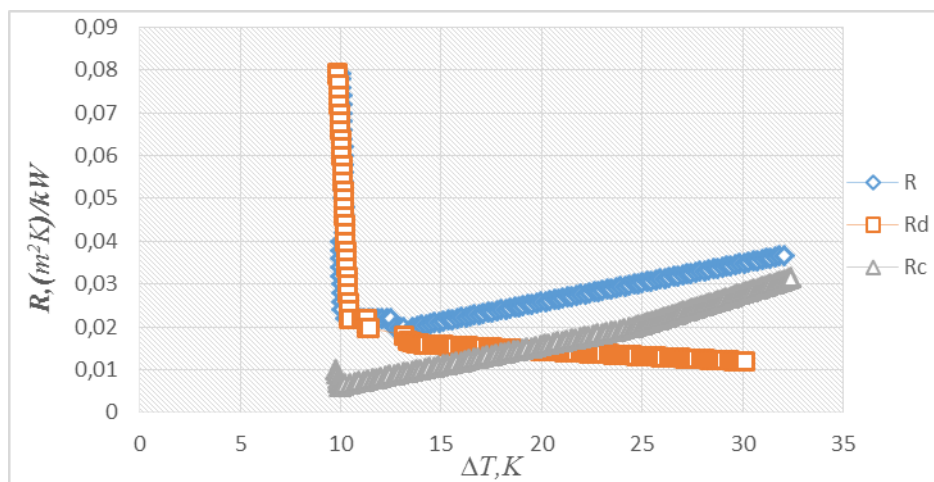


Рис. 5. Залежність термічних опорів від різниці температур між парою і стінкою для трубки із кроком $S = 2,0$ мм при концентрації $C_v = 12\%$.

З рисунків 1, 3-5 видно, що сумарний термічний опір швидко зменшується із збільшенням ΔT , що відповідає переходу від плівкової конденсації (Рис.6а) до псевдо краплинного режиму (Рис.6б).



а)

б)

Рис. 6. Зовнішній вигляд процесу конденсації на поверхні горизонтальної труби: а) – плівкова конденсація, б) – псевдо краплинна конденсація.

Потім сумарний термічний опір поступово збільшується, що відповідає зворотному переходу від псевдо краплинного режиму (Рис.6б) до плівкової конденсації (Рис.6а). Також можна відзначити, що термічний опір рідкої фази спочатку є відносно невеликим, а потім він різко зростає. При деякому температурному напорі ΔT сумарний термічний опір є таким, що порівнюється з R_d . Потім із збільшенням температурного напору ΔT сумарний термічний опір стає набагато вищим, ніж опір R_d .

Висновки

Таким чином, в результаті проведеного аналізу можна констатувати наступне. В окремих випадках у краплинному або псевдо краплинному режимах може бути сконденсована лише перша невеличка порція пари, потім настає zalивання теплообмінної поверхні і конденсація триває в плівковому режимі.

Конденсація бінарних парів з дуже різними коефіцієнтами поверхневого натягу обумовлена ефектом Марангоні і призводить до переходу від плівкової конденсації до псевдо краплинної. Здатність керування зміною режимів конденсації як в прямому, так і зворотному напрямках є пріоритетним напрямом подальших досліджень.

Для підвищення ефективності конденсації можуть одночасно застосовуватись різні підходи, наприклад, профілювання теплообмінної поверхні, в частковому випадку – так звана фібрилізація, незначна вібрація, застосування електро - конвективних явищ, тощо. Серед методів інтенсифікації теплообміну перевага надається тим, які призводять до технічних удосконалень і не потребують значних нових технологічних процесів.

Література

1. A. A. Chindyakov, Yu. B. Smirnov and E. V. Mikhailova. Experimental study of heat transfer during pseudo dropwise condensation of water-ethanol and water-isopropanol vapor mixtures on a vertical tube / Journal of Physics: Conference Series. – 2017, J. Phys.: Conf. Ser. 891 012124.
2. A. A. Chindyakov, Yu. B. Smirnov, A. A. Vinogradov et al. Heat transfer during pseudo-dropwise condensation of water-ethanol vapor mixture on horizontal finned tubes / Journal of Physics: Conference Series. – 2017, J. Phys.: Conf. Ser. 891 012136.

3. N. M. Portnova and Yu. B. Smirnov. Heat transfer during condensation of steam from steam-gas mixtures in the passive safety systems of nuclear power plants / Journal of Physics: Conference Series. – 2017, J. Phys.: Conf. Ser. 891 012125.
4. В.В. Бондаренко, Д.В. Кожемяка, А.С. Гавриш. Про класифікацію теплообмінників-конденсаторів та інтенсифікацію теплообміну / Енергетика. Екологія. Людина. – 2013, ISSN 2307-7239. – С. 22-29.
5. Srinivasan P., Balasubramanian P. and Gaitonde U. - 2002, Proc. 12th Int. Heat Transfer Conf. – P.196-201.
6. Rose J. W. Dropwise Condensation Theory. – 1994, Int. J. Heat Mass Transf. –P.37 -75.

УДК 621.472

Магістрант 6 курсу, гр. ОТ-61м Бондаренко В.В.

Науковий керівник: Студенець В.П., к.т.н., доц.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО АКУМУЛЯТОРА ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ НА БАЗІ ДВИГУНА СТІРЛІНГА

Проведена низка експериментальних досліджень роботи теплового акумулятора на базі РСМ-матеріалу, що був створений для роботи з сонячною енергоустановкою на базі двигуна Стірлінга. Отримані дані для обчислення енергетичних показників акумулятора.

Ключові слова: *тепловий акумулятор, двигун Стірлінга, матеріали з фазовим переходом.*

RESEARCH OF THE HEAT STORAGE FOR SOLAR POWER PLANT BASED ON A STIRLING ENGINE

A number of pilot studies of the heat storage based on PCM was done. The heat storage was designed to work with a solar power plant based on the Stirling engine. Data for the calculation of energy characteristics of heat storage were obtained.

Keywords: *heat storage, Stirling engine, phase-change material.*

Вступ

Добові графіки інтенсивності сонячного випромінювання та споживання електроенергії, як правило, не співпадають у часі, отже для максимального використання потенціалу сонячної радіації енергоустановки повинні містити в собі акумулятор. У даній роботі сонячна енергоустановка (СЕУ) представляє собою поєднання сонячного параболоїдного концентратора, двигуна Стірлінга та електрогенератора і, таким чином, у процесі її роботи відбувається перетворення енергії від теплоти через механічну в електричну енергію. Отже, акумулятування може відбутись на кожній стадії цього перетворення. У роботі досліджується акумулятування теплової енергії за допомоги речовин з фазовим переходом (PCM-матеріалів).

Аналіз стану питання

Будь-яка система постачання енергії складається із джерела первинної енергії, підсистеми перетворення енергії і споживачів перетвореної енергії. У системі можуть виникати невідповідності — як у часі, так і у просторі — між виробництвом енергії і споживанням. Подолання цих невідповідностей є основною метою акумулятування енергії.

До інших задач акумулятування енергії належать:

- забезпечення резерву на випадок раптового припинення роботи установок, особливо на період запуску резервних установок;
- регулювання або буферне акумулятування при високих амплітудах зміни навантаження, що дозволяє покривати навантаження при невеликих градієнтах зміни потужності первинного джерела енергії;
- акумулятування енергії поблизу місця її споживання для зменшення піків навантаження і вартості системи енергопостачання не тільки в частині перетворення енергії, а також при її розподіленні, за допомогою мереж [1].

СЕУ, що розглядається в даній роботі являє собою установку, що дозволяє перетворити теплову енергію, отриману завдяки сонцю, у електричну.

Акумулятування енергії у сонячній енергоустановці можливо на різних етапах:

- акумулювання електричної енергії після її генерації;
- акумулювання теплової енергії до генерації електричної.

У даній роботі буде розглядатися саме акумулювання теплової енергії.

Акумулятори, які використовують теплові ефекти зворотних фазових переходів, характеризуються високою густиною енергії тіла при невеликому об'ємі теплоакumuлюючого матеріалу і мають практично постійну температуру розряду. Теплоакumuлятори з фазовим переходом поділяються на низькотемпературні (до 120 °С), середньотемпературні (120-400 °С) та високотемпературні (400-1000 °С). Основні параметри наведено в таблиці 1 [2].

Таблиця 1 – Основні параметри теплоакumuляторів із фазовим переходом

Теплоакumuлюючі матеріали	Діапазон температур плавлення, °С	Об'ємна густина акумульованої енергії, МДж/м.куб.
Гідрати солей та їх суміші	30-50	200-400
Органічні сполуки	30-60	150-200
Солі	140-1000	300-1900
Метали та їх сплави	270-1000	540-3000
Луги	300-500	1280

Мета роботи

Дослідження функціонування та енергетичних характеристик теплового акумулятора на базі РСМ-матеріалу [3], температура фазового переходу якого відповідає робочим температурам двигуна Стірлінга УДС-1 [4].

Сонячна енергоустановка

Базова установка наведена на рис. 1 та складається з:

- 1 – параболоїдного сонячного концентратора (СК), вкритого тонкою дзеркальною плівкою,
- 2 – двигуна УДС-1, гаряча порожнина якого знаходиться у фокусі СК,
- 3 – електрогенератора (ЕГ) ДП-2-26, з'єднаного за допомогою ремінної передачі зі шківом ДС,
- 4 – вимірювального обладнання (вимірювання сонячної радіації, температури гарячої та холодної порожнин ДС, швидкості обертання ДС, вихідної потужності ЕГ).

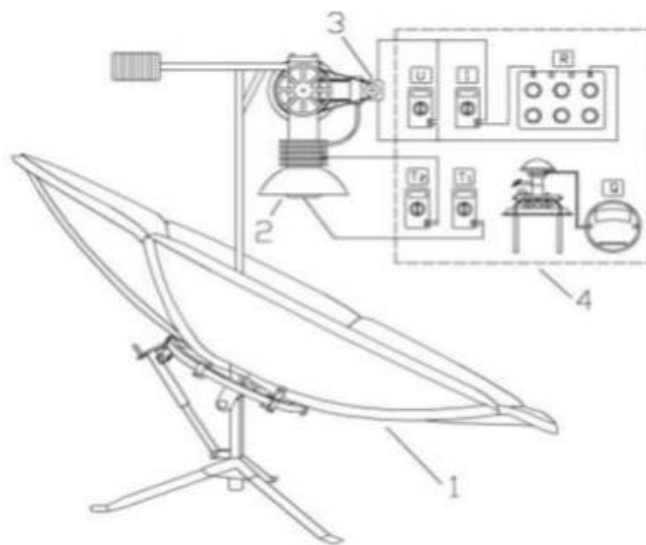


Рис. 1 – Експериментальна установка[4].

Установка була доповнена тепловим акумулятором (ТА). Конструкція акумулятора складається з двох концентричних циліндрів з дном, повітряний зазор між якими заповнений акумулюючою речовиною (143 г). Як акумулююча речовина використовується сплав магнію та цинку (Mg - 51%Zn), оскільки він має досить велику теплоту фазового переходу – 155 кДж/кг та прийнятну температуру кристалізації - 337°C.

Акумулятор має наступні параметри:

- зовнішній діаметр – 78 мм;
- внутрішній діаметр – 70 мм;
- висота зовнішнього циліндру – 90 мм;
- висота внутрішнього циліндру – 77 мм;
- матеріал оболонки акумулятора – сталь;
- товщина сталі – 0,5 мм.

Форма та габарити внутрішньої сторони акумулятора дозволяють мати щільний контакт з циліндром-витискувачем двигуна Стірлілґа. Зовнішня сторона акумулятора вкрита теплоізоляційним чохлом з азбестового шнура (теплопровідність – 0,08 Вт/(м°C), товщина – 15 мм). Чохол є з'ємним та може буди швидко знятий або надітий на акумулятор.

При роботі в інтервалі температур 550/337°C тепловий акумулятор має наступні характеристики:

- Питома теплоту фазового переходу – 155 кДж/кг;
- Питома теплоємність – 0,73 кДж/(кг · К);
- Теплоємність – 22,24 кДж;
- Теплоту фазового переходу – 22,16 кДж;
- Загальна кількість закумульованої теплоти – 44,4 кДж;

Експериментальні дослідження

Проведено декілька серій експериментів:

- дослідження ТА на експериментальній установці «СК – УДС-1» без ЕГ;
- дослідження ТА на експериментальній установці «СК – УДС-1» з ЕГ;
- дослідження ТА при охолодженні водою;
- дослідження ТА при охолодженні повітрям.

Дослідження теплового акумулятора на експериментальній установці «сонячний концентратор – УДС-1» без електрогенератора.

В ході експериментів фіксувалися наступні дані:

- температура акумулятора та циліндра двигуна;
- частота обертання маховика двигуна.

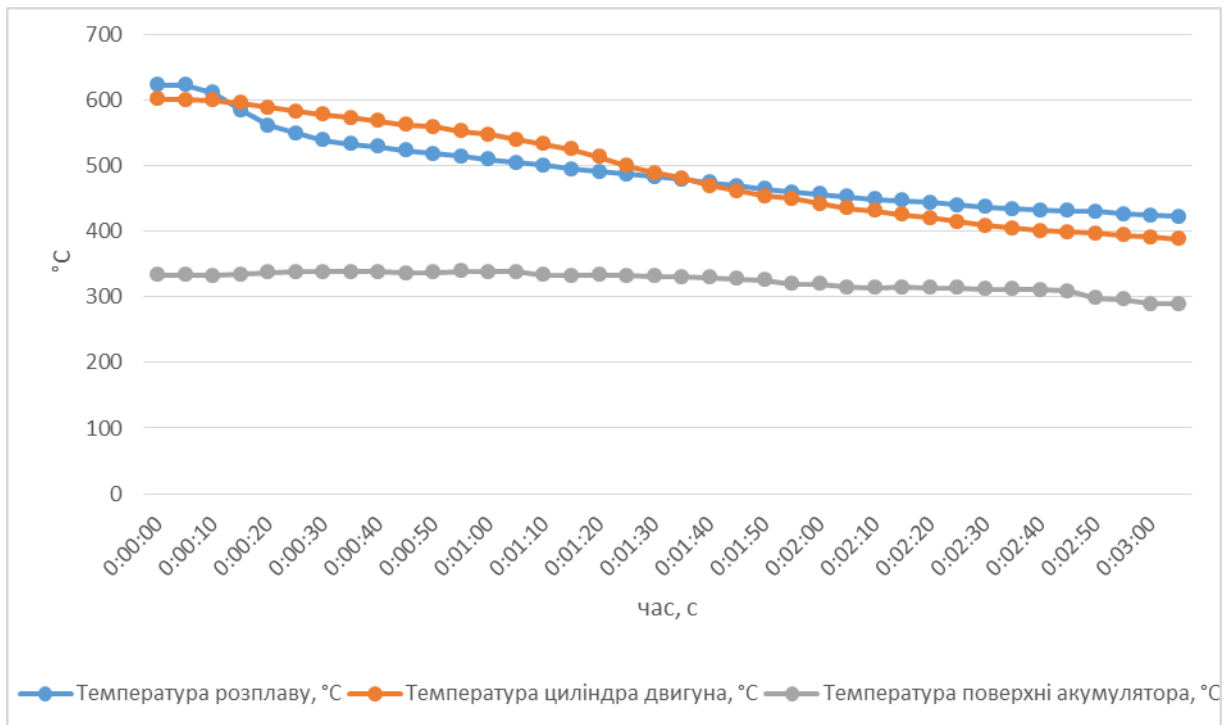


Рисунок 2 – Температурні показники роботи ТА при розрядці

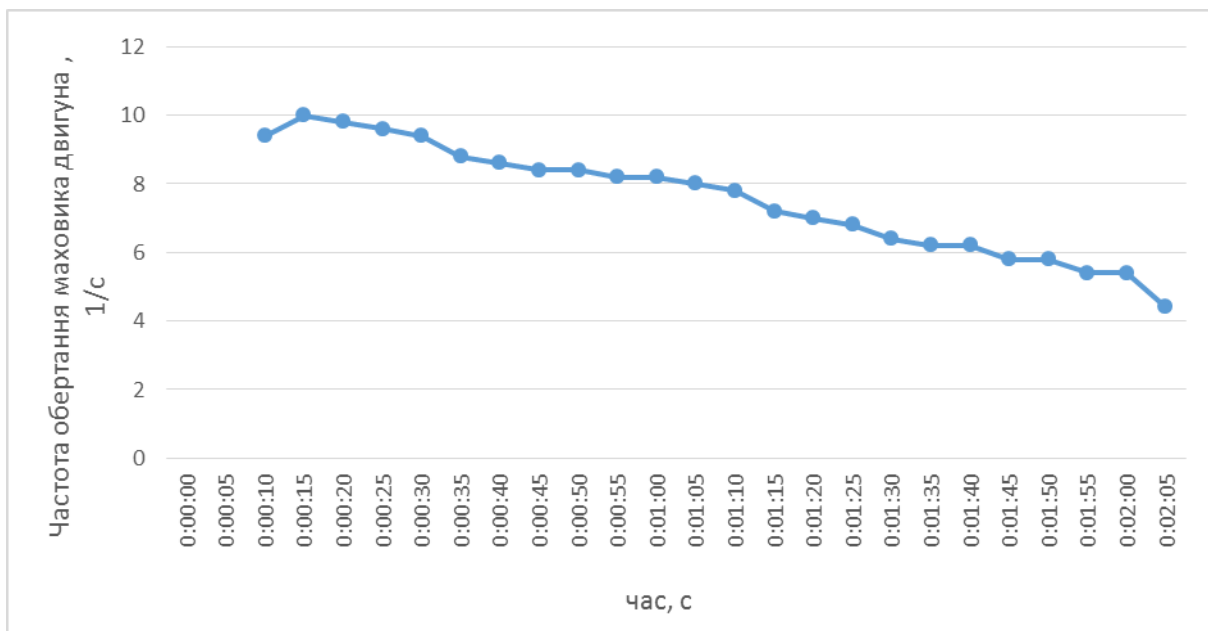


Рисунок 3 – Частота обертання маховика УДС-1.

Дослідження теплового акумулятора на експериментальній установці «сонячний концентратор – УДС-1» з електрогенератором.

В ході експерименту знімалися наступні дані:

- температура акумулятора та циліндра двигуна;
- частота обертання маховика двигуна;
- сила струму на напруга на електричному генераторі.

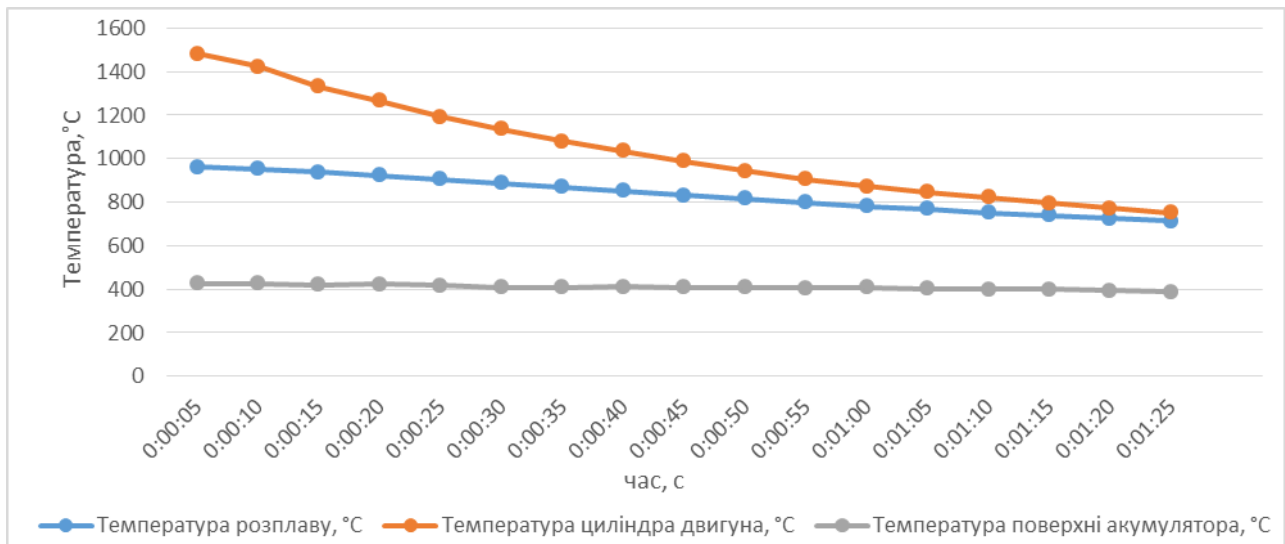


Рисунок 4 – Температурні показники роботи ТА при розрядці

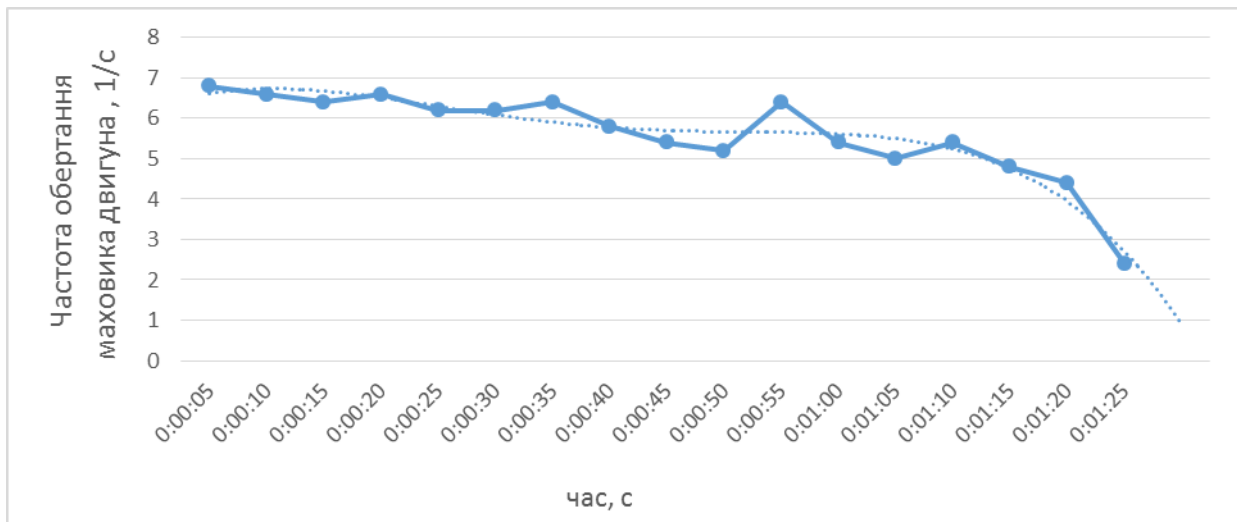


Рисунок 5 – Частота обертання маховика УДС-1.

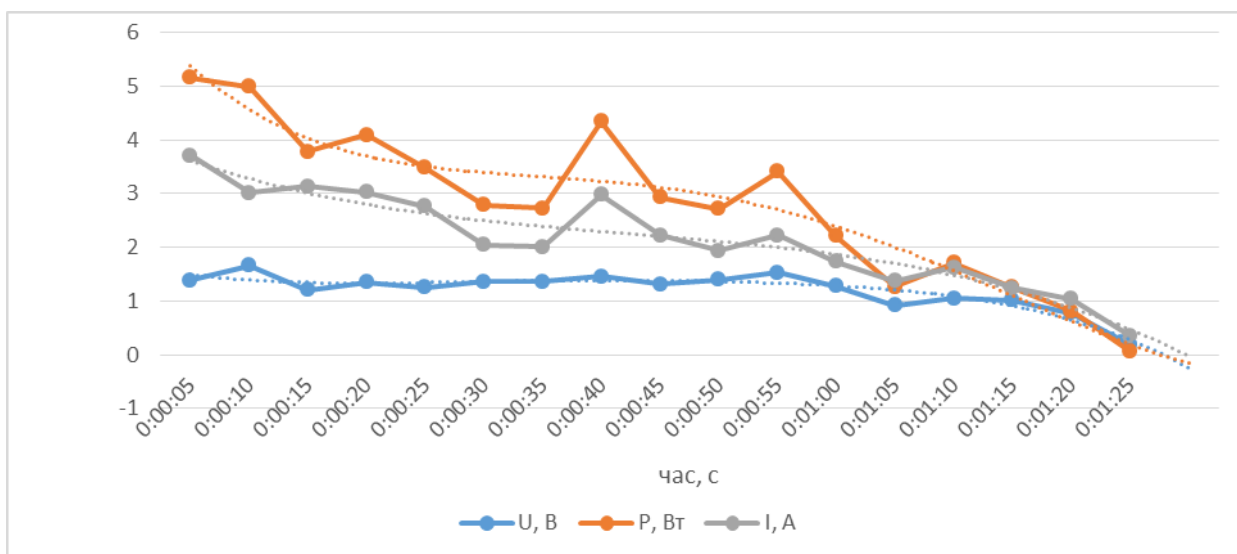


Рисунок 6 – Електричні показники роботи СЕУ.

Дослідження теплового акумулятора при охолодженні водою.

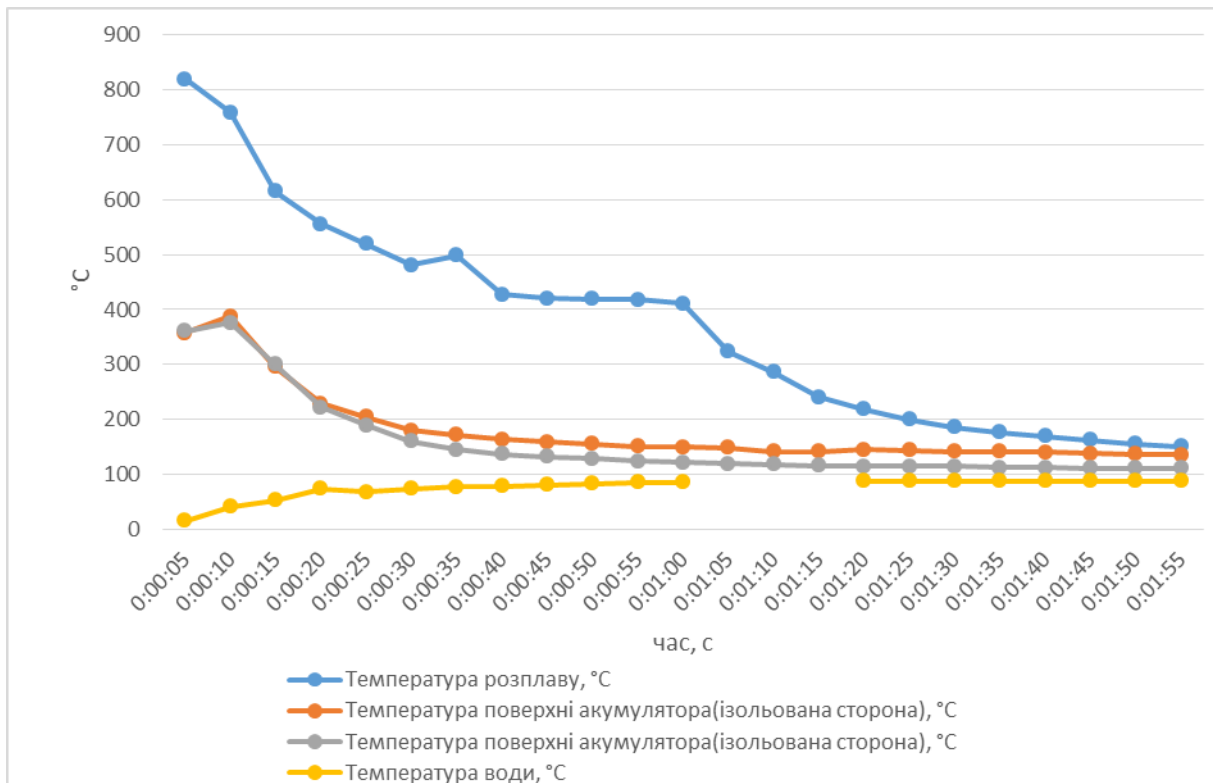


Рисунок 7 – Температурні показники роботи ТА при розрядці

Дослідження теплового акумулятора при охолодженні на відкритому повітрі.

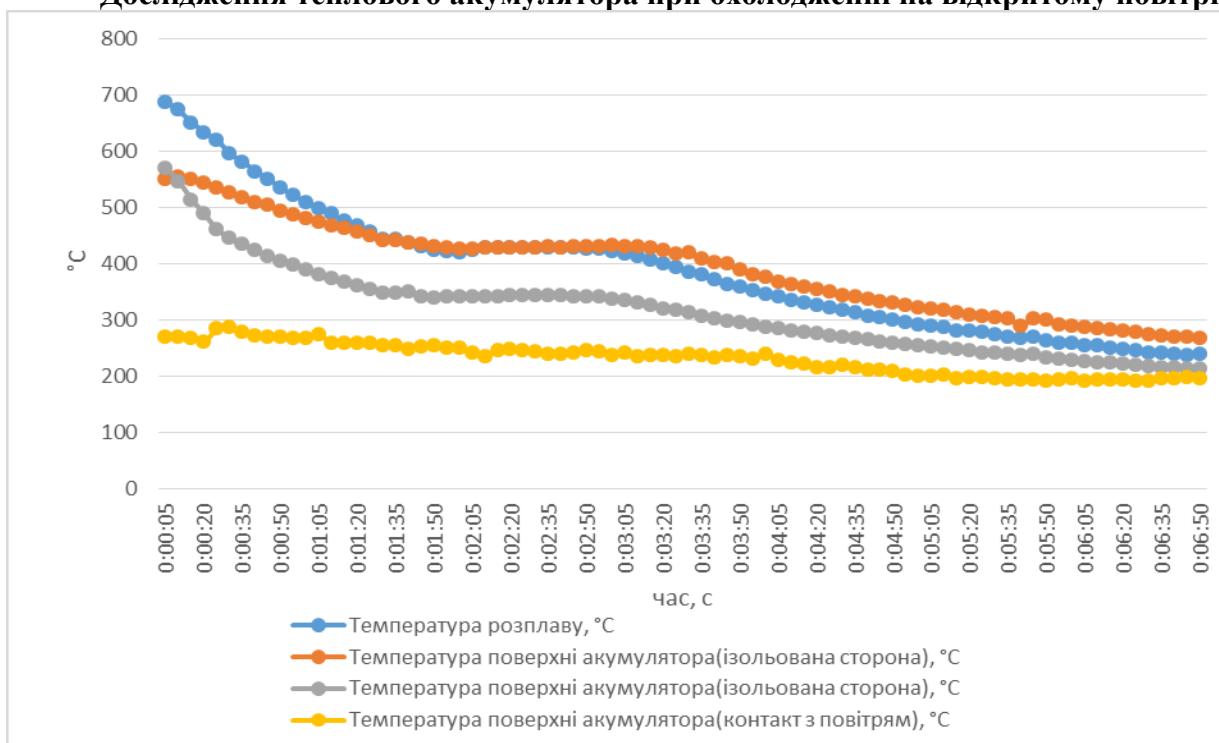


Рисунок 8 – Температурні показники роботи акумулятора при розрядці

Висновок

1. Аналіз результатів дослідження СЕУ з ТА на базі вибраного РСМ-матеріалу свідчить про те, що робота УДС-1 у процесі розрядки ТА відбувається головним чином завдяки теплоті, накопиченій у кількості, яка відповідає сумарній теплоємності РСМ-матеріалу та конструкції ТА. Це вказує на певну невідповідність робочої температури УДС-1 та температури фазового переходу робочої речовини ТА.
2. Для покращення функціонування СЕУ з ТА необхідно забезпечити більш повну відповідність температури фазового переходу РСМ-матеріалу робочому температурному діапазону УДС-1.
3. Результати, що були отримані під час ізольованого дослідження акумулятора, дозволяють визначити енергетичні характеристики акумулятора.

Література

1. К.В. Юхимчук. Новітні технології акумулювання енергії [Електронний ресурс]. Режим доступу:
<http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/16953/3052.pdf?sequence=3>
2. А.Н. Гребенюк. Способи акумуляції енергії нетрадиційних джерел [Електронний ресурс]. Режим доступу:
http://gea.nmu.org.ua/pdf/2014_93/93_131-136.pdf
3. Blanco-Rodriguez P, Rodriguez-Aseguinolaza J, Risueno E, Tello M. Thermophysical characterization of Mg-51%Zn eutectic metal alloy: a phase change material for thermal energy storage in direct steam generation applications. *Energy*. 2014;72:414–20.
4. V.P. Stoudenets, N.N. Tsyryn, 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.

УДК 621.472

Славінська К.О., магістрант 6 курсу, гр. ОТ-61м

Студенець В.П., доц., к.т.н., НТУУ "КПІ ім. Сікорського"

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАБОЛОЇДНОГО КОНЦЕНТРАТОРА ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ДВИГУНА СТІРЛІНГА

У даній статті досліджуються особливості функціонування параболоїдного сонячного концентратора (ПСК) як структурного елементу сонячної енергетичної установки (СЕУ) на базі двигуна Стірлінга (УДС-1). Проведено порівняння створеної моделі ПСК з реальним та ідеальним рефлекторами.

MODELING OF PARABOLOID CONCENTRATOR FOR SOLAR ENERGY INSTALLATION ON THE STIRLING ENGINE BASE

This article examines the peculiarities of paraboloid solar concentrator (PSK) as a structural element of the solar power plant (SPP) based on Stirling engine (UDS-1). A comparison of the created PSK model with real and ideal reflectors was performed.

Вступ. Сонячна енергія для досягнення поверхні Землі повинна подолати мільйони миль через вакуум простору. Після тривалої подорожі більша частина енергії відбивається назад у космос або поглинається атмосферою.

Частина сонячної радіації, поглиненої земною поверхнею, досягає пристроїв, які можуть використовувати цю енергію. Наприклад, параболоїдні сонячні концентратори фокусують падаючу сонячну радіацію на невелику область (приймач) [1]. Оскільки сонячна енергія накопичується на великій ділянці, пасивний тепловий потік на приймачі надзвичайно високий. Ця область максимально концентрує сонячну енергію, яка може бути перетворена в хімічну або електричну енергію.

У цій роботі тепловий потік, що надходить на приймач як функція радіального положення, обчислюється та порівнюється з опублікованими значеннями. Розглядається ідеальна та реальна відбиваюча поверхня сонячного концентратора. Реальний рефлектор включає в себе корекції, обумовлені наявністю фокальної плями та шорсткістю поверхні відбивача.

Аналіз стану питання. Питання енергозбереження є актуальним як для України так, і для всього світу загалом. Ефективне та раціональне споживання енергоресурсів, впровадження енергоефективних, екологічно чистих технологій є найважливішою тематикою сьогодення [2]. Актуальність проблеми полягає в необхідності моделювання сонячного параболоїдного концентратора для розрахунку доцільності впровадження з подальшою метою отримання теплової або електричної енергії на промисловому чи споживчому рівні [3].

Мета. Створення моделі трасування променів для існуючого ПСК [3] в програмному забезпеченні Comsol Multiphysics [4]. Основним показником ефективної роботи є коефіцієнт концентрації, визначення якого базується на роботах [5, 6]

Результати досліджень. Важливим показником в прогнозуванні розподілу температури є коефіцієнт, тобто співвідношення падаючого потоку на поверхні приймача до зовнішнього сонячного потоку [7]. Коефіцієнт концентрації збільшується, коли опромінення фокусується на меншу площу або коли зменшуються втрати в системі, такі як поглинання на поверхні рефлектора.

Приймач може мати різні варіанти форм, але приймачем даної установки виступає двигун Стірлінга УДС-1, узагальнено приймається циліндрична форма.

Ідеальний параболічний відбивач може зосередити промені в одній точці. Однак багато зовнішніх факторів перешкоджають цьому ідеалізованому рефлектору навіть у контексті геометричної оптики, в якій ми нехтуємо дифракцією.

Існує ряд обмежуючих факторів у системі, які можуть перешкоджати фокусуванню параболічного відбивача.

Частка падаючої сонячної енергії буде поглинена, а не відбита, параболічним дзеркалом. Навіть нове дзеркало поглинає деяку частку падаючої енергії, а роки зносу можуть ще більше погіршити його продуктивність [7]. У цій моделі поглинальний коефіцієнт $\leq 0,1$. Це означає, що відображається 90% вхідного випромінювання.

Справжнє дзеркало не є абсолютно гладким. У параболічному рефлекторі завжди існує певне відхилення в нормальному напрямку поверхні від ідеального випадку. Це спричиняє недосконале фокусування сонячної радіації, поширюючи тепловий потік на велику ділянку у фокальній площині.

Моделювання здійснювалось паралельно для реального та ідеального рефлектора у чотири етапи [8]:

1. Створення моделі трасування променів;
2. Візуалізація розподілу теплового потоку на поверхні циліндричного приймача;
3. Графічне порівняння азимутально усередненого коефіцієнта концентрацій у фокальній площині до теоретичного розрахунку [5, 6];
4. Пряме порівняння розподілів теплового потоку при включенні шорсткості, поглинання, наявності фокальної плями (реальний рефлектор) та при недотриманні цих ефектів (ідеальний рефлектор) [7].

Трасування променів є способом створення зображення тривимірних об'єктів за допомогою відстеження ходу променя світла крізь точку екрану і симуляції взаємодії цього променя з уявними об'єктами, що підлягають відображенню [8]. Промені випускаються з 1000 різних точок. Цієї кількості достатньо для точного розподілу теплових потоків. Кожен випущений промінь наділений фіксованою потужністю. Трасування променів для ідеального та реального рефлектора зображено на рис. 1 та рис. 2 відповідно.

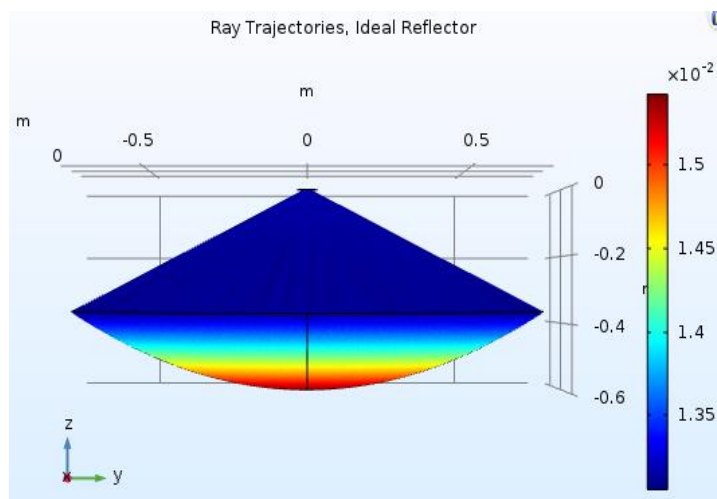


Рис. 1 - Трасування сонячних променів від ідеальної поверхні рефлектора до приймача

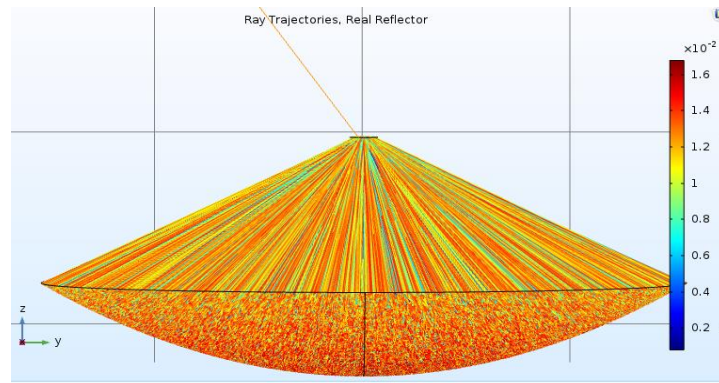


Рис. 2 - Трасування сонячних променів від реальної поверхні рефлектора до приймача

Падаючий тепловий потік, що надходить на поверхню ідеального приймача, показаний на рис. 3. Розподіл теплового потоку у фокальній площині для реального рефлектора показаний на рис. 4. Розповсюдження теплового потоку є набагато ширшим на реальному рефлекторі порівняно з ідеальним. Відсутнє будь-яке чітко визначене плато. Максимальний потік також значно скоротився.

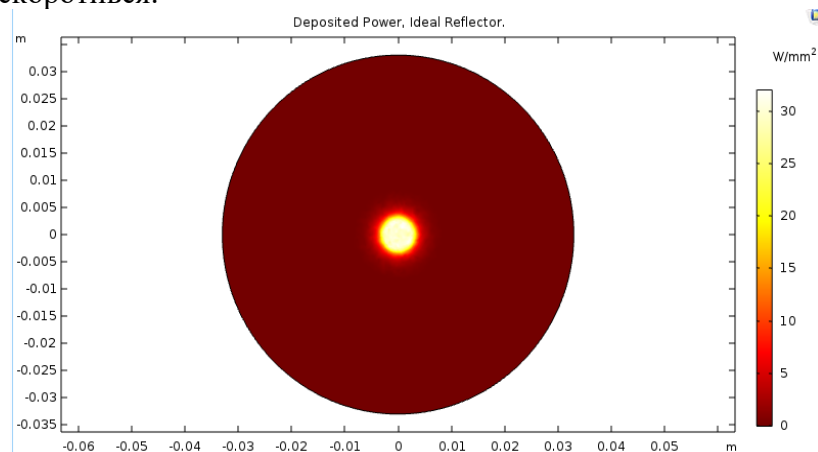


Рис. 3 - Тепловий потік на поверхні приймача для ідеального рефлектора

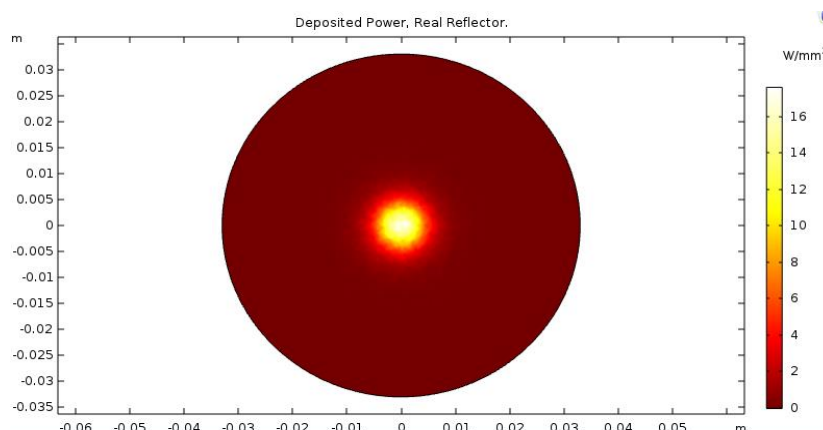


Рис. 4 - Тепловий потік на поверхні приймача для реального рефлектора

Тепловий потік ідеальної системи надзвичайно високий, середня величина близько 28 Вт/мм² (у межах ± 5 мм). В деяких границях (± 4 мм) тепловий потік досягає 32 Вт/мм². Це

демонструє необхідність усереднення в азимутальному напрямку, щоб більш послідовно порівнювати коефіцієнт концентрації з опублікованими значеннями.

Азимутально усереднені коефіцієнти концентрації для двох випадків нанесено на Рис. 5 та Рис. 6.

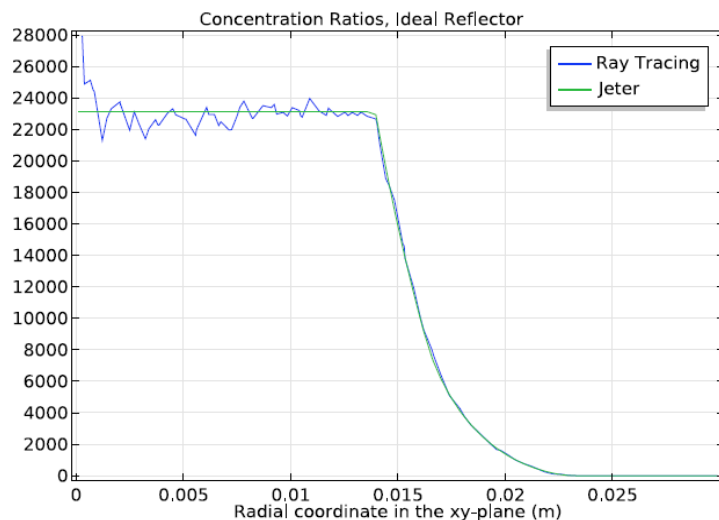


Рис. 5 - Порівняння азимутально усередненого обчисленого коефіцієнта концентрацій у приймачі з напіваналітичним рішенням для ідеального рефлектора

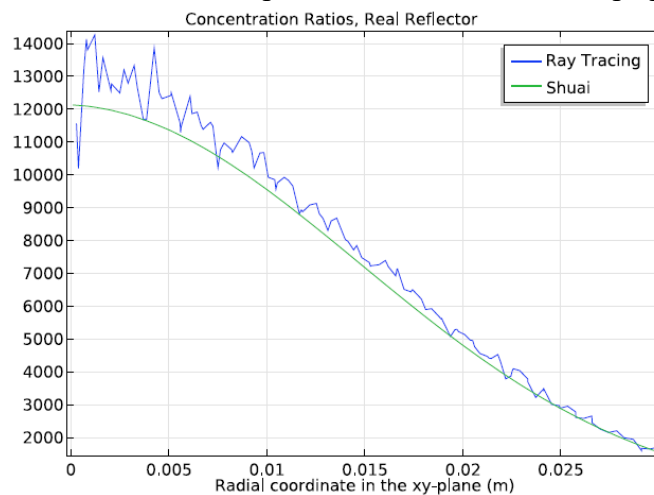


Рис. 6 - Порівняння азимутально усередненого обчисленого коефіцієнта концентрацій у приймачі з напіваналітичним рішенням для реального рефлектора

Обидва варіанти знову підтверджують свою відповідність напіваналітичним результатам. Чіткіша статистична збіжність може бути досягнута тільки шляхом збільшення кількості променів.

Кінцевим етапом є порівняння отриманих результатів, а саме – теплових потоків на поверхні приймача. На рис. 7 видно, що при ідеальній ситуації потік більш сконцентрований в одній точці.

У результаті дослідження моделі трасування променів для ідеального рефлектора отримано максимальний тепловий потік на одиницю поверхні приймача 30 Вт/мм^2 та аналогічне середнє значення – 18 Вт/мм^2 . Для реального рефлектора ці показники відповідно склали 20 Вт/мм^2 та 9 Вт/мм^2 .

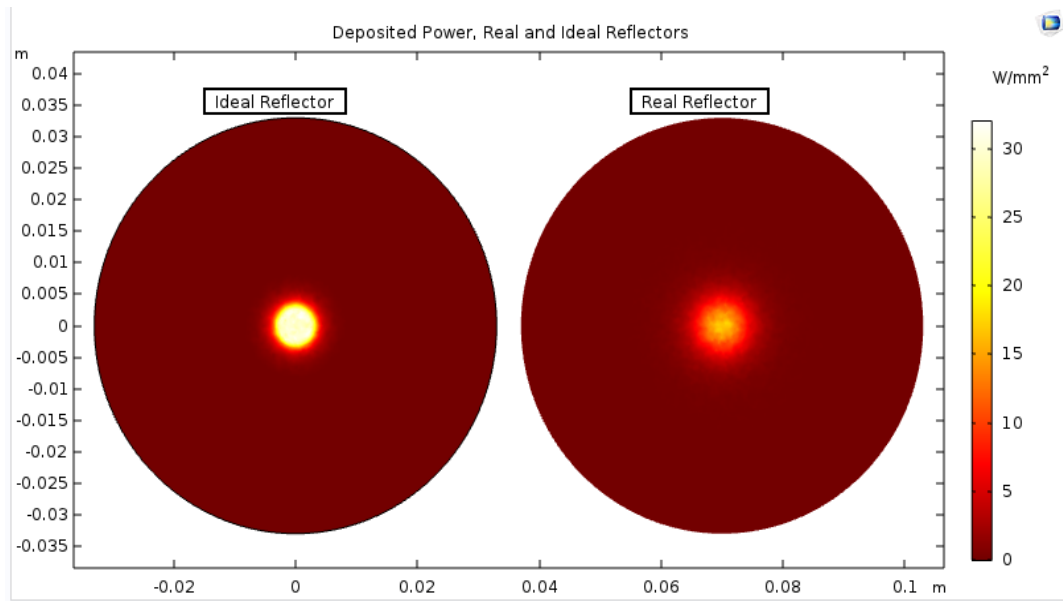


Рис. 7 – Порівняння отриманих теплових потоків на поверхню приймача

Висновки. Програмне забезпечення Comsol Multiphysics допомагає зробити прогноз коефіцієнта концентрації ідеалізованого та реального сонячного концентратора для подальшої оцінки доцільності впровадження ПСК на базі двигуна Стірлінга.

В ході дослідження виявлено необхідність врахування всіх реальних факторів впливу для покращення точності моделювання та розрахунку ПСК.

Методологія трасування променів дозволяє оцінити розподіл теплового потоку на поверхню приймача.

Література:

1. Захидов Р. Технология и испытания гелиотехнических концентрирующих систем / Р. Захидов. – Т. : Изд-во «ФАН», 1978. – 184 с.
2. Rannels J. The DOE office of solar energy technologies vision for advancing solar technologies in the new millennium / J. Rannels // Solar energy. – 2000. – Vol.69. No. 5. – P. 363–368.
3. Stoudenets V.P. The Characteristics of Solar Dish/Stirling System Based on UDS-1 Machine / V.P. Stoudenets, N.N. Tsyryn, S.S. Dovgyi, N.O. Yemanova // Proceedings IGEC-8 : int. conf., 17–19 June 2013, Kyiv. – Kyiv, 2013.
4. Comsol.net [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Бостон : Comsol Inc., 1986-2018]. – Режим доступу: www.comsol.net (дата звернення 30.03.2018). – Назва з екрана.
5. Shuai, Y. Xia X. Radiation performance of dish solar concentrator and cavity receiver systems / Y. Shuai, X. Xia, H. Tan // Solar Energy. – 2008. – Vol. 82, No. 4. – P. 13 – 28.
6. Jeter S. The distribution of concentrated solar radiation in paraboloidal collectors / S. Jeter // Journal of Solar Energy Engineering. – 1986. – Vol. 108, No. 6. – P. 219 – 225.
7. Hestroffer D. Magnan C. Wavelength dependency of the Solar limb darkening / D. Hestroffer, C. Magnan // Astrophysl. – 1998. – Vol. 333, No. 2. – P. 338 – 342.
8. Особливості моделювання сонячного параболоїдного концентратора в програмному середовищі Comsol Multiphysics : матеріали XVI-ї міжнародної науково-практичної конференції ["Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики"], (Київ, 24-27 бер. 2018 р.) / НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського". – Київ : НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського", 2018. – 167 с.

УДК 532.5

Магістрант 6 курсу, гр. ОТ-61м Лептюхов І.І.; ст. викл. Баранюк О.В.

Науковий керівник: Студенець В.П. к.т.н., доц.

МОДЕЛЬ В'ЯЗКІСТНО-ГРАВІТАЦІЙНОЇ ТЕЧІЇ ВОДЯНОЇ ПЛІВКИ НА ГЛАДКІЙ ПОВЕРХНІ У СЕРЕДОВИЩІ ANSYS FLUENT

Проведено ряд моделювань течії водяної плівки на гладкій стінці у програмному середовищі ANSYS Fluent. Отримані дані товщини водяної плівки при різних кутах стікання. Проведено порівняння даних моделювання та теоретичного розрахунку.

Ключові слова: водяна плівка, ANSYS Fluent.

MODEL OF VISCOUSLY-GRAVITATIONAL FLOW OF WATER PELLICLE ON SMOOTH SURFACE IN THE ANSYS FLUENT SOFTWARE

Was made a number of simulations the flow of water pellicle on smooth surface in the ANSYS Fluent software. Data of the thickness water pellicle at several angle of slope were obtained. Was made comparison the data of modelling with theoretical calculations.

Key words: water pellicle, ANSYS Fluent.

Вступ

Існує багато методів інтенсифікації процесу теплообміну та масообміну. Той, що буде розглядатися є одним із найефективніших – це процес тепло- та масообміну в тонких плівках. Плівковий потік, зазвичай, це потік тонкого шару рідини по довжині твердої стінки. В таких плівках можливий рух не тільки однієї рідкої фази – їх може бути декілька, які будуть рухатись одна над одною. Рушійною силою течії цих плівок можуть бути наступні фактори: сила тяжіння, тертя поверхонь, різноманітні вібраційні та відцентрові сили.

Аналіз стану питання

Розрізняють наступні види рідинних плівок:

- конденсатні;
- киплячі;
- конвективні.

Основний механізм утворення конденсатних плівок – конденсація пари рідини на стінці. Коли плівка стікає, її товщина та витрата рідини збільшуються з пройденим шляхом плівки. Це пов'язано з тим, що під час руху, на поверхні плівки конденсуються нові й нові порції пари.

В киплячих плівках навпаки – товщина плівки та витрата рідини зменшуються з пройденим шляхом. Тобто, частина рідкої текучої фази випаровується. Даний процес чітко спостерігається в випарних апаратах.

Щодо конвективних плівок – створюються штучно, за допомогою різноманітних розподілювачів. В цьому виді плівок, товщина та витрата рідини практично незмінні по шляху руху самої плівки. Це пояснюється тим, що масообмін вільної поверхні плівки є незначним, тому ним зазвичай нехтують.

Розрізняють вертикальний, горизонтальний та похилий потік плівки рідини. Саме середовище стікання може бути гладким, мати оребрення або певну шорсткість. Також, має вплив напрям руху фаз – протиток чи прямоток. Для виконання задач масообміну частіше використовують протиток. Якщо ж брати до уваги ефективність теплообміну, то краще забезпечити стікання плівки рідини. В даному випадку, рух плівки є стабільним та простіше забезпечити зрошення по поверхні теплообміну.

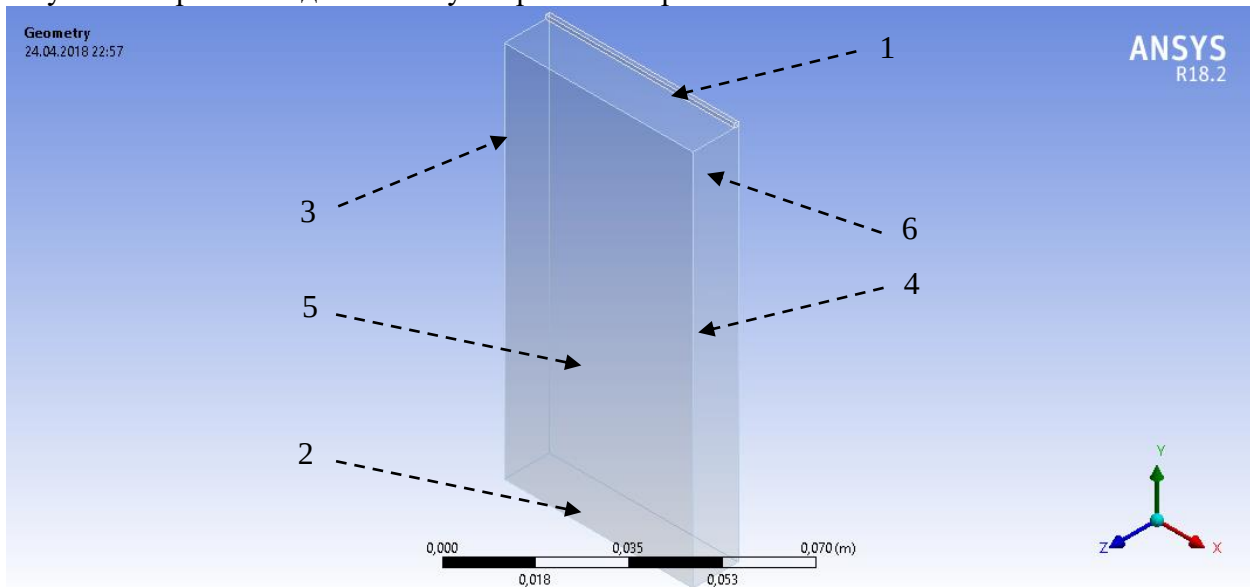
Мета роботи

Порівняння теоретичного розрахунку товщини плівки води з значенням, отриманим в результаті моделювання руху цієї плівки в програмному пакеті ANSYS, а саме Fluent. Дане програмне забезпечення дозволяє визначити всі потрібні параметри рідинної плівки на різних етапах її стікання.

Побудова моделі сітки

Геометричну модель установки представлено у вигляді каналу прямокутної форми у двох варіаціях: розмірами 6x20x100 мм. та 12x50x100 мм. Кут нахилу каналу до горизонту – 45° та 90°. В графічному редакторі, який вбудовано в ANSYS, спочатку потрібно побудувати ескіз каналу, а потім витягнути його на вказану вище висоту. Оскільки в каналі, який заповнений повітрям, буде стікати вода, на його вході потрібно намалювати додатковий об'єм, який заповнений водою (*water_inlet*). Розміри площини входу води – 1x20 мм. та 1x50 мм. відповідно. Закінчивши роботу над геометрією моделі, можна перейти до роботи в Mesh Editor.

Під час роботи в Mesh Editor для кожної площини, яка обмежує канал, задано відповідну назву. Геометрична модель каналу зображена на рис. 1.



1 – *water_inlet*; 2 – *outlet*; 3 – *wall_left*; 4 – *wall_right*; 5 – *symmetry*; 6 – *wall_chanell*

Рисунок 1. – Геометрична модель каналу з відповідними назвами площин

Основною задачею моделювання є визначення товщини плівки води, що стікає по гладкій стінці. Зважаючи на це, було прийнято рішення подрібнити розрахункову сітку в пристінному шарі. Це дозволяє скоротити час розрахунку та не впливає на якість отриманих результатів.

В Mesh Editor, за допомоги функції створення сітки *Body Sizing* було обрано тип поділу – *Element Size*. Розмір елемента сітки – 1 мм. Для більшого подрібнення сітки в пристінному шарі, за допомоги функції *Inflation*, потрібно вказати кількість елементів для подрібнення (15), величину першого елемента (0,2мм.) та ступінь збільшення кожного наступного елемента (1,1). Після закінчення процесу створення отримаємо розрахункові сітки, які зображені на рис. 2.

Наступним етапом моделювання є задання граничних умов для розрахунку.

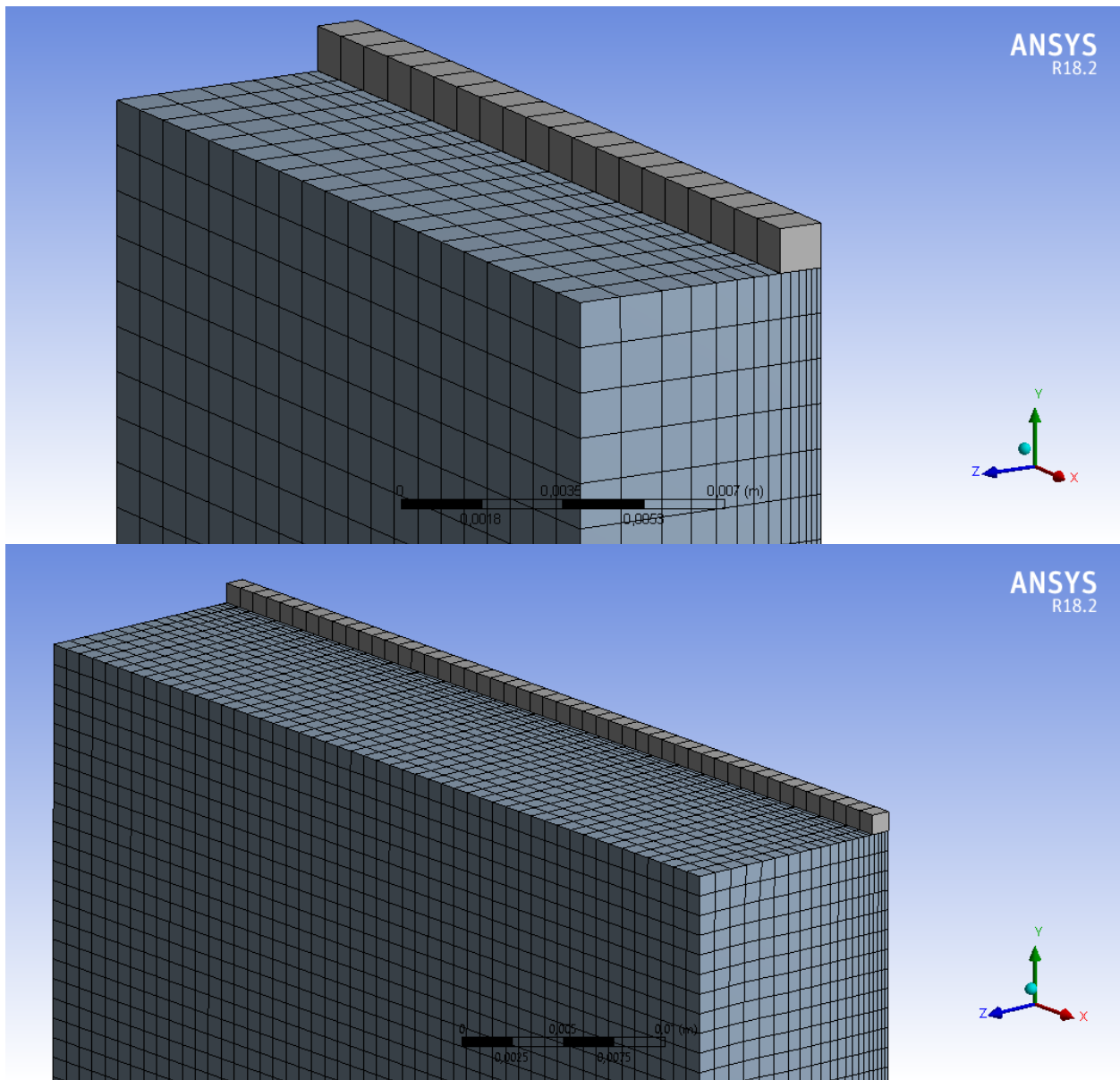


Рисунок 2. – Вигляд розрахункової сітки

Вхідні дані для моделювання

В першу чергу, слід зазначити, що задача є залежною від часу, тому, в меню налаштувань в вкладці *General*, слід обрати опцію *Time – Transient*. Також обов’язковим є те, що потрібно ввімкнути гравітацію опцією *Gravity*, та вказати величину прискорення вільного падіння в потрібному напрямку.

Для розрахунку поставленої задачі, в вкладці *Model*, вмикаємо опцію *Multiphase*, та обираємо тип моделі – *Volume of Fluid*. Даний тип моделі використовується для багатофазного руху рідин, враховуючи їх взаємодію між собою та твердими тілами. Основним рівнянням цього типу моделі є рівняння Ейлера, яке по своїй суті є рівнянням руху рідини. В опціях цієї моделі потрібно ввімкнути вкладку *Implicit Body Force*. Це потрібно для того, щоб в результатах розрахунку відображалася так звана **Volume Fraction** – об’ємна частка речовини в будь-якому місці каналу в обраний момент часу. Далі, додамо дві фази в середовищі каналу – воду та повітря. Повітря(*air*) обирається як первинна фаза(*Primary Phase*). Вода(*water*) є вторинною фазою(*Secondary Phase*). В підменю *Phase Interactions*(Взаємодія фаз) потрібно

задати коефіцієнт поверхневого натягу між повітрям та водою. Табличне значення цього коефіцієнту (для температури 25 °C) дорівнює 0,0717Н/м.

Також, у вкладці *Model*, вмикаємо опцію *Viscous*. Дана опція дозволяє обрати модель турбулентності течії. В підменю обираємо модель турбулентності – *k-epsilon(2 eqn)*. Це загальна модель турбулентності, яка використовується в CFD-моделюванні(Computational Fluid Dynamics Modelling). Далі перейдемо до задання початкових граничних умов моделювання(*Boundary Conditions*).

У вкладці *Boundary Conditions* можемо бачити попередньо створені назви для площин, що обмежують канал, які зображені на рис.1. Для кожної з площин потрібно обрати тип граничних умов. Назви площин та відповідні їм граничні умови наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Граничні умови для площин, які обмежують канал

Назва площини	Тип граничної умови
water_inlet	velocity inlet
outlet	pressure outlet
symmetry	symmetry
wall_left	wall
wall_right	wall
wall_chanell	wall

Тепер, для кожної площини каналу потрібно задати свої індивідуальні граничні умови.

В налаштуваннях граничних умов для площини *water_inlet*, задаємо швидкість фази *Velocity Magnitude* – 0,5 м/с. Також, в налаштуваннях є можливість обрати метод розрахунку турбулентності. Тобто за допомогою програми є можливість визначити турбулентність через різні параметри. В нашому випадку, обраний метод – *Intensity and Hydraulic Diameter*. Параметр *Intensity* – 1%, параметр *Hydraulic Diameter* – 1,9 мм.(для каналу габаритами 6x20x100). Гідравлічний діаметр було розраховано вручну.

В вкладці *outlet*: Параметр *Intensity* – 1%, параметр *Hydraulic Diameter* – 9,23мм.(для каналу габаритами 6x20x100).

Для решти вкладок ніяких даних, для нашого експерименту, задавати не потрібно, ті данні що пропонує програма автоматично є прийнятними.

Далі слід перейти до методу вирішення задачі. У вкладці *Solution Methods* нами обрано метод розрахунку – *Simple*. В підменю *Spatial Discretization* обираємо метод розрахунку тиску – *PRESTO*. В наступній вкладці, *Initialization*, потрібно вибрати метод ініціалізації – *Hybrid Initialization* та натиснути кнопку *Initialize*. Це потрібно для того, щоб система задалася початковими параметрами фізичних величин для розрахунку. Наступним кроком буде патчеризація об'ємів. В вкладці *Initialization*, після проведення ініціалізації стане доступною кнопка *Patch*. Натиснувши її, потрібно задати фазне заповнення об'ємів, водою та повітрям відповідно.

Тепер можемо перейти до вкладки *Run Calculation* та розпочати розрахунок. Але перед цим потрібно налаштувати параметри розрахунку. Модель *Volume of Fluid* потребує використання дуже малих часових інтервалів розрахунку позиції рідини. Тому, в поле *Timestep Size* було внесено часовий інтервал між новим та попереднім розрахунком 0,0001 с.. В поле *Number of Timesteps* внесено 2000. Тобто, програма розрахує параметри рідини протягом 0,2 секунд з інтервалом 0,0001 с. Після закінчення розрахунку, можна переглянути властивості рідини та карту поширення рідини по каналу в будь-який момент часу.

Для проведення розрахунку при куті нахилу моделі 45° до горизонту, ніяких даних не

було змінено. Використовуючи функцію *Rotate*, обираємо вісь обертання, вказуємо потрібний кут та проводимо аналогічний розрахунок.

Результати моделювання

Після закінчення довготривалого розрахунку, позиції води в деяких моментах часу можна побачити на рис. 3.

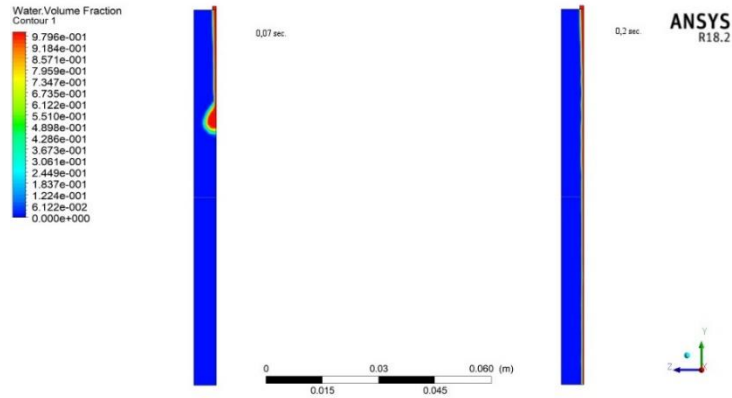


Рисунок 3. – Позиція води при різних моментах часу для моделі 6x20x100 мм.

Завдання даного моделювання (як зазначалось вище) полягало у визначенні товщини плівки води. Але, як можна помітити з рис.3, товщина плівки нерівномірна по шляху її стікання. Тому, було вирішено відслідкувати, на якій відстані від початку каналу зміна товщини плівки є незначною. За допомоги програми можна відслідкувати частку води по ширині каналу. Тому було взято 9 контрольних точок, з яких визначено даний параметр.

Замір товщини плівки був виконаний на 0,2-й секунді. Результатом заміру однієї з товщин є графік розподілу товщини плівки по висоті каналу.

Замір було виконано для кожної з точок. Результати зведено в таблицю 2 та побудовано графік розподілу товщини плівки по довжині каналу (рис.8).

Таблиця 2 – Результати заміру товщини плівки на різній довжині каналу для різних моделей

Модель 6x20x100 мм.				Модель 12x50x100 мм.			
45°		90°		45°		90°	
L, мм	δ, мм	L, мм	δ, мм	L, мм	δ, мм	L, мм	δ, мм
10	0,62	10	0,36	10	0,56	5	0,6
20	0,4	20	0,35	20	0,46	10	0,56
30	0,41	30	0,32	30	0,44	15	0,54
40	0,4	40	0,35	40	0,44	20	0,5
50	0,36	50	0,35	50	0,4	25	0,48
60	0,38	60	0,4	60	0,4	30	0,42
70	0,38	70	0,4	70	0,4	35	0,42
80	0,38	80	0,4	80	0,4	40	0,42
90	0,37	90	0,45	90	0,42		

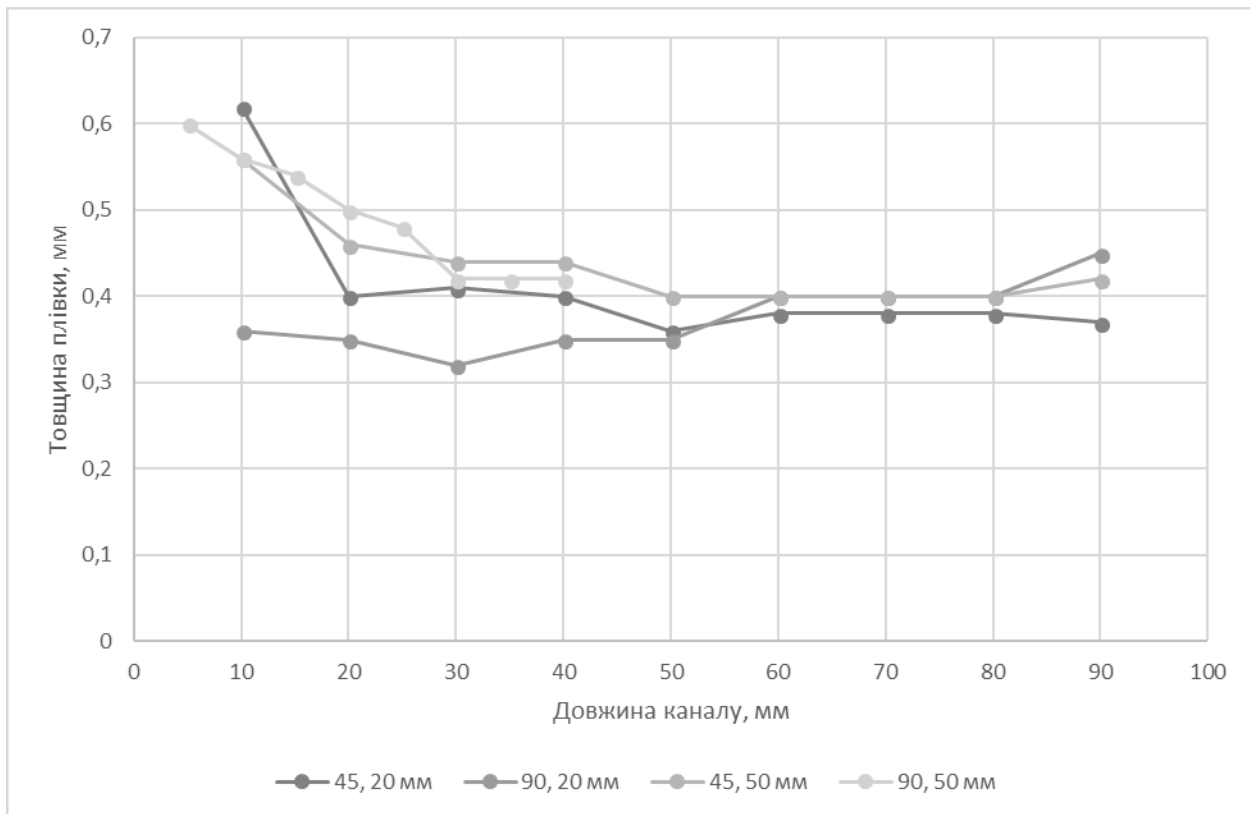


Рисунок 4. – Товщина плівки води на різній довжині каналу

Як видно з рис. 4, починаючи з позиції №6 (відстань від початку каналу – 60 мм) та закінчуючи позицією №8 (відстань від початку каналу – 80 мм), товщина плівки не змінюється. Отже, основний замір було взято з цього проміжку. Для цього заміру було обрано позицію №7 (відстань від початку каналу – 70 мм). Лише для варіанту моделі 12х50х100мм., товщина плівки визначатиметься на відстані від початку каналу – 35 мм. Це пов'язано з тим, що відбувається розтікання самої плівки. Розподіл об'ємної частки води по ширині каналу (для моделі 6х20х100мм) на цій позиції можна побачити на рис. 5.

Товщина плівки води на даній позиції – 0,4 мм.. Зведемо дані товщини плівки води для всіх моделей у таблицю 3.

Таблиця 3 – Значення товщин плівок води

	Модель 6х20х100мм.		Модель 12х50х100мм.	
	45°	90°	45°	90°
δ, мм	0,38	0,4	0,4	0,42

Теоретичні розрахунки

Спочатку, для розрахунку потрібно визначити середню швидкість потоку плівки. З моделювання можна визначити швидкість течії зовнішнього шару плівки рідини. Графік розподілу швидкості можна побачити на рис. 6.

Екстремум, приведений на графіку, і буде значенням швидкості поверхні плівки. Отже, $w_{нар}=0,95$ м/с. Розрахуємо середню швидкість течії плівки за формулою (1):

$$w = \frac{w_{нар}}{1,5}, \quad (1)$$

$$\bar{w} = \frac{0,95}{1,5} = 0,633 \text{ м / с};$$

Розрахувавши середню швидкість перейдемо до розрахунку товщини плівки рідини, який ви можете бачити далі.

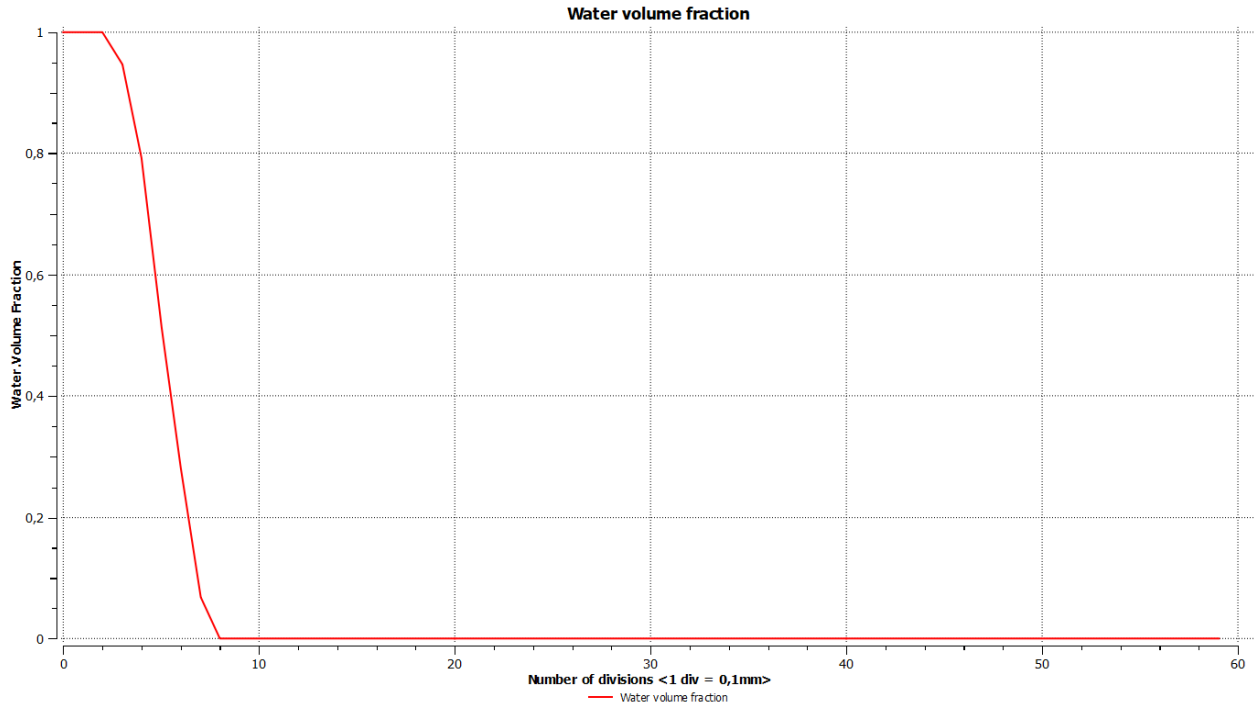


Рисунок 5. – Графік об'ємної частки води по ширині каналу на 7-ій позиції

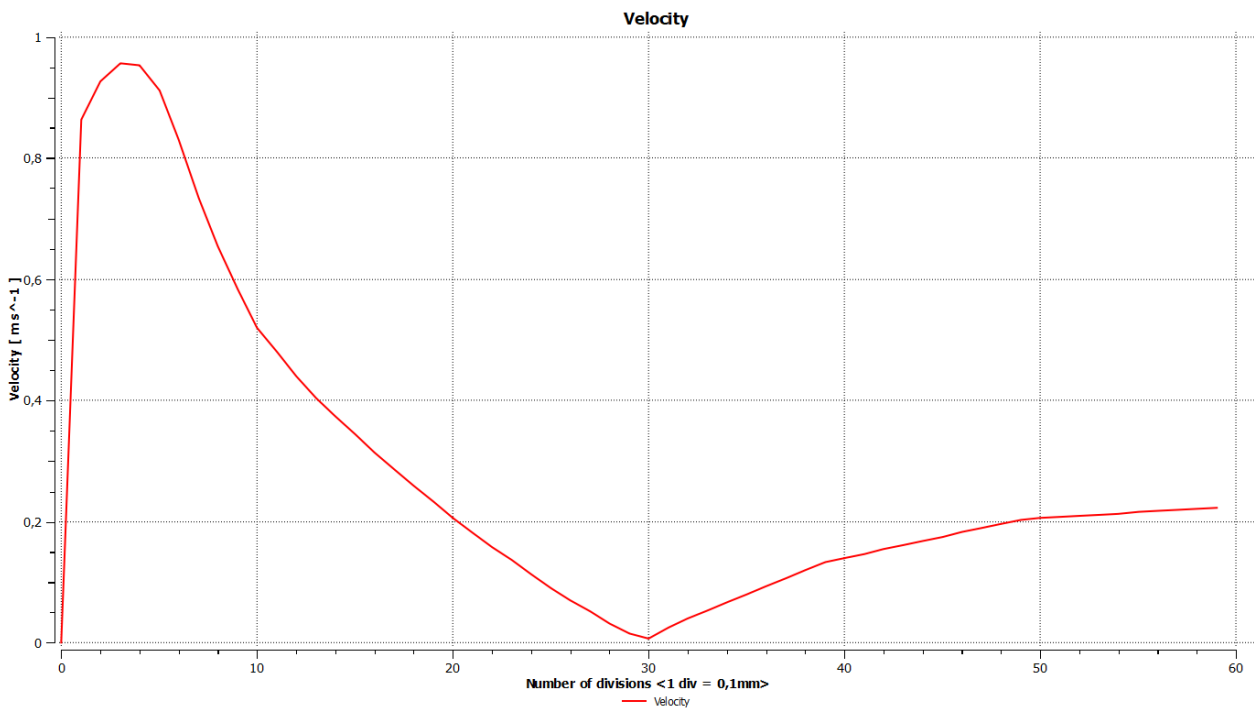


Рисунок 6. – Графік розподілу швидкостей по ширині каналу на 7 позиції
З літературного джерела [2] було виведено формулу (2) для визначення товщини

плівки:

$$\delta = \left(\frac{3 \cdot v^2}{4 \cdot g} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{48 \cdot w}{v \cdot g \cdot \sin \varphi} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (2)$$

де φ – кут нахилу моделі до горизонту, град.;

g – прискорення вільного падіння рівне 9,81 м / с²;

v - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м² / с;

Провівши розрахунки, внесемо результати у таблицю 4.

$$\delta_{6 \cdot 20 \cdot 100} = \left(\frac{3 \cdot (1,006 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 9,81} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{48 \cdot 0,633^3}{1,006 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81 \cdot 1} \right)^{\frac{1}{6}} = 0,441 \text{ мм};$$

Таблиця 4 – Розрахункові товщини плівок

	Модель 6x20x100мм.		Модель 12x50x100мм.	
	45°	90°	45°	90°
δ , мм	0,432	0,441	0,442	0,394

Порівняння та висновки

Проведемо оцінку похибки отриманих результатів – моделювання та теоретичного розрахунку. Використовуючи пакет ANSYS, було встановлено товщини плівок рідини для різних варіацій каналу – результати можете бачити у таблиці 3. Результати теоретичного розрахунку можна побачити у таблиці 4.

Розрахуємо відносну похибку:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \delta}{\delta} \cdot 100\% = \frac{0,441 - 0,4}{0,441} \cdot 100\% = 10,4\%;$$

Отриману похибку можна вважати прийнятною. Для її зменшення потрібно більш точно зняти значення товщини плівки. Усі значення похибок можете бачити у таблиці 5. Також слід зауважити, що питання, яке пов'язане з розривом течії плівки потребує подальшого дослідження.

Таблиця 5 – Значення відхилення результату моделювання від теоретичного розрахунку

	Модель 6x20x100мм.		Модель 12x50x100мм.	
	45°	90°	45°	90°
ε , %	13,6	10,4	10,6	6,0

Перелік посилань:

1. ANSYS® Help Viewer, version 18.2.0, © 2017 SAS IP, Inc. All rights reserved.
2. Воронцов Е.Г., Тананайко Ю.М. Теплообмен в жидкостных пленках. // Техніка. – 1972. – Р. 7-17.

УДК 536.24:536.31: 536.32

В.С. Бондаренко, керівник **В.О. Виноградов-Салтиков**, канд. техн. наук, доцент,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ НИЗЬКОЕМІСІЙНИХ ПОКРИТТІВ В СВІТОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Розглянуто створення моделі будівлі з різними видами скління в програмі для динамічного моделювання EnergyPlus, наведено аналіз енергетичних характеристик склопакетів з низькоемісійними покриттями та їх порівняння.

The creation of a model of a building with different types of glazing in the program for dynamic modeling of EnergyPlus is considered, an analysis of energy characteristics of double-glazed windows with low-emission coatings and their comparison is given.

Вступ. У сучасному світі людина постійно зіштовхується з проблемами збереження наявних ресурсів і їх економного використання. Ця проблема особливо актуальна в будівництві і зокрема в області скління.

Основним призначенням будь-якого вікна є забезпечення необхідної освітленості всередині приміщення і гарного огляду при підтримці комфортного для людини мікроклімату.

Застосування типових конструкцій з використанням звичайних скляних шибок не в належній мірі задовольняє цим вимогам. Наприклад, в холодну пору року крізь таке вікно з приміщення втрачається суттєвий відсоток тепла, створюваного опаленням.

Простір безпосередньо поряд з вікном має нижчу температуру в порівнянні з іншою частиною приміщення. Фахівці називають це явище «ефектом холодної стіни». Запотівання, а нерідко і обмерзання скла при різкому пониженні температури – ще одна негативна властивість звичайного скління, яке погіршує огляд і освітленість приміщень, а також потребує постійного видалення конденсату з підвіконь і скла.

Втрати теплоти через скління можливо поділити на три складові. Перша – це втрати за рахунок теплопровідності матеріалу конструкції вікна. Зменшення втрат тепла, що відбуваються з цієї причини, досягається збільшенням числа застосовуваних в склінні листів скла, тобто створенням між склом повітряних прошарків, що мають більш низькі показники по теплопровідності, на відміну від скла. За рахунок конвективного теплообміну, втрати за рахунок теплообміну між склом і рухомими потоками повітря. Самий ефективний спосіб боротьби з втратами тепла через конвекцію – застосування в склінні склопакетів, які забезпечують створення герметичної внутрішньої камери між склом, заповненої висушеним повітрям, або інертним газом, а також вакуумуванням. До третьої складової витоків теплоти через скління є – інфрачервоне випромінювання, вирішення саме цієї проблеми буде розглядатись в даній роботі.

Аналіз стану питання. У даний час, зважаючи на постійний ріст тарифів на енергоресурси і популяризацію застосування енергоощадних технологій в будівництві, проблема вибору оптимального виду скління стає все більш актуальною.

Сучасний склопакет повинен відповідати наступним параметрам:

- підтримка комфортного мікроклімату;
- забезпечення необхідного рівня освітлення;
- помірна вартість;
- економія паливно-енергетичних ресурсів.

На українському ринку представлено безліч варіантів віконних конструкцій з різноманітними характеристиками та широким діапазоном цін. То як же все таки розібратись в цьому питанні?

З часом, в нашій свідомості відклався той факт, що чим більше камер в склопакеті, тим краще його енергетичні параметри, проте як вказано в статті [1] ця думка є хибною. Чим більше камер в склопакеті, тим конструкція є масивнішою та дорожчою. Застосування ж низькоемісійного (селективного) покриття призначене вирішити проблеми масивності та високої вартості конструкції зі збереженням необхідних експлуатаційних характеристик.

Отже, для початку варто розібратись, що таке низькоемісійне покриття і аспекти його застосування.

За вказівкою автора [1], на вітчизняному ринку, широко представлені енергозберігаючі селективні шибки з "k" і "i" покриттям.

Так зване k-скло має піролітичне покриття у вигляді шару оксиду олова. Воно наноситься на одну поверхню скла, на етапі виготовлення, коли ще не охолола скляна маса рухається по конвеєру. Молекули оксиду, за рахунок сильного нагріву поверхні, переміщуються з молекулами скла якби запікаючись. Шар оксиду після охолодження скла не схильний до абразивного впливу, тому це покриття називається твердим покриттям. Коефіцієнт емісії такого скла становить 0,1, він характеризує тепловідбивні властивості покриття, і чим менше його значення, тим кращі параметри має покриття.

А так зване i-скло має покриття нанесене методом вакуумного напилення декількома шарами, з чергуванням шарів діелектрика і срібла, але іноді замість срібла може використовуватися цинк або олово. Діелектриком часто виступають оксиди деяких металів. Залежно від кількості шарів срібла покриття має відповідну позначку – single, double або triple Low-E, тобто одинарне, подвійне або потрійне низькоемісійне покриття. Коефіцієнт емісії такого скла – 0,03. Так, застосування даного покриття дозволяє зменшити діапазон пропускання інфрачервоного випромінювання короткохвильового спектру до 1500нм і залежно від розташування зменшити теплонадходження від сонця або втрати тепла, що генерується опалювальними пристроями.

Проте головна проблема полягає в наступному – в правильності вибору потрібного виду покриття.

На вибір впливає безліч факторів, таких як:

- географічне положення будівлі;
- погодні умови регіону;
- призначення будівлі (житлова, офіс, підприємство, навчальний заклад);
- графік роботи об'єкту

Адже не правильний підбір склопакета з низькоемісійним напиленням може призвести до блокування теплонадходження від сонця взимку, або ж через мірного прогрівання приміщення в літній період.

Тому з'являється необхідність теоретичних розрахунків з включенням всіх вище зазначених факторів.

Метою даної роботи є створення моделі будівлі з різними видами скління в програмі для динамічного моделювання EnergyPlus, аналіз тепловтрат та порівняння з іншими

підходами до розрахунків. Відповідно до поставленої мети вирішуються такі завдання:

- створення моделі досліджуваної будівлі в програмному середовищі EnergyPlus;
- визначення тепловтрат/теплонадходжень будівлі застосувавши окремо взяті типи склопакетів з різними видами покриттів з використанням вітчизняних та європейських стандартів, а також програми EnergyPlus;
- порівняння результатів розрахунків енергоспоживання будівлі за різними методиками, включаючи EnergyPlus;
- визначення ефективності застосування кожного виду покриття та їх впливу на теплове навантаження.

Дослідження та їх результати. Найкращим варіантом розрахунку буде застосування комп'ютерного моделювання, що дасть найбільш точні результати щодо експлуатаційних характеристик вікна, при правильному заданні всіх параметрів. У порівнянні з чисельними теоретичними розрахунками комп'ютерне моделювання дає змогу створити шаблонну модель в якій швидко та легко можна адаптувати наявні дані під задані параметри.

Для прикладу, в програмному середовищі EnergyPlus, було створено енергетичну модель частини житлової будівлі розташованої в м. Київ, у якій вікно мало орієнтацію на Південь, та проаналізовано одно- дво- та трикамерні склопакети з стеклами в 4 мм та товщиною газового прошарку в 16 мм, тобто часто вживані стандартні розміри. Змінювались лише види та кількість покриттів, а також заповнення камер між стеклами. За результатами розрахунків було виявлено, що найкращим варіантом скління для даної будівлі буде застосування двокамерного склопакету заповненого інертним газом з k-склом, дія якого направлена на відбиття тепловтрат з середини приміщення. Характеристики такого склопакета відповідають сучасним будівельним нормам (2), значення опору теплопередачі віконної конструкції знаходиться на рівні **1,1 (м²·К) /Вт**.

Отже, програмне моделювання дозволяє отримати необхідну картину взаємодії всіх факторів для проведення якісного аналізу енергетичних характеристик. Тому серед всіх можливих методів дослідження енергоспоживання в будівлі динамічне моделювання є найбільш точним шляхом для отримання якісних результатів.

Було створено модель за якою проводились обрахунки

Площа забудови, м²	Висота будівлі, м	Об'єм будівлі, м³	Площа віконної конструкції, м²
14	3,5	49	3.75

На графіках (Рисунок 1,2,3) наведені порівняльні значення відповідності однокамерних (СПО), двокамерних (СПД) та трьохкамерних (СПТ) склопакетів ДБН за термічним опором теплопередачі для І-шої температурної зони на рівні – $R=0,75 \text{ (м²·К) /Вт}$.

А також, на Рисунок 4, 5 наведені графіки порівняння витрати енергії на опалення та кондиціювання для різних конструктивних склопакетів.

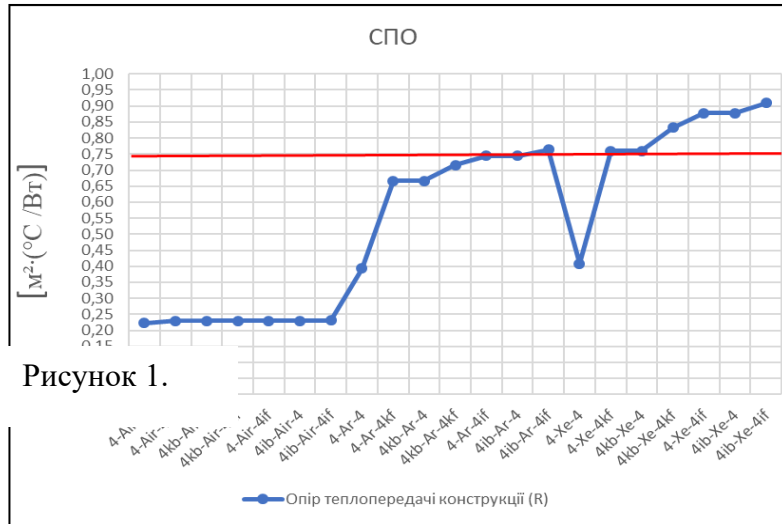


Рисунок 1.

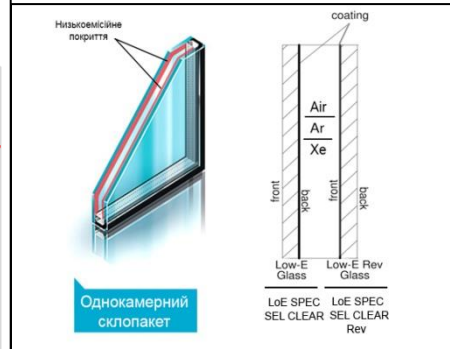


Рисунок 2.

Як видно з графіка лише 1/3 з представлених варіантів СПО відповідає нормативному значенню опору теплопередачі ($R=0,75 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C) / BT}$).

Нормативному R не відповідають: СПД з повітряним заповнення, СПД без покриття.

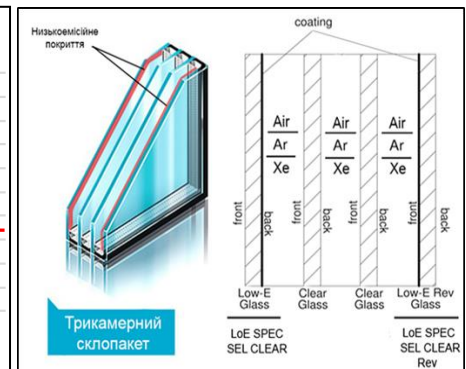
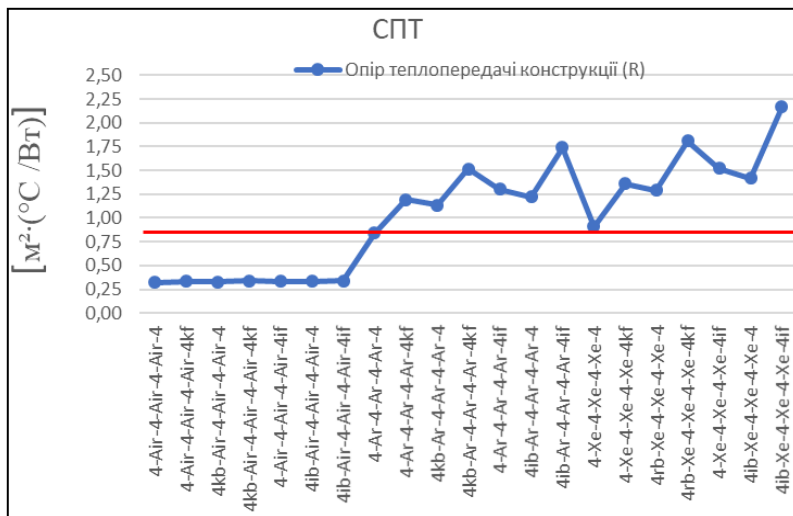


Рисунок 3.

Всі варіанти СПТ, що заповнені Аргоном та Ксеноном відповідають нормативному значенню R.

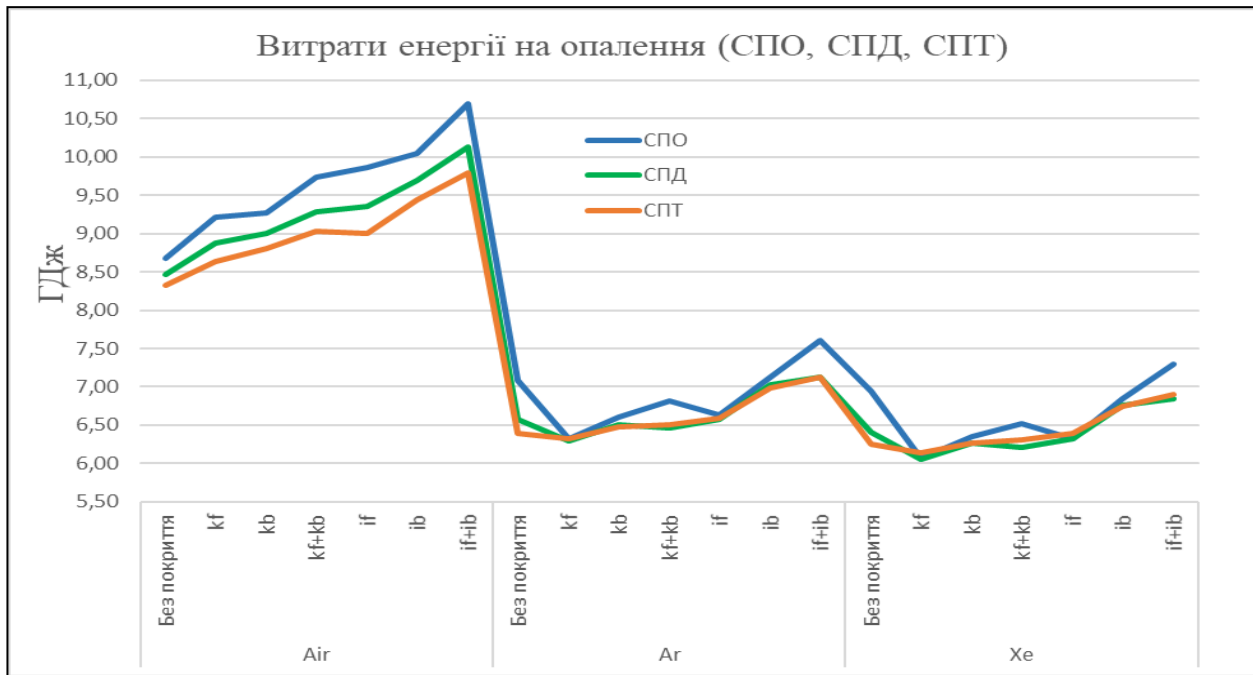


Рисунок 4 – Графік залежності витрат на опалення приміщення від конструктивного варіанту скління

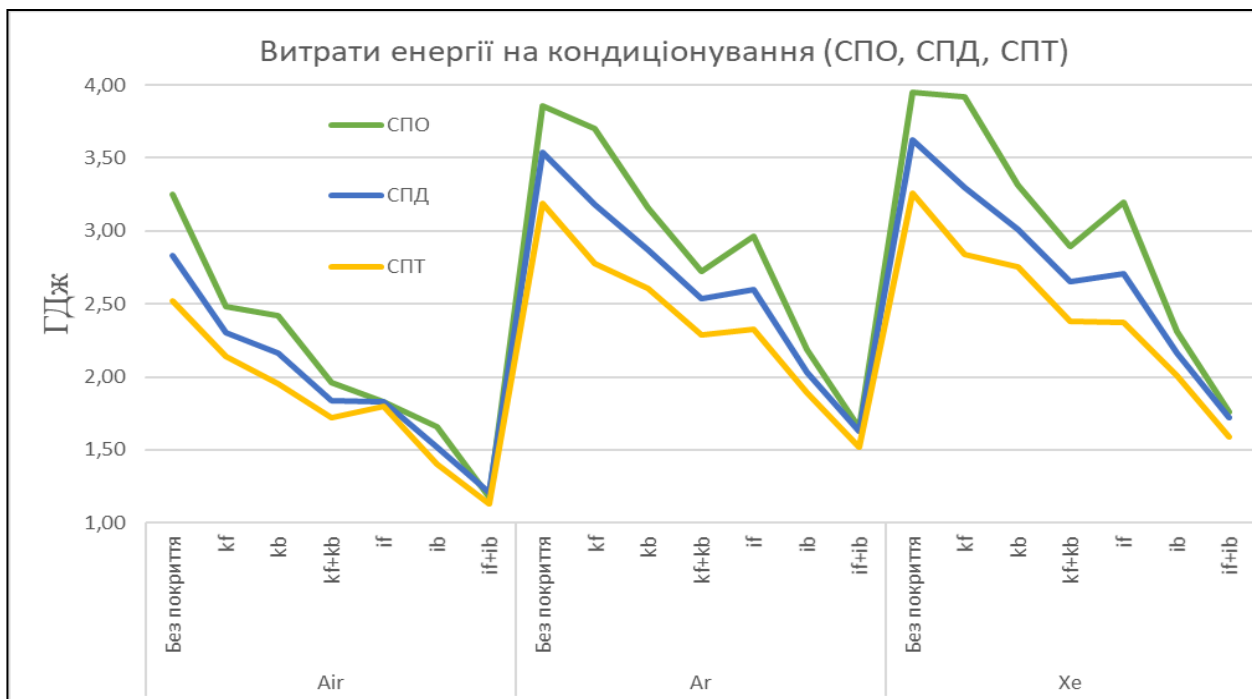


Рисунок 5 – Графік залежності витрат на кондиціювання приміщення від конструктивного варіанту скління

За найменшими показниками було вибрано найкращі варіанти скління за вартістю склопакету для обраного приміщення.

№	Склопакет	Вартість енергоресурсів, [грн]
1	4-Xe-4-Xe-4-Xe-4kf	2320,99
2	4kb-Xe-4-Xe-4kf	2321,50
3	4rb-Xe-4-Xe-4-Xe-4kf	2322,40
4	4-Xe-4-Xe-4-Xe-4if	2347,16
5	4-Xe-4-Xe-4kf	2348,73
6	4rb-Xe-4-Xe-4-Xe-4	2352,61
7	4-Xe-4-Xe-4if	2364,15
8	4-Ar-4-Ar-4-Ar-4kf	2375,55
9	4kb-Ar-4-Ar-4-Ar-4kf	2376,71
10	4kb-Xe-4-Xe-4	2379,71

Висновки

1. Моделювання у програмному середовищі EnergyPlus дозволяє отримати необхідну картину взаємодії всіх факторів для проведення якісного аналізу енергетичних характеристик. Тому серед всіх можливих методів дослідження енергоспоживання в будівлі динамічне моделювання є найбільш точним шляхом для отримання якісних результатів.

2. В даному випадку було розглянуто модель приміщення із застосуванням різноманітних видів скління, зрівнявши енергетичні показники яких, було визначено, що найбільш оптимальним варіантом скління для будівлі з відповідним географічним положенням є двокамерний склопакет заповнений інертним газом з наявним k -покриття для якого направлена зменшення тепловтрат з середини будівлі. Саме застосування даного СП з низькоемісійним покриттям ніяким чином не погіршує пропускання сонячного світла в середину будівлі та не змінює оптичних характеристик видимої частини спектра, що в протилежному разі може бути наслідком погіршення зору.

3. Економічний ефект проявляється головним чином в здатності блокувати прохід теплового випромінювання через вікна з середини приміщення в навколишнє середовище, цим самим зменшуючи споживання теплової енергії в опалювальний сезон.

Список використаних джерел

1. Літинський А.В., Літинський О.В. Все, що треба знати про віконні конструкції [Електронний ресурс]. – 2017. Режим доступу: – http://litinskyandlitinsky.com/article_in.html?lng=&per=A3

2. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [На заміну ДБН В.2.631:2006 (СНІП П-3-79), чинний від 08.07.2016]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 30 с.

УДК 644.1

Дешко В.І., докт. техн. наук, професор

Карпенко Д.С., аспірант

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»

**МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОГЕНЕРАЦІЇ
ПІДПРИЄМСТВ НА ЛОКАЛЬНОМУ РИНКУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

Розглянуто передумови створення ринку теплової енергії в Україні. Коротко описана модель ринку теплової енергії, яка покладена в основу дослідження. Визначено цільову функцію та обмеження задачі оптимізації витрат об'єктів теплогенерації підприємств на локальному ринку теплової енергії. Запропоновано методику вирішення задачі оптимізації одним з методів лінійного програмування. Отримана симплексна таблиця першої ітерації для розрахунку оптимальної величини витрат та оптимальних величин кількості теплової енергії для об'єктів теплогенерації в межах одного виробника.

The preconditions for creating a heat energy market in Ukraine are considered. The model of the thermal energy market, which is the basis of the research, is briefly described. The objective function and limitation of the problem of heat generation objects expenses optimization in the local heat energy market are determined. The method of solving the optimization problem by one of the methods of linear programming is proposed. The simplex table of the first iteration for the calculation of the optimal value of costs and the optimal values of the amount of thermal energy for heat generation objects is obtained.

На даний момент, коливання цін на світових ринках викопних органічних палив призвели до стрімкого розвитку технологій у сегменті відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Різноманіття цих технологій з кожним роком показує стрімке зростання рівня конкурентоспроможності в сфері енергетики в загальному розумінні. Наприклад, в державах Європи, із врахуванням жорсткої екологічної політики, напрямок ВДЕ отримав стрімкого розвитку. В зв'язку з цим, постає питання ефективного використання надлишкових ресурсів, які утворюються внаслідок природніх процесів або роботи підприємств різних сфер економіки держави. Серед пріоритетних напрямів утилізації надлишкових місцевих ресурсів можна виділити інструмент ринку теплової енергії (РТЕ). Перетворення місцевих ресурсів на теплову енергію є технологічно простим процесом, при цьому кінцева ціна продукції може бути значно нижчою від традиційних способів виробництва теплової енергії. Отже, створення конкурентних умов в сфері теплопостачання може призвести до підвищення рівня якості теплової енергії як товару для споживача, зниження тарифів на теплову енергію, та підвищення рівня надійності теплопостачання. Більше того, за рахунок ефективного використання місцевих ресурсів, створення ринку теплової енергії може частково призвести до енергетичної незалежності України.

Передумовою для вивчення питання створення ринку теплової енергії є неефективність існуючої системи теплопостачання на всіх її етапах функціонування від виробництва теплової енергії до її використання кінцевими споживачами [1, с. 18]. Монополізація даного сегменту енергетики України призводить до неефективного використання ресурсів на стадії виробництва теплової енергії, і у наслідку, до завищених тарифів на даний вид продукції як для побутових споживачів, так і для промислових та бюджетних підприємств. В умовах відсутності ринку як такого, виключається мотиваційний фактор, який є передумовою

технологічного прогресу, зниження собівартості продукції, та здійснення заходів з енергоефективності.

В основу вивчення проблеми створення РТЕ в Україні в даній роботі покладена модель, яка характеризує взаємодію виробників теплової енергії в межах локального РТЕ, їх фінансові результати внаслідок ведення підприємницької діяльності, та ефективність РТЕ в цілому, яка визначається різницею економічних результатів двох сценаріїв: монопольне становище в системі теплопостачання міста та конкуренція, яка створюється при функціонуванні РТЕ [2, с. 43].

В даній моделі локального ринку теплової енергії в якості обмеження вводиться поняття частки ринку, тобто максимальна межа кількості теплової енергії, яку може відпустити кожен із незалежних виробників за рік. Частка ринку для кожного виробника (крім основного) визначається коефіцієнтом долі ринку:

$$Q_{\text{вир}}^{\text{чнв}} = Q_{\text{вир}}^{\text{рік}} \cdot q, \quad (1)$$

де:

$Q_{\text{вир}}^{\text{чнв}}$ – частка ринку для незалежного виробника за рік, Гкал,

$Q_{\text{вир}}^{\text{рік}}$ – загальна величина виробництва теплової енергії в межах РТЕ за рік, Гкал,

q – коефіцієнт частки ринку.

Кожен виробник, маючи функцію повних витрат та рівень планового прибутку, виходячи з ринкових умов та його частки на ринку теплової енергії, розраховує прогнозований тариф на відпуск теплової енергії, та подає в якості заявки на аукціон. На основі поданих заявок виробників в яких зазначаються ціна на теплову енергію та можливий об'єм теплової енергії, проводиться аукціон, де визначаються переможці, які по поданим тарифам і об'ємам будуть продавати теплову енергію єдиному покупцю. Заявки сортуються за ціновими пропозиціями в напрямку збільшення. Якщо заявочний об'єм теплової енергії останнього виробника-переможця більше залишкового об'єму, то цей виробник може продати на ринку лише величину залишкового об'єму.

Метою даної статті є формулювання задачі оптимізації для визначення величин кількості теплової енергії для кожного з об'єктів теплогенерації в межах одного виробника, для забезпечення мінімальних витрат на виробництво 1 Гкал теплової енергії та визначення методики розрахунку цих величин.

В межах міста, в якому розглядається модель РТЕ один виробник може володіти декількома об'єктами теплогенерації. Кожен з об'єктів теплогенерації характеризується своєю функцією витрат та рівнем планового прибутку відповідно до капітальних затрат на будівництво об'єкту, технології виробництва теплової енергії, та особливостей процесу експлуатації. У випадку останнього виробника-переможця виникає ситуація, коли запланований об'єм відпуску теплової енергії вищий за фактичний відповідно до результатів аукціону, тому постає проблема оптимального розподілу кількості виробленої теплової енергії між об'єктами теплогенерації в межах одного виробника для зниження питомих витрат на виробництво 1 Гкал теплової енергії.

Отже, виникає задача оптимізації витрат підприємства, де цільовою функцією є величина повних витрат на виробництво теплової енергії. Для даної задачі цільова функція має вигляд:

$$TC(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n (AVC_i \cdot x_i + TFC_i) \rightarrow \min \quad (2)$$

де:

$TC(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – функція повних витрат на виробництво теплової енергії за рік, грн.

AVC_i – середні змінні витрати на одиницю продукції i -го об'єкту теплогенерації підприємства, грн/Гкал,

TFC_i – повні постійні витрати за рік i -го об'єкту теплогенерації підприємства, грн,

n – кількість об'єктів теплогенерації даного підприємства,

x – кількість виробленої теплової енергії і-тим об'єктом теплогенерації.

Для даної задачі оптимізації існують наступні обмеження:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i = Q_{\text{вир}}^{\text{ф. відп.}} \\ x_1 \leq Q_1^{\text{з. відп.}} \\ x_2 \leq Q_2^{\text{з. відп.}} \\ \dots \\ x_n \leq Q_n^{\text{з. відп.}} \\ x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

де:

$Q_{\text{вир}}^{\text{ф. відп.}}$ – фактична кількість теплової енергії, яку виробник може продати відповідно до результатів аукціону, Гкал.

$Q_i^{\text{з. відп.}}$ – заявочна кількість теплової енергії, яку об'єкт теплогенерації може виробити відповідно до частки ринку виробника і внутрішнього розподілу об'ємів теплової енергії в межах підприємства, Гкал.

Оскільки задача, яка розглядається має вигляд загальної задачі лінійного програмування, для неї використано сімплекс-метод [3, с. 35].

Запишемо задачу, яка розглядається у формі основної задачі, для знаходження максимуму функції:

$$TC_1 = \sum_{i=1}^n (-AVC_i \cdot x_i - TFC_i)$$

При умовах:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i = Q_{\text{вир}}^{\text{ф. відп.}} \\ x_1 + x_{n+1} = Q_1^{\text{з. відп.}} \\ x_2 + x_{n+2} = Q_2^{\text{з. відп.}} \\ \dots \\ x_n + x_{2 \cdot n} = Q_n^{\text{з. відп.}} \\ x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Перетворену систему рівнянь запишемо у векторній формі:

$$x_1 P_1 + x_2 P_2 + \dots + x_{2n} P_{2n} = P_0$$

де:

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; P_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots P_{n+1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; P_{n+2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \dots P_{2n+1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}; P_{2n+2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$P_0 = \begin{bmatrix} Q_{\text{вир}}^{\text{ф. відп.}} \\ Q_1^{\text{з. відп.}} \\ Q_2^{\text{з. відп.}} \\ \dots \\ Q_{n-1}^{\text{з. відп.}} \\ Q_n^{\text{з. відп.}} \end{bmatrix}$$

Серед визначених векторів $P_1, P_2, \dots, P_{2n}$ є n одиничних векторів $P_{n+1}, P_{n+2}, \dots, P_{2n}$, тому для даної задачі можна безпосередньо записати опорний план i , відповідно, знайти її рішення сімплексним методом. Таким чином, можемо скласти сімплексну таблицю першої ітерації (табл. 1).

Таблиця 1 – Сімплексна таблиця першої ітерації

i	Базис	C_0	P_0	$-AVC_1$	$-AVC_2$	...	$-AVC_n$	0	...	0	0
				P_1	P_2		P_{n+1}	P_{n+2}		P_{2n+1}	P_{2n+2}
1	P_{n+2}	0	$Q_{\text{вир}}^{\text{ф. відп.}}$	1	1	...	1	0	...	0	0
2	P_{n+3}	0	$Q_1^{\text{з. відп.}}$	1	0	...	0	0	...	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	P_{2n+2}	0	$Q_n^{\text{з. відп.}}$	0	0	...	0	0	...	1	0
n + 1	P_{2n+2}	0	$Q_n^{\text{з. відп.}}$	0	0	...	0	0	...	0	1
n + 2											

На основі сформульованої сімплексної таблиці проводиться розрахунок згідно правил розрахунку в сімплекс-методі задачі лінійного програмування [3, с. 36], визначаючи значення цільової функції та невідомих змінних.

Таким чином, визначені оптимальні величини кількості теплової енергії для кожного з об'єктів теплогенерації дозволяють об'єктивно прогнозувати фінансові результати виробника, який розглядається в моделі в рамках RTE.

Визначена методика є частиною авторського програмного забезпечення «Thermal Energy Market», яке створено для моделювання технічних та економічних процесів на ринку теплової енергії на базі реальних об'єктів, або об'єктів які проектується [4, с. 231].

Список посилань

1. Карпенко Д.С., Дешко В.І. Побудова ефективної моделі ринку теплової енергії в реаліях України. Енергетика та електрифікація, 2016, с 18-23.
2. Дешко В.І., Замулко В.І., Карпенко Д.С., Оцінка ефективності функціонування локального ринку теплової енергії. Проблеми загальної енергетики 3(50), 2017, с 41-49.
3. Акулич И.Л., Математическое программирование в примерах и задачах: Учебное пособие. 3-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 352 с.
4. Дешко В.І., Карпенко Д.С., Імітаційне моделювання та оптимізація ринку теплової енергії. Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем», Том 2, - с. 231-232

СЕКЦІЯ 3.
ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

УДК 681.5

Шестопад Р.С., студент

Босак А.В., к.т.н., ст. викл.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОПТИМІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ПОЗИЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ФАСУВАЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ

Анотація. В роботі було розглянуто метод підвищення ефективності керування електроприводом фасувальної платформи, на основі застосування методів синтезу адаптивного регулятора положення для забезпечення оптимальних режимів роботи. Розроблена система керування може бути використана для регульованих електроприводів з будь-яким двигуном, а запропонований адаптивний регулятор системи автоматичного керування електроприводом фасувальної машини, дозволяє знизити чутливість системи керування до збурювальних впливів без істотних змін в існуючих системах керування.

Abstract. In the work the method of increasing the efficiency of control of the electric drive of the packing platform was considered, based on the application of the methods of synthesis of the adaptive regulator of the position to provide optimal operating modes. The developed control system can be used for regulated electric drives with any engine, and the proposed adaptive regulator of the automatic control system of the electric drive of the packing machine, allows to reduce the sensitivity of the control system to disturbing influences without significant changes in the existing control systems.

Вступ. На сьогодні фасувально-пакувальна галузь стрімко розвивається та набуває широкого розповсюдження. Особливе місце серед пакувального обладнання займають технологічні машини (ТМ) для дозування та пакування сипких речовин, оскільки з їх допомогою можна пакувати великий асортимент продукції у багатьох сферах промисловості – харчовій, хімічній, будівельній і т.т. Тому все більш важливою стає проблема створення високотехнологічного обладнання для пакування сипких речовин.

Метою роботи полягає підвищення ефективності керування електроприводом фасувальної платформи, на основі застосування методів синтезу адаптивного регулятора положення для забезпечення оптимальних режимів роботи.

Підвищені вимоги до технологічного обладнання по точності і швидкодії обумовлюють необхідність проведення оцінки їх динамічної якості вже на етапі проектування. При цьому істотно скорочується час наступних випробувань і поліпшується якість робочих процесів реальних позиційних пневматичних приводів при менших витратах часу і коштів.

Саме тому розвиток методу синтезу швидкодіючих систем позиційних електроприводів фасувального обладнання, спрямований на підвищення динамічних властивостей і показників енергетичної ефективності електромеханічних систем в умовах параметричних впливів за рахунок використання адаптивного регулятора з автоматично налаштованими коефіцієнтами, є актуальною науковою задачею.

На основі принципів і правил математичного опису динамічних підсистем з механічними зв'язками, обґрунтованих роботами [1, 2, 3], отримана математична модель, яка представляє систему нелінійних диференціальних рівнянь, що описують поведінку її підсистем в процесі позиційних переміщень. Були прийняті наступні допущення:

- модель вважається одномасовою;

- характеристики джерела живлення $P_n = const$; $T_n = const$, оскільки напірна магістраль пневмопривода з'єднана з ресивером достатнього обсягу через регулятор тиску;
- процес зміни стану газу в пневмосистемі вважається адіабатичним, оскільки процес позиціонування відбувається за короткий проміжок часу;
- робоче тіло пневматичного пристрою - повітря розглядається як ідеальний газ, процеси в якому описуються рівнянням Клайперона - Менделєєва, оскільки тиск в пневмо-системі нижче 10 бар;
- витоку в рухомих з'єднаннях малі, вони залежать головним чином від конструктивного виконання і можуть бути обмежені коефіцієнтом витоку K_v .

Рівняння руху приводу пневмодвигуна описується рівнянням.

$$m_{cp} \frac{dV}{dt} = p_1 S_1 - p_2 S_2 - F_{Bmp} - F_{Ccp} - \alpha F_{T3}; \quad (1)$$

де S_1, S_2 – ефективна площа поршневої і штокової порожнини пневмоциліндра відповідно, m^2 ; p_1, p_2 – тиск повітря відповідно в поршневій і штоковій порожнини пневмоциліндра, Па; V – швидкість переміщення рухомих мас, м/с; k_{BT} – коефіцієнт в'язкого тертя, Н·с/м; $m_{пр}$ – маса рухомих частин приводу; $\sum F_{T3}$ – сила тертя, створювана приводом гальма, Н; $F_{T3} = \lambda F_n$; F_n – посилення на штоку, Н; $\alpha = 0$ при $t < t_{T3}$ і $\alpha = 1$ при $t \geq t_{T3}$; t_{T3} – час що задається при початку процесу гальмування; x – переміщення штока силового пневмоциліндра; $F_{Cтр} = F_{TO} \cdot \text{sign}(V)$ – сила сухого тертя, Н; $F_{Bтр} = k_{BT} V$ – сила в'язкого тертя, Н; k_{BT} – коефіцієнт в'язкого тертя.

Рівняння (2) можна написати в наступному вигляді:

$$m_{mp} \frac{d^2 L}{dt^2} = p_1 S_1 - p_2 S_2 - F_{TO} \text{sign}\left(\frac{dL}{dt}\right) - k_{Bm} \frac{dL}{dt} - \alpha F_{T3}; \quad (2)$$

Рівняння балансу масової витрати напірної лінії силового пневмопривода.

$$G_1 = G_{1плц} + G_{II} + G_{1СК} + G_{ПМД}, \quad (3)$$

$$\text{де } G_1 = \mu_1 \cdot f_{p1} \cdot p_H \sqrt{\frac{2k}{R \cdot T_H (k-1)}} \cdot \varphi(\sigma_1); \quad G_{1плц} = \frac{W_1 \cdot dp_1}{k \cdot R \cdot T_H}; \quad G_{II} = k_{II} \cdot (p_d - p_1) \cdot \sin(p_d - p_1);$$

$$G_{1СК} = \frac{W_H}{E} \frac{p_1 \cdot dW_H}{R \cdot T_H}; \quad G_{ПМД} = \mu_d \cdot \pi \cdot d_c \cdot y \cdot K \frac{p_1}{\sqrt{RT_d}} \varphi(\sigma_1),$$

де G_1 – масова витрата напірної лінії $m^3 \cdot c^{-1}$; $G_{1плц}$ – масова витрата в порожнини силового пневмоциліндра, $m^3 \cdot c^{-1}$; G_{II} – масова витрата, що йде на перетікання робочого повітря, $m^3 \cdot c^{-1}$; $G_{1СК}$ – стисливість масової витрати повітря напірної лінії, $m^3 \cdot c^{-1}$; k_{II} – коефіцієнт перетікання робочого повітря; $G_{ПМД}$ – масова витрата, що протікає через пневмомеханічний датчик, $m^3 \cdot c^{-1}$; p_d – тиск в робочій зоні пневмомеханічного датчика, Па; d_c – діаметр сопла, м; y – відстань між соплом і диском.

Рівняння (3) має такий вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dp_1}{dt} = & \frac{k \cdot \mu_1 \cdot f_{p1} \cdot p_H \sqrt{R \cdot T_H} \cdot \varphi(\sigma_1)}{S_1 \cdot (L_1 + L)} - \frac{k \cdot p}{E \cdot (L_1 + L)} \frac{dX}{dt} - \frac{k \cdot R \cdot T_H}{S_1 \cdot (L_1 + L)} \cdot k_{II} \cdot (p_d - p_1) \cdot \\ & \cdot \sin(p_d - p_1) - \frac{k \cdot R \cdot T_H}{S_1 \cdot (L_1 + L)} \cdot \mu_d \cdot \pi \cdot d_c \cdot y \cdot K \frac{p_1}{\sqrt{RT_d}} \varphi(\sigma_1) \end{aligned} \quad (4)$$

Рівняння балансу масової витрати зливної лінії силового пневмопривода.

$$G_2 = -G_{2плц} + G_y + G_{СК} + \beta \cdot G_{P3} + (1 - \beta) \cdot G_{ДР}, \quad (5)$$

де G_2 – масова витрата зливний лінії, $m^3 \cdot c^{-1}$; $G_{2плц}$ – масова витрата в штокової порожнини силового пневмоциліндра, $m^3 \cdot c^{-1}$; G_y – масова витрата, що йде на витоку робочого повітря,

$\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; $G_{2\text{сж}}$ – стисливість масової витрати повітря зливний лінії, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; G_{P3} – масова витрата через пневморозподільник P_3 , $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; $G_{\partial p}$ – масова витрата через пневмо-дросель $\text{Др}2$, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

Рівняння керуючих золотникових пневмо-розподілювачів

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} x_{zol}(t) &= v_{zol}(t) \\ \frac{d^2}{dt^2} x_{zol}(t) &= \frac{1}{m_{pi}} [\beta(F_{zol}(t) + P_0 S_{zol}) - k_{Bmi} v_{zol}(t) - C(x_{zol}(t) + x_{\varphi})] \end{aligned} \quad (6)$$

де електромагнітна сила розраховується за формулою

$$F_{\text{жс}}(t) = 2 \frac{\theta^2}{2A_e \mu_0} = \frac{L(t)^2 i(t)^2}{N^2 A_e \mu_0}; \quad L(t) = \frac{N^2 A_e \mu_0}{I_{\text{cq}}} = \frac{N^2 A_e \mu_0}{I_c + 2\mu(x_{\text{зазор}} - x_{\text{зол}}(t))};$$

$$\frac{d}{dt} i(t) = \frac{1}{L(t)} [U(t) - Ri(t)] - \frac{2\mu \cdot L(t) x_i(t) \cdot i(t)}{N^2 A_e \mu_e}.$$

При постійному струмі $i(t) = 20$ мА і напрузі $U(t) = 24$ В; N – число оборотів котушки; $x_{\text{зазор}}$ – загальний повітряний зазор, м; A_e – ефективна площа поперечного перерізу шляху потоку, м²; $x_{\text{зол}}(t)$ – переміщення золотника, м; μ_s , μ_0 – проникність сердечника; θ – магнітний потік; μ_r – відносна проникність серцевини; m_{pi} – маса золотника переміщення, кг; $S_{\text{зол}}$ – площа пневморозподільника, до яких відносяться P_0 , м; C – коефіцієнт жорсткості пружини, Н/м; k_{Bmi} – коефіцієнти в'язкості; $i = 1, 3, 4$; β – булевий параметр.

Модель пневмомеханічного гальма

$$\begin{aligned} m_{T3} \frac{d^2 y}{dt^2} &= 2\alpha p_3 S_4 - 2F_{TO}^{T3} \sin\left(\frac{dy}{dt}\right) - C_{T3}(y - y_{01}) - \gamma \sum F_H, \\ \frac{dp_3}{dt} &= \alpha \left(\frac{k \cdot \mu_3 \cdot f_{p4} \cdot P_H \sqrt{R \cdot T_H} \cdot \varphi(\sigma_3)}{S_4(y_{02} - y)} - \frac{k \cdot p_3}{y_{02} - y} - \frac{dy}{dt} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

де $m_{ТЗ}$ – переміщувана маса гальмівного пристрою; y – шлях гальмування; p_3 – тиск штокової порожнини гальмівного циліндра; S_4 – площа гальмівної колодки; $C_{ТЗ}$ – коефіцієнт жорсткості пружини пневмоциліндра гальма, Н/м; $F_{ТЗ} = \lambda \cdot F_H$ – сила тертя, Н; F_H – нормальна сила; λ – коефіцієнт тертя; γ – булевий параметр.

Система нелінійних диференціальних рівнянь (1) - (7) може вирішуватися різними чисельними методами (Ейлера, Рунге - Кутта та ін.) При заданих початкових умовах. Дослідження запропонованої моделі виконано з використанням програмної підтримки Matlab-Simulink 2016b чисельним методом Рунге - Кутта.

В даній роботі запропонована комбінована система управління, яка містить задаючу модель, що формує трапецеїдальну зміну рушійного моменту, і ПІ - регулятор, який виконує функції адаптивного регулятора. Така система забезпечує оптимальні перехідні процеси при будь-яких змінах параметрів і навантаженні [4]. Структурна схема адаптивного регулятора положення наведена на рис.1.

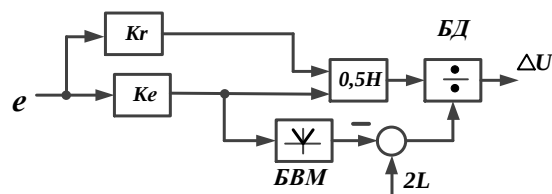


Рис.1 –Структурна схема адаптивного регулятора положения

Відповідно даній схемі, сигнал e є помилкою регулювання за положенням, БД - блок ділення, БВМ – блок виділення модулю сигналу e . Завдяки цьому відбувається автоматичне зміна коефіцієнта підсилення сигналу, причому, чим більше помилка e , тим більше коефіцієнт підсилення, а при зменшенні e зменшується і коефіцієнт підсилення. Інші коефіцієнти прийнято: $K_r = 10$, $K_e = 10$, $0,5H = 1$, $2L = 1$.

На рис. 2 представлені результати моделювання процесу уповільнення руху АПП з встановленою швидкістю $V_{\text{оп}}$ до швидкості позиціонування $V_{\text{поз}} = 0,2$ м / с, з довжиною ходу 0,284 м. На рис. 3 представлені результати обчислень і експериментів дослідження впливу різних мас, що переміщуються на ділянці позиціонування і точність позиціонування.

Запропоновано і досліджено узагальнену математичну модель динамічної позиційної пневматичної системи приводу горизонтального переміщення «позиціонера» фасувальної машини, що дозволяє описувати динаміку перехідних процесів на ділянці позиціонування в дослідженому діапазоні мас, що переміщуються (10-17 кг).

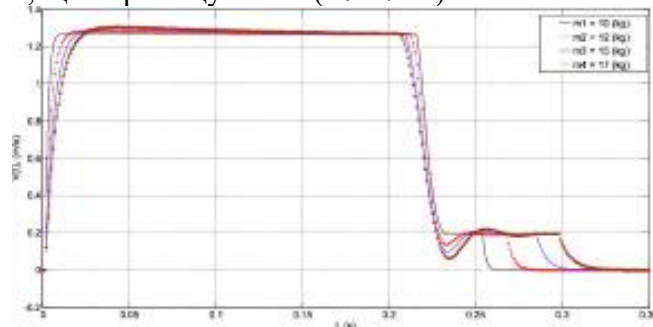


Рисунок 2 - Динаміка позиційного циклу при різних масах, що переміщуються

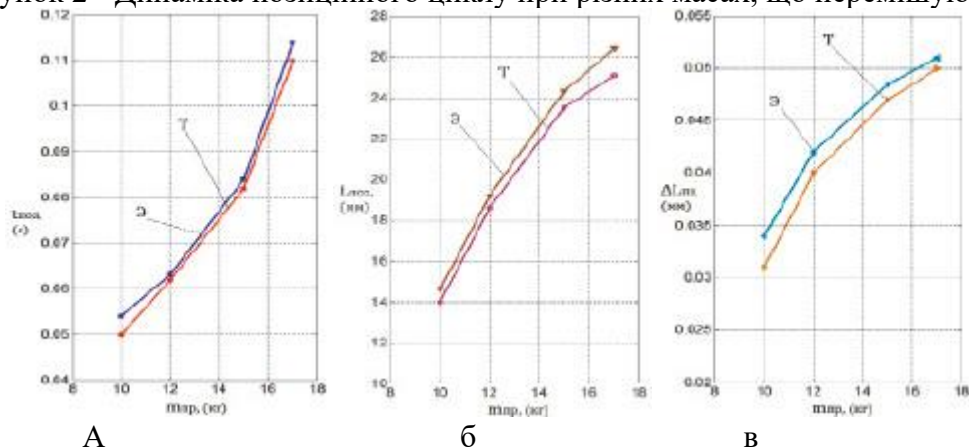


Рисунок 3 - Вплив переміщуються мас $m_{\text{пр}}$, (кг) на ділянці позиціонування і на точність позиціонування АПП при обчисленні (Т) і експериментом (Е) дослідження: а - час ділянки позиціонування; б - довжина ділянки позиціонування; з - точність позиціонування АПП

Застосування комбінованого управління з адаптивним регулятором положення забезпечує точне відтворення оптимальних керуючих впливів при зміні маси, що переміщується. Зміна параметрів системи і навантаження на виконавчий орган протяжки плівки, не впливають на заданий режим при використанні адаптивного регулятора.

Список використаної літератури:

1. Гавва О.М. Шляхи вдосконалення та розвитку технологій і обладнання пакування / Матеріали науково-практичної конференції «Пакувальна індустрія». – Алушта, 2007. – С. 162-175.

2 Кудрявцев, А. И. Пневматические системы и устройства в промышленности [Текст]: справочник / А. И. Кудрявцев, А. А. Кудрявцев. – Харьков: Формат, 2011. – 479 с.

3. Крутиков, Г. А. Универсальная математическая модель для свободнопрограммируемого пневмопривода с дискретным управлением [Текст] / Г. А. Крутиков // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 23. – С. 98–103.

4. Босак А. В. Исследование характеристик позиционного асинхронного электропривода с нечетким регулятором / А. В. Босак, А.В. Торопов //. – 2017. - № 03(79). - С. 439-441.

УДК 62-505

Цветков Стефан

Набока Андрій

Торопов Антон

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РЕАЛИЗАЦИЯ КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЬНИМ ДВИГУНОМ НА БАЗІ ARDUINO В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Анотація: У цій статті представлена реалізація управління з прогнозуючою моделлю, що працює в реальному часі на 16-бітовому мікроконтролері Arduino для управління швидкістю вентильного двигуна з обмеженням швидкості передачі сигналу керування. Симуляція такого управління для управління швидкістю двигуна представлена за допомогою програмного забезпечення Matlab та його додатку Simulink. У всіх режимах роботи управління з прогнозуючою моделлю забезпечує кращу продуктивність у порівнянні з класичним лінійним астатичним регулятором, причому. Запропоноване керування в режимі реального часу реалізується на 16-бітовому мікроконтролері Arduino.

Ключові слова: оптимізація, вентильний двигун, мікроконтролер, плата Arduino

Annotation: This article presents the implementation of management with a real-time predictive model on the 16-bit Arduino microcontroller to control the speed of the gate motor with a control signal transmission speed limit. The simulation of such a control for controlling the speed of the engine is represented by the software Matlab and its application Simulink. In all modes of operation, the control with the predictive model provides better performance compared to the classic linear astatic controller, and moreover. The proposed real-time management is implemented on the 16-bit Arduino microcontroller.

Keywords: optimization, valve motor, microcontroller, Arduino board

Вступ. З розвитком сучасних систем управління на базі мікропроцесорних систем для електроприводів все більш розповсюдженою стає вентильний двигун. Він використовується у всіх сферах автоматизації виробництва, системах космічної техніки, транспортних засобах, робототехніці та багато інших. Це зумовлено такими факторами, як високий діапазон регулювання швидкості, малі габарити та висока енергоефективність керованих двигунів.

Значний вплив на якість керування вентильних двигуном з використанням синхронним машин має вибрані алгоритми керування. Так, з розвитком мікропроцесорної техніки стало можливим використання більш складних алгоритмів керування, ніж розповсюджені ПД – регулятори. Так, значним недоліком ПД – регуляторів є інтегральна складова, що зумовлює накопичення похибки при відпрацюванні положення, а внаслідок і наявність перерегулювання. Також, при наявності суттєвих обмежень на керування ПД – регулятор є неефективним і призводить до погіршення якості відпрацювання сигналу завдання. Також настроювання параметрів ПД - регулятора потребує багаторазового налаштування для того, щоб отримати оптимальний характер перехідних процесів, при відпрацюванні високодинамічного завдання для електромеханічної системи.

Для виключення цих недоліків може бути використане управління з прогнозуючою моделлю, яке може більш ефективно компенсувати поточні обмеження на змінні стану процесу. Різні недавні публікації також вказують на зростаючий ринок астатичних лінійних регуляторів, а деякі постачальники навіть пропонують виготовлення систем комплектних рішень [1]. УПМ виступає в ролі методу оптимального керування замкнутим циклом та явно використовує модель процесу для обробки вхідних і вихідних обмежень, а також працює більш ефективно в динамічних режимах роботи. УПМ часто розглядається як більш ефективна методика управління, і існує велика потреба в активному впровадженні УПМ в різних контрольних процесах для отримання більш досконалих результатів. УПМ зазвичай використовується для регулювання повільних динамічних систем із застосуванням високої пропускну здатності, таких як контроль процесу в нафтохімічній, целюлозно-паперовій промисловості, де вибір часу може становити близько секунди або хвилини [6]. Найважливішою перешкодою у впровадженні УПМ в існуючу систему є обчислювальні можливості, необхідні для вирішення проблеми онлайн оптимізації, яка використовується для обчислення оптимального керування з врахуванням вхідних і вихідних обмежень. Розробка передових інтегрованих систем із збільшеною обчислювальною потужністю та більш швидкими оптимізаційними алгоритмами дає можливість дослідникам впроваджувати УПМ в робототехнічній та інших високоточних галузях промисловості. В таких сферах УПМ було реалізовано на програмованому логічному контролері, перетворивши загальний УПМ на ефективний алгоритм з меншим обчислювальним навантаженням. Але недоліком, пов'язаним з загальнопромисловими контролерами, є їх висока енергоємність, та висока вартість. Хоча значна вимога до застосування інтегрованих систем - це невелика потужність та економічно вигідне рішення [2]. Тому, виходячи з необхідності швидких динамічних систем з максимальною енергоефективністю та економічно вигідними рішеннями, новизна цієї дослідницької роботи полягає у покращенні обчислювального навантаження моделі та її спрощення, а потім впровадження її в режимі реального часу за допомогою простого економічно ефективного 16-розрядного мікроконтролера Arduino. При цьому формування сигналу завдання за положенням та швидкістю можна здійснювати в самому Arduino, а дані передавати за допомогою інтерфейсу RS232 або USB у драйвер вентильного двигуна. Проте, оскільки у таких драйверах інтерфейс USB використовується тільки для конфігурування та не підтримує обміну даними в реальному часі, можливим залишається лише використання інтерфейсу RS232.

Мета та завдання. Метою дослідження є вивчення можливостей ефективного використання методів керування вентильним двигуном на базі синхронного двигуна, а також спрощення цього методу для його подальшої реалізації на 16-бітному мікроконтролері плати Arduino з передачею даних по Modbus.

Матеріал і результати досліджень.

Впровадження прогнозованого управління для регулювання швидкості та положення

вентильного двигуна може бути забезпечено за допомогою моделі системи, показаної на рисунку 1 [3]. Ця модель системи ілюструє взаємний вплив різних елементів на формування процесу керування. Перша підсистема - це перетворювач вводу, який перетворює вхідний сигнал на форму, сумісну з контролером. Входом цього елементу є бажана швидкість для вентильного двигуна постійного струму, що подається на аналоговий вхід Arduino, а виходом є фактична швидкість. Контролер оцінює сигнал керування вентильним двигуном постійного струму за бажаною швидкістю. Вихід повертається в контролер в якості зворотного зв'язку через вихідний перетворювач. Він вимірює вихід і перетворює його на сумісну форму для контролера.

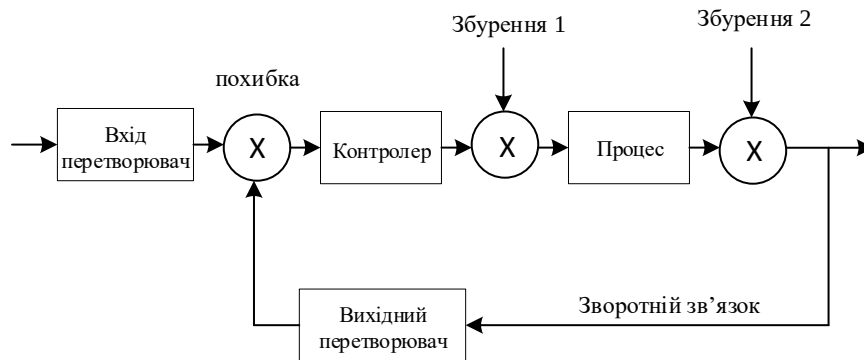


Рисунок 1 – Модель системи

Реалізація прогнозного керування для регулювання швидкості вентильного двигуна здійснюється відповідно до схеми, представленій на рисунку 2

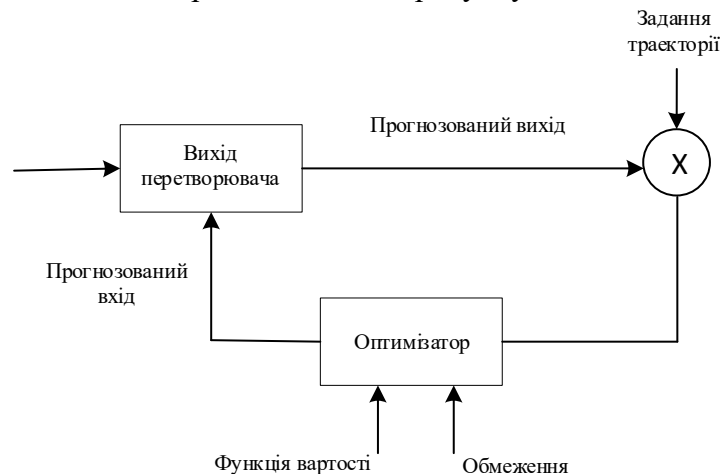


Рисунок 2 – Модель прогнозного керування

Функціональна схема УПМ складається з двох блоків, системної моделі та оптимізатора. Початкові сигнали напруги та швидкості задаються в системній моделі, і вони задають прогнозовану швидкість на виході, вихід буде порівнюватися з опорною швидкістю, а майбутні помилки будуть надані оптимізатору. Оптимізатор з врахуванням функції вартості та існуючих обмежень виконує оптимізацію майбутніх сигналів керування. Контрольний сигнал буде додатково застосований як вхід до моделі системи для прогнозування виходу, і ця процедура буде продовжуватися до досягнення бажаного стаціонарного стану.

Удосконалення будь-якого контролера ґрунтується на тому, на скільки ефективно за допомогою нього моделюється динаміка системи [3]. Вентильний двигун на базі синхронного двигуна не тільки часто використовується в промислових системах управління рухом, але також забезпечує стандартну платформу для тестування різних алгоритмів керування [3].

Математична модель вентильного двигуна на базі синхронного двигуна зі сталими магнітами отримується шляхом застосування електричних та механічних рівнянь електромеханічної системи, з подальшою підстановкою в передавальну функцію значень внутрішніх параметрів вентильного двигуна постійного струму, щоб отримати точну модель, яка буде використовуватися для моделювання. Внутрішні параметри синхронного двигуна показані в таблиці 1. [4].

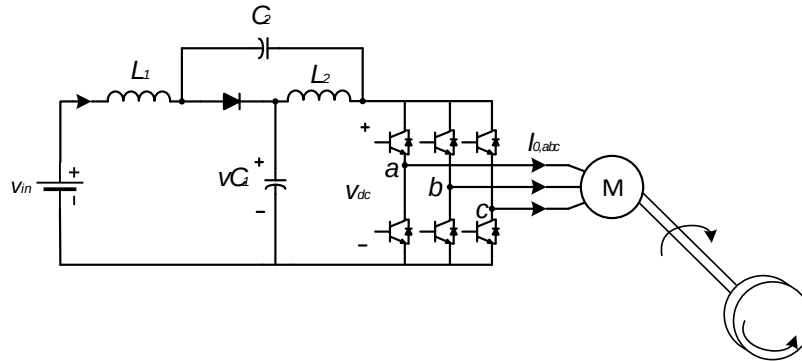


Рисунок 3 – Класична топологія інвертора керування вентильним двигуном

Диференціальні рівняння струму вентильного двигуна можна записати як:

$$\frac{di_{od}(t)}{dt} = -\frac{R_s}{L_d} i_{od} + \frac{\omega L_q}{L_d} i_{oq} + \frac{1}{L_d} V_d \quad (4)$$

$$\frac{di_{oq}(t)}{dt} = -\frac{R_s}{L_q} i_{oq} + \frac{\omega L_d}{L_q} i_{od} - \frac{\omega \Psi_{PM}}{L_q} i_{od} + \frac{1}{L_q} V_q \quad (5)$$

де $L_d = L_q$ - індуктивність обмотки статора для неявнополюсного синхронного двигуна, R_s - активний опір статора, ω - кутова швидкість ротора, а Ψ_{PM} - намагніченість ротора. Більш того, V_d та V_q представляють вектор напруги статора в системі координат ротора (d-q), відповідно. Враховуючи, що складова q вихідного струму i_{oq} пропорційна електричному моменту, а d струму i_{od} пропорційна реактивній потужності. Тоді, електромагнітний крутний момент двигуна становить:

$$T_e = \frac{3}{2} p \Psi_{PM} i_{oq}$$

де p - кількість пар полюсів машини.

Параметри системи представлені у таблиці 1.

Таблиця 1. Внутрішні параметри

Параметр	Величина
Вхідна напруга v_{in}	24 В
Індуктивність L_1	500 мкГн
Номінальний крутний момент T_r	2 Нм
Номінальна швидкість ω_r	1000
Осі індуктивності L_d / L_q	0,05/0,095
Намагніченість ротора Ψ_{PM}	0,355 Вб
Опір статора R_s	18мкОм
Кількість пар полюсів p	5
Інтервал видачі сигналів керування	20мкс

Для вивчення продуктивності УПІМ реалізованого на контролері Arduino, показано на рис.2, та проведення аналізу швидкості передачі даних моделювання проводились на базі MATLAB та його додатком Simulink. При цьому формування сигналу, отриманого по Modbus RTU здійснювалось за допомогою тестової програми формування профілю переміщення Modbus Tester зі швидкістю передачі даних 115кБіт/с. Обробка сигналу, що отримано із зовнішньої системи здійснювалась за допомогою модулю обробки даних у бібліотеці Sources. Параметри системи відображені в Таблиці 1.

Для проведення експерименту розроблено програмне забезпечення контролера Arduino згідно структурі показаній у вигляді блок схеми на рисунку 4. Слід зазначити, що цей алгоритм не враховує формування даних по протоколу Modbus, оскільки реалізується в окремому функціональному блоці, що визивається з фіксованим перериванням.

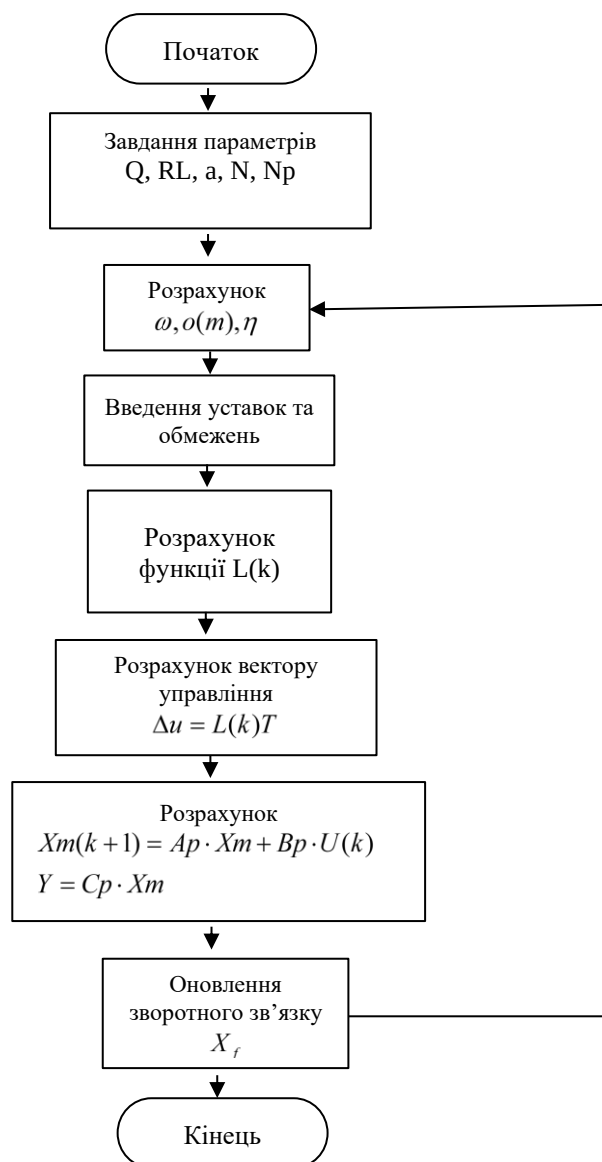


Рисунок 4 – Блок схема алгоритму управління з прогнозованою моделлю

Використана апаратна реалізація складається з плати Arduino, драйвера двигуна,

інтерфейсу користувача у вигляді комп'ютера, блока живлення та вентильного двигуна з вбудованим датчиком швидкості. Мікроконтролер плати Arduino отримує фактичну швидкість двигуна постійного струму як зворотній зв'язок від оптичного датчика, а потім УПМ генерує імпульси ШІМ до драйвера двигуна для управління швидкістю вентильного двигуна з синхронним двигуном.

Структурна схема контролера швидкості УПМ показана на рисунку 5. Мікроконтролер Arduino генерує необхідний цифровий сигнал для управління швидкістю за допомогою алгоритму УПМ [5]. Цифровий сигнал у нашому випадку передається за допомогою інтерфейсу RS232 та протоколу Modbus у драйвер керування вентильним двигуном за швидкістю. При цьому сам драйвер регулює напругу на обмотках двигуна. Для формування сигналів за швидкістю та положенням використовується енкодер, встановлений на валу самого вентильного двигуна. Драйвер двигуна обробляє сигнал енкодера та передає ці дані також за допомогою протоколу Modbus. Для зменшення затримки передачі даних в системі використовується найбільша швидкість, що є доступною для контролера плати Arduino. Все програмування здійснювалось за допомогою відповідного програмного забезпечення IDE. Блок-схема апаратної реалізації відображена на рисунку 5.

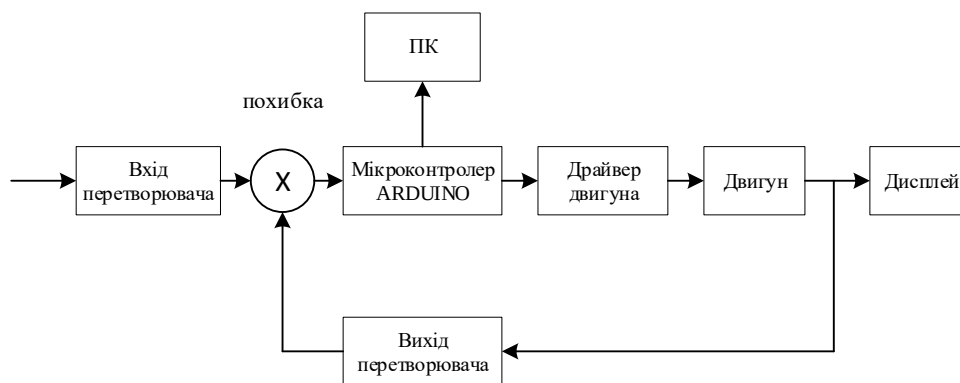


Рисунок 5 – Блок-схема апаратної реалізації

Для порівняння системи керування з прогнозуючим регулятором та класичного ПІД – регулятора використовується метод цифрового моделювання. Для цього задіяне програмне забезпечення MATLAB та його додаток Simulink. Результати моделювання в реальному часі відображені на рисунку 6 та рисунку 7.

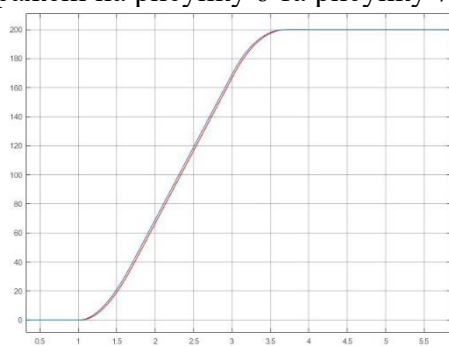


Рисунок 6 – Графік положення з використанням ПІД-регулятора

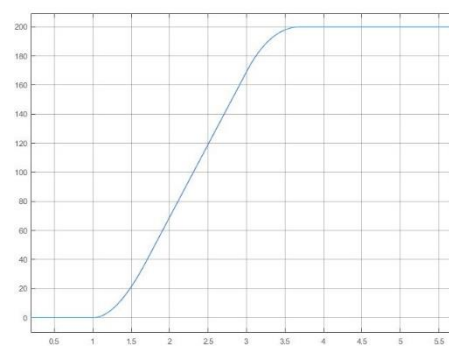


Рисунок 7 – Графік положення з використанням управління з прогнозуючими моделями

Результати моделювання, показали, що при використанні класичного ПІД – регулятора

має місце перерегулювання, недопустиме для більшості технологічних процесів, в яких використовується вентильні двигуни. При використанні керування з прогнозованою моделлю перерегулювання відсутнє.

Висновки. В роботі реалізовано управління в реальному часі на платі Arduino для управління швидкістю вентильного двигуна. Внаслідок складності програмної реалізації класичної моделі управління з прогнозуючою моделлю, яка складна в обчисленні і не підходить для реалізації на звичайному мікроконтролері, спочатку було виконано спрощення для зменшення обчислювального навантаження та поліпшення доцільності такої реалізації.

Отриманий алгоритм керування з прогнозованою моделлю краще та ефективніше регулює швидкість за наявності обмежень та навантаженні на валу двигуна.

Список використаної літератури

1. K. R. Das. Optimal tuning of PID controller using GWO algorithm for speed control in DC motor / K. R. Das, D. Das, J. Das. // 6. – 2016. – С. 108–112.
2. A. Ayad. Direct model predictive control of quasi-Zsource inverter compared with the traditional PI-based PWM control / A. Ayad, R. Kennel. // Proc. Eur. Power Electron. Conf., Geneva, Switzerland. – 2015. – №2. – С. 1–9.
3. Control and dynamic performance of the quasi-Z-source-inverter feeding an interiorpermanent-magnet-synchronous-machine / T. Lanner, A. Welte, T. Gemassme, M. Braun. // Proc. Int. Symp. Power Elect., Elect. Drives, Auto. and Motion (SPEEDAM). – 2014. – С. 860–865.
4. B. Hamed. Fuzzy PID Controllers using FPGA technique for real time DC motor speed Control / B. Hamed, M. Al-Mobaid. // International Journal of Intelligent Control. – 2011. – №2. – С. 233–240.
5. Гулько Ф.Б. Метод оптимального управления с прогнозированием / Гулько Ф.Б, Коган Б. Я., Лернер А.Я. 1965. – 136 с.

УДК 621.641.047

Самарцев І.В.

Кулаковський Л.Я., к.т.н.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ ТОРФУ В ПАРОВИХ ТРУБЧАСТИХ СУШАРКАХ ЗА ВИТРАТАМИ НА ЕНЕРГОНОСІЇ

Анотація. В роботі було визначено математичні функції знаходження регулюючих параметрів процесу сушіння торфу в парових трубчастих сушарках за певних значень збурюючих впливів методом групового урахування аргументів (МГВА). Встановлено, що грошові затрати на енергоносії при управлінні частотою обертання за незначних коливань фізико-механічних властивостей торфу для торфобрикетного заводу є меншими в порівнянні із затратами при управлінні по каналу витрати пари.

Abstract. The mathematical functions of finding the control parameters of the peat drying process in steam tubular driers for certain values of disturbances were determined using the group method of data handling (GMDH). It was found that cash expenses on energy resources for control speed of drum rotation for slight fluctuations of physical and mechanical properties of peat on a peat briquetting plant are less compared to the costs of regulation process through the control channel of steam flow.

Вступ. На торфобрикетному заводі сушарка є однією з найбільш енерговитратних і металоємких етапів виробництва торф'яних брикетів. На разі на багатьох торфобрикетних заводах ще і досі застосовується ручне регулювання параметрів сушіння торфу, що пов'язано як з низьким рівнем автоматизації виробництва. Це спричинює за собою високі витрати енергії на процес сушіння та протікання процесу сушіння, що часто не дозволяє отримати достатньо якісну кінцеву продукцію (торфобрикет). Проте провести автоматизацію процесу сушіння неможливе без попереднього аналізу можливих каналів управління, визначення більш енергоефективних.

Метою роботи є визначення каналу управління процесом сушіння торфу в парових трубчастих сушарках з меншими затратами грошових коштів на енергоресурси.

Широке застосування парових трубчастих сушарок в енергетичному секторі, і на торфобрикетних заводах зокрема, та високі енергозатрати на процес сушіння проблему зумовлює пошук енергоефективних режимів роботи сушарної установки даного типу.

Модель роботи електротехнічного комплексу має декілька каналів управління. Зокрема згідно [1] до складу моделі входять такі регулюючі параметри як витрата пари та швидкість обертання барабана. Тобто щоб досягти потрібної якості сушенки на виході із сушарки, процес сушіння може регулюватись як кількістю поданої пари так і швидкістю обертання сушарки. Для того, щоб розробити оптимальну систему керування процесом за критерієм енергоефективності необхідно дослідити витрати енергії по кожному із можливих каналів регулювання.

На торфобрикетному заводі існує режимна карта роботи паровою трубчастої сушарки згідно із якою проводиться регулювання процесу сушіння. Режимна карта являє собою таблицю, в якій наведено параметри сушіння: тиск і температура пари, частота обертання живильника і сушарки, орієнтовна продуктивність сушарок по брикету, дано показники сировини: вологість і насипна щільність.

Режимна карта надає інформацію оператору, який діапазон керуючих впливів повинен бути при певному діапазоні значень вологості та насипної щільності сировини для того, щоб якість сушенки відповідала регламентованим нормам.

В загальному на практиці, незважаючи на існування режимної карти, для полегшення ручного керування процесом, оператор здійснює керувати сушарки в одному із трьох режимів – з максимальним (або номінальним) тиском пари, з максимальною (або номінальною) частотою обертання барабана або в режимі, коли ні тиск пари, а ні частота не досягають максимальних значень. Останній режим завжди пов'язаний із обмеженням по продуктивності сушарки. Основним параметром в залежності від якого залежить налаштування регулюючих параметрів є вологість торфу. Саме в залежності від вологості сушенки і залежить режим роботи наступного за процесом сушіння процесу пресування. Управління вологістю сушенки спрощується якщо один із факторів – тиск пари або частота обертання – знаходяться на максимальному рівні. Ще більше спрощується якщо всі трубки сушарки повністю заповнені. Окрім спрощення регулювання процесу сушіння, найбільше заповнення трубок забезпечує зниження вологорізниць сушенки. Обмеження за допомогою шнека кількості торфу, що поступає в трубки, призводить до того, що центральні трубки заповнюються повністю, а в периферійні торф не надходить. Це призводить не тільки до великої вологорізниць, але і вологорізниць одного класу крупності. Дозування торфу приймається, як правило, якщо на заводі несправне обладнання або порушена технологія підготовки торфу.

Щоб оцінити рівень споживання енергії необхідно побудувати модель процесу сушіння. Вихідними функціями процесами для моделювання являються швидкість обертання барабана сушарки X_1 та витрата пари X_2 . Збурюючими впливами, які впливають на режими роботи комплексу сушіння є вологість торфу на вході в сушарку F_1 , насипна щільність торфу F_2 , зольність торфу F_3 , температура торфу F_4 , температура повітря F_5 , сипучість торфу F_6 , фракційний склад торфу F_7 , вологорізниця торфу F_8 . До збурюючих слід і віднести швидкість обертання шнека.

Для побудови моделі необхідно мати певну вибірку даних, отриманих в ході виробничих експериментів. На виробництві споживання електричної енергії постійно змінюється в часі. Тому необхідно визначити період протягом якого потрібно контролювати затрати електричної енергії. Всі вимірювання були проведені за період, який відповідає часу сушіння торфу в кількості, що надходить від однієї вагонетки. Окрім цього, фіксувався час за який відбувалось сушіння одного вагону торфу. За показниками лічильника та часу сушіння було визначалось споживання електричної енергії, кВт·год.

Для побудови математичних моделей вихідних параметрів процесу та вирішення задачі відбору ознак був вибраний такий математичний апарат як метод групового урахування аргументів (МГУА), в якого немає таких недоліків ШНМ як необхідність значної кількості навчальної вибірки та наявності проблеми «чорного ящика», а регресійного аналізу та генетичного алгоритмів – невисока точність прогнозу та отриманих результатів. Основними перевагами МГУА є те, що метод дозволяє відновити невідому як завгодно складну залежність по обмеженій вибірці, а число невідомих параметрів моделі може бути більше, ніж число точок навчальної послідовності (рис. 4). МГУА дозволяє отримати високу якість отриманих результатів, дозволяє отримати модель у формі математичних рівнянь, дає можливість коригування отриманих результатів (можливість адаптації параметрів моделі при отриманні нових даних експериментів), забезпечує високу точність прогнозу та найкраще в порівнянні із іншими методами вирішує проблему відбору ознак [2].

Найпоширенішими алгоритмами побудови моделі за допомогою МГУА є МІА (багатоітераційний) та комбінаторний алгоритми.

Ідея комбінаторного алгоритму: не пропустити жодної із можливих моделей.

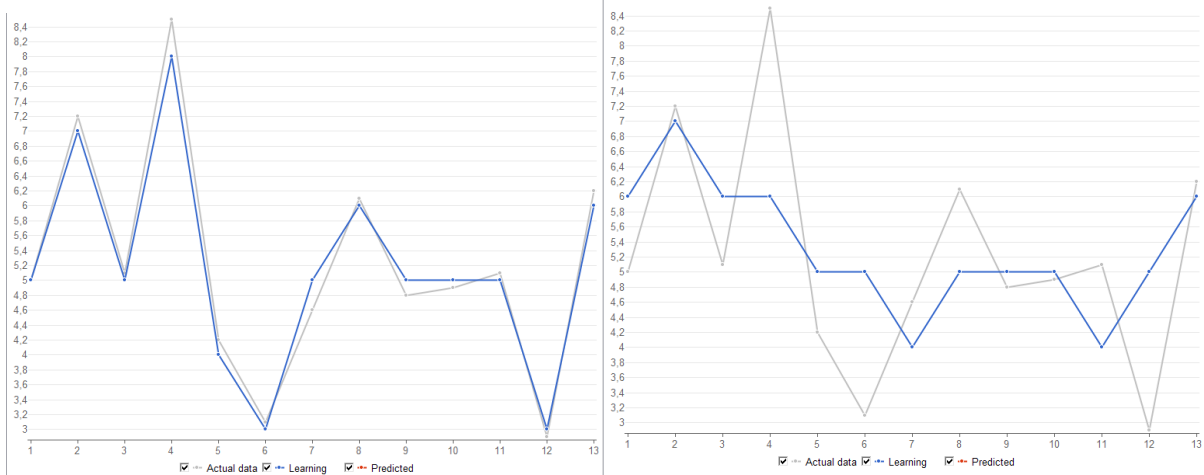
Тому, на кожному рівні складності:

- розглядаються всі моделі;
- не проводиться селекція кращих комбінацій змінних.

Основні ідеї БІА [3]:

- зменшити кількість моделей, що розглядаються на кожному ряді;
- зменшити кількість рядів, і, тим самим пришвидшити вихід на оптимальний рівень складності.

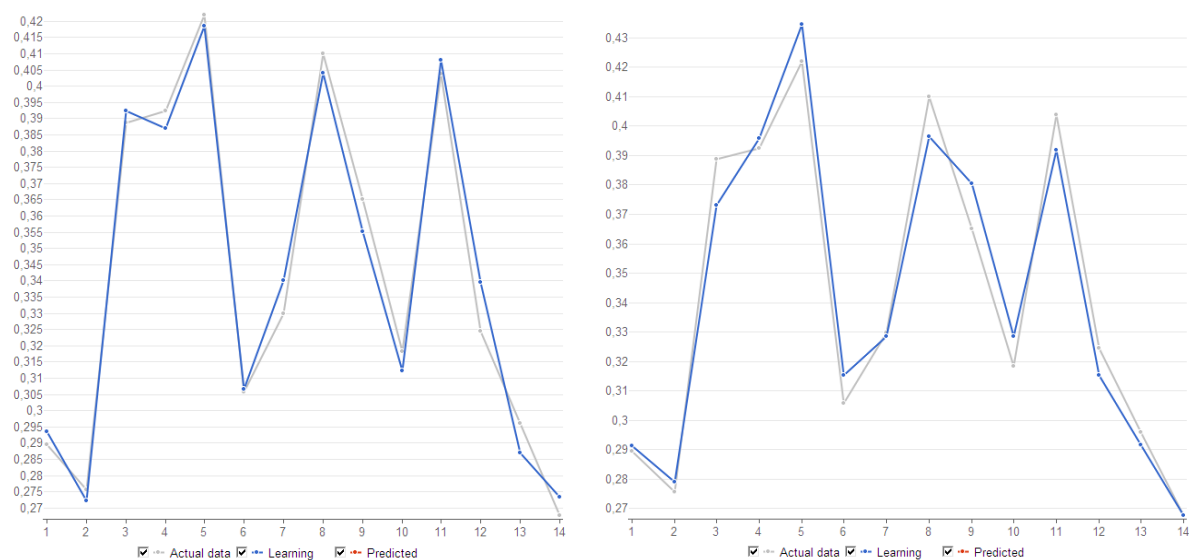
За результатами моделювання були отримані наступні графіки.



а)

б)

Рисунок 1 – а) Графік порівняльного аналізу фактичних та математичних розрахунків моделі для цільової функції швидкості обертання двигуна (об/хв), отриманої алгоритмом БІА МГУА та б) параметричним алгоритмом



а)

б)

Рисунок 2 а) Графік порівняльного аналізу фактичних та математичних розрахунків моделі для цільової функції витрата пари отриманої алгоритмом БІА МГУА та б) параметричним алгоритмом

За результатами розрахунку середньоквадратичної похибки встановлено, що найкращу якість відтворення вхідних даних цільової функції було досягнуто з використанням багатоітераційного алгоритму.

Таблиця 1 – Значення середньоквадратичної похибки моделей цільових функцій (RMS)

Алгоритм навчання	Цільова функція	
	X_1	X_3
COMBI	0,153298	0,067419
БІА	0,013399	0,019476

За результатами моделювання було отримано цільові функції енерготехнологічного процесу сушіння торфу в парових трубчастих сушарках для визначення каналів сушіння:

$$X_1 = 45 + 7,6F_1 + 4,54F_2 + 0,675F_3 + 2,1F_7 + 35,2F_8 - 3,13F_9 - 23,1X_2 \quad (1)$$

$$X_2 = 608,2 + 1,235F_1 - 0,1552F_2 + 2,823F_5 - 4,354F_7 - 59,09F_8 + 7,84F_9 - 3,1X_1 \quad (2)$$

Ці рівняння були отримані із даних дослідів, де якість сушенки відповідала регламентованим показникам.

По значенням середньої витрати пари та швидкості обертання барабана сушарки можна визначити скільки було витрачено теплової та електричної енергії. Для того, щоб дізнатись які енергозатрати відбуваються при управлінні за кожним із каналів, слід дослідити показники витрати пари та швидкості обертання барабана сушарки при однакових значеннях збурюючих впливів.

Так як показники електроспоживання фіксувались за допомогою вимірюваних пристроїв, то за базові набори даних були вибрані саме досліди проведені при незмінному значенні витрати пари, а якість сушенки відповідала би нормам. Згідно з даними [4] та технічної документації торфобрикетного заводу «Сойне» вологість сушенки не повинна перевищувати 20%, вологорізниця сушенки – 6%, температура сушенки в межах від 30 °С до 90 °С. Із отриманих наборів даних використовувались для розрахунку лише ті, що мають регламентовані значення сушенки.

Потім потрібно визначити скільки витрат теплової і електричної енергії буде витрачатись на сушіння торфу цих значень параметрів у випадку встановлення швидкості обертання барабана на номінальному рівні, а регулювання процесу здійснювати витратою пари. Для цього необхідно значення збурюючих впливів підставити у рівняння (2) і знайти необхідну витрату пари для кожного дослідів.

Для сушіння торфу в парових трубчастих сушарках по паропроводу надходить суха насичена пара, що подається з котельної. Витрата пари використовується для визначення корисної потужності парового котла (кВт) [5]:

$$Q_{пк} = D_{н.п.}(i_{н.п.} - i_{н.в.}) + D_{н.л.}(i_{н.п.} - i_{н.в.}) + 0,01P(D_{н.п.} + D_{н.л.})(i_{кип} - i_{н.в.}) \quad (3)$$

$D_{н.п.}$ – витрата виробленого перегрітої пари, кг/с; $D_{н.л.}$ – витрата виробленої насиченої пари, кг/с; $i_{н.п.}$, $i_{н.в.}$, $i_{н.л.}$, $i_{кип}$ – ентальпія перегрітої пари, живильної води на вході в індивідуальний водяний економайзер, насиченого пара і киплячої води в барабані котла, кДж/кг; P – безперервна продування парового котла, %, враховується тільки при $P \geq 2\%$.

Витрата палива для спалювання в котлі:

$$B_{нк} = \frac{Q_{нк}}{Q_p^p \eta_{бр}}, \quad (4)$$

де $Q_{нк}$ – корисна потужність парового котла, кВт; Q_p^p – наявна теплота, кДж/кг або кКал/кг; $\eta_{бр}$ – ККД брутто котельного агрегату (%). Вважатимемо, що котел повинен працювати із хорошим ККД (щонайменше 85-92%). Значення питомої теплоємності палива можна знайти у відповідних довідниках (для торфу вона становить – 3600÷3700 кКал/кг).

Тобто для того, щоб перевести витрати енергії за кожним із каналів необхідно знати собівартість 1 тонни торфу, що надходить на завод для спалювання та собівартість електричної енергії.

За результатами розрахунків витрат грошових коштів на управління процесом сушіння витратою пари і швидкістю обертання сушарки встановлено, що на початок 2018 року, було визначено, що управління швидкістю обертання сушарки на 5% є дешевшим від управління витратою пари.

Отже, розроблена модель функцій цілей регулюючих параметрів швидкості обертання барабана та витрати пари дозволила встановити, що режим з найменшими венші затратами на енергоресурси досягається у випадку встановлення на номінальному значенні витрату пари і компенсацію впливів збурюючих параметрів за рахунок зміни швидкості обертання барабана.

Список використаної літератури:

1. Кулаковський Л. Я. Розробка алгоритму побудови факторного поля процесу сушіння торфу в парових трубчастих сушарках / Л. Я. Кулаковський, В. П. Розен // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – Вип. 3 – С. 63-68.
2. Ивахненко А. Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным [Текст] / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Юрачковский. – М.: Радио и связь, 1987 – 119 с.
3. Ivakhnenko A., Krotov G. and Cheberkus V. Multilayer Algorithm for Self organization of Long Term Predictions (Illustrated by the Example of the Lake Baikal Ecological System). – Soviet Automatic Control, 1980 – Vol. 4, No. 13.
4. Иванов Б. Н. Влияние качества подготовки и сушки торфа на процесс брикетирования [Текст] / Б. Н. Иванов, В. А. Завьялов, Л. И. Медведев. // Торфяная промышленность. – 1956. – №1. – С. 11–14.
5. Лыков А. В. Теория сушки [Текст]: учебное пособие для студентов теплотехнических и химико-технологических специальностей высших учебных заведений / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

УДК 621.311

Palamarchuk Oleksii
Kulakovskiy Leonid, Candidate of Technical Sciences,
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОБОТИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВОК ШЛЯХОМ ЗМІНИ ГЕОМЕТРІЇ ЛОПАТЕЙ
DEVELOPMENT THE CONTROL SYSTEM OF WIND POWER INSTALLATIONS BY
CHANGING THE GEOMETRY OF BLADES**

Abstract. *The operation of the wind power installation is analyzed. The functional control scheme of the wind turbine is proposed. There were carried out modeling of the control system, selection and adjustment PI-controllers for regulation the speed of the blade. These controllers provides necessary accuracy of the orientation wind turbines on the direction of the wind.*

Анотація. *В роботі проведено аналіз роботи вітроенергетичної установки. Запропоновано функціональну схему управління ВЕУ. Було здійснено моделювання системи управління, вибір та налаштування ПІ-регуляторів швидкості лопаті, що забезпечує необхідну точність орієнтації вітроустановок на напрямок вітру.*

Introduction. Wind power is a perspective field for electricity generation. The use of renewable wind energy helps to cover the growth of world demand for electricity.

The main disadvantage of using wind as an energy source is unstability of its speed and direction [1]. Under these conditions, due to the variability of the energy source, the control of operating regimes of both wind power installation and wind power plants (WPP) is complicated. For instance, the velocity of the blades of the wind turbines is insufficient controllable. Adjusting the angle of the blade installation significantly expands the range of wind power plant operation. Blade rotation makes it possible to operate the installation more effectively with a smaller angle. At the same time, the optimal performance is ensured even after rapid change of wind speed. In order to solve this problem, the control systems, which can be adapted to some change of the object and input disturbances should used.

The purpose of the work is to develop a system for controlling the change of blades geometry, which will increase the controllability of the process. Such control system allows to produce the maximum possible power of the wind turbine in the regime of “working winds” and nominal – in the constraints regimes, protecting the generator from overload.

Викладення основного матеріалу.

- The orientation accuracy should be less than 4 ... 5°. In the case of deviation of 5°, the power loss may be up to 10%.

- The speed of gondola (head) rotation should not exceed 0,2 ... 0,3 r.p.m., so as not to cause an excessive gyroscopic moment.

In order to develop a control system for wind turbine installations, it is necessary to analyze the dynamics of the installation. Horizontal-propeller wind turbine with rotary blades as an object of regulation can be represented using series of connected blocks: the block of work rotary blades; the block for generating the total rotating torque of the rotor of the wind turbine; block generator (Fig.1).

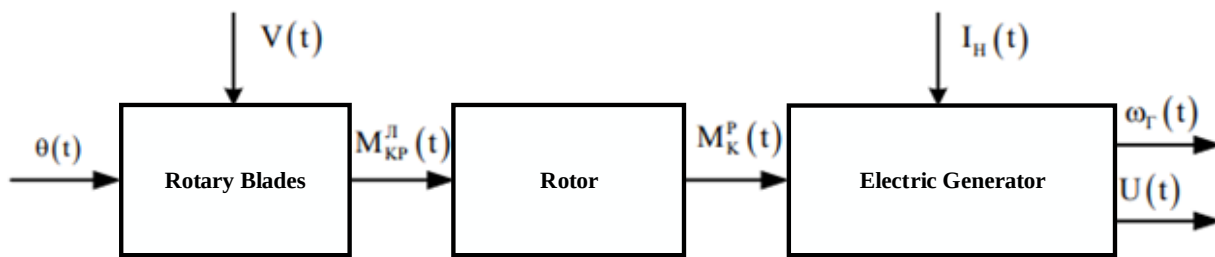


Figure 1 – Functional scheme of the object of regulation, where: $V(t)$ – wind speed; $\Theta(t)$ – angle of rotation of the blade relative to the axis of the wind turbine; $M_{kp}^A(t)$ – rotational moment created by the blade; $M_K^P(t)$ – the total torque generated by the wind turbine rotor; $\omega_r(t)$ – angular rotational speed of the rotor of the electric generator; $U(t)$ – voltage on the output of the generator.

Wind power plants use various generators (synchronous, asynchronous, etc.). The peculiarity of these generators is that for generating the rated power the rotor must be rotated at nominal speed [3].

On the basis of the resulted functional scheme of the object of regulation (Figure 1), a functional control system was developed taking into account the requirements for the automation system (Fig. 2).

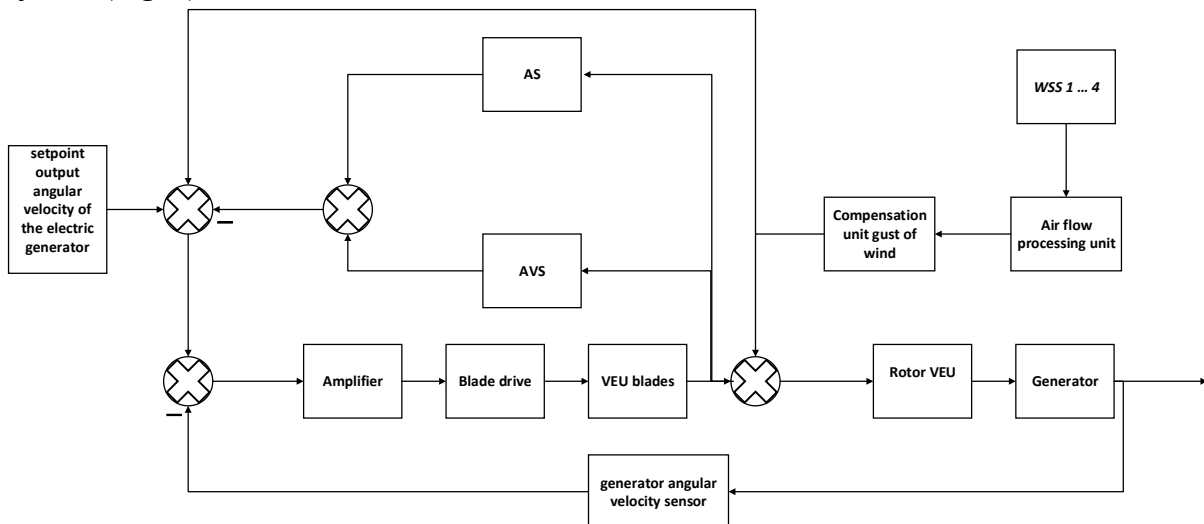


Figure 2 – Functional diagram of the control system, where AVS – angular velocity sensor, AS – Angle sensor, WSS – wind speed sensor, [4]

The system has the following sensors: the angular velocity sensor of the electric generator, four wind speed sensors, the sensor of the blade rotation angle and its angular velocity. Based on information about the magnitude of their current parameters, a control signal for the actuator is generated. The executive mechanism is an electric drive, which turns the blade to the required angle to provide a predetermined rotational speed of the electric generator.

This system has three feedback by the angular velocity of the generator, by the deviation angle and by the angular velocity of the blade, which greatly increases the speed and accuracy of the system.

The scheme of the simulation the control system of the wind turbine by changing the geometry of the blades is given in MATLAB / SIMULINK environment (Fig. 3). The results of the simulation of the control system are shown in Fig. 4.

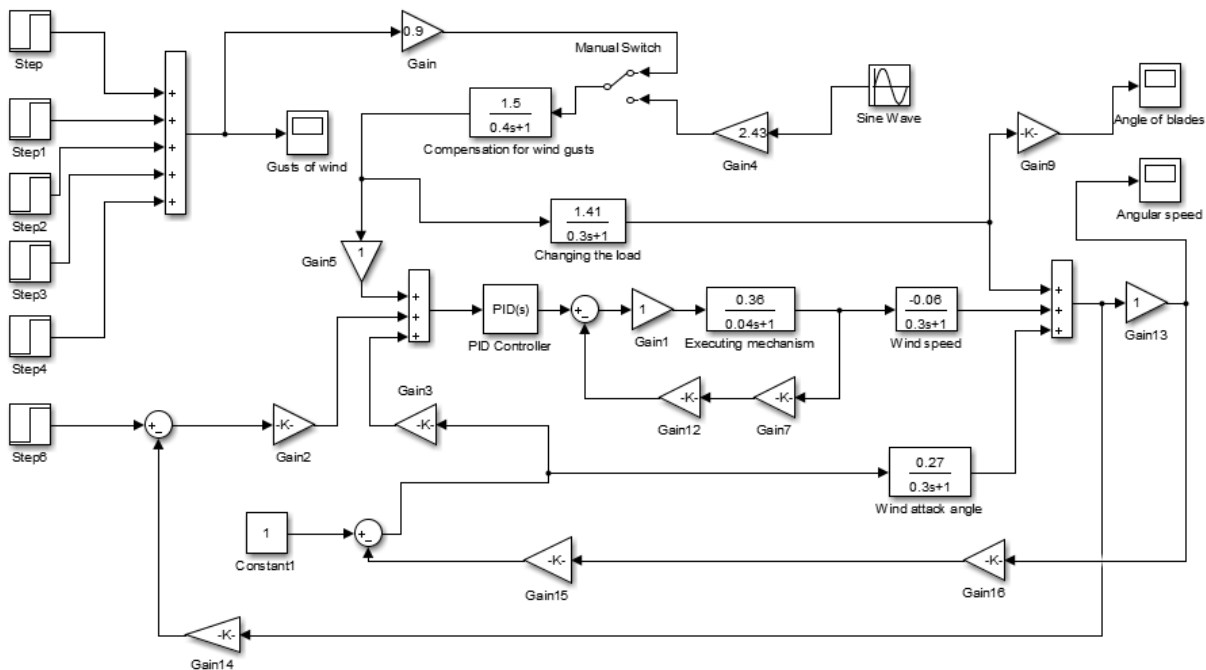


Figure 3 – The scheme of the simulation the control system of the wind turbine by changing the geometry of the blades in MATLAB / SIMULINK environment.

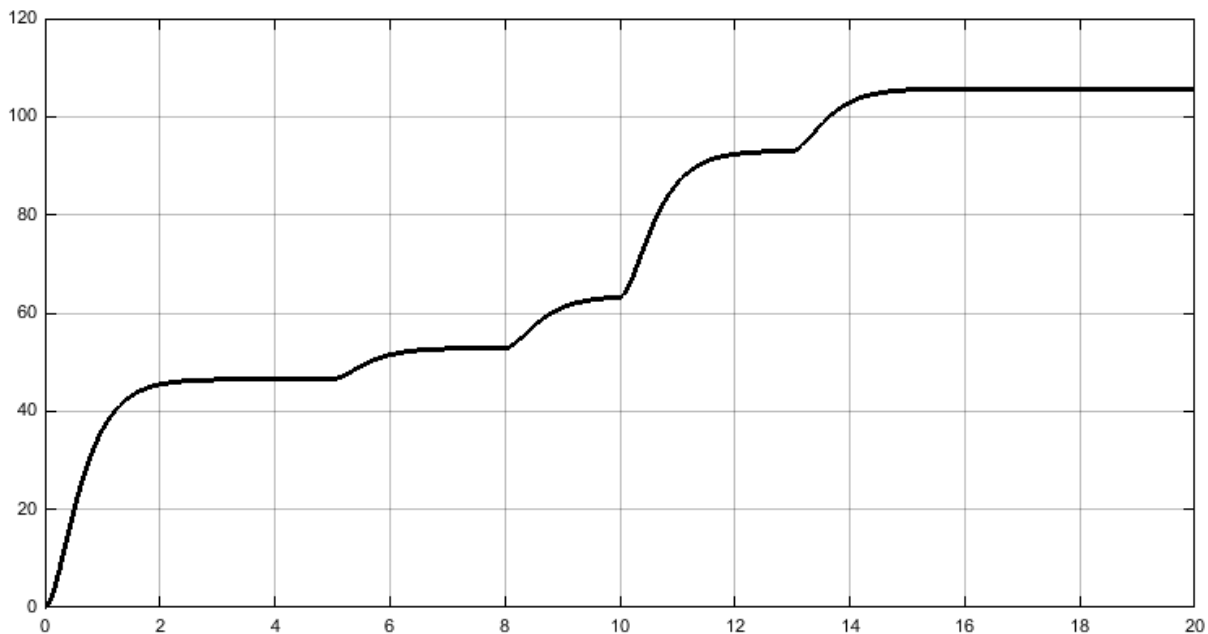


Figure 4 – The reaction of the blade rotation angle for the stepped effect of the wind gust change by using the PI-controller of the blade speed.

The optimal parameters of the controller by typical quality control criteria must be selected to adjust the closed automatic control systems. These parameters are:

- for the PI-controller – k_p and T_i ;
- for the PID controller – k_p , T_i and T_d , where k_p – coefficient of proportionality of the controller, T_i – integration time constant, T_d – differentiation time constant.

The choice of controllers for controlling the work of the wind turbine was carried out without

analysis the dynamic characteristics of the object by the method of sequential setting change. For example, for a maximum value of T_i in PI-controller, k_p was increased in several approaches. For each new value of k_p the curve of the transition process is analyzed according to the chosen quality criterion. Then, at constant k_p , T_i parameter was changed and found its value. This value corresponds to the best form of the transition process according to the quality criteria [5].

The procedure was repeated until any change (increase or decrease) k_p and T_i did not lead to a deterioration of the form of transition process. The best quality of the transition process by experimental way was achieved by use of a PI-controller. The automatic control system with PID controller allow to increase the system speed, regulation time for blade rotation was almost 1.5 times less than with the use of the PI controller. At the same time, PI controllers are among the most common and used in cases where zero error of ACS (automotive control system) is required at constant value of disturbers. PI-controllers, differ in design simplicity, provide high quality stabilization of parameters regardless of the load to the object. As you can see from Fig. 4 system with the PI-controller ensures stabilization of the value of the blade speed rotation practically without static error, which provides the required accuracy of the orientation of the wind turbines on the direction of the wind.

Conclusions. Model that was implemented in the Simulink environment program allows to investigate the energy characteristics of low-power wind power installation. A distinctive feature of the model is the ability to study dynamic operating regimes. This feature allow to adjust optimally the control system for improving energy efficiency both wind power installation and the hybrid station in general. It was investigated that automatic control system of wind power installations by means of changing the geometry of blades with PI-controller provides the desired accuracy of orientation of the wind turbine.

References:

1. Udalov S.N. Vozobnovlyaemyie istochniki energii: Uchebnik. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2007. – 432 s.
2. Anca D. Hansen et al. Overall control strategy of variable speed doubly-fed induction generator wind turbine: Nordic wind power conference – Chalmers university of technology, march 1– 2, 2004. – p.1-7.
3. M. Maureen Hand Mitigation of Wind Turbine/Vortex Interaction Using Disturbance Accommodating Control: Technical report. – National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP–500– 35172, 2003. – p.1-106.
4. Zubova N. V. Osnovnyie printsipy upravleniya vetroenergeticheskoy ustanovkoy / S. N. Udalov, N. V. Zubova // Nauchnyiy vestnik NGTU. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, #3(48), 2012 g. – s.153-161.
5. Valiukh O. A. Elementy teorii avtomatichnoho keruvannia : navchalnyi posibnyk / O. A. Valiukh, V. M. Maksymiv. – Lviv : Afisha, 2002. – 124 s.

УДК 621.316.9

Петрусьов М.О., студент

Дубовик В.Г.,

Лебедєв Л.М.,

Брагіна Л.Є.

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

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА В ПРОЦЕСІ ПУСКУ

У статті показано, що для контролю технічного стану електродвигуна можна використовувати сигнали квадратів еквівалентних струмів з деяким часом їх усереднення, що дозволяє визначати припустимий час кожного наступного пуску в залежності від температури статора, що дозволяє розпізнавати аварійні режими та підвищити надійність експлуатації.

Ключові слова: електродвигун, технічний стан, пускові режими.

Petrusyov Maksim, stud

Dubovyk Volodymyr

Lebedev Lev

Bragina Ludmyla

FEATURES OF DETERMINATION OF THE TECHNICAL STATE ELECTRIC MOTOR IN THE PROCESS OF STARTING

It is shown in the article, that for control of the technical state of electric motor it is possible to utilize the signals of squares of equivalent currents with some sometimes, that allows to determine possible time of every next starting depending on the temperature of, that allows to recognize finding of mean value malfunctions and to promote reliability of exploitation.

Keywords: electric motor, technical state, starting modes.

Стабільність режимів роботи електродвигуна можна оцінити по таких параметрах:

- струму холостого ходу, для асинхронного двигуна залежить від значення повітряного зазору;

- втратах холостого ходу, які пов'язані з якістю матеріалів магнітопроводів;

- опору обмоток статора, які залежать від натягнення проводів і зміни їх діаметру і ін.;

- опору обмоток ротора.

Надійність асинхронного електродвигуна є інтегральною властивістю, яка залежно від призначення і умов експлуатації може включати: безвідмовність, довговічність, ремонтоздатність і стабільність параметрів [1].

Серед різних чинників, що визначають термін служби ізоляції електричних машин, одним з основних є старіння ізоляції під дією температури. Це явище можна оцінити кількісними показниками. Механічні характеристики ізоляції залежать від температури. У міру нагрівання межа міцності ізоляції швидко знижується, причому одночасно вона стає еластичнішою і при порівняно невеликих деформаціях має місце істотне зниження пробивної напруги, що відбувається приблизно по лінійному закону. Для кожного значення температури існує певна межа деформації, за якою зняття струмового навантаження не приводить до відновлення первинних діелектричних властивостей. Це пов'язано з появою необоротних структурних змін у вигляді тріщин, розшарувань, а також перерозподілу компаунда, що

пов'язує. Температура нагріву обмоток електродвигуна залежить також від його теплотехнічних характеристик і параметрів навколишнього середовища. Частина тепла, що виділяється в двигуні, йде на нагрів обмоток, а інше віддається в навколишнє середовище [2].

Наприклад, найбільш поширені несправності асинхронних електродвигунів:

1. Перевантаження або перегрів статора електродвигуна - 31%.
2. Міжвиткове замикання - 15%.
3. Пошкодження підшипників - 12%.
4. Пошкодження обмоток статора або ізоляції - 11%.
5. Нерівномірний повітряний зазор між статором і ротором - 9%.
6. Робота електродвигуна на двох фазах - 8%.
7. Обрив або ослаблення кріплення стрижнів в білячій клітці - 5%.
8. Ослаблення кріплення обмоток статора - 4%.
9. Дисбаланс ротора електродвигуна - 3%.
10. Неспіввісність валів - 2%.

Аналіз статистичних даних свідчить, що основні аномальні режим, такі як, перевантаження, зниження напруги, обрив фазного дроту супроводжуються збільшенням струму електродвигуна, що викликає нагрів його обмоток і температурний контроль може забезпечити його захист, але його передавальна характеристика не в повній мірі відповідає перевантажувальній характеристиці електродвигуна [3].

При використанні регульованого електроприводу на основі силових напівпровідникових перетворювачів в спектрах струмів виникають частоти, обумовлені нелінійними спотвореннями при комутації навантаження. Для достовірного діагностування стану електродвигуна необхідно здійснювати обробку значень струму статора впродовж тривалого часу при постійній частоті обертання і навантаженні, що слабо змінюється, але для електродвигунів, що працюють в динамічних режимах з частими пусками і гальмуваннями, розглянуті методи не завжди придатні [4].

Для розширення функціональних можливостей визначення технічного стану електродвигуна в процесі пуску шляхом зміни припустимого часу пуску електродвигуна за кожним черговим пуском в залежності від його температури запропоновано спосіб, в якому спочатку порівнюють тривалість чергового пуску електродвигуна з тривалістю пуску справного електродвигуна. Далі вимірюють значення струмів робочого електродвигуна, визначають значення їх квадратів, формують часовий ряд часткових сум квадратів струмів, видаляють останнє значення часового ряду при надходженні чергового значення квадрата струму електродвигуна, зміщують на крок вперед вміст усіх елементів часового ряду, встановлюють на перше місце часового ряду нове виміряне значення квадрату струму і додають його до вмісту решти елементів часового ряду. Змінюють припустимий час пуску електродвигуна пропорційно максимальному співвідношенню поточних значень часткових сум квадратів струмів до їх припустимих рівнів у часовому ряду, формують сигнал на відключення електродвигуна від мережі живлення при перевищенні припустимого рівня суми квадратів струмів в будь-якому елементі часового ряду або при перевищенні припустимого часу розгону електродвигуна, продовжують формувати часовий ряд на період відключення електродвигуна від мережі живлення впродовж 3...4 постійних часу нагріву електродвигуна або до моменту обнуління всіх елементів часового ряду [5].

У відповідності з основним рівнянням руху електроприводу, час розгону електродвигуна залежить від динамічного моменту, моменту інерції електромеханічного об'єкту приведенного до валу електродвигуна і швидкості, до якої електродвигун розганяється. Значення величини динамічного моменту залежить від значення пускового струму I_p , який в свою чергу залежить від температури електродвигуна. Пусковий струм I_p не нагрітого асинхронного

електродвигуна складає приблизно $I_p = 7 \cdot I_{ном}$, а нагрітого - $I_p = 5 \cdot I_{ном}$. Чим вища температура електродвигуна при пуску, тим менше значення пускового струму і більший час його розгону. Діагностування та визначення технічного стану електродвигуна в процесі пуску здійснюють шляхом порівняння часу розгону електропривода електромеханічного об'єкту з еталонним значенням справного електродвигуна. Температуру нагріву електродвигуна визначають за допомогою його еквівалентного струму. Таким чином, забезпечують можливість проведення експрес діагностики при кожному пуску електродвигуна.

Здійснюють спосіб наступним чином.

При декількох пусках контролюють еквівалентні за тепловими витратами значення струмів електродвигуна, які визначають за певний проміжок часу. Якщо для контролю еквівалентного струму використовують короткі проміжки часу усереднення, наприклад секунди, то визначити технічний стан та захистити електродвигун від незначних (5...10%) але тривалих струмових перевантажень неможливо. Якщо еквівалентні струми $I_{екв}$ визначають на тривалому проміжку часу усереднення, наприклад, сумірному з декількома тепловими сталими часу електродвигуна, то неможливо захистити його від перевантаження пусковими струмами. В даному способі контролюють квадрати еквівалентних струмів з часом усереднення від Δt до $n \cdot \Delta t$, де Δt - час усереднення інформаційних точок часового ряду, n – число точок часового ряду.

Вимірюють значення струмів електродвигуна за допомогою датчиків струму. Визначають значення квадратів інформаційних точок, з яких формують часовий ряд часткових сум $\sum_1^n I_{екв}^2$ квадратів струмів. При надходженні чергового значення інформаційної точки квадрата струму електродвигуна, видаляють останнє значення та переміщують на крок вперед вміст усіх елементів пам'яті часового ряду. На перше місце ставлять останнє значення визначеного квадрата струму і додають його до вмісту решти елементів часового ряду. При перевищенні припустимого рівня суми квадратів струмів в будь-якому елементі часового ряду формують сигнал на відключення електродвигуна від мережі живлення. Довжину часового ряду вибирають завдовжки не менше ніж 3...4 постійних часу нагріву електродвигуна. Після відключення електродвигуна від мережі живлення продовжують формувати цей часовий ряд протягом 3...4 постійних часу його нагріву або до обнуління усіх елементів часового ряду. Таке рішення дає змогу визначити технічний стан електродвигуна в процесі пуску для значення температури електродвигуна перед його черговим пуском.

Розраховують гранично припустимі значення часткових сум квадратів струмів в кожному елементі часового ряду виходячи, наприклад, з рекомендацій для струмового захисту з залежною витримкою часу. Гранично припустиме значення сум $\sum_1^n I_{екв}^2$ квадратів струмів i -того елементу часового ряду визначається за виразом

$$\sum_1^n I_{екв}^2 = n I_{ном}^2 [(K/n\Delta t) + 1],$$

де n - кількість доданків елементу часового ряду, $I_{ном}$ – номінальний струм електродвигуна, K – постійна, Δt - час усереднення інформаційних точок часового ряду кратний періоду дискретизації значень струму датчика струму.

Порівнюють значення часткових сум квадратів струму в елементах часового ряду з їх гранично припустимими значеннями з врахуванням еталонних значень справного електродвигуна. При їх виході за межі хоча б в одному з елементів часового ряду формують сигнал на відключення електродвигуна від мережі. Часові ряди з тривимірною інформацією (час, амплітуда сигналу, час усереднення) дозволяють непрямим методом визначити технічний стан електродвигуна в процесі пуску та контролювати теплове навантаження електродвигуна під час роботи і визначити необхідність відключення від мережі живлення.

Таким чином контролюють весь діапазон припустимих перевантажень з урахуванням попереднього перед черговим пуском станом електродвигуна.

Змінюють припустимий час пуску електродвигуна в залежності від його теплового стану на момент включення. При збільшенні температури електродвигуна припустимий час його пуску збільшують, при зменшенні – зменшують пропорційно максимальному значенню серед співвідношень фактичних часткових сум квадратів струмів до їх припустимих рівнів у часовому ряду. Формують сигнал на відключення електродвигуна від мережі живлення при перевищенні суми квадратів струмів в будь-якому елементі часового ряду припустимого рівня або при перевищенні припустимого часу розгону електродвигуна.

Спосіб дозволяє визначити технічний стан електродвигуна в процесі пуску та забезпечити тепловий захист електродвигуна і попередити його механічне пошкодження при використанні в складі електроприводу без застосування складних параметричних методів.

Список літератури

1. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин: учеб. для вузов / Г.К.Жерве. - 4-е изд., сокр. и перераб. - Л.: Энергоатомиздат, 1984. - с. 354-359.
2. Гелекс Р.Г. Неисправности электрических машин / Под ред. Р.Б.Уманцева. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 336 с.
3. Шумовые характеристики электродвигателей частотно-регулируемого редукторного привода лифтов / В.И. Афонин, М.Ф. Западня // Электротехника. - 2010. - № 12. С. 20-24.
4. Патент РФ №2485534. Способ определения технического состояния асинхронного двигателя в процессе пуска. МПК G01R31/34, H02K15/02. Боннет В.В., Синельников А.М., Логинов А.Ю. Опубл. 20.06.2013.
5. Патент України на корисну модель №110787, «Спосіб визначення технічного стану електродвигуна в процесі пуску». МПК G01R 31/34. Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Дем'янів А.В., Кричковський М.І. Опубл. 25.10.2017.

УДК 621.316.9

Андрусік А. В., студент

Такташов Р. Р., студент

Дубовик В.Г.,

Лебедєв Л.М.,

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

**ВИКОРИСТАННЯМ ВЕКТОРІВ МОНІТОРИНГУ
ДЛЯ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА**

У статті показано, що запропонований спосіб можна використати для захисту електродвигуна з частими пусками і стохастичною зміною кратності та експозиції струмових перевантажень і аварійного стану, підвищити надійність його роботи шляхом підвищення точності прогнозування нестационарних рядів квадратів струму.

Ключові слова: електродвигун, технічний стан, захист.

Andrusyk Andrey, stud**Taktashov Renat, stud.****Dubovyk Volodymyr****Lebedev Lev****BY THE USE OF MONITORING VECTORS FOR DEFENCE
OF ELECTRIC MOTOR**

It is shown in the article, that the offered method can be utilized for defence of electric motor with the frequent starting and stochastic change of multipleness and display of current overloads and emergency state, to promote reliability of his work by the increase of exactness of prognostication of unstationary rows of squares of current.

Keywords: electric motor, technical state, defence.

Оптимальному використанню електродвигунів перешкоджають аварійні ситуації. Щорічно виходять з ладу більше 20% від загальної їх кількості. Виникають збитки, пов'язані з простим технологічним устаткуванням. Окрім прямих збитків знижується електро- та пожежна безпека, що викликається замиканнями в обмотках пошкоджених електродвигунів. Завдання зниження рівня прямих і непрямих витрат в процесі експлуатації електродвигунів, підвищення якості їх діагностики, а також надійності експлуатації актуальні у будь-якої галузі виробництва і сьогодні [1].

Відомі методи для оцінки стану електродвигунів:

- а) методи, засновані на аналізі вібрацій вузлів і елементів;
- б) методи, засновані на аналізі акустичних коливань, що створюються працюючою електромашиною;
- в) методи, засновані на вимірюванні і аналізі магнітного потоку в зазорі електромашини і зовнішнього магнітного поля;
- г) методи, засновані на вимірюванні і аналізі температури окремих елементів електромашини;
- д) методи діагностики механічних вузлів, зокрема підшипників, заснований на аналізі вміст металевих включень в маслі;
- є) методи, засновані на аналізі електричних параметрів електромашин;
- ж) методи діагностики стану ізоляції.

У методах, заснованих на аналізі електричних параметрів електродвигунів є невисока надійність із-за відсутності прогнозу для вчинення попереджувальних дій при захисті електродвигунів з частими пусками і стохастичною зміною експозиції та різними значеннями кратності струмових перевантажень [2].

Аналіз характерних частот спектру струму електродвигуна дозволяє свідчити про наявність пошкоджень електричної і/або механічної частини устаткування системи електроприводу. Загальним недоліком методу спектрального аналізу струму статора і спектрального аналізу модулів векторів Парку струму і напруги є необхідність обліку впливу параметрів живлячої мережі, характеру навантаження, дії зовнішніх електромагнітних полів, перехідних процесів. При використанні регульованого електроприводу на основі силових напівпровідникових перетворювачів в спектрах струмів виникають частоти, обумовлені комутацією вентилів. Для достовірного діагностування стану електродвигуна необхідно здійснювати обробку значень струму статора впродовж тривалого часу при постійній частоті обертання і навантаженні, що слабо змінюється. Для електродвигунів, що працюють в динамічних режимах з частими пусками і гальмуваннями, розглянуті методи не завжди придатні [3].

Запропоновано корисну модель для підвищення надійності роботи захисту, при стохастичній кратності та експозиції перевантажень електродвигуна, шляхом підвищення точності прогнозування нестационарних рядів за допомогою півтора вимірних (1,5) векторів моніторингу з найменшою похибкою прогнозування на час прийняття рішення для вчинення попереджувальних дій.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб захисту електродвигуна з використанням векторів моніторингу, що включає формування двовимірного часового ряду з часткових сум квадратів діючих значень струмів електродвигуна, поділених на кількість доданків часткових сум, формування решітчастого інформаційного поля за допомогою одновимірних ортогональних векторів вкладень двовимірного часового ряду, прийняття рішення про видачу попереджувального сигналу або відключення електродвигуна від мережі живлення при перевищенні прогнозним значенням в будь-якому з елементів двовимірного часового ряду гранично припустимого рівня. Новим є те, що прогнозують чергові значення векторів моніторингу за ортогональними осями і діагоналями півтора вимірного решітчастого поля та обирають для використання вектор моніторингу з найменшою похибкою прогнозування на час прийняття рішення.

При стохастичному характері зміни навантаження оперують не абсолютними, а еквівалентними за тепловими втратами значеннями діючих струмів. Якщо еквівалентний струм усереднюють на коротких проміжках часу (секундах), то виявити тривалі незначні 5%...10% струмові перевантаження неможливо. Якщо еквівалентний струм контролюють за допомогою усереднення на тривалих проміжках часу (десятьках хвилин), то неможливо вчасно виявити перевантаження пусковими струмами. Для надійної роботи захисту потрібен контроль діючих значень еквівалентних струмів у всьому діапазоні часів усереднення, тобто від Δt до $n \cdot \Delta t$, де Δt – крок дискретизації двовимірного часового ряду, n – кількість кроків. Для цього формують двовимірний часовий ряд з часткових сум квадратів діючих значень струмів поділених на кількість доданків часткових сум. Таким чином здійснюють перетворення одновимірного часового ряду діючих значень квадратів струмів в двовимірний, який представляє собою значення квадратів еквівалентних струмів з наростаючим часом усереднення. При цьому на одній вісі поєднані час і час усереднення.

В якості ортогональних, до двовимірного часового ряду, векторів вкладень обрано одновимірні часові ряди (так звані ряди лінійних фільтрів). Дискретний двовимірний часовий ряд з векторами вкладень створює решітчасте інформаційне поле з півтора вимірною (1,5)

інформацією. Вектори моніторингу знаходяться на кутах інформаційного поля. Прогнозування за допомогою інформації, що міститься у вузлах решітчастого інформаційного поля, можливе за ортогональними осями і діагоналями цього поля. Точність прогнозування за допомогою векторів моніторингу залежить від особливостей процесу навантаження. Цю особливість враховують тим, що з декількох векторів моніторингу вибирають той, що на момент прийняття рішення, наприклад, про видачу сигналу попереджувальної сигналізації, має найменшу похибку прогнозування. Таким чином, спосіб включає прогнозування за ортогональними осями і діагоналями векторів моніторингу, оцінювання похибки прогнозування на контрольованому інтервалі та вибір значення вектора моніторингу з максимальною вірогідністю прогнозування на час прийняття рішення [4].

Здійснюють спосіб наступним чином. Вибирають довжину і дискретність часового ряду. Довжина ряду повинна бути в межах 3...5 сталих часу нагріву електродвигуна. Дискретно вимірюють і підносять до квадрату діючі значення струмів електродвигуна. Після чергового їх заміру на перше місце часового ряду ставлять знов виміряне значення квадрата діючого струму, останнє значення часового ряду видаляють. До кожного з елементів часового ряду підсумовують останнє заміряне значення квадрата струму. В кожному з елементів пам'яті двовимірного часового ряду в порядку зростання знаходяться наступні значення сум квадратів струму електродвигуна

$$(I_1^2), (I_1^2 + I_2^2), (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2) \dots (I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2).$$

Квадрат еквівалентного значення струму дорівнює

$$I_{екв}^2 = (I_1^2 \Delta t_1 + I_2^2 \Delta t_2 + \dots + I_n^2 \Delta t_n) / (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n).$$

При рівності відрізків часу $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_n = \Delta t$ квадрати еквівалентного струму в кожному з n – елементів ряду буде дорівнювати

$$\begin{aligned} I_{екв1}^2 &= I_1^2; \\ I_{екв2}^2 &= (I_1^2 + I_2^2) / 2; \\ I_{екв3}^2 &= (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2) / 3; \\ &\dots; \\ I_{еквn}^2 &= (I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2) / n. \end{aligned}$$

Таким чином, якщо кожен з часткових сум в елементах ряду поділити на кількість її доданків, то отримаємо ряд з значеннями квадратів еквівалентних струмів з наростаючим часом усереднення. Одновимірний часовий ряд перетворюється в двовимірний часовий ряд квадратів еквівалентних струмів з наростаючим часом усереднення. При цьому на одній і тій же вісі маємо поєднання двох величин – часу і часу усереднення.

Для отримання додаткової інформації за допомогою ортогональних до двовимірного часового ряду векторів вкладень формують інформаційне поле. Одновимірні ортогональні вектори вкладень є лінійними фільтрами. Інформаційне поле може бути представлене наступним чином

$(I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2) / n$	$(I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_{n+1}^2) / n$	$(I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_{n+2}^2) / n$	...	$(I_n^2 + I_{n+1}^2 + \dots + I_{n+n}^2) / n$
...	...	...	...	...
$(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2) / 3$	$(I_2^2 + I_3^2 + I_4^2) / 3$	$(I_3^2 + I_4^2 + I_5^2) / 3$	...	$(I_n^2 + I_{n+1}^2 + I_{n+2}^2) / 3$
$(I_1^2 + I_2^2) / 2$	$(I_2^2 + I_3^2) / 2$	$(I_3^2 + I_4^2) / 2$	...	$(I_n^2 + I_{n+1}^2) / 2$
I_1^2	I_2^2	I_3^2	...	I_n^2

Півтора вимірні (1,5) вектори моніторингу нижнього кута інформаційного поля, які використовують інформацію вузлів решітчастого поля, мають наступний вигляд:

I_1^2	I_2^2	I_3^2	...	I_n^2
I_1^2	$(I_1^2 + I_2^2)/2$	$(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2)/3$	...	$(I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2)/n$
I_1^2	$(I_2^2 + I_3^2)/2$	$(I_3^2 + I_4^2 + I_5^2)/3$	...	$(I_{n-2}^2 + I_{n-1}^2 + \dots + I_n^2)/n$

Прогнозують зміну значень векторів моніторингу за ортогональними осями і діагоналями інформаційного поля. Оцінюють похибку прогнозування на контрольованому інтервалі. Вибирають вектор моніторингу з максимальною вірогідністю прогнозу на час прийняття рішення щодо оперативного втручання в роботу електропривода.

За допомогою вектору моніторингу, з максимальною вірогідністю прогнозу, визначають зміну значень в двовимірному часовому ряду. Рішення про відключення електродвигуна від мережі приймають по прогнозних значеннях квадратів діючих значень еквівалентних струмів.

Визначення гранично припустимих значень сум квадратів струмів в кожному елементі двовимірному часового ряду проводять, наприклад, виходячи з рекомендацій для реле з залежною витримкою часу, час відключення якого зменшується відповідно до збільшення характеристичної величини (ГОСТ 27918-88, п. 3.5.2).

Гранично допустиме значення сум квадратів струмів n -ного елемента пам'яті часового ряду дорівнює

$$\sum_1^n I_{екв}^2 / n = I_{ном}^2 [(K/n\Delta t) + 1],$$

де n - порядковий номер елемента пам'яті часового ряду, $I_{ном}$ - номінальний струм електродвигуна, K - постійна величина, Δt - період дискретизації.

Порівнюють прогнозні квадрати діючих значень еквівалентних струмів в елементах двовимірному часового ряду з їх гранично припустимими значеннями. При виході поточного значення за межі хоча б в одному з елементів двовимірному часового ряду відключають електродвигун від мережі. При виході прогнозованого значення за гранично припустимі межі приймають рішення про включення сигналізації та оперативного втручання в процес.

Спосіб забезпечує підвищення надійності роботи захисту, як при частих пусках, так і при великих короткочасних і малих тривалих перевантаженнях електродвигуна при стохастичній зміні кратності та експозиції, шляхом підвищення точності прогнозування нестаціонарних рядів на час прийняття рішення для вчинення попереджувальних дій.

Список літератури

1. Патент України на корисну модель № 42964. Спосіб захисту електродвигуна. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М. МПК H02N 7/08. Опубл. 27.07.2009.
2. Патент України на корисну модель №43034. Спосіб захисту електродвигуна. МПК H02N 7/08. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Розен В.П. Опубл. 27.07.2009.
3. Гелекс Р.Г. Неисправности электрических машин / Под ред. Р.Б.Уманцева. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 336 с.
4. Патент України на корисну модель №116392. Спосіб захисту електродвигуна з використанням векторів моніторингу. МПК H02N 7/08. Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Демчик Я.М., Докшина С. Ю. Опубл. 25.05.2017р.

УДК 621.316.9

Курач В.В., студент

Такташов Р. Р., студент

Дубовик В.Г.,

Лебедєв Л.М.,

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

КОНТРОЛЬ АВАРІЙНОГО СТАНУ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ

У статті показано, що запропонований пристрій дозволяє спростити контроль стану перетворювача частоти, підвищити його надійність експлуатації, запобігти виникненню аварійних режимів при порушенні справності вузла обмеження струму заряду конденсатора фільтру ланки постійного струму.

Ключові слова: перетворювач частоти, технічний стан, аварійні режими.

Kurach Viktoria, stud

Taktashov Rustam, stud.

Dubovyk Volodymyr,

Lebedev Lev

CONTROL OF THE EMERGENCY STATE OF TRANSFORMER OF FREQUENCY

It is shown in the article, that the offered device allows to simplify control of the state of transformer of frequency, promote his reliability of exploitation, prevent the origin of malfunctions at violation of good condition of knot of limitation of current of charge of condenser of filter of link of direct current.

Keywords: transformer of frequency, technical state, malfunctions.

При розробці перетворювачів частоти, драйверів управління електродвигунами використовується обмеження зарядного струму згладжуючи фільтрів з використанням конденсаторів значної ємності, встановленого на виході мережевого випрямляча. Не використання спеціальних засобів обмеження зарядного струму може привести до виходу з ладу елементів вхідних ланцюгів, що, у свою чергу, практично може спричинити за собою вихід з ладу елементів силових ланцюгів перетворювача частоти. Обмеження пускових зарядних струмів особливе важливо для випрямних і конвертерних систем, оскільки пускові кидки струму можуть привести до спрацювання запобіжників або перевищити допустимі рівні для випрямляча [1].

Популярність зарядного резистора пояснюється простотою і дешевизною реалізації, дуже високою надійністю при правильно підібраній потужності резистора, навіть при короткому замиканні в навантаженні схема з ладу не вийде, застосовується в ланцюгах змінного і постійного струмів. Такий метод має і негативні сторони, пов'язані з деякими ризиками. Наприклад, коротке замикання конденсатора або вихід з ладу реле, контакти якого шунтують зарядний резистор, приводять до того, що через постійний струмообмежуючий резистор протягом тривалого часу протікає великий струм і виділяється багато тепла, що може вивести з ладу як сам резистор, так і всю систему ланки постійного струму. Для того, щоб уникнути неприпустимо великих пікових струмів при заряді конденсаторів, як правило, використовується послідовно включений струмообмежуючий резистор. Цю функцію часто виконують постійний резистор або резистор з негативним температурним коефіцієнтом (NTC). В більшості випадків після заряду конденсаторів струмообмежуючий елемент

шунтується за допомогою реле, що спрацьовує або за часом, або по рівню достатньої напруги [2].

При використанні резистора з позитивним температурним коефіцієнтом (РТС) і досягненні напруги 95% від максимального зарядного рівня зарядний резистор з позитивним температурним коефіцієнтом працює так само, як і постійний резистор, і обмежує пікове значення зарядного струму. Проте при виникненні несправності власний опір терморезистора різко зростає, і це забезпечує зниження струму в ланцюзі до безпечного рівня. Наприклад, струм короткого замикання, протікаючи через терморезистор, нагріває його, і РТС переходить у високоомний стан, струм, що протікає в схемі з терморезистором швидко падає до безпечного рівня. При порівнянні, у разі використання постійного резистора при виникненні несправності великий струм нагріватиме постійний резистор і приведе до великих втрат енергії. Звичайно ж, потрібно використовувати резистор досить великих габаритів і потужності, що б працювати в такому режимі, так як, струм залишається постійним на високому рівні [3].

Запропоновано пристрій для контролю аварійного стану перетворювача частоти, що підвищує надійність експлуатації та використання перетворювача частоти шляхом запобігання виникнення аварійних режимів при порушенні справності вузла обмеження струму заряду конденсатора фільтру ланки постійного струму. На кресленні приведена структурна схема пристрою захисту перетворювача частоти.

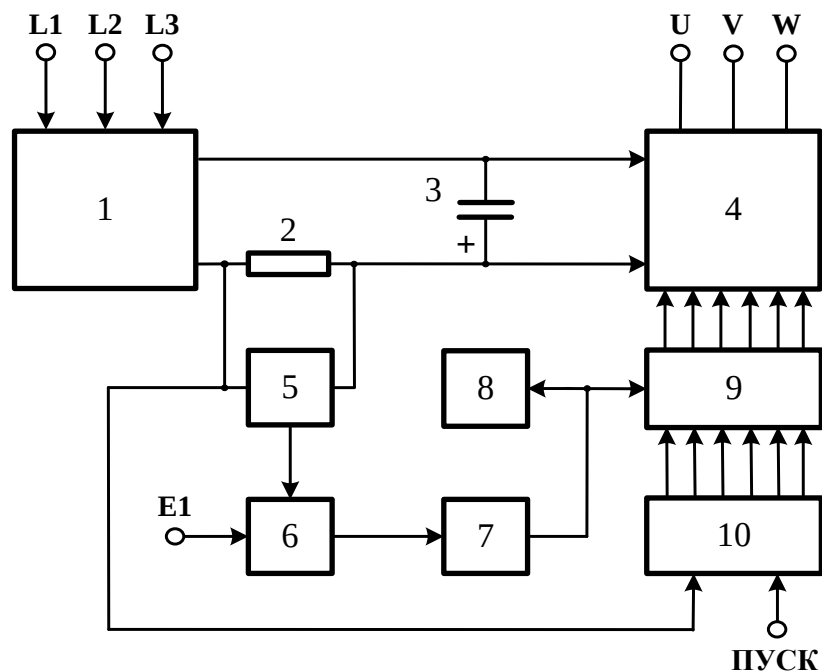


Рисунок – Структурна схема пристрою захисту перетворювача частоти

Пристрій захисту перетворювача частоти складається з випрямляча 1, вихід якого сполучено через резистор 2 з виводом конденсатора 3 та сьомим входом інвертора 4, перший та другий виводи резистора 2 сполучено з відповідними входами вузла 5 гальванічної розв'язки, вихід якого сполучено з входом елемента 6 порогового, другий вхід якого сполучено з джерелом постійної вхідної дії E1, вихід елемента 6 порогового сполучено з входом елемента 7 затримки, вихід якого сполучено з входом елемента 8 індикаторного та з входом ключового шестиканального елемента 9, шість інших входів якого сполучені з шістьма виходами блока

10 живлення та управління, а шість виходів сполучено з шістьма входами інвертора 4, восьмий вхід якого сполучено з другим виводом конденсатора 3 та з другим виходом випрямляча 1, перший вихід якого сполучено також з входом блока 10 живлення та управління, другий вхід якого сполучено з ланцюгом ПУСК [4].

Випрямляч 1 трифазний мостовий забезпечує перетворення трифазної змінної напруги від ланцюгів живлення L1, L2, L3 в постійну та може бути виконаний по схемі Ларіонова, яка складається з шести силових діодних елементів (діодні елементи на фіг. не показані).

Резистор 2 має бути сполучений з ланцюгами для шунтування, які на фіг. не приведено, та має постійне значення опору або його опір характеризується негативним температурним коефіцієнтом.

Конденсатор 3 фільтру забезпечує згладжування пульсацій випрямляча 1 та накоплення енергії і може бути виконаний з одного або декількох електролітичних конденсаторів.

Інвертор 4 являється вихідним блоком перетворювача частоти та забезпечує перетворення напруги постійного струму на його вході в напругу змінних значень вихідну трифазну з заданим значеннями частоти та може бути виконаний з використанням силових електронних ключів на основі шести IGBT транзисторів або використанням IPM модуля та забезпечує управління навантаженням, що підключають до виводів U, V, W. Для управління інвертором використовується шість сигналів у відповідності до кількості транзисторів.

Вузол 5 гальванічної розв'язки забезпечує перетворення вхідної напруги постійного струму в вихідну при заданому коефіцієнті передачі з використанням елементів гальванічної розв'язки на основі оптичних та інших каналів перетворення. Можуть бути використані також оптоелектронні елементи.

Елемент 6 пороговий забезпечує формування вихідного високого логічного рівня при умові перевищення значення вхідного сигналу рівня налаштування напруги джерела E1 постійної вхідної дії та має характеристики

$$U_6 = \begin{cases} 1 & \text{при } U_5 \geq E1, \\ 0 & \text{при } U_5 < E1. \end{cases}$$

Значення рівня E1 встановлюється при налаштуванні пристрою.

Елемент 7 затримки забезпечує формування вихідного сигналу, після зміни вхідного, з затримкою для недопущення випадкового спрацювання пристрою від перешкод та з урахуванням часу до шунтування резистора 2 та може бути виконаний з використанням операційного підсилювача. Шунтування резистора 2 настає з затримкою в відповідності до алгоритму функціонування перетворювача частоти після подачі живлення. Значення затримки встановлюється при налаштуванні пристрою.

Елемент 8 індикаторний забезпечує світлову індикацію аварійного стану перетворювача частоти при порушенні справності вузла обмеження струму заряду конденсатора, тобто резистора 2 або ланцюга та елементів його шунтування, які на фіг. не показано.

Ключовий шестиканальний елемент 9 забезпечує підключення шести виходів блока 10 живлення та управління до відповідних шести входів інвертора 4 при низькому логічному рівні сигналу на першому вході ($U_7 = 0$) та може бути виконаний в вигляді шестиканального електронного ключа, а розмикання зазначених ланцюгів відбувається при високому логічному рівні та має характеристику

$$U_9^i = \begin{cases} U_{10}^i & \text{при } U_7 = 0, \\ 0 & \text{при } U_7 = 1. \end{cases}$$

Блок 10 живлення та управління входить в склад перетворювача частоти та формує сигнали по визначеному алгоритму для управління інвертором 4 по сигналу ПУСК високого логічного рівня, який подається на другий вхід блока 4 живлення та управління, що забезпечує перехід перетворювача частоти з режиму очікування в робочий режим. Перехід перетворювача частоти в режим очікування виконується сигналом ПУСК низького логічного рівня. Живлення всіх вузлів блоків 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 перетворювача частоти забезпечується від імпульсного вузла блока 4, який формує необхідні вторинні напруги та має вхідне живлення від постійної напруги випрямляча 1. Ланцюги живлення всіх вузлів блоків 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 перетворювача частоти на рис. не показано.

Навантаженням перетворювача частоти може бути електродвигун трифазний, який підключають до ланцюгів виходів U, V, W інвертора 4. Ланцюги мережевого живлення, які підключають до входів L1, L2, L3 та навантаження перетворювача частоти на рис. не показано.

Використання резистора 2 для обмеження струму заряду конденсатора 3 є загальноприйнятою практикою. У цих застосуваннях конденсатори ланки постійного струму використовуються для згладжування пульсацій напруги, а також накоплення та зберігання енергії. При розробці частотних перетворювачів (ПЧ), драйверів управління електродвигунами виникає проблема з вузлом обмеження зарядного струму згладжувального конденсатора великої ємності, встановленого на виході мережевого випрямляча 1 на шини живлення інвертора 4. Часто розробником період заряду ємності фільтру недооцінюється або просто ігнорується. Причина такого відношення в стійкості діодів і транзисторів до ударних струмів, що виникають при заряді конденсатора. Для того, щоб уникнути неприпустимо великих пікових струмів при заряді конденсатора 3, використовується послідовно включений струмообмежувальний резистор 2. Цю функцію часто виконують фіксований резистор або резистор з негативним температурним коефіцієнтом. Вузли обмеження зарядного струму конденсаторів мають в своєму складі додаткові елементи комутації, які на кресленні не показано, та вимагають певного алгоритму включення пристрою. Після заряду конденсатора 3 струмо-обмежувальний резистор 2 шунтується за допомогою реле, що спрацьовує або за часом, або досягши напруги 95% від максимального зарядного рівня і далі відбувається підключення навантаження. Це дозволяє уникнути втрат енергії в стаціонарному режимі роботи ПЧ. Значення опору резистора 2 визначається значенням напруги, до якої може зарядитися конденсатор 3, перед подачею сигналу ПУСК. За відсутності аварійних ситуацій комбінації постійного резистора і реле цілком достатньо для обмеження зарядного струму. Проте таке рішення пов'язане з ризиками при виникненні несправностей в момент або після зарядки конденсаторів, наприклад, замикання конденсатора або вихід з ладу реле та його ланцюгів приводять до того, що через постійний струмообмежувальний резистор 2 протягом тривалого часу протікає великий струм і виділяється багато тепла, це може вивести з ладу як сам резистор, так і інші елементи та вузли перетворювача частоти.

Прийняті позначення U_n^i - амплітуда сигналу на i -му виході n -го блоку.

Для запуску ПЧ після попереднього підключеного навантаження (електродвигун) до його ланцюгів L1, L2, L3 подається напруга від мережі живлення. Змінна трифазна напруга проходить через випрямляч 1, на виході його появляється пульсуюча напруга постійного струму, яка подається на блок 10 живлення та управління, а також через резистор 2 проходить заряд конденсатора 3, який являється згладжувальним фільтром та далі подається на інвертор 4. Живлення всіх вузлів блоків 4 ÷ 10 перетворювача частоти забезпечується від імпульсного вузла живлення блока 10 живлення та управління, який формує необхідні вторинні напруги, ланцюги живлення всіх вузлів на фіг. не показано. Через час затримки, який визначається алгоритмом роботи ПЧ, резистор 2 шунтується контактами реле, яке на фіг не показано. Перетворювач частоти знаходиться в режимі очікування.

Розглянемо ситуацію роботи пристрою при справному вузлі обмеження струму заряду конденсатора. Після подачі живлення до ланцюгів L1, L2, L3 падіння напруги на резисторі 2 при заряді конденсатора 3 подається на вузол 5 гальванічної розв'язки, а далі з його виходу на елемент 6 пороговий, який забезпечує формування вихідного високого логічного рівня, так як, вхідний сигнал U_5 перевищує значення рівня налаштування напруги джерела E1 постійної вхідної дії відповідно до характеристики

$$U_6 = \begin{cases} 1 & \text{при } U_5 \geq E1, \\ 0 & \text{при } U_5 < E1. \end{cases}$$

Сигнал $U_6 = 1$ з виходу елемента 6 порогового подається на елемент 7 затримки та починає формувати час затримки, який встановлений більшим часу затримки на шунтування резистора 2 вузлом обмеження струму заряду конденсатора 3. Вихідний сигнал елемента 7 затримки низького логічного рівня подається на елемент 8 індикаторний, який при $U_7 = 0$ цьому не має світлової індикації, а також на ключовий шестиканальний елемент 9, який залишається замкнутим, так як, має характеристику

$$U_9^i = \begin{cases} U_{10}^i & \text{при } U_7 = 0, \\ 0 & \text{при } U_7 = 1 \end{cases}$$

при справному вузлі обмеження струму заряду конденсатора, настає шунтування резистора 2, сигнал елемента 7 затримки залишається в низькому логічному рівні. Після подачі сигналу ПУСК високого логічного рівня перетворювач частоти переходить в робочий режим, при цьому сигнали з шести виходів блока 10 живлення та управління подаються через шість замкнутих ключів блока ключового шестиканального елемента 9 на інвертор 4 і електродвигун починає розгін до значення швидкості, яке задане в блоці 10 живлення та управління. Зупинка електродвигуна та перехід перетворювача частоти в режим очікування виконується сигналом ПУСК низького логічного рівня, при цьому сигнали з шести виходів блока 10 живлення та управління дорівнюють нулю та далі проходять, аналогічно, розглянутому робочому режиму.

Розглянемо ситуацію роботи пристрою при несправному вузлі обмеження струму заряду конденсатора. Несправність може бути в випадках збільшення опору між контактами реле для шунтування резистора 2, неробочому стані реле шунтування та порушенні живлення в його ланцюгах. Реле для шунтування та ланцюги його контактів не приведено на рис. Після подачі живлення до ланцюгів L1, L2, L3 змінна трифазна напруга проходить через випрямляч 1, на виході його появляється пульсуюча напруга постійного струму, яка подається на блок 10 живлення та управління, а також через резистор 2 забезпечує заряд конденсатора 3 та далі подається на інвертор 4. Падіння напруги на резисторі 2 при заряді конденсатора 3 подається на вузол 5 гальванічної розв'язки, а далі з його виходу на елемент 6 пороговий, який забезпечує формування вихідного високого логічного рівня, так як, вхідний сигнал U_5 перевищує значення рівня налаштування напруги джерела E1 постійної вхідної дії відповідно до характеристики

$$U_6 = \begin{cases} 1 & \text{при } U_5 \geq E1, \\ 0 & \text{при } U_5 < E1. \end{cases}$$

Сигнал з виходу елемента 6 порогового подається на елемент 7 затримки, який починає формувати час затримки на шунтування резистора 2 вузлом обмеження струму заряду конденсатора 3. В даній ситуації вихідний сигнал елемента 7 затримки стане високого логічного рівня. Цей сигнал $U_7 = 1$ подається на елемент 8 індикаторний, на якому появиться світлова індикація аварійного стану, а також на ключовий шестиканальний елемент 9, який розмикається, так як, має характеристику

$$U_{10}^i \text{ при } U_7 = 0, \\ U_9^i = \\ 0 \text{ при } U_7 = 1,$$

при цьому сигнали з шести виходів блока 10 живлення та управління не можуть подаватися через шість ключів ключового шестиканального елемента 9 на шість входів інвертора 4 і робота перетворювача частоти блокується, так як, при подачі сигналу ПУСК високого логічного рівня, на шести виходах ключового шестиканального елемента 9 дорівнюють нулю, перетворювач частоти залишається в режимі очікування. Подальша робота перетворювача частоти можлива після усунення несправності.

Запропонований пристрій захисту перетворювача частоти дозволяє підвищує надійність експлуатації шляхом запобігання виникнення аварійних режимів при несправності вузла обмеження струму заряду конденсатора фільтру ланки постійного струму, – тобто запобігання включення навантаження при виході з ладу резистора, елементів для його шунтування.

Список літератури

1. Авторское свидетельство СССР №1292101. Устройство для защиты преобразователя. МПК H02N 7/12. Производственное объединение "Уралэлектротяжмаш" им. В.И.Ленина. Оpubл. 23.02.87.
2. Авторское свидетельство СССР №1684883. Преобразователь частоты с защитой. МПК H02M 5/27, H02N 7/10. Истринский филиал Всесоюзного электротехнического института им. В.И.Ленина. Оpubл. 15.10.91.
3. Авторское свидетельство СССР №864419. Устройство для защиты статического преобразователя частоты от перенапряжений. МПК H02N 7/10. Государственный научно-исследовательский институт имени Г.М. Кржижановского. Оpubл. 15.09.81.
4. Патент України на корисну модель №120273. Пристрій захисту перетворювача частоти. H02N 7/10. Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Литвиненко С.О., Драчов Е.В., Паламарчук О.П. Оpubл. 25.10.2017.

Гордієнко Б.Ю.; Пермяков В. М. к.т.н.

ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО СТРУМУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ.

У статті розглядаються шляхи покращення характеристик системи асинхронно-вентильний каскад за допомогою використання фаззи-регулятора.

Ключові слова: регульований електропривод, вентиляційна установка, асинхронно-вентильний каскад, нечітка логіка, фаззи-регулятори

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ.

В статье рассматриваются пути улучшения характеристик системы асинхронно-вентильный каскад с помощью использования фаззи-регулятора.

Ключевые слова: регулируемый электропривод, вентиляционная установка, асинхронно-вентильный каскад, нечеткая логика, фаззи-регуляторы

IMPROVEMENT OF THE CHARACTERISTICS OF THE CONTROL SYSTEM IN THE VARIABLE ALTERNATED CURRENT SPEED DRIVE USING FUZZY LOGIC.

The article discusses ways to improve system performance of wound-rotor slip recovery system using fuzzy logic.

Keywords: variable speed drive, ventilation systems, wound-rotor slip recovery system fuzzy logic, fuzzy controllers

Вступ. Під нечітким управлінням розуміється стратегія управління, заснована на емпірично придбаних знаннях щодо функціонування об'єкту (процесу), представлених в лінгвістичній формі у вигляді деякої сукупності правил. Застосування нечіткого регулювання в СУ дозволяє істотно поліпшити якість управління складними об'єктами в порівнянні з традиційними алгоритмами управління, які будуються на основі аналітичних моделей.

Алгоритми керування з використання нечіткої логіки реалізуються в системах керування електроприводом програмним способом. В програмованих контролерах передбачаються модулі з інструкціями для користувачів, а в промислових контроллерах – програмні засоби з набором стандартних ситуацій.

Аналіз стану питання. До останнього десятиліття минулого століття в побудові систем управління електроприводів домінував традиційний підхід, який не завжди характеризується працездатним управлінням складними нестаціонарними об'єктами. Розвиток силової електроніки і обчислювальної техніки в останні десятиліття дозволив створювати сучасні приладові електроприводи, в яких все частіше почали використовуватися інтелектуальні системи управління, здібні до «розуміння» і навчання у відношенні об'єкту управління, обурень, зовнішнього середовища і умов роботи. Простота і дешевизна розробки систем фаззи-управління примушує проектувальників все частіше прибігати до цієї технології. Нечіткі системи дозволяють підвищити якість продукції при зменшенні ресурсо – і енерговитрат і забезпечують вищу стійкість до дії чинників, що заважають, в порівнянні з

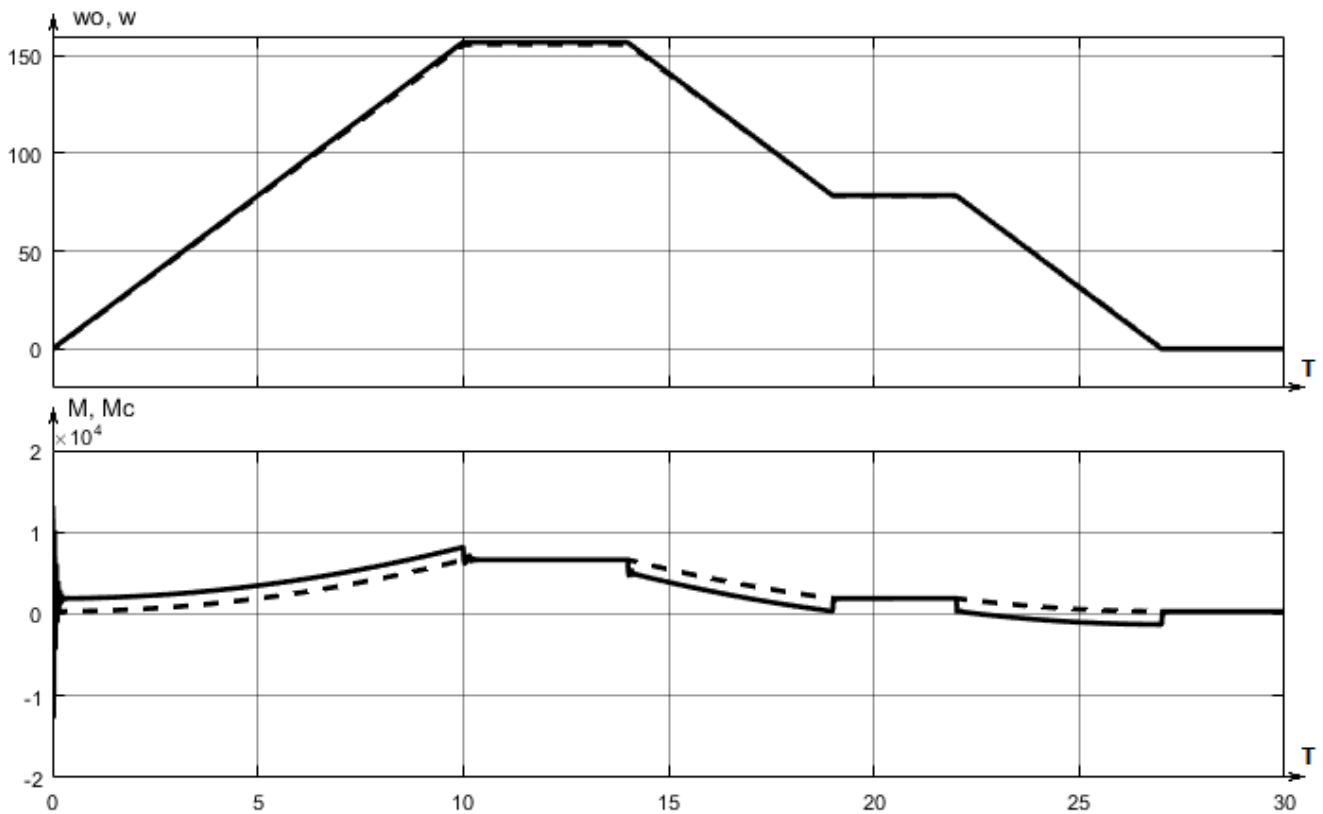


Рисунок 2 – Графічні результати моделювання системи АВК в середовищі MatLab

Нечітка логіка використовується для заміни традиційних алгоритмів керування і спільно з ними. В простішому випадку замість традиційного регулятора використовують фаззі-контролер(ФК). При побудові нечіткого регулятора виходять із припущення, що експерти зможуть сформувати базу правил в формі ЯКІЩО(передумова) ТО(висновок).

Проектування нечіткого регулятора являє собою циклічно протікаючий процес, який лише після багатьох ітерацій дозволяє досягти необхідної якості керування. Узагальнена процедура проектування представлена у вигляді алгоритму. Однак, оскільки власне ядро фаззі-регулятора (фаззифікація, механізм нечітких логічних висновків, дефазифікація) не має внутрішньої динаміки, то принципово неможливо в найпростішому випадку забезпечити необхідну динамічну поведінку регулятора. Якщо ставиться завдання забезпечення будь-якої динамічної або нединамічної поведінки регулятора (наприклад, подібну до класичного ПІД-регулятора), то це завдання вирішується введенням у контур управління блоку підготовки контрольованих параметрів на основі даних виміру сигналів датчиків. Цей блок забезпечує розрахунок необхідних параметрів на основі вимірюваної помилки регулювання (похідні, інтеграли й т.п.) і є, на відміну від класичних регуляторів, не складовою частиною регулятора, а самостійним модулем. Якщо деякі процеси об'єкта керування погано піддаються формалізації й математичному опису, то в існуючій системі керування використовують фаззі-контролер паралельно традиційному регулятору.

При використанні методів каскадного керування із класичним регулятором у внутрішньому контурі фаззі-контролер може бути застосований у зовнішньому контурі. Фаззі-контролер може бути розташований паралельно традиційному регулятору або послідовно з ним.

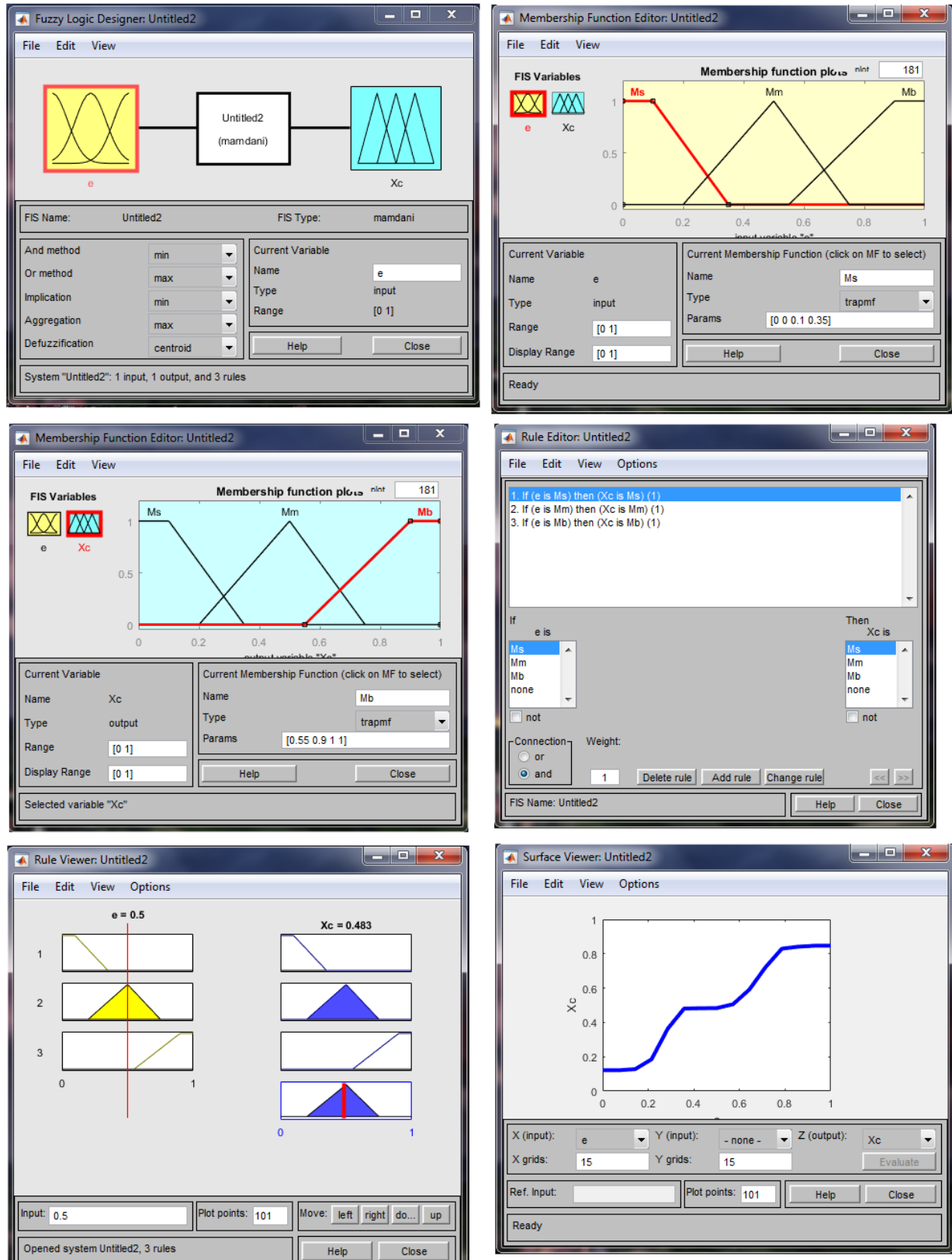


Рисунок 3 – Процес моделювання нечіткої системи.

Для побудови графіків залежності функцій приналежності $\mu_S(e)$, $\mu_M(e)$, $\mu_B(e)$ від вхідного сигналу в режимі командного рядка створюється m-файл, який містить оператори для завдання діапазону зміни вхідного сигналу, оператори, які описують форму функцій приналежності і команда побудови графіка разом з екранною сіткою. Для обчислення координат центрів тяжіння фігур під графіками залежності функцій приналежності від вхідного сигналу (процес дефазифікації) складемо m-файл, який містить оператори для завдання діапазону зміни вхідного сигналу, оператори, які описують форму функцій приналежності і оператор, який виконує дефазифікацію «гравітаційним» методом (centroid).

На рис. 4. зображено систему АВК з фаззі-контроллером, який розташований паралельно традиційному П-регулятору швидкості.

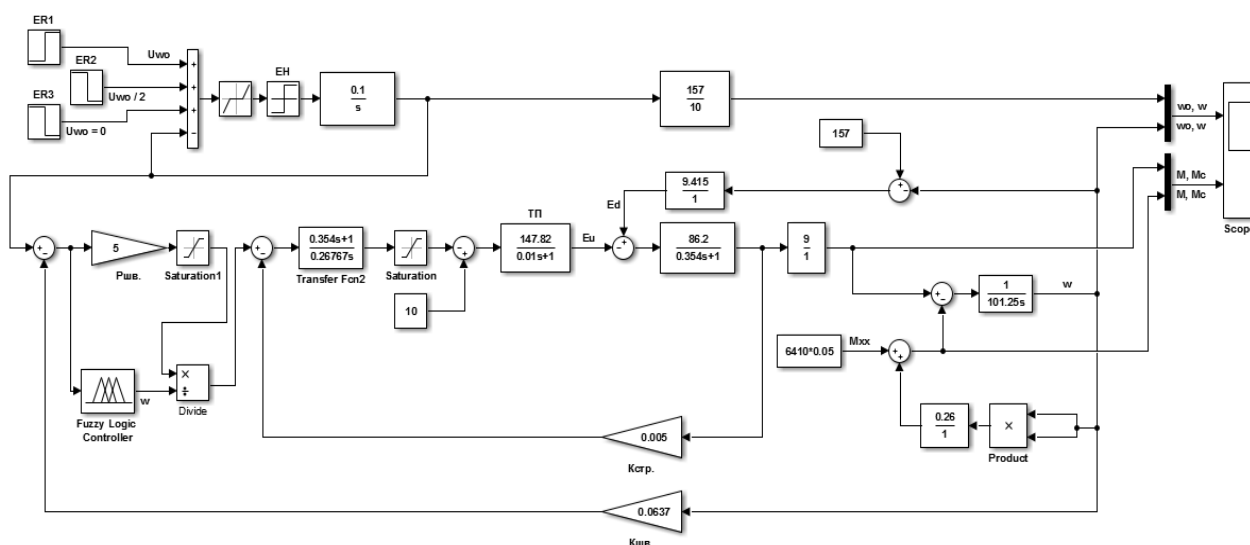


Рисунок 4 – Математична модель АВК з фаззі-контроллером в середовищі MatLab

Графічні результати моделювання представлені на рис. 4.

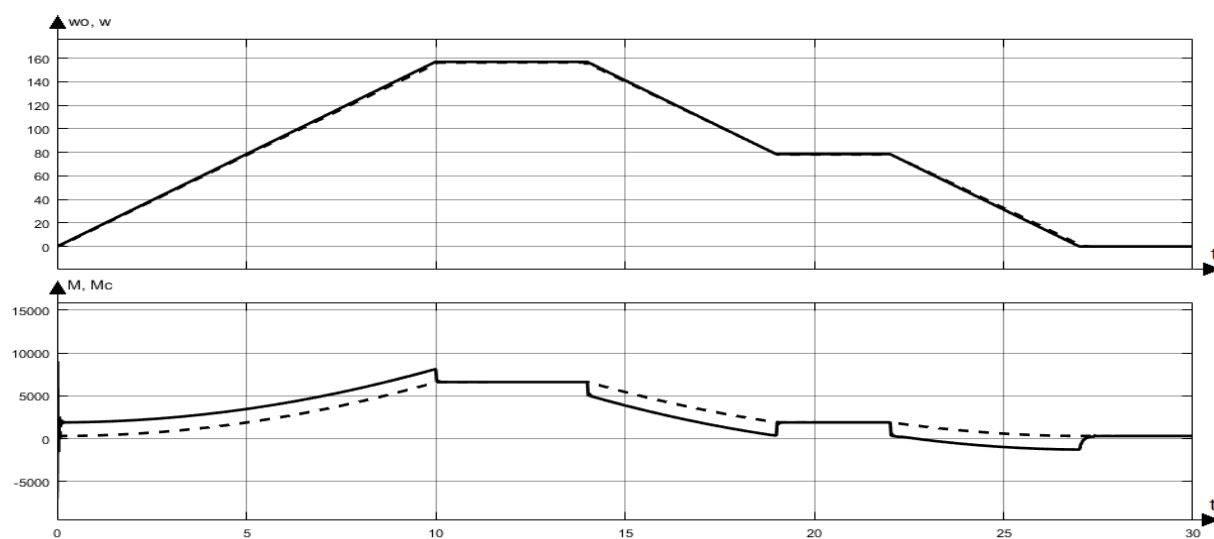


Рисунок 5 – Діаграми швидкостей та навантажень з фаззі-контроллером

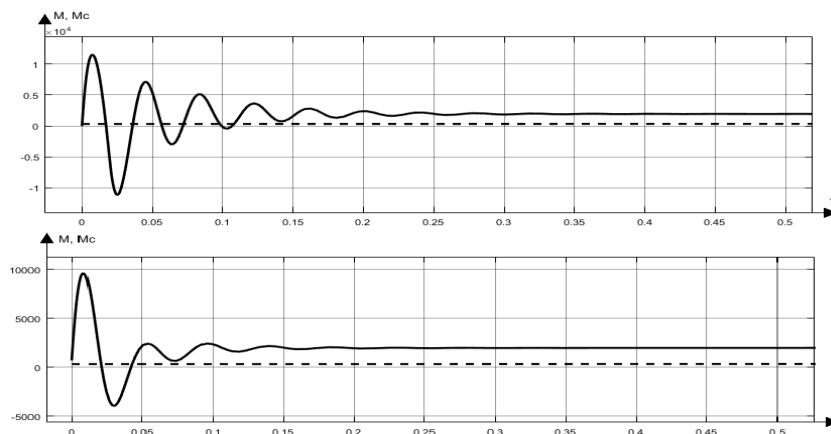


Рисунок 6 – Порівняння коливань моменту при пуску двигуна

Висновки. В даній роботі для покращення якості регулювання системою асинхронно-вентильний каскад паралельно регулятору швидкості у системі встановлюється фаззі-контролер. При рішенні задачі виконано наступне: розроблена схема моделі нечіткої системи в Simulink системи MATLAB, виконаний синтез Fuzzy регулятора з використанням пакету Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB для заданого об'єкту управління.

При синтезі Fuzzy регулятора вибрані лінгвістичні змінні і задані множини всіх лінгвістичних змінних, сформовано базу правил, визначені діапазон зміни, тип і параметри функцій приналежності всіх лінгвістичних змінних. Як показали дослідження, змінюючи тип і параметри функцій приналежності, діапазон їх зміни можна сконструювати Fuzzy-регулятор, що дозволяє понизити динамічні навантаження в системі електроприводу.

Після реалізації цієї системи в середовищі MATLAB можна зробити висновок, що після застосування фаззі-контролера характеристики системи стали кращими, ніж при використанні системи без нього.

Як видно з графіків, використання ФК є більш доцільним, оскільки зменшуються коливання сигналу статичного моменту в системі, які були присутні в звичайній системі АВК.

Основною перевагою фаззі-контролера є те, що він не вимагає знання математичного опису керованим об'єктом.

Нечіткі системи дозволяють підвищити якість регулювання системи при зменшенні ресурсу – і енерговитрат і забезпечують високу стійкість до дії чинників, що впливають на неї, в порівнянні з традиційними системами автоматичного управління.

Список літератури.

1. Чермалых В.М. Нечеткая логика в интеллектуальных системах программного управления. Чермалых А.В., Алтухов Е.И., Данилин А.В. – К.: НТУУ "КПИ" ІЕЕ, 2006 Г.
2. Фаціленко В.Н. Регульований електропривод насосних і вентиляційних установок гірничих підприємств : Навч. допомога. - М.: Видавництво "Гірська книга", 2011. - 260 с.
3. Лісовський В.С., Закладний О.М., Борисюк М.Г., Гуманюк Я.М. Автоматизація виробничих процесів у гірничій промисловості, - К.:Факт, 2001 р.

УДК 62-83:621.313.2

Тишевич Б.Л. канд.техн.наук, **Корнійчук М.В.** магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

СИСТЕМА РОБАСТНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО СТРУМУ

У статті аналізується можливість побудови робастної системи управління електроприводом змінного струму. Подібні приводи, під час експлуатації піддаються змінному навантаженню, через що можуть виникати невизначеності параметрів та зовнішні збурення. Для компенсації таких проявів розглядається стратегія керування, яка базується на оцінювачі невизначеності та збурень.

In this article analyzes the possibility of robust controlling the AC drive. These drives are subject to variable load during operation, which may cause uncertainty of the parameters and external perturbations. To compensate for such manifestations, a control strategy based on an estimator of uncertainty and disturbances is considered.

Вступ. Існує потреба в надійній системі управління електроприводом, яка буде підтримувати стабільну роботу при наявності невизначеностей та зовнішніх збурень. Ці невизначеності - це варіації фізичних параметрів електродвигуна, які виникають із часом. Є різні методи, які були розроблені для надійного контролю для обчислення невизначеностей, наприклад, такий як Н-нескінченність. Але цей підхід вимагає знання верхньої та нижньої меж невизначеності або збурень. Проте, у програмах контролерів систем управління, які працюють у режимі реального часу, існує обмежений рівень щодо таких невизначеностей та збурень. Тобто, такий підхід може не дати бажаного результату.

Аналіз стану питання. Методика оцінки невизначеності та збурень (ОНЗ), виявилася дуже ефективною для вирішення проблеми оцінки невизначеностей та збурень у реальному часі[1]. Основна ідея методики полягає в оцінці невизначеності та збурень інтегрованим чином, з використанням фільтру першого порядку, з наступною компенсацією негативного впливу. Ще однією відмінною рисою цієї методики є те, що вона не вимагає жодних знань про величини та межі зміни невизначеності або збурення. Оцінка здійснюється динамічно та одразу йде компенсація. За таким підходом розроблено декілька варіантів ОНЗ [2,3].

Існує два типи динаміки навантаження, що представляють типові промислові механічні навантаження - механічне навантаження на жорсткий вал та механічне навантаження на гнучкий вал. Така динаміка навантаження цікава тим, що вона зустрічається в різних галузях промисловості [4]. Ці механічні навантаження подібні до навантажень, що спостерігаються для приводів в шахтних підйомниках, ліфтових установках, вентиляторів, насосів і т.і.

Електроприводи працюють з самими різними навантаженнями, в самих різних режимах: тривалому, повторно-короткочасному, короткочасному режимах. В процесі роботи обладнання електроприводу з часом зношується, що призводить до погіршення статичних і динамічних характеристик, а іноді і до аварійних ситуацій. Тому якісне і точне керування із своєчасним визначенням несправностей обладнання електроприводу є актуальним завданням.

Мета роботи. Метою данної роботи є використання ОНЗ при розробці робастної системи керування для промислових електроприводів.

Методики, матеріали і результати досліджень. Будь-яка електромеханічна система складається з механічної частини та електроприводу, який складається з електродвигуна та перетворювача частоти. Рівняння, яке описує динаміку механічної частини має вигляд:

$$M_e = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega, \quad (1)$$

де M_e – момент на валу двигуна; J – момент інерції; B – коефіцієнт в'язкого тертя; ω – кутова швидкість вала двигуна.

Спочатку моделювалася система навантаження на жорсткий вал за допомогою електродвигуна, який створював збурення з моментом навантаження M_L та кутовою швидкістю ω_L .

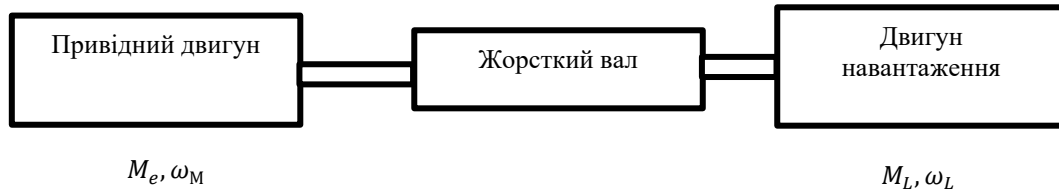


Рисунок 1. Структурна схема з'єднання для жорсткого валу

Двигун навантаження мав момент інерції J_L та коефіцієнт тертя B_L . Відповідно до [5] загальні моменти інерції та коефіцієнти тертя:

$$J_{em} = J_M + J_L; \quad (3)$$

$$B_{em} = B_M + B_L. \quad (4)$$

Спочатку рівняння двох двигунів розглядаються окремо, а потім об'єднуються до загальної передавальної функції системи. Ці рівняння ґрунтуються на (1):

$$M_L(s) = J_L s \omega_L(s) + B_L \omega_L(s); \quad (5)$$

$$M_e(s) = J_M s \omega_M(s) + B_M \omega_M(s) + M_L(s). \quad (6)$$

Відповідно до жорсткого валу кутові швидкості визначаються:

$$\omega_M(s) = \omega_L(s). \quad (7)$$

Рівняння (6) може бути переписано:

$$M_e(s) = (J_M + J_L) s \omega_L(s) + (B_M + B_L) \omega_L(s). \quad (8)$$

Для подальших розрахунків, виходячи з рівняння (8) та враховуючи (3) та (4), створюємо передавальну функцію, яка по'язує ω_L та M_e :

$$W_{em}(s) = \frac{\omega_L(s)}{M_e(s)} = \frac{1}{J_{em}s + B_{em}}. \quad (9)$$

Для створення ОНЗ складаємо математичний опис системи у просторі станів. Нехай θ – кут повороту вала двигуна і ω – кутова швидкість, тоді рівняння у просторі станів для механічної системи навантаження з жорстким валом і з врахуванням передавальної функції (9) будуть мати вигляд:

$$\dot{\theta} = \omega; \quad (10)$$

$$J\dot{\omega} + B\omega = u(t), \quad (11)$$

де $u(t) = M_e(t)$.

Переходимо до канонічної форми запису рівнянь у просторі станів:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J} \end{bmatrix} u . \quad (12)$$

Сигнал управління u визначається з відслідковування ω асимптотично заданого значення:

$$u = J(u_a + v), \quad (13)$$

де v – сигнал управління, який забезпечує задану динаміку системи.

Нехай задане значення швидкості буде ω_{ref} , тоді похибка відслідковування:

$$\omega_e = \omega_{ref} - \omega , \quad (14)$$

тоді обираємо

$$u_a = \frac{B}{J} \omega , \quad (15)$$

та

$$v = \dot{\omega}_{ref} - k\omega_e , \quad (16)$$

де k – це користувацький коефіцієнт посилення зворотнього зв'язку, який може бути вибраний під час проектування, і динаміка системи може бути змінена для виконання умови:

$$\dot{\omega}_e - k\omega_e = 0 . \quad (17)$$

Після того, як визначені базові математичні залежності, переходимо до формування закону роботи ОНЗ. Електромеханічна система з невизначенністю параметрів та збуренням, як сукупними впливами, була розглянута у [1]:

$$\dot{\omega} = (A + \Delta A)\omega + (B + \Delta B)u + d , \quad (18)$$

де ΔA та ΔB – відповідають невизначенностям процесу, а d – зовнішнє збурення. Ці величини ($\Delta A\omega$, $\Delta B u$ та d) об'єднані в одному невідомому параметрі D :

$$\dot{\omega} = A\omega + Bu + D . \quad (19)$$

Динаміка системи з жорстким валом при наявності невизначенності та збурення може бути виражена через :

$$\dot{\omega} = -\frac{B}{J} \omega + \frac{1}{J} u + D . \quad (20)$$

Розрахувати компенсацію впливу від D можна, якщо нова змінна управління u_d буде визначатися через (13) яка буде змінена:

$$u = J(u_a + v + u_d) , \quad (21)$$

де u_d буде визначатися як

$$u_d = -\hat{D} . \quad (22)$$

При впливі на електромеханічну систему зовнішніх збурень та появи невизначенностей, $\hat{D}$ розглядається як оцінка спостерігача за D :

$$\hat{D} = W_f(s)D . \quad (23)$$

Основна ідея, при розробці ОНЗ полягає в тім, щоб пропустити данні D через фільтр першого порядку і отримати нові данні $\hat{D}$, як оцінку спостерігача. Фільтр першого порядку может бути описаний передавальною функцією:

$$W_f(s) = \frac{1}{\tau s + 1}, \quad (24)$$

де τ – стала часу фільтру.

Стала часу обирається достатньо великою, щоб пропустити через фільтр данні з D .

Виходячи з (19) та (23) можна отримати співвідношення:

$$\hat{D} = W_f(s)(\dot{\omega} - v - u_d) , \quad (25)$$

звідки $u_d = -\hat{D}$.

Далі, виходячи з (25):

$$-u_d = W_f(s) (\dot{\omega} - v - u_d) ; \quad (26)$$

$$u_d (W_f(s) - 1) = W_f(s) (\dot{\omega} - v); \quad (27)$$

$$u_d = \frac{W_f(s)}{W_f(s)-1}(\dot{\omega} - v); \quad (28)$$

$$u_d = -\frac{1}{\tau s}(\dot{\omega} - v); \quad (29)$$

$$u_d = -\frac{1}{\tau s}(\omega - \int v dt). \quad (30)$$

Остаточно, закон за яким буде працювати ОНЗ визначається виходячи з (21) та (30):

$$u_d = B\omega + J(\dot{\omega}_{ref} - k\omega_e) - \frac{J}{\tau}(\omega - \int v dt). \quad (31)$$

Моделювання робастного управління для електромеханічної системи з жорстким валом проводилось для $\omega_{ref} = 100$ рад/сек. Коефіцієнт посилення зворотнього зв'язку k в (16) дорівнював 10 для встановлення часу регулювання в межах 0,4 сек і перерегулювання 10%. Номінальні значення J_{em} і B_{em} , були обрані з [5] 0,00013 кгм² і 0,00052 Нмс відповідно. Відтепер моделювання системи із алгоритмом ОНЗ, в процесі управління, використовує змінні u_d , v та u , а при управлінні без ОНЗ означає, що буде використовуватись тільки u і v . Найгірший випадок виникає тоді, коли існує невизначеність як для J_{em} та B_{em} , які були прийняті до збільшення у п'ятикратному розмірі. Величини невизначеності та збурення були обрані виходячи з того, що в реальних умовах промислового застосування двигунів, вони можуть досягати таких величин. Отже, різні умови навантаження проявляються через J_L і B_L , що в свою чергу, призводить до варіацій J_{em} та B_{em} . При моделюванні передбачалося, що невизначеності і збурення постійні та обмежені. Результати моделювання показані на рисунку 2. На рисунку 2,а показаний графік перехідної функції системи з ОНЗ та без застосування алгоритму. На рисунку 2,б показані графіки для різної швидкості з невизначеністю та збуренням. У цьому випадку задана швидкість складає 100 рад/сек для перших 2 сек, потім зменшується до 50 рад/сек для наступних 2 сек, потім вона піднімається до 200 рад/сек, а потім знижується до 100 рад/сек. На практиці, привод має працювати за різними швидкостями для різного рівня навантаження. Система задовільно стежить за зміною інтегрального параметра D , використовуючи алгоритм на основі ОНЗ, як показано на рисунку 3.

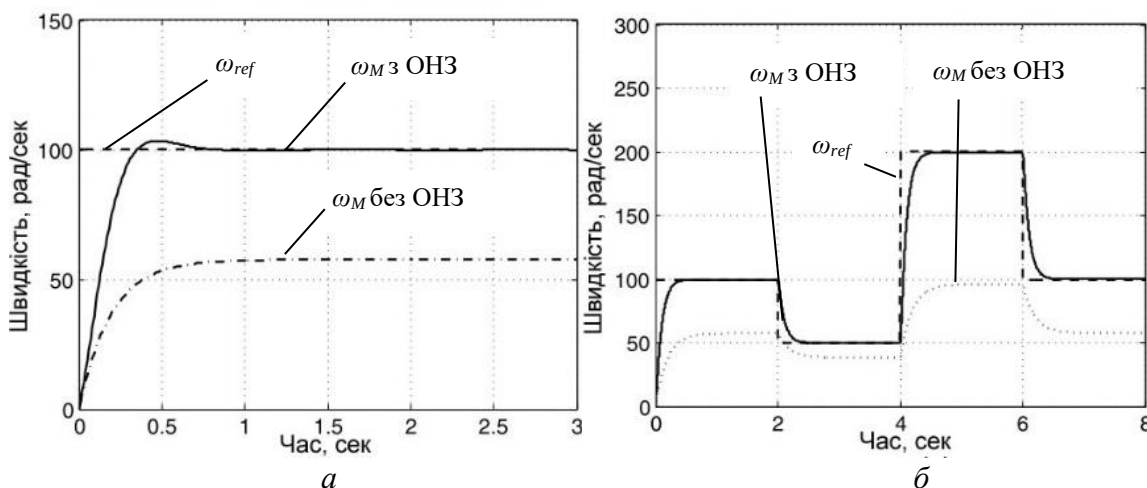


Рисунок 2,а – графік перехідного процесу системи; б – графік роботи зі зміною швидкості.

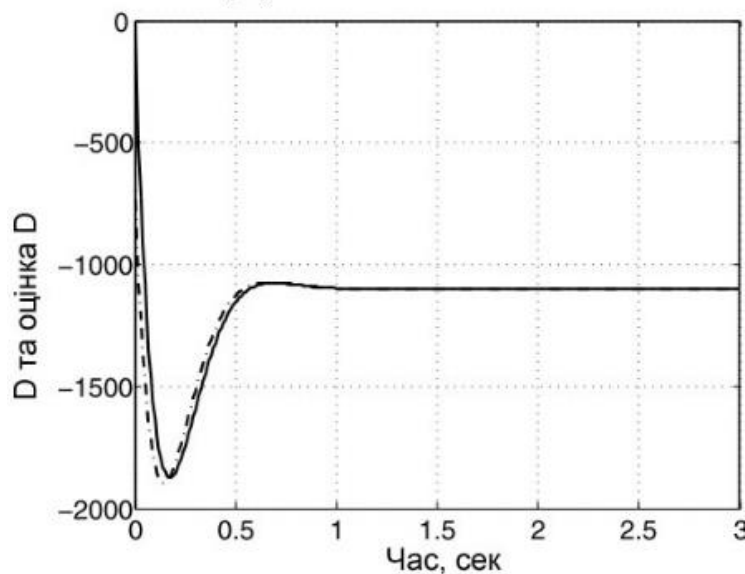


Рисунок 3. Графіки зміни даних невизначенності та збурення D (штрих-пунктирна) та оцінювання $\hat{D}$ (суцільна).

Висновки. При використанні методики ОНЗ досягається значно більша швидкодія та точність тому, що ОНЗ починає працювати одразу після надходження сигналу заданої швидкості. Досить висока точність зберігається при значному діапазоні зміни швидкості та навантажень.

Враховуючи отримані результати, можна зробити висновок, що можливо практично створювати промислові робастні мікроконтролерні системи управління, придатні для використання в діючих технологічних комплексах для управління електроприводами змінного струму.

Література.

1. Zhong, Q.C. and Rees, D. (2004). Control of uncertain lti systems based on an uncertainty and disturbance estimator. *Journal of dynamic systems, measurement, and control*, 126(4), 905–910.
2. Zhong, Q.C., Kuperman, A., and Stobart, R. (2011). Design of ude-based controllers from their two-degrees-of-freedom nature. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 21(17), 1994–2008.
3. Sun, L., Zhang, Y., Li, D., Lee, K., Zhang, X., et al. (2015). Ude-based 2-dof control design for input/output delay system. In *American Control Conference (ACC)*, 2015, 3974–3979. IEEE.
4. Arellano-Padilla, J. (2003). *Fuzzy-sliding mode control approach to the robust position control of servo drive systems*. Ph.D. thesis, University of Nottingham.
5. Okaeme, N. (2008). *Automated robust control system design for variable speed drives*. Ph.D. thesis, University of Nottingham.

УДК 621.313.3

Б.Л. Тишевич, к.т.н., доцент, **М.В. Орлов**, магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

ВЕКТОРНЕ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО СТРУМУ З МАТРИЧНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

Розглядаються особливості використання матричного перетворювача частоти в електроприводі з синхронним двигуном у порівнянні з традиційним мостовим перетворювачем частоти. Оцінюються переваги використання матричного перетворювача частоти при роботі у системі векторного управління при визначенні точного положення ротору синхронного двигуна.

In this article analyzed features matrix using a frequency converter with electric induction motor compared with a traditional bridge frequency converter. Investigates benefits of using matrix frequency converter during the work with vector control system for determining the exact position of the rotor synchronous motor.

Вступ. Синхронний двигун являє собою електричну машину змінного струму, частота обертання ротора якої дорівнює частоті обертання магнітного поля. На невеликі потужності (до 10 кВт) такі двигуни в основному виконують з постійними магнітами на роторі (СДПМ). На даний момент даний тип двигунів є найбільш перспективним для регульованого електроприводу. Вони мають цілий ряд переваг: високі енергетичні показники (ККД більше 90%); менші масу і габарити при однаковій потужності з асинхронними двигунами та двигунами сталого струму; широкий діапазон зміни частоти обертання; висока переважувальна здатність по моменту; великий термін служби і висока надійність.

Крім вищеперелікованого - основною перевагою синхронного електродвигуна є можливість отримання оптимального режиму по реактивній енергії. Синхронний двигун може працювати, не споживаючи і не віддаючи реактивної енергії в мережу, при коефіцієнті потужності рівним одиниці. У цих умовах працюючий синхронний двигун навантажує мережу тільки активним струмом.

Аналіз стану питання. Управління швидкістю СДПМ здійснюється з використанням «векторного управління» при якому необхідно знати положення і швидкість ротора для орієнтації і швидкості поля в замкнутому контурі управління. В останні часи дуже інтенсивно проводяться дослідження для безсенсорних систем «векторного управління», які базуються на моделі електромашини в якій за зворотньою ЕРС визначається магнітний потік [1].

Проте, такий підхід не дає надійних результатів при низькій швидкості СДПМ. Було запропоновано метод для безсенсорної системи при якому додатково до параметрів СДПМ враховуються сигнали які визначають стан напруги та струму живлення [2]. При цьому, положення ротору залежить від параметрів модуляції напруги та струму живлення, що дає більш точну інформацію про координати ротора, також і при низьких швидкостях.

Завдання оцінки координат ротора ускладнюється при використанні традиційних мостових перетворювачів для СДПМ, які унеможливають точне визначення координат ротору внаслідок нелінійностей, таких як часові «мертві зони» та падіння напруги і струму до нульових значень [3]. Тому, в останні роки, значну увагу було приділено розвитку матричним

перетворювачам частоти (МПЧ), які за структурою є прямими АС-АС перетворювачами і здатні генерувати напругу майже ідеальної форми вільної від недоліків напруги, які притаманні мостовим перетворювачам[4].

Мета роботи. Дослідити особливості використання електроприводу СДПМ з застосуванням МПЧ. Порівняти МПЧ з традиційними мостовими перетворювачами. Визначити, як підвищується точність оцінювання координат ротору СДПМ при застосуванні МПЧ.

Методики, матеріали і результати досліджень. У звичайному перетворювачі частоти вхідна змінна напруга з допомогою випрямляча (діодного моста) перетворюється в напругу постійного струму який живить, в свою, чергу вихідний інверторний міст. А останній вже формує вихідний сигнал змінного струму, що подається на двигун. Частота і напруга змінного струму на двигуні постійно регулюється контуром управління, і, таким чином, двигун видає потрібну швидкість і крутний момент. Ця схема стала звичною, хоча має цілу низку недоліків: передається високий рівень гармонік назад в мережу, має низький коефіцієнт потужності; подача енергії односпрямована і для рекуперації потрібно додатковий блок рекуперації, що підвищує вартість електроприводу в 2-2,5 рази і збільшує габарити і складність системи.

Застосування МПЧ дозволяє вирішити всі ці нагальні проблеми. Конструкція МПЧ нескладна - три фази живлення підключаються до двигуна за допомогою матриці напівпровідникових двонапрямлених перемикачів (рисунок 1). При впорядкованій роботі цих перемикачів напруга і частота вихідної потужності двигуна можуть регулюватися з високою точністю.

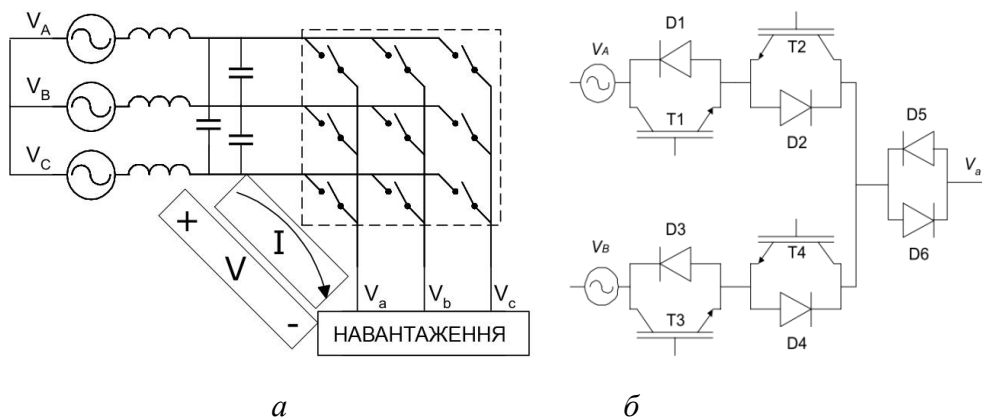


Рисунок 1. Схема МПЧ: а – структурна схема; б – схема з'єднання перемикачів

Матричний перетворювач належить до групи перетворювачів частоти з безпосереднім зв'язком (без проміжної ланки постійного струму). Кожен з перемикачів складається з двох польових транзисторів з ізолюваним затвором (IGBT). В силовій схемі перетворювача використовується 18 IGBT. Силові ключі на IGBT під'єднані так, що енергія може як підводитися до двигуна, так і відводиться назад у мережу при гальмуванні і рекуперації.

Розглянемо комутацію фаз вхідних напруг V_A та V_B , коли струм є позитивним або негативним. Графіки перемикання, де представлені чотири етапи, які визначають формування напруги на виході показані на рисунку 2 [5].

Типова тривалість «мертвої зони», де напругу неможливо визначити, складає приблизно 200 нс, що значно нижче ніж аналогічний час для мостових перетворювачів.

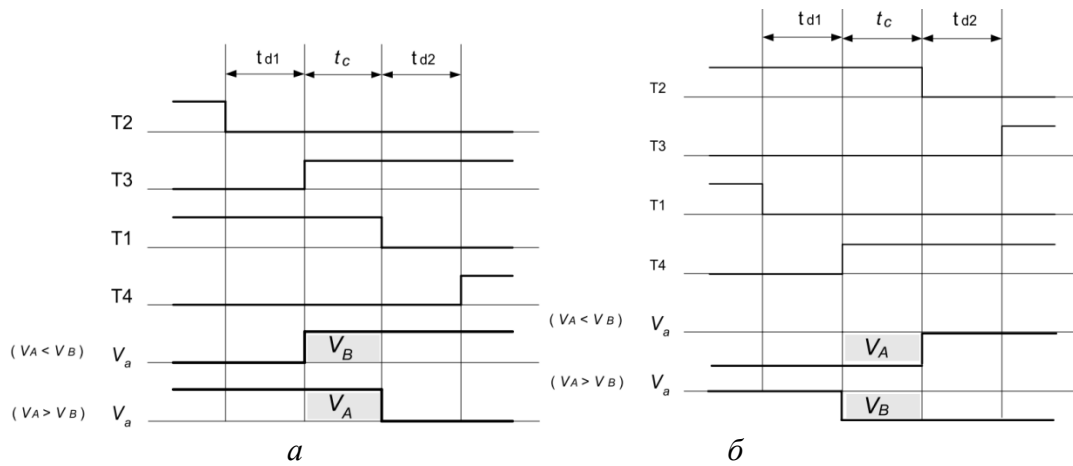


Рисунок 2. Чотири етапи комутації для позитивного (а) та негативного (б) струму.

Для визначення точного положення ротора СДПМ при безсенсорному управлінні запропоновано метод корекції, який дає високі результати при використанні МПЧ [6]. Недоліком методу можна вважати необхідність застосування продуктивної мікропроцесорної техніки та проведення стендових досліджень.

Сутність методу полягає у виділенні (фільтрації) гармонійних складових низького порядку - струмів I_{alfa} , I_{beta} , які визначають положення ротору. Значення струмів I_{alfa} , I_{beta} визначаються через фільтрацію струмів I_α , I_β при переході від трьохфазної до двофазної системи координат (перетворення Кларка) в системі векторного управління СДПМ, як показано на рисунку 3.

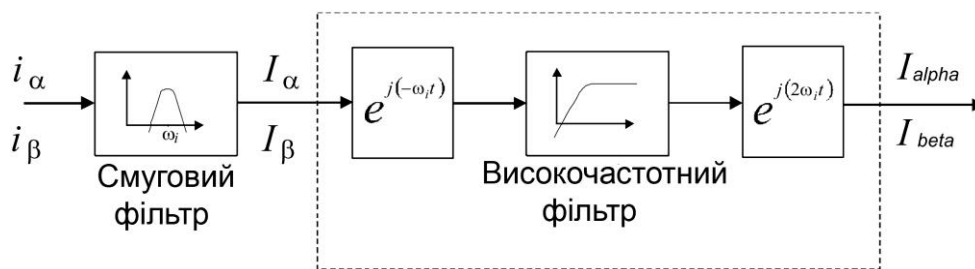


Рисунок 3. Структурна схема визначення I_{alfa} , I_{beta}

На стенді, з використанням датчиків моменту, фіксуються дані про положення ротора при дискретному навантаженні і при використанні тільки двох параметрів (амплітуди та фази) кожної гармонійної складової у сигналах I_{alfa} , I_{beta} які визначають положення ротора. Для кожного рівня навантаження складається вибірка даних. Фундаментальна складова I_{alfa} , I_{beta} виділяється за допомогою смугового фільтру Батерворта. Спектральний склад I_{alfa} , I_{beta} обмежується (фільтрується) низькочастотним фільтром. Різниця між центральною частотою фільтру Батерворта та частотою зрізу низькочастотного фільтру приблизно два порядки. Далі обчислюється різниця між сигналами з обох фільтрів і заноситься у таблицю як функція від положення ротора, як зображено на рисунку 4.

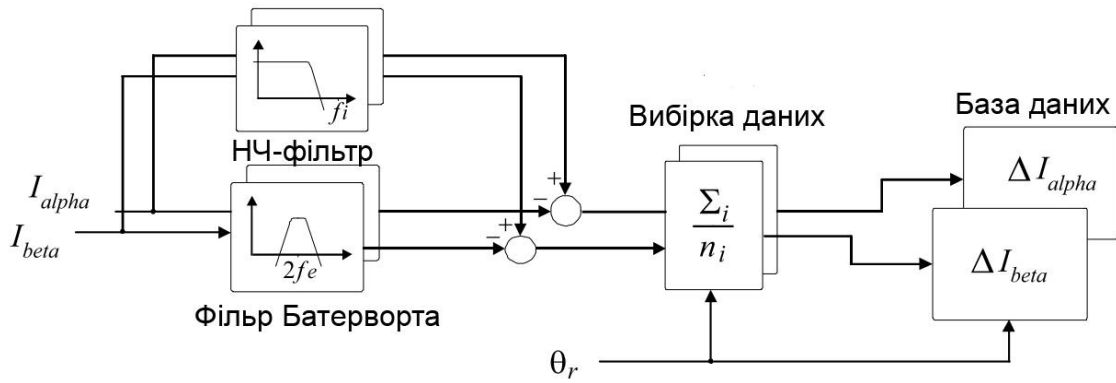


Рисунок 4. Структурна схема обробки сигналів для створення бази даних, де θ_r – дійсне положення ротора.

Остаточно, система для визначення обчислювального положення ротору з використанням системи обробки сигналу представлена на рисунку 5. Адресація до даних які були занесені у базу даних на стенді, здійснюється за значенням струму i_{sq}^* , для двофазної змінної системи координат, та уточненого положення ротора $\hat{\theta}_r$. За цими значеннями обираються ΔI_{alfa} , ΔI_{beta} , які фільтруються, здійснюється перехід до визначення проміжного оціночного положення ротора $\hat{\theta}_\delta$ та здійснюється корекція зсуву фази, з врахуванням насичення, яка визначається струмом поточного моменту i_{sq}^* . Після всіх процедур визначається уточнене положення ротору $\hat{\theta}_r$.

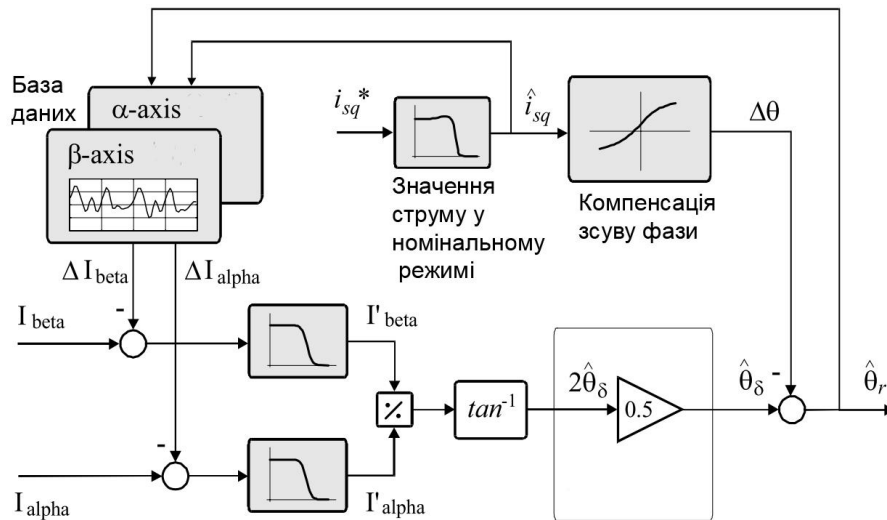


Рисунок 5. Структурна схема послідовності операцій для точного визначення положення ротору.

Після досліджень були отримані графіки зміни струмів I_{alfa} , I_{beta} які визначають положення ротора та графіки зміни швидкості обертання ротору СДПМ (рисунок 6). Як видно із графіків, після застосування корекції значно підвищується точність регулювання швидкістю ротора.

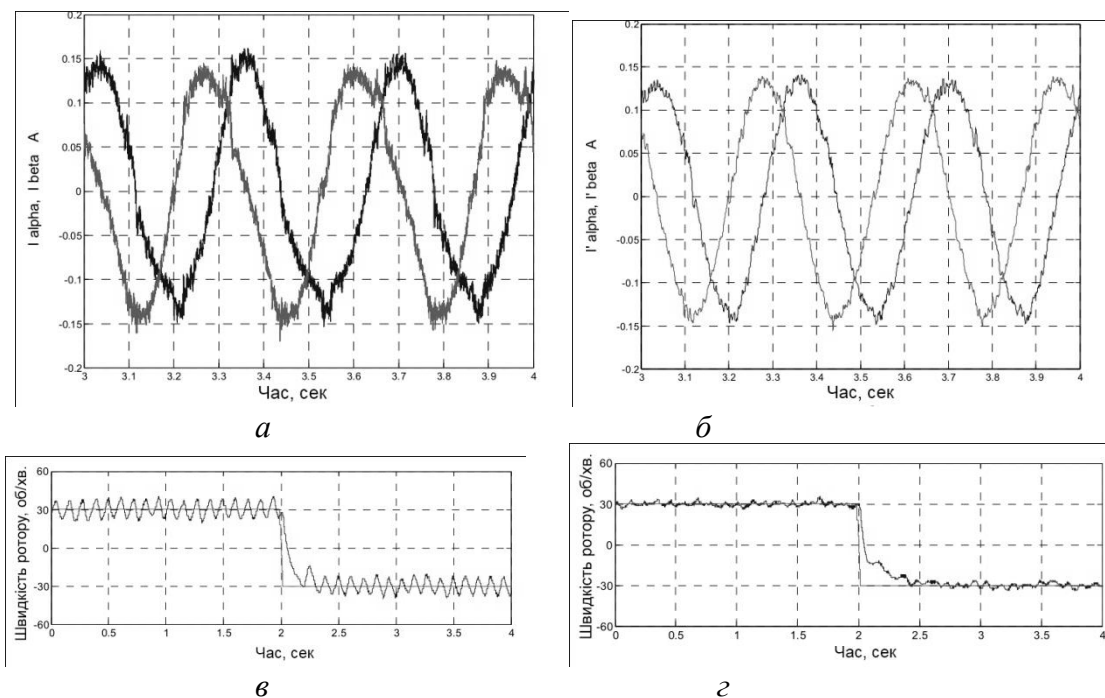


Рисунок 6. Графіки зміни струмів I_{α} , I_{β} та швидкості ротору: *а, в* - без корекції положення ротору; *б, г* - при застосуванні корекції положення ротору.

Висновки. Використання векторного управління забезпечує «безсенсорне» визначення положення ротору відносно статора і відповідне управління полем статора за найбільшою ефективністю. Використання МПЧ у електроприводі СДПМ дає переваги в точності при визначенні положення ротору і як наслідок, підвищення якості регулювання швидкістю у широкому діапазоні. Головною перевагою МПЧ є мінімізація нелінійних характеристик - основною з яких є "провали" напруги та струму, що призводить до їх несинусоїдальної форми. Як видно з отриманих результатів - поєднання МПЧ з методикою корекції оціночного положення ротору, підвищує якість регулювання швидкості для електроприводів з СДПМ.

Література

1. Wu R. A permanent magnet motor drive without a shaft sensor [Text]/ R. Wu, G. Slemon // IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 27, no. 5, pp. 1005- 1011, Sept./Oct. 1991.
2. Jansen P. Transducerless position and velocity estimation in induction and salient AC machines [Text] / P. Jansen, R. Lorenz // IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 31, no. 2, pp. 240-247, March/April 1995.
3. An HF Signal-Injection Based Observer for a Wide Speed Range Sensorless PM Motor Drives Including Zero Speed [Text]: European Power Electronics Conf. EPE Toulouse 2003 / [C. Silva and other].
4. Minimisation of Commutation Delays in Power Converters [Text]: European Power Electronics Conference. EPE Toulouse 2003 / [M. Bland and other]..
5. Matrix converters: a technology review [Text] / P. Wheeler, J. Rodriguez, J. C. Clare, L. Empringham, A. Weinstein. // Industrial Electronics, IEEE Transactions page(s): 276-288 Volume: 49, Issue: 2 Apr 2002.
6. Encoderless Position Control of Induction Machines [Text]: presented at EPE Conference, Graz, Austria, 2001/ [N. Teske and other].

УДК 62-83:621.313.2

Тишевич Б.Л. канд.техн.наук, Тицький В.В. магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАСОСНИХ УСТАНОВОК НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

У статті аналізується можливість управління електроприводом змінного струму насосних установок нафтоперекачувальної станції за допомогою нейронної мережі. В якості базової системи розглядається електропривод з управлінням за допомогою частотного перетворювача, який на цей час широко застосовується для технологічних установок різноманітного призначення.

In this article analyzes the possibility of controlling the AC drive for pumping units of the oil pumping station with the help of a neural network. The base system is considered with an electric drive controlled by a frequency converter er, which is now widely used for process plants for different purposes.

Вступ. Одним зі способів підвищення енергоефективності об'єктів технічної системи є використання контролерів на основі штучних нейронних мереж, як наприклад - можливість використання нейроконтролера в прямому управлінні моментом асинхронного двигуна (АД). Одним з можливих варіантів реалізації такої концепції є оптимізація базових об'єктів споживання електроенергії. На даний момент в світі електроприводи споживають більшу частину виробленої електроенергії, з цього випливає потреба в удосконаленні механізмів управління даними електроприводами, а також у зниженні втрат в цих приводах. Одним з найбільш перспективних варіантів автоматизованих електроприводів можна назвати частотно-регульований електропривод оснащений АД з короткозамкненим ротором, що пов'язано з оптимальним співвідношенням ціна/якість, налагодженим виробництвом, малими витратами на обслуговування, крім цього даний двигун має високий коефіцієнт корисної дії та є досить надійним в експлуатації.

Аналіз стану питання. Складні електротехнічні установки з електроприводами використовуються в багатьох галузях виробництва таких, як верстатобудування, машинобудування, в гірничодобувній і нафтовидобувній промисловості. Електроприводи працюють з самими різними навантаженнями, в самих різних режимах: тривалому, повторно-кратковчасному, коротковчасному режимах. В процесі роботи обладнання електроприводу з часом зношується, що призводить до погіршення статичних і динамічних характеристик, а іноді і до аварійних ситуацій. Тому якісне і точне керування із своєчасним визначенням несправностей обладнання електроприводу є актуальним завданням.

Мета роботи. Інтелектуалізація системи управління електроприводом насосних установок нафтоперекачувальної станції. Для цього, спочатку, потрібно створити математичну модель електродвигуна змінного струму, за певними параметрами, та обрати структуру та параметри нейронної мережі для управління двигуном. Метою даної роботи є розширення функціональних можливостей керування АД з застосуванням нейронних мереж. До основних завдань відносяться: розробка програмного модуля системи управління АД на основі нейронної мережі, адаптація процесів управління до мінливих параметрами

навантаження, тобто до динамічного навантаження, реалізація всієї системи для управління, в реальному масштабі часу, швидкодіючим технологічним процесом.

Методики, матеріали і результати досліджень. Обираємо АД з короткозамкнутим ротором 5АЗМВ-3150/10000 з потужністю 3150 КВт. Електричні машини в загальному випадку є багатофазними. Вони описуються системами диференціальних рівнянь високого порядку, аналіз яких ускладнений. Для спрощення переходимо від багатофазної електричної машини до двофазної [1, 2]. Складаємо модель у пакеті MATLAB.

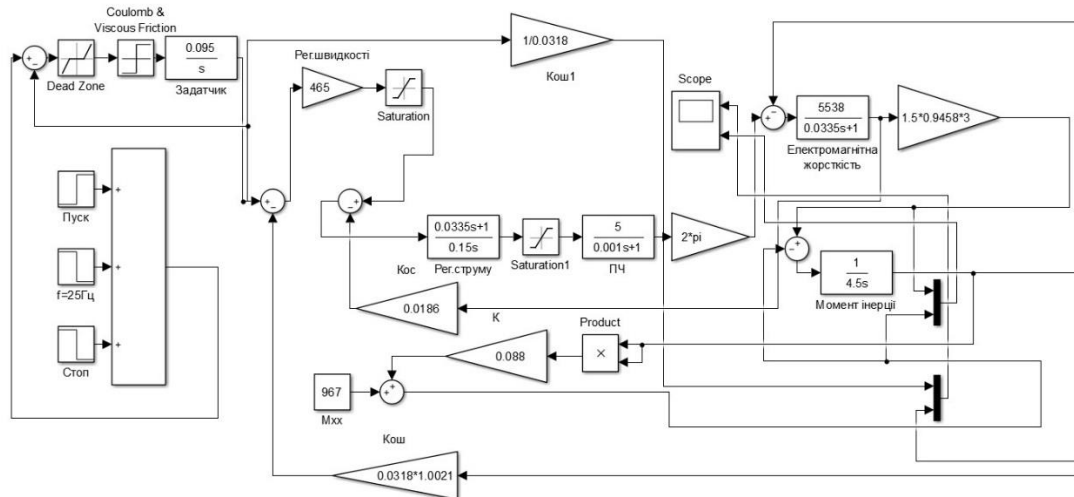


Рисунок 1. Структурна схема електроприводу.

У якості нейронної мережі для управління швидкістю АД було обрано найбільш точний за показниками якості управління контролер NARMA-L2 [3]. Першим кроком є ідентифікація об'єкту. Нейронна мережа безпосередньо навчається прямій динаміці системи. Модель нелінійної авторегрессионної ковзної середньої (NARMA) використовується для представлення загальних нелінійних об'єктів як АД у дискретному часі.

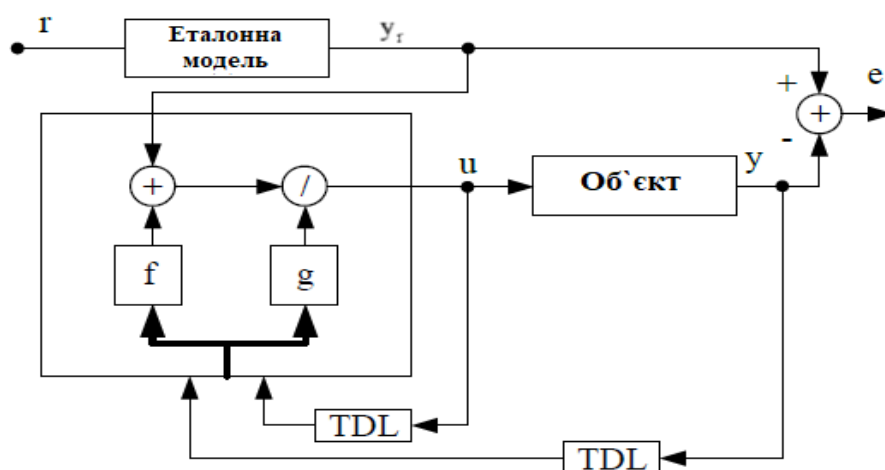


Рисунок 2. Блок-схема контролера NARMA-L2

Для навчання нейронної мережі, визначення функції g і мінімізації середньоквадратичної помилки необхідно використовувати динамічний метод зворотного поширення помилки. Це може потребувати багато обчислень. Запропоновано використання

наближених моделей для представлення складної, нелінійної системи. Подібним методом визначається і функція f .

Після остаточного моделювання були отримані графіки перехідних процесів в електроприводі змінного струму при керуванні нейроконтролером.



Рисунок 3. Перехідний процес швидкості ω та моменту M системи ПЧ – АД (з нейроконтролером).

Висновки. При використанні контролера NARMA-L2 досягається значно більша швидкодія, тому що математичну модель об'єкту представляють спрощено, так щоб сигнал керування на наступному кроці, не брав участі у формуванні функцій апроксимації нелінійностей сигналів зворотнього зв'язку, при цьому досягається висока точність керування.

Враховуючи отримані результати, можна зробити висновок, що можливо практично створювати промислові нейромережеві системи управління, придатні для використання в діючих технологічних комплексах для управління електроприводами змінного струму.

Література.

1. Фурсов В.Б. Моделирование электропривода: учеб. пособие / В.Б. Фурсов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. 105 с.
2. Фурсов В.Б. Моделирование в системе SimPowerSystem. Учебное пособие. Воронеж.: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2005. 116 с.
3. Saerens M., Soquet A. Neural controller based on back-propagation algorithm// IEE Proc. F. 1991. Vol.138, No. 1. P. 55-62.

**СЕКЦІЯ 4.
МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

УДК 622.23.05

Гасленко В. І., студент VI курсу

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Сліденко В. М., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

САМОАКТИВОВАНИЙ УДАРНИЙ ЗУБЕЦЬ

При проведенні гірничих та будівельних робіт, найбільш трудомісткі є роботи по руйнуванню міцних порід та важких ґрунтів. Найбільшого поширення серед існуючих способів руйнування гірських порід та ґрунтів набув механічний спосіб.

Недоліком механічного способу руйнування гірських порід та важких ґрунтів є необхідність застосування двох машин: однієї - для розпушування, іншої - для екскавації.

Використання, в якості робочих органів екскаваторів, ковшів активної дії з віброзубцями дозволило розпушувати і виконувати екскавацію порід без залучення додаткових засобів механізації, однак при цьому виникає необхідність в використанні паралельного джерела енергії для приведення в дію віброзубців. Саме через цей недолік віброзубці не знайшли широкого впровадження в практику, а в більшості застосовувались виключно в дослідницьких цілях.

Запропоновано технічне вирішення проблеми збільшення продуктивності екскаватора без застосування допоміжних паралельних приводів, шляхом використання традиційного механізму гідромеханічної подачі ковша для самоактивації ударного зубця за умови різкого підвищення опору ґрунта.

Проведене моделювання, за допомогою теорії Зеленіна, дозволило встановити діапазон квазістатичної реалізації сили подачі ковша для ґрунтів четвертої категорії за числом ударів ударника ДорНДІ. Автоматичний перехід в ударно-коливальний режим різання здійснюється за умови руйнування ґрунтів вище четвертої категорії та частково мерзлих ґрунтів. При цьому енергія зарядки ударного зубця поступає від одного джерела – гідроприводу ковша екскаватора в звичайному режимі різання.

Висновок: Використання, в якості зубця екскаватора ударного зубця самоактивованої дії дозволило реалізувати механізм адаптації машини до умов робочого середовища без застосування додаткового паралельного приводу, а з використанням традиційного механізму подачі ковша екскаватора, що дозволяє підвищити продуктивність руйнування ґрунту без залучення додаткових засобів механізації.

Ключові слова: ковш активної дії, продуктивність екскаватора, самоактивована дія, ударний зубець.

УДК 622.276

Кучинський С.О. студент VI курсу

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Сліденко В.М., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДЕПРЕСИВНО-ІМПУЛЬСНИЙ ВПЛИВ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

В процесі розробки нафтового родовища вдається освоїти лише 40-60% вуглеводнів зі всього обсягу покладів. В зв'язку з необхідністю підвищення обсягу та продуктивності видобутку вуглеводнів на сьогодні широке застосування знайшли імпульсно-хвильові технології впливу на привибійну зону нафтової свердловини.

В Київському політехнічному інституті ім. Ігоря Сікорського розроблена конструкція депресивно-імпульсного генератора коливань з приводом від заглибного штангового насоса, який традиційно застосовується для видобутку нафти на більшості родовищ України.

Депресивно-імпульсний генератор коливань встановлюється в свердловині приєднанням до нижньої частини штангового насоса, який має привод з поверхні через колону штанг від верстата-гойдалки. При поступально-зворотному русі штанг насос створює депресію в камері генератора, що дозволяє, під дією зовнішнього гідростатичного тиску, привести в рух механізм зведення плунжера та клапана керування генератора. При досягненні визначеного переміщення спряжених плунжера і клапана проходить спочатку відкриття депресивної камери, з потужним перетіканням рідини в депресивну камеру, а потім - різке перекриття потоку, що призводить до гідроудару. Гідроудар породжує хвилю репресії, яка по хвилеводу, який складається з пакету насосно-компресорних труб, передається у привибійну зону нафтової свердловини і через перфораційні отвори в обсадній колоні діє на пластову систему, знеміцнюючи її та утворюючи нові канали провідності вуглеводнів з пласта до свердловини. Надалі, на кожному ході штангового насоса реалізується 2...5 імпульсів тиску в межах до 10 МПа.

Для розгерметизації робочих камер при підйомі насоса на поверхні і зливу нафти в свердловину, що необхідно за екологічними вимогами, передбачена установка мембранного клапана, який саморуйнується при збільшенні тиску в затруб'ї нафтової свердловини, за допомогою насосного агрегату.

Розроблені математичні моделі генератора і мембранного клапана дозволили встановити геометричні і силові параметри для забезпечення раціонального режиму функціонування депресивно-імпульсного генератора коливань.

Висновок: Розроблені конструкції і математичні моделі генератора коливань та мембранного клапана дозволяють реалізувати ефективний імпульсний вплив на привибійну зону і пластову систему та підвищити продуктивність видобутку вуглеводнів.

Ключові слова: імпульсний вплив, привибійна зона, підвищення продуктивності, генератор коливань.

УДК 622.231.5

Проченко Я.М., студент V курсу

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Сліденко В.М., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДИНАМІЧНИЙ ГАСНИК КОЛИВАНЬ КОРПУСУ ГІДРОМОЛОТА

Проблема впровадження енергоощадних імпульсних технологій для гірничого машинобудування пов'язана з максимальною адаптацією машин до умов робочого середовища. Одним із напрямків в розв'язанні цієї проблеми є впровадження змінних виконавчих органів – гідромолотів, встановлених на екскаватор, стріловий робочий орган прохідницького комбайна або щита.

Застосування гідромолотів у вугільній, гірничорудній, будівельній, металообробній та інших галузях промисловості дозволяє механізувати багато трудомістких технологічних процесів і збільшити в 1,5 – 2 рази продуктивність у порівнянні з ручною працею при одночасному підвищенні якості робіт.

Недоліком в роботі гідромолотів є виникнення шуму та вібрації, які негативно впливають на базову машину та оператора. Для зниження шуму та вібрації використовують засоби пасивного та активного віброзахисту. Активні системи віброзахисту мають обмежене застосування у зв'язку з підвищеною складністю та габаритністю. Пасивні системи віброзахисту застосовуються частіше і реалізується в основному через демпфери, які знижують динамічні навантаження. Одним із ефективних елементів пасивного віброзахисту є динамічний віброгасник.

Розроблена конструкція та математична модель гідромолота з динамічним гасником коливань. Гасник коливань складається з об'єкта що захищається – корпусу гідромолота та елемента, який приєднується через пружину безпосередньо до корпусу гідромолота. Маса елемента і жорсткість пружини розраховані так, що забезпечують режим антифазних коливань відносно корпусу гідромолота зі зниженням динамічних навантажень, які передаються від гідромолота на базову машину. При цьому віброгасник налаштовується на частоту вимушеної зовнішньої сили. Найбільш ефективно застосовувати динамічне віброгасіння систем, коливання яких наближені до резонансу. Для таких систем динамічний гасник забезпечує мінімальне значення амплітуди коливань аж з наближенням її величини до нуля.

Висновок: Розроблені конструкція та математична модель динамічного гасника коливань дозволяють реалізувати режим ефективного віброгасіння і, що важливо, – зменшення надлишкової маси корпусу гідромолота, яка необхідна для погашення ударних навантажень реакції віддачі. Розроблена конструкція рекомендується до впровадження у виробництво.

Ключові слова: гідромолот, корпус, динамічний гасник, резонанс.

УДК 622.276

Магеровський І.Т., студент VI курсу

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Шевчук С.П., д. т. н, професор

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СТРУМИННИЙ НАСОС РЕПРЕСИВНО-ДЕПРЕСИВНОЇ ДІЇ

Проблема інтенсифікації видобутку вуглеводнів є актуальною в Україні і припускає збільшення одиничної потужності технологічного впливу за умови мінімізації енергетичних витрат та збільшення продуктивності нафтових свердловин з застосуванням комплексної дії пристроїв інтенсифікації.

Для підвищення продуктивності нафтових свердловин шляхом очищення привибійної зони свердловини та збільшення проникливості пластової системи часто використовуються хімреагентна обробка привибійної зони, після якої застосовують струминний насос, як пристрій для видалення залишкових продуктів хімічної реакції. Подача хімреагентів у привибійну зону в основному проводиться за умови статичного протиснення хімреагентів через перфораційні отвори обсадної колони в колекторську пластову систему свердловини.

В КПІ ім. Ігоря Сікорського розроблено конструкцію струминного насоса репресивно-депресивної дії, яка, за умови потужної подачі рідини від насосного агрегату, реалізує подачу хімреагентів у привибійну зону в пульсуючому режимі. При зменшенні подачі струминний насос автоматично переходить в режим депресивної дії з видаленням шляхом інжекції залишків хімічної реакції. Для обґрунтування параметрів дворежимного струминного насоса розроблена математична модель, за якою визначаються частота мембранного блоку пульсації тиску та параметри депресійного блоку інжекції.

Встановлені амплітудно-частотні характеристики мембранного блоку пульсації тиску в межах робочих амплітуд тиску 15...20 МПа та частот коливань 15...20 Гц.

Встановлені робочі характеристики депресивного блоку інжекції: геометричні параметри конфузора, робочого сопла, камери змішування, дифузора, та їх взаємного позиціонування. Встановлені раціональні значення параметрів: діаметр сопла 4 мм, діаметр камери змішування 6 мм. За таких параметрів коефіцієнт інжекції складає 0,44.

Висновок: Запропонована математична модель струминного насоса репресивно-депресивної дії, який реалізує подачу хімреагентів у привибійну зону нафтової свердловини в пульсуючому режимі. За допомогою моделі встановлені параметри процесу автоматичного переходу режимів від репресивного до депресивного для видалення шляхом інжекції залишків хімічної реакції. Підтверджена економічна ефективність струминного насоса, і він рекомендується до широкого впровадження в енергетичній галузі України.

Ключові слова: репресивно-депресивна дія, струминний насос, математична модель, інжекція.

Рашківський О.Ю. студент VІ групи ОМ-51м, Мазуренко Л.І. доктор тех. наук проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

БЕЗРЕДУКТОРНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ – ОДИН ІЗ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Основною перевагою без редукторних електроприводів є технологічні похибки виготовлення редуктора обмежують точність позиціонування і стійкість роботи системи через неминучих люфтів, змінного моменту тертя в зубчастих передачах і наявності пружності в компонентах механічної передачі.

Перехід на безредукторні електроприводи і мехатронні модулі є перспективним напрямком розвитку приводної техніки. Особливо це перспективно для безперервно-потоківих виробництв.

У безредукторних електроприводах доцільно використовувати двигуни з підвищеним коефіцієнтом електромагнітної редукції. Природні конструктивні обмеження на традиційну компоновку багатополюсних машин стимулювали пошук оригінальних конструкцій двигунів, які забезпечують найбільшу величину коефіцієнта електромагнітної редукції. До даного класу електричних машин відносяться індукторні двигуни, в яких всі обмотки розташовані в пазах статора, а на зубчастому роторі обмотка відсутня.

Електромагнітний зв'язок в індукторних двигунах між двома системами обмоток, розташованими на нерухомому статорі, здійснюється за рахунок зміни магнітної провідності по шляху замикання потоку взаємної індукції.

У індукторних двигунах зубчастий ротор є модулятором магнітного потоку. Даний спосіб зміни електромагнітного зв'язку між різними системами обмоток називається феродинамічні. В індукційних електричних машинах зміна електромагнітної зв'язку здійснюється електродинамічним способом внаслідок взаємного переміщення різних систем обмоток. системи статорних обмоток індукторних машин можуть підключатися до джерел різної напруги. Залежно від способу харчування обмоток розрізняють асинхронні і синхронні індукторні двигуни.

Режими роботи і умови експлуатації безредукторних систем визначили вимоги, що пред'являються до виконавчих двигунів і до їх систем управління

- виконавчі двигуни повинні мати підвищене значення коефіцієнта електромагнітної редукції;
- конструкція і технологія виготовлення виконавчого двигуна повинні бути економічно виправдані в умовах дрібносерійного виробництва;
- основний режим роботи виконавчого двигуна - пусковий, двигун повинен мати можливість форсувати величини пускового моменту, амплітуда пульсацій пускового моменту не повинна бути більш 50% від максимального значення; при відсутності струму в обмотках управління двигун не повинен розвивати синхронізуючий момент;
- виконавчий двигун повинен володіти лінійними або лінеаризованими регульовальними і механічними характеристиками

Висновок. Відносно новим напрямком є використання безредукторних електроприводів, в яких рух від двигуна до ланки маніпулятора передається безпосередньо або через передавальний пристрій, що не має редуктора. Така схема дозволяє отримати хороші механічні характеристики (мале тертя, відсутність люфту, висока жорсткість) і як результат - можливість високоточної управління по зусиллю (моменту), значне (на порядок) підвищення швидкостей маніпулювання при збереженні високої точності позиціонування. У той же час без-редукторний електропривод поступається по габаритними показниками традиційним модулів двигун - редуктор.

УДК 621.876.32

Туровський В.І. студент VI курсу

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Мазуренко Л.І., д.т.н., проф.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕСКАЛАТОРНИХ УСТАНОВОК

До найважливіших проблем та задач які необхідно вирішувати в процесі проектування та експлуатації ескалаторів відносять: підвищення надійності та енергоефективності роботи установок, плавний пуск, збільшення пропускної спроможності пасажирів, можливість реверсу, комфорт пасажирів.

Питання надійності роботи ескалаторних установок жорстко контролюється ПУЕ (Правил улаштування електроустановок), ДБН В.2.3-7(ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ), ДСТУ та іншими нормативними документами і реалізується за рахунок гальмівних систем, резервування обладнання, апаратури АВР, діагностувального комплексу.

Підвищення енергоефективності досягається за рахунок модернізації електропривода заміною нерегульованого ЕП на регульований, про що свідчить досвід промислово розвинених країн. Якщо це установки невеликої потужності, то їх регулювання досягається за рахунок ПЧ (перетворювача частоти). Щодо більш потужних установок, що використовуються на станціях метро глибокого залягання, то тут доцільним буде використання ТРН (тиристорний регулятор напруги).

Використання вище названих регуляторів покращує енергетичні показники недовантаженого асинхронного двигуна за рахунок зниження напруги живлення, що забезпечує зменшення намагнічуючого струму, втрат в міді і сталі, та дає змогу плавного пуску.

Оскільки питання пропускної спроможності метрополітену тісно пов'язано із умовами обмеженого простору то, напевно, єдиним шляхом вирішення даної проблеми є реалізація нової конструктивної схеми із приводом розміщеним у верхній частині похилої прямолінійної ділянки траси та із цівковим зачепленням, що має ряд конструктивних переваг, які успішно вирішують питання громіздкості машини даного типу і дає можливість встановлення додаткового ескалатора.

Висновки: Більшість наявних електроприводів ескалаторних установок, що знаходяться в експлуатації метрополітенів України, вже відпрацювали свій ресурс і вимагають модернізації, якої можна досягнути за рахунок заміни нерегульованого приводу на регульований та нової конструктивної схеми із його розміщення.

Ключові слова: ескалаторні установки, проблематика, надійність, енергоефективність, пропускна спроможність, привод.

УДК 621

Бабак А.С. студент VI курсу

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАПРУГИ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

Здебільшого автономні системи електропостачання будуються на основі синхронних генераторів з електромагнітним збудженням. В якості автономного джерела електроенергії в деяких випадках використовують також асинхронні генератори з вентильним або конденсаторним збудженням.

Перспективно використання синхронних генераторів зі збудженням від постійних магнітів, в яких відсутні контакти що обертаються, є можливість використання повітряного охолодження. Такі генератори також мають достатньо просту конструкцію.

Однак, як і в синхронних генераторах з електромагнітним збудженням вихідна напруга генераторів з постійними магнітами змінюється зі зміною величини і коефіцієнта потужності навантаження.

Для її стабілізації використовуються додаткові обмотки, які живляться постійним регульованим струмом і змінюють насичення магнітної системи електричної машини. Доцільно також для стабілізації напруги використовувати в синхронних генераторах з постійними магнітами або тільки статичні конденсатори або тільки напівпровідникові перетворювачі на основі інверторів напруги, які виступають в якості джерел і регуляторів реактивної потужності. При цьому величина ємності конденсаторів повинна змінюватись в залежності від величини і коефіцієнта потужності навантаження. Також конденсатори і напівпровідникові перетворювачі повинні забезпечувати регулювання реактивної потужності.

Можлива побудова систем стабілізації напруги при використанні одночасно як блоків конденсаторів так і напівпровідникових перетворювачів на основі автономних інверторів напруги, випрямлячів, тощо. Ємність блоку конденсаторів виконується не регульованою.

Висновок: Найбільш ефективною системою для стабілізації напруги автономних синхронних генераторів з постійними магнітами є комбінована система, яка складається з блоку конденсаторів і напівпровідникового перетворювача. При цьому за рахунок того, що потужність напівпровідникового перетворювача значно менша ніж у випадку використання тільки перетворювача, то експлуатаційні витрати менші. Системи з додатковими обмотками можуть бути рекомендовані тільки для генераторів потужністю до 5...10 кВт.

Ключові слова: синхронний генератор, постійні магніти, змінне навантаження, стабілізація напруги, напівпровідниковий перетворювач.

УДК 622.276

Мельничук М.В., студент IV курсу

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Сліденко В.М., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ПІСКОСТУМИННОЇ ПЕРФОРАЦІЇ ОБСАДНОЇ КОЛОНИ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Однією з проблем підвищення продуктивності видобутку вуглеводнів є постійна кольматація перфораційних отворів в обсадній колоні, що призводить до зменшення гідравлічної провідності в системі "нафтовий пласт - свердловина". Тому на нафтових свердловинах проводиться періодичний перепростріл обсадної колони, як правило, за допомогою піротехнічних засобів за технологіями торпедної, кульової та кумулятивної перфорацій. Проте з безпекових та екологічних міркувань на сьогодні все більше застосовується піскоструминна перфорація, основним недоліком якої є недостатня потужність.

В Київському політехнічному інституті ім. Ігоря Сікорського запропонований механізм підсилення піскоструминної перфорації на основі ефекту Юткіна, шляхом генерації високовольтного електричного розряду в робочій рідині в зоні проведення гідроабразивного руйнування обмеженої ділянки обсадної колони. Сутність цього ефекту полягає в тому, що при високовольтному електричному розряді в рідкому середовищі виділяється значна енергія за **короткий** проміжок часу. Час генерації переднього фронту імпульсу струму розряду: $\approx 10^{-7} \dots 10^{-6}$ с, що призводить до концентрації енергії в зоні перфорації. Для формування імпульсу з коротким переднім фронтом напруги, запропоновано використовувати розрядник, який встановлюється в зоні перфорації, і який має електричний зв'язок через каротажний кабель з накопичувальним електричним конденсатором, який розташовується на поверхні. Завдяки конденсатору формується необхідна енергія імпульсу.

Робота електрогідроімпульсної установки підсилення піскоструминної перфорації припускає відносно повільний заряд накопичувального конденсатора від джерела живлення високої напруги, потім, при досягненні напруги пробою розрядника, який знаходиться в зоні перфорації, відбувається швидкий розряд конденсатора на розрядний проміжок в рідині. При цьому в рідині відбувається локальний гідроудар з тиском аж до 10^4 МПа, що значно підвищує вплив потоку рідини з частинками абразиву на перфорацію обсадної колони.

Висновки: Запропонований електрогідравлічний підсилювач дозволяє значно енергетизувати потік рідини з частинками абразиву і підвищити ефективність піскоструминної перфорації обсадної колони.

Ключові слова: ефект Юткіна, гідропіскоструйна перфорація, електричний розряд, розрядник, високовольтний конденсатор

Перевозник Д. О. студент 4 курсу
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Мейта О.В., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕРНІЗАЦІЯ РАЙОННОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ «ІВАНІВКА»

Вступ Електрична енергія знаходить широке застосування у всіх областях народного господарства і в побуті. Цьому сприяє такі її властивості, як універсальність і простота використання, можливість виробництва у великих кількостях промисловим способом і передачі на великі відстані. Проблемою енергетики України є незадовільний технічний стан електричних станцій, підстанцій та мережі, а саме: великий знос обладнання електричних станцій та підстанцій, яке експлуатуються більше 45 років і відпрацювали нормативний ресурс. Одним з шляхів вирішення проблем в енергетиці України є технічне переозброєння електричних станцій, підстанцій і мереж, що передбачає максимальний демонтаж устаткування, що виробив свій ресурс і заміну його новим.

Аналіз стану питання Підстанція «Іванівка» була побудована у 1961р., введено в експлуатацію перші два трансформатори типу ТДТН-31500/110МВА. Третій трансформатор типу ТРДН-32000/110МВА було встановлено в 1970р, а у 1978р. - четвертий трансформатор типу ТРДН-40000/110 МВА.

На підстанції розташовано три розподільних пристрої: відкритий 110кВ, закритий і комплектний розподільні пристрої 6кВ.

Трансформатори відпрацювали свій термін роботи, оскільки експлуатуються більше 30 років, через це на сьогодні підстанція може витримувати навантаження тільки на 60%. За роки експлуатації частіше виявляються механічні пошкодження трансформаторів: магнітопровода, регулювання під напругою (РПН), вводів, спостерігається теча масла й таке інше.

Вимикачі ВМТ-110 вимагають заміни основних робочих елементів. Під час експлуатації масляних бакових вимикачів виникають неполадки в роботі: відмови у відключенні струмів КЗ, дефекти контактних систем, забруднення і сколи вводів, збільшення часу включення і відключення вимикача.

Мета та задачі. У цей час все устаткування підстанції «Іванівка» застаріло та недостатньої потужності й тому, щоб збільшити її потужність, та підвищити надійність системи електропостачання в цілому, розглядається питання про модернізацію електричної частини підстанції. Для модернізації підстанції розв'язуються задачі оцінки технічного стану обладнання, аналізу існуючого електрообладнання підстанцій та формування пропозицій щодо заміни з урахуванням існуючих вимог та перспектив збільшення потужностей, що передаються.

Результати роботи У даній роботі пропонується заміна чотирьох двообмоткових трансформаторів на двообмоткові з розщепленою обмоткою і більшою потужністю (тип ТРДН-40000/110). У таких типів сучасних трансформаторів силіконові і герметичні вводи і виводи (GSA-123-OA/1600/0,5), газове реле (РГТ-80-201), реле контролю для ступінчастого перемикача (URF-25/10), вбудовані трансформатори струму призначені для захисту трансформатора (ТТВ-110). Вибираються трансформатори більшої потужності, оскільки по закінченню економічної кризи зросте виробництво на підприємствах, і збільшиться навантаження.

Пропонується замінити вимикачі ВМТ-110 на вимикачі елегазові бакові типу ВЕБ-110-40/2500 УХЛ1, оскільки вони відносяться до комутаційних апаратів високої напруги, в яких дугогасним середовищем є елегаз SF₆. Такий вимикач складається з трьох полюсів, встановлених на загальній рамі і механічно зв'язаних один з одним посередством передавального пристрою. Управляється вимикач пружинним приводом ППК, а також забезпечений трансформаторами струму для підключення вимірювальних приладів і ланцюгів релейного захисту. У вимикача є електропідігрів полюсів, які включаються при -25±С. Під час експлуатації не вимагає ремонту протягом 20 років, а загальний термін експлуатації 40 років, без ремонту дугогасного пристрою число операцій при КЗ – 40 разів, а при номінальних – 5000 разів.

Висновки: В межах програми модернізації запропонована заміна зношеного та застарілого обладнання у відповідності до сьогоденних вимог. Актуальною є модернізація підстанції шляхом встановлювання устаткування на напругу 10 кВ - це більше економічно в порівнянні з напругою 6 кВ. З напругою 10 кВ знижується втрати електричної енергії в електричній системі електропостачання і струмів КЗ у мережах.

Встановлення елегазового бакового вимикача підвищує надійність роботи підстанції при розподілі струмів навантаження серед інших підстанцій і споживачів 10 кВ та дозволяє збільшити на 40 років термін експлуатації підстанції.

Список літератури

1. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий: Учеб. Для студ. Вузов по спец. «Электропривод и автоматизация промышленных установок» - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 400 с., ил.
2. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией / Под ред. Ю.И. Вишневого. С.-Пб.: Энергоатомиздат, 2002.
3. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков – М.: Энергоатомиздат, 1989.- 605с.

Мейта А.В., к.т.н., доц.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ДРОБИЛЬНО-ПОМОЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Работа дробильно-помольного комплекса определяется десятками факторов, многие из которых носят случайный характер. Каждому сочетанию факторов соответствует определенный технико-энергетический режим работы комплекса. Чем полнее учтены при оперативном управлении факторы и свойства системы, влияющие на характеристики режима работы, тем более эффективным будет управление и ниже энергозатраты на процессы дробления и измельчения. Увеличение числа рассматриваемых факторов, усложняет модель, поэтому, при управлении необходимо формировать управляющее воздействие, находя компромиссное решение, учитывающее степень информативности факторного поля и его сложность.

Исследования, проведенные на предприятиях, позволили выделить ряд факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на характер потребляемой мощности. К таким факторам отнесены величина шаровой загрузки, скорость вращения мельницы и производительность измельчительного агрегата. Режим работы мельницы и величина потребляемой мощности зависит не только от перечисленных факторов, но также от величины силы трения между внутренней поверхностью барабана и типа футеровки [1]. Для электропривода мельницы характерным является то, что удельные затраты на производство вяжущего уменьшаются при увеличении производительности [2].

Целью работы является повышение технико-экономических показателей электропотребления дробильно-помольного комплекса путем внедрения нейросетевой системы управления, которая построена с учетом факторного поля комплекса и реализует алгоритм оптимального по электропотреблению управления

На основании имеющегося факторного поля объекта [3] построена нейронная сеть для управления дробильно-помольным комплексом. Контролируемые параметры выступают в качестве выходного вектора, а соответствующие им значения регулируемых величин, параметров оборудования и измельчаемого вещества – входного вектора. В модели в качестве входов будут использованы выделенные факторы, а в качестве выходных величин параметры процесса либо те управляющие воздействия, которые их регулируют. Каждому входу сети соответствует одному из факторов. Выходы сети соответствуют производительности, тонкости и электропотреблению весовые коэффициенты сети определяют значимость факторов. Число и входных и выходных векторов изменяется в зависимости от поставленной задачи.[4].

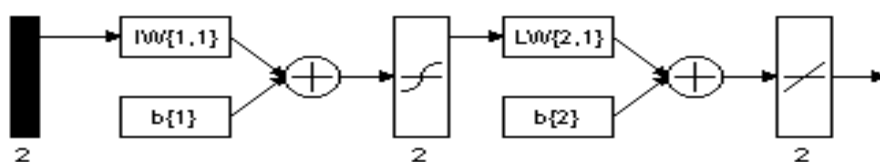


Рис. 1. Модель искусственной нейронной сети

Выводы: Предложена новая модель дробильно-помольного комплекса, которая учитывает многофакторное поле системы и отображает ее внутренние связи, базирующаяся

на математическом аппарате искусственных нейронных сетей. При формировании целевой функции данная модель позволяет учесть составляющие, в большей мере влияющие на электропотребление и другие технико-экономические показатели комплекса, что позволяет повысить энергетическую эффективность комплекса путем обеспечения работы комплекса в оптимальном по электропотреблению режиме.

Список литературы

1. Перов В.А. Андреев Е.Е. Биленко Л.Ф. Дробление измельчение и грохочение полезных ископаемых. Учебник для вузов. М.: Недра, 1990.- 318 с.
2. Белых Б.П., Свердель И.С., Олейников В.К. Электрические нагрузки и электропотребление на горнорудных предприятиях. – М., Недра, 1971, с. 248.
3. Розен В.П., Калінчик В.П., Мейта О.В., Скосирев В.Г. Факторний аналіз електроспоживання складових дробильно-помольного комплексу // Вісник Кременчуцького Національного Університету імені Михайла Остроградського-2015 №6.- С.16-21.
4. Розен В.П., Калінчик В. П., Шевчук С.П., Мейта А.В. Энергоэффективное управление мехатронным комплексом «дробилка-мельница» с использованием искусственных нейронных сетей // Энергетика: економіка, технологія, екологія – 2016. - № 3. – С. 45 –50.

УДК 622.245.52

Студентка А.В. Лисюк, науковий керівник к.т.н., доц. Л.К. Лістовщик
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СТИСНЕННЯ ПАКЕТУ ТАРІЛЧАСТИХ ПРУЖИН ПРИ РОБОТІ СТРУМИНО-КАВІТАЦІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS SIMULATION

Наведено опис пристрою, який реалізує струмино-кавітаційну обробку обсадної колони нафтової свердловини від асфальтеносмолопарафінових відкладень. Проаналізовано результати комп'ютерного моделювання процесу стиснення блоку тарілчастих пружин при заданих вхідних умовах технологічного процесу за допомогою оболонки SolidWorks Simulation. Отримані в результаті моделювання механічні напруження та деформації дозволяють зробити висновки щодо раціонального вибору параметрів збірки пакету пружин та оцінити умови протікання кавітаційних процесів в ході роботи пристрою.

Ключові слова: гідроструминна кавітація, тарілчаста пружина, SolidWorks, напруження, деформації.

STUDY OF COMPRESSION PACKAGE PLATE SPRINGS AT WORK OF JET-CAVITATION GENERATOR IN THE SOLIDWORKS SIMULATION

The description of the device, which implements the jet cavitation treatment of the oil well casing. The results of computer modeling the compression process of a block of container springs at given input conditions of a technological process using the SolidWorks Simulation are analyzed. The resulting simulation of mechanical stress and strain can make findings on rational choice options package assembly springs and assess the occurrence of cavitation processes during operation.

Keywords: hydro-jet cavitation, platespring, SolidWorks, stress, strain

Вступ

Головна проблема, яка виникає під час видобутку нафти із горизонтів пов'язана з фізико-хімічними властивостями самої нафти. Збільшення її в'язкості і зниження температури при підніманні на поверхню та значний вміст асфальтеносмолопарафінових речовин (АСПВ) призводить до втрат тиску у привибійній зоні пласта, стовбурі свердловини, відкладання в'язких вуглеводнів на стінках насосно-компресорних труб і, як наслідок, погіршення видобувних можливостей свердловин і збільшення загальних витрат на експлуатацію таких свердловин. На сьогодні існує ряд технологій, які допомагають в боротьбі із відкладеннями АСПВ на стінках обсадної колони нафтової свердловини, однак інтенсивно розвиваються технології та технічні засоби, які базуються на нових фізичних явищах і ефектах. До таких фізичних явищ можна віднести і кавітацію. Це пов'язано з тим, що ступінь розвитку кавітації є відносно загальним поняттям, а технології, які використовують корисне явище кавітації мало вивчені та потребують значних реконструкцій. Тому перед дослідниками постає важлива задача щодо обґрунтування та вдосконалення параметрів кавітаційного обладнання, яке використовують при експлуатації та ремонті нафтових свердловин.

Аналіз досліджень та публікацій

Численні досліді свідчать про те, що при схлопуванні кавітаційного мікробульбашки в локальному обсязі поблизу нього і всередині виникають поля високого тиску (згідно з В. А. Кулагіна - до 1000 МПа) [1] і температур (до 1000 - 2000 ° С). При схлопуванні бульбашки в рідині генеруються хвилі розрідження-стиснення, а поблизу з твердими границями потоку утворюються кумулятивні мікроструменя зі швидкостями руху в 100 - 520 м/с. Якщо ступінь

розвитку кавітації є такою, що у випадковій проміжки часу виникає та захоплюється безліч бульбашок, то явище супроводжується сильним шумом із суцільним спектром від декількох сотень Гц до сотень і тисяч кГц. У цьому полягає одна з версій руйнівної дії кавітації на тверді поверхні, які знаходяться поблизу.

Використання кавітаційно-струминних технологій для зниження в'язкості важких нафт та боротьби із АСПВ в свердловинних умовах на родовищах з високов'язкими вуглеводнями може забезпечити істотне збільшення дебіту свердловин та зниження витрат на їх експлуатацію

На даному етапі розвитку обчислювальної техніки перед дослідниками відкриваються нові горизонти та можливості, для того щоб скоротити свій час на стадії проектування і дослідження нового зразка, шляхом віртуального дослідження системи в одній з оболонок програм автоматизованого проектування. Таким чином такий вихід із ситуації є не лише зручним та доступним, а і енергоефективним та корисним при майбутньому проектуванні [2].

Завдання та мета дослідження

Метою роботи є дослідження процесу стиснення пакету тарілчастих пружин при роботі струмино-кавітаційного генератора.

Головна задача полягає у тому, щоб зібрати пружини у найоптимальніший спосіб, який б забезпечувала ефективну роботу пристрою, при заданих технологічних умовах та визначення максимальних напружень, деформацій та переміщень, які виникають в перерізах збірки.

В умовах стендових досліджень це зробити можливо, але час потрачений на досліди може затягнутися не лише на дні, але тижні. За допомогою програмного середовища SolidWorks в модулі SolidWorks Simulation є можливість моделювання процесу стиснення пакету пружин, а також знаходження деформацій, переміщень та напружень при стисненні [3].

Вхідними параметрами для моделювання є матеріал тарілчастих пружин та зовнішнє навантаження, а саме сила при максимальній деформації пакету. Вихідними параметрами є відображення епюр напружень за Мізесом, деформація та переміщення елементів пружної системи.

Методики, матеріали та математичне моделювання

При розробці кавітаційного обладнання потрібно враховувати ряд факторів, які впливають на інтенсивність, час та швидкість протікання кавітації. Саме тому геометричні параметри пристрою є одними із найважливіших при проектуванні. На рис.1 зображено кавітаційно-струминний генератор, який реалізує очищення обсадної колони свердловини від АСПВ методом струминно-кільцевої кавітації.

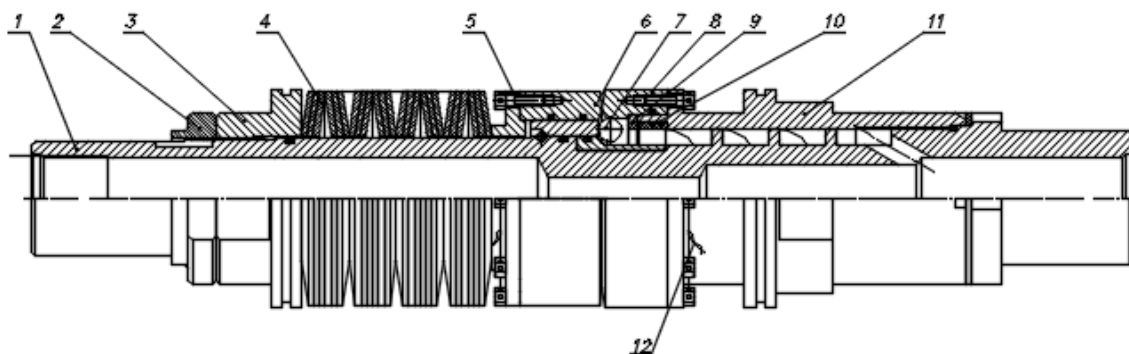


Рис. 1. Кавітаційно-струминний генератор для очищення обсадної колони свердловини від АСПВ:

1,11 - корпус; 2 – гайка; 3,5,9– упор; 4 – блок тарілчастих пружин; 6 – клапан; 7 – кулька; 8 – сідло; 10 – поляризатор; 12 – дріт.

Генератор коливань містить корпус 1, в середині якого встановлений з можливістю переміщення блок тарілчастих пружин 4, який підтиснутий упором 3 і 5 з обох сторін відповідно. В корпусі 11 створено вхідні отвори для подачі робочої рідини.

На вхід генератора через центральний канал муфти подається потік робочої рідини. Далі потік потрапляє у камеру завихрення через тангенціальні отвори, та за допомогою штока закручується в ньому.

В завихренні у потоці створюється зона падіння тиску. Робоча рідина тисне на бічну поверхню клапана 6, де за рахунок різниці площ утворюється зазор між сідлом і упором, блок пружин 4, дозволяє фіксувати та утримувати цей зазор. Таким чином, поблизу (в трубі з місцевим звуженням) створюється досить чітко обмежена «кавітаційна зона», заповнена рухомими бульбашками. Скорочення кавітаційної бульбашки відбувається з великою швидкістю й супроводжується звуковим імпульсом (свого роду гідравлічним ударом) тим сильнішим, чим менше газу містить бульбашка. Далі кількість рідини у вихровій камері зменшується, що призводить до нового вихроутворення, цикл повторюється, створюючи коливальну систему із блоку тарілчастих пружин, як джерела імпульсу.

Технічне рішення даного пристрою дозволяє зменшити кількість АСПВ на стінках обсадної колони та підвищити загальний видобуток нафти із свердловини.

Головним об'єктом математично моделювання є процес стиснення блоку тарілчастих пружин, так як від його конструкції та властивостей залежить величина відкриття зазору між сідлом і клапаном, і як наслідок, умови виникнення та протікання самої кавітації. Тому в умовах роботи генератора гостро постає питання підібрати найоптимальніший пакет тарілчастих пружин, виконати їх збірку та затяжку, а також визначити кількість пружин у пакеті. В основі математичної моделі – визначення співвідношення величини зазору між сідлом і клапаном на тиск дроселювання, при якому буде стискуватися пакет тарілчастих пружин.

Тарілчаста пружина, що входить в конструкцію струминно-кавітаційного генератора, зображена рис.2.

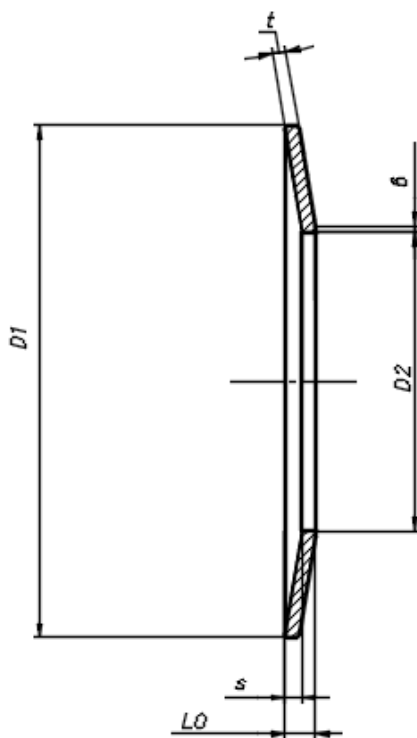


Рисунок 2. Розміри тарілчастої пружини

Розрахунок тарілчастих пружин, що знаходяться в струминно-кавітаційному генераторі проведено згідно ГОСТ 3057-90, тип пружини 2, збірка - паралельно-послідовна.

Сила пружини при максимальній деформації буде визначатися згідно методики [4]:

$$F = \frac{4 \cdot E \cdot s_3 \cdot t^3}{(1 - \mu^2) \cdot Y \cdot (D_1 - 2b)^2}, \quad (1)$$

де E – модуль пружності; μ – коефіцієнт Пуассона; s_3 – максимальна деформація пружини; де D_1 – зовнішній діаметр; t – товщина пружини; b – ширина опорної площини; Y – розрахунковий коефіцієнт.

Сила при максимальній деформації пакета визначається як:

$$F_n = K \cdot F \cdot n_1, \quad (2)$$

де F – сила пружини при максимальній деформації; n_1 – кількість пружин при паралельній збірці; K – коефіцієнт, що враховує сухе тертя при паралельній збірці.

Отже, виходячи із формули (2) кількість пружин при збірці впливає на деформацію пакету, а як наслідок, і на міцності характеристики пружини.

Однією з особливостей тарілчастих пружин є те, що вони можуть витримувати величезне навантаження при цьому майже не деформуючись. При послідовній збірці велика кількість дисків складається в блок, амплітуда прогину збільшується, амортизація зростає. Якщо тарілки збираються в паралелі, тоді прогин під навантаженням зменшується. Ефективність деталі буде повністю залежати від кількості кіл. Найчастіше на практиці використовують комбіновану збірку. Відповідно до цього диски розміщуються в обох положеннях, адже це дозволяє отримати ефект повного прогину одних елементів і частково інших

Результати досліджень

Отримані в результаті дослідження дані дозволяють підібрати найоптимальнішу кількість пружин, тип їх з'єднання та оцінити максимальні деформації, переміщення та напруження, які виникають у системі. На рис.3 наведено результати досліджень для різних інженерних рішень збірок при однаковому зовнішньому навантаженні у вигляді епюр перерізів. Вхідними умовами є максимальне навантаження на збірку пружин, яке виникає в результаті роботи струминно-кавітаційного генератора – 49820 Н, матеріал виготовлення пружин – пружина листова сталь 65Г з межею текучості 785 МПа [5].

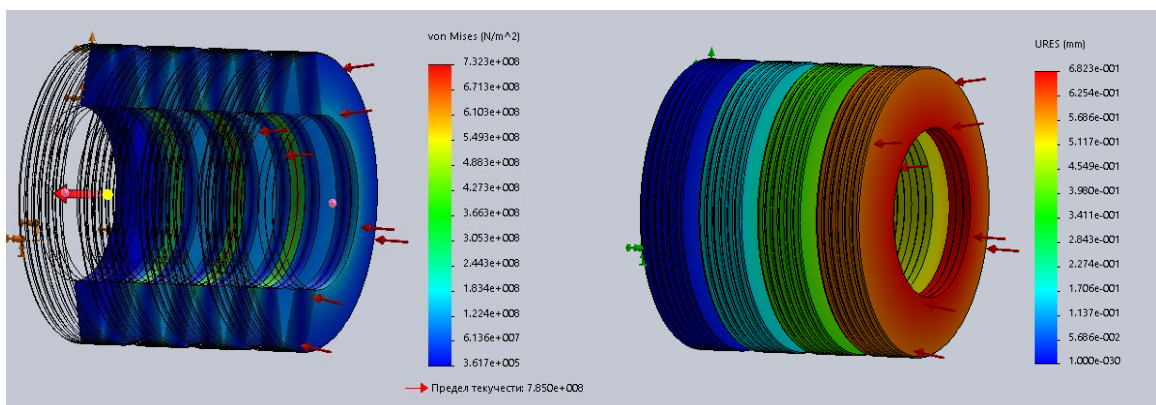


Рис 3. Результати дослідження пакету тарілчастих пружин в середовищі SolidWorks

Як видно із рис.3 при стисненні пружина не руйнується, а напруження які виникають не

перевищують допустимі і складають 700МПа, при цьому деформація становить 0.68 мм.

Однак дослідження зображеного на рис.3 недостатньо для того аби зробити висновки. Саме тому зроблено ряд досліджень, які дозволять найбільш точно охарактеризувати стан пружної системи. На рис.4 наведено поля розподілу напружень і переміщень, при якій збірка є послідовною, вхідні дані залишають незмінними.

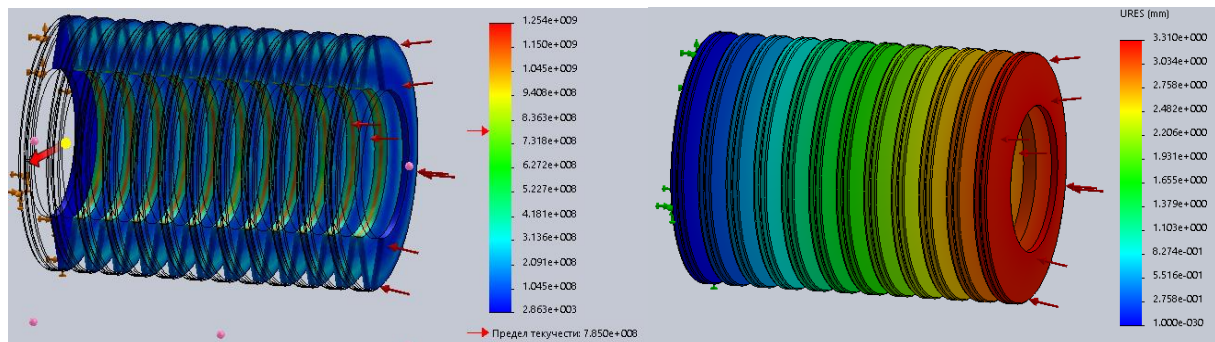


Рис.4. Результати дослідження пружної системи при послідовній збірці тарілчастих пружин

Як видно з рис.4 при такому ж умовах моделювання збірка не витримає заданого навантаження, адже напруження майже вдвічі перевищує межу текучості матеріалу з якого виготовлено диски пружини, переміщення при цьому складає 3 мм.

На рис.5 наведені результати досліджень при яких збірка є паралельно-послідовною, при якій паралельну складову забезпечують 2 пружини.

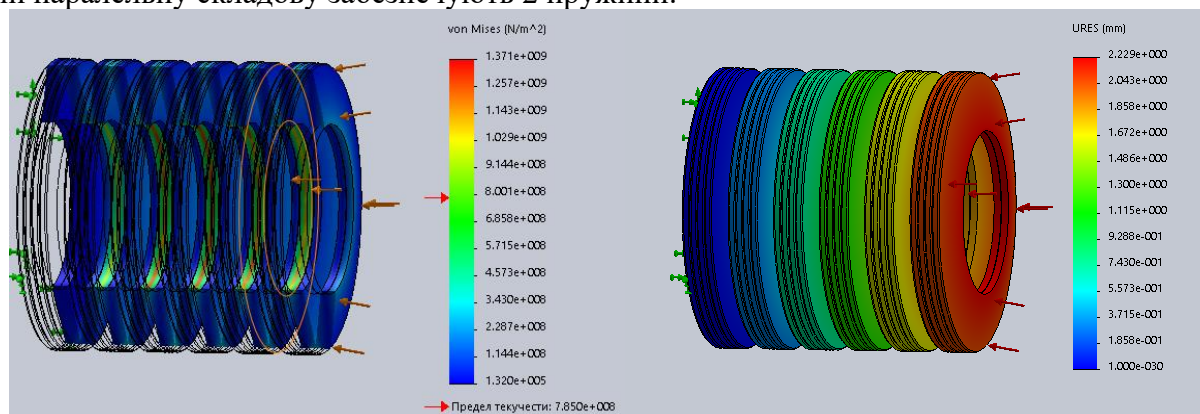


Рис.5. Поля напружень за Мізесом у пружній системі.

Із рис.5 видно, що напруження перевищують границю текучості матеріалу з якого виготовлена збірка. Максимальне напруження виникає на кромках тарілчастої пружин із внутрішньої сторони у місця з'єднання. Максимальне переміщення рівне 2,22 мм, а мінімальне при цьому 1 мм.

На наступному зображено результати моделювання пружної системи при якій збірка є паралельно-послідовною, паралельну складову забезпечує 6 пружини.

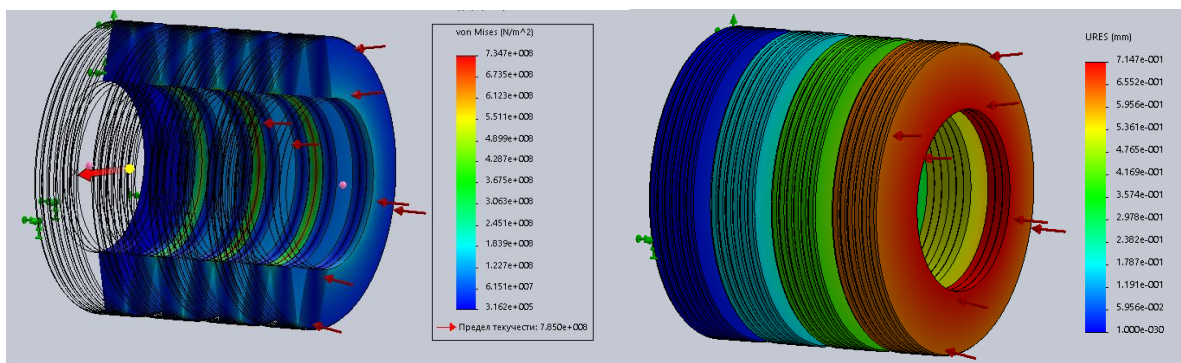


Рис. 6. Дослідження пружної системи при паралельно-послідовній збірці тарілчастих пружин

Результати наступні: напруження, які виникають при стиску збірки складають 700 МПа, але не перевищують границю текучості пружинної сталі 65Г, максимальне напруження зосереджено на кромках в місцях з'єднання пружин. Максимальне переміщення, яке виникає становить приблизно 0.7 мм.

Результати досліджень наведено у табл. 1, а графічна залежність, яка порівнює результати досліджень зображено на рис.7.

Табл. 1. Результати дослідження пружної системи в середовищі SolidWorks

№ п.п	F, Н	$P_{\max} \cdot 10^8$	Переміщення, мм	Деформація, мм
1	49820	7,3	0,6	$2,07 \cdot 10^{-3}$
2	49820	1,25	3,3	$3,62 \cdot 10^{-3}$
3	49820	1,37	2,2	$4,8 \cdot 10^{-3}$
4	49820	7,3	0,7	$2,5 \cdot 10^{-3}$

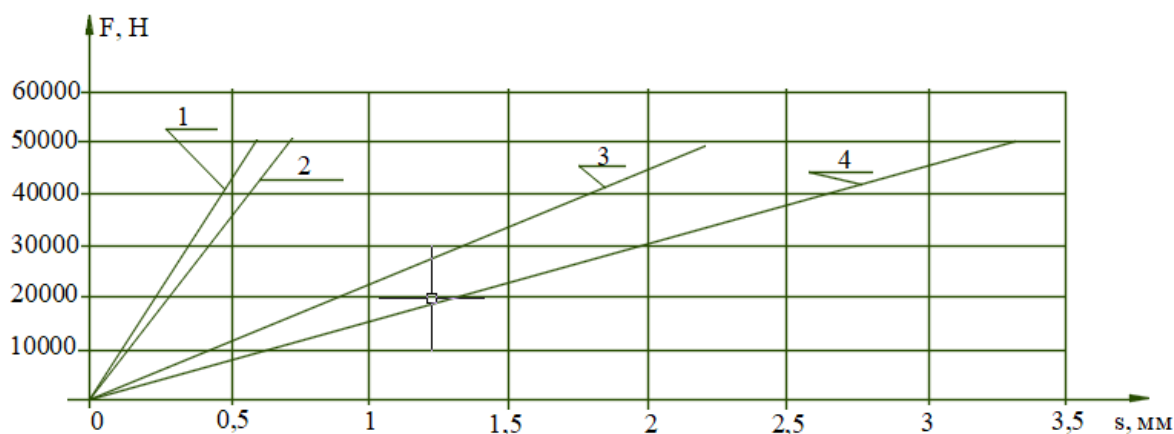


Рис.7. Залежність деформації збірки тарілчастих пружин від сили:

1 – паралельно-послідовна збірка, 4-4; 2 – паралельно-послідовна збірка, 3-3; 3 – паралельно-послідовна збірка, 2-2; 4 – послідовна збірка.

Із графіка видно, що найбільшу деформацію мають збірки, які збирають послідовно, при

невеликих зовнішніх навантаженнях вони мають найбільшу деформацію. Найбільш пружною є система 1, навіть при навантаженнях в 5000 Н, пакет пружин майже не деформується.

Висновки

1. Визначено, що в умовах роботи струминно-кавітаційного генератора найдоцільнішим буде використання паралельно-послідовної збірки, набраної із 24 тарілчастих пружин однакової форми та діаметру.

2. В процесі стиснення при заданому навантаженні, виникають напруження, які досягають 700 МПа, а максимальне переміщення при цьому 0,68 мм.

3. При складання пружин у пакети слід враховувати, що для потужних систем, де виникають великі напруження та сили, але потрібні незначні переміщення, рекомендується використовувати паралельну збірку, при цьому чим більше пружин паралельно з'єднання між собою тим більші напруження витримує система. Послідовну збірку пружин краще використовувати тоді де при невеликих навантаженнях потрібні значні переміщення.

Список літератури

1. Якимечко Я. Я. Вплив пульсацій тиску, створених гідродинамічним кавітатором, на параметри нафти // Я. Я. Якимечко, Я. М Фем'як., С. О. Овецький, І. Я. Яремко // Тези допов. і повідомл. міжнар. наук.-техн. конф. «Нафтогазова енергетика – 2011», м. Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011 р. – Івано-Франківськ.: вид-во ІФНТУНГ, 2011. – 48 с.

2. Лістовщик Л.К. Дослідження двобойкової ударної системи в середовищі SolidWorks Simulation / Л.К. Лістовщик // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2014. №3 (37). С. 68-71.

3. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation. М.: ДМК Пресс, 2011. 464 с.

4. ДСТУ ГОСТ 3057 – 90. «Пружины тарельчатые. Общие технические условия». - М: ИПК Издательство Стандартов, 1991.

5. ДСТУ ГОСТ14959-79. «Прокат изрессорно-пружиннойуглеродистой и легированной стали». - М: ИПК Издательство Стандартов, 1991.

**СЕКЦІЯ 5.
ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 624.139.3

Крючков А.І. к.т.н., доц., Бахтин А.І. аспірант

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАКОНОМІРНІСТЬ ЗМІНИ МОДУЛЯ ЗСУВУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ГІРСЬКИХ ПОРІД ТА СНІЖНО-ЛЬОДОВИХ УТВОРЕНЬ

Встановлено закономірність зміни модуля зсуву при промерзанні масиву гірських порід та сніжно-льодових утворень, яка дозволяє прогнозувати їх міцнісні, механічні та пружно-деформовні властивості, а також вибрати найбільш раціональний метод чи спосіб їх руйнування.

Installed the regularity of the shift module changes during the freezing of mountain breed's massive and snowy-ice formations, which allows predicting its firm, mechanic and elastic-deformational features, as well as choose the most rational method or method of their destruction

Вступ. Акустичні параметри фізично взаємопов'язані з пружними і міцністними характеристиками порід. Таким чином, визначивши в польових умовах акустичні властивості порід, можна встановити їх пружні властивості, що дозволить вибрати найбільш раціональний метод чи спосіб руйнування і слугуватиме основою для інженерних розрахунків параметрів вибухових робіт.

Аналіз стану питання. Для сніжно-льодових утворень та мерзлих гірських порід існує значна кількість експериментальних лабораторних та польових акустичних і сейсмо-акустичних досліджень їх пружних і міцнісних властивостей. Узагальнення результатів багатьох із них представлено в роботах А.Д. Фролова, а також Е.М. Лінькова, Б.А. Савельєва, А. Крері, Дж. Брауна та ін.

Мета роботи. Встановлення закономірності впливу температури на модуль зсуву льодових утворень та гірських порід.

Результати досліджень. Модуль зсуву μ (Н/м²) залежить від швидкості розповсюдження поперечних сейсмічних хвиль та щільності гірських порід:

$$\mu = \rho [C_s(T)]^2, \quad (1)$$

де: ρ – щільність гірської породи, кг/м³; C_s – швидкість розповсюдження поперечних сейсмічних хвиль, км/с.

Для встановлення залежності зміни модуля зсуву від температури використані експериментальні дослідження для сухих сніжно-льодових утворень при щільності $\rho = 800$ кг/м³ [1].

Експериментальна залежність [1] зміни швидкості повздовжніх сейсмічних хвиль від температури для сухих сніжно-льодових утворень представлена в табл. 1:

Таблиця 1. Залежність швидкості поперечних сейсмічних хвиль від температури для сніжно-льодових утворень [1]

$T, ^\circ\text{C}$	-25	-20	-15	-10	-5	-0,5
$C_s(T), \text{км/с}$	2235	2235	2235	2235	2135	1810

Характер експериментальних залежностей (табл.1) нашоєхує на думку, що існує єдина закономірність $C_s = f(T)$, яка може бути описана аналітично.

Опираючись на попередні дослідження енергетичних переходів параметрів гірських порід при промерзанні [2], проведений аналіз показав, що залежність такого типу може бути представлена в наступному вигляді:

$$C_s(T) = (C_{s_{max}} - C_{s_{min}}) \left\{ \exp \left[-\exp \left(\frac{T - \theta_T}{\sigma_T} \right) \right] \right\} + C_{s_{min}}, \quad (2)$$

де: $C_{s_{max}}$ – максимальне встановлене значення швидкості поперечних хвиль при від’ємних температурах, км/с; $C_{s_{min}}$ – мінімальне встановлене значення швидкості поперечних хвиль при додатних температурах, км/с; T – поточне значення температури гірської породи, °C; θ_T – параметр залежності, який відповідає максимальній інтенсивності переходу порід з мерзлого стану в талий, °C; σ_T – визначає діапазони температур переходу з замерзлого стану в талий.

Розрахункові параметри для сухих сніжно-льодових утворень приведені в табл. 2.

Таблиця 2. Розрахункові параметри для розглянутої породи

ρ , кг/м ³	$C_{s_{max}}$, м/с	$C_{s_{min}}$, м/с	θ_T , °C	σ_T
800	2235	1810	-2,5	1,95

Експериментальні дані залежності модуля зсуву від температури сухих сніжно-льодових утворень представлені в табл. 3 [1]:

Таблиця 3. Залежність модуля зсуву від температури [1]

T , °C	-25	-20	-15	-10	-5	-0,5
$\mu(T)^{ек.}$, Па	$4 \cdot 10^9$	$4 \cdot 10^9$	$3,923 \cdot 10^9$	$3,769 \cdot 10^9$	$3,538 \cdot 10^9$	$3,23 \cdot 10^9$

Підставивши рівняння (2) в рівняння (1) та використовуючи розрахункові параметри з табл. 2, розраховані значення модуля зсуву на температурному діапазоні від -25 до 0 °C для різних значень щільності сніжно-льодових утворень ($\rho = 550 \div 917$ кг/м³). Результати розрахунків представлені на рис.1.

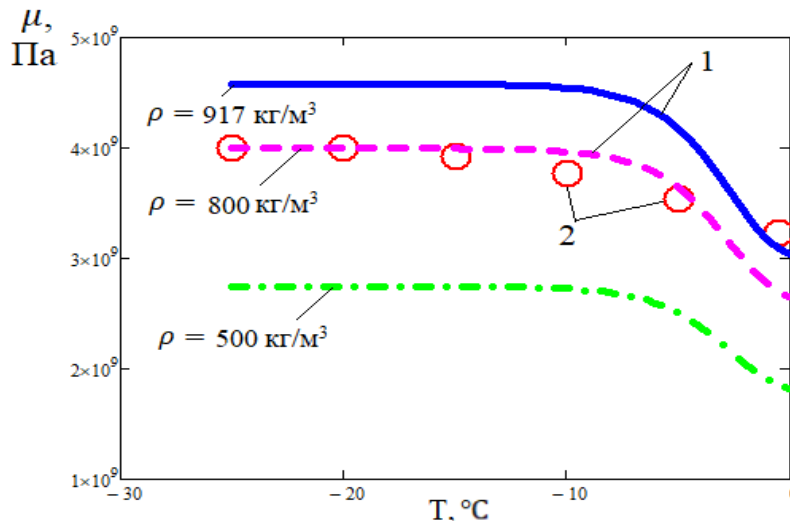


Рисунок 1. Аналітична залежність зміни модуля зсуву від температури при різних значеннях щільності сухих сніжно-льодових утворень: 1 – аналітична залежність модуля зсуву побудована за рівнянням (1); 2 – експериментальні значення модуля зсуву [1]

Висновки.

1. При зниженні температури від 0 до -25°C модуль зсуву для сухих сніжно-льодових утворень зростає приблизно в 1,5 – 2 рази, а для більшості гірських порід в 50 – 70 разів
2. Встановлена закономірність зміни модуля зсуву для сухих сніжно-льодових утворень та масиву гірських порід при промерзанні з урахуванням їх температури, яка описується подвійною експоненціальною залежністю, і підтверджується експериментально.

Список використаної літератури:

1. Фролов А. Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов / Алексей Дмитриевич Фролов. – Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. – 515 с.
2. Крючков А. І. Закономірність швидкості розповсюдження повздовжніх сейсмічних хвиль в залежності від температури та вологості гірських порід / А. І. Крючков, А. І. Бахтин. // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво". – 2017. – №33. – С. 5–9.

УДК 504.3.054

Є.П. Бондарь студент, Крючков А.І., к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РАЦІОНАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ СОРТУВАННЯ І ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ТПВ В БІОПАЛИВО ДЛЯ ТЕЦ

Розглянуто проблему накопичення та переробки твердих побутових відходів у місті Києві. Досліджено особливості морфологічного складу ТПВ, їх вологості та теплотворності. Запропоновано використання та попередня підготовка ТПВ разом зі сумішшю інших альтернативних видів палива (деревні гранули та гранули з активного мулу) в якості біопалива для спалювання на тепловій електроцентралі. Окремо розглянуто приміщення для підготовки біопалива до спалювання на ТЕЦ.

Ключові слова: тверді побутові відходи (ТПВ), біопаливо, теплова електроцентраль (ТЕЦ), нижча теплота згоряння, вологість.

In the following topic the problem of accumulation and processing of solid household waste in Kyiv was considered. The features of morphological composition of solid waste, their humidity and calorific value also were researched. The use and preliminary preparation of solid household waste together with a mixture of other alternative fuels (wood chips and active sludge granules) as biofuels for combustion at a thermal power plant is proposed. Also, storage for preparation of biofuels for combustion at the heat station were considered.

Key words: municipal solid waste (MSW), biofuels, central heat and power plant (CHP), lower heating value, humidity.

Вступ. У всьому світі проблема утилізації та переробки побутових відходів стає дедалі актуальнішою. Крім того, в зв'язку з розвитком цивілізації та поступовим виснаженням природних ресурсів (нафта, кам'яне та буре вугілля) для всіх галузей народного господарства, особливо для енергетичних об'єктів, пошуки альтернативного виду палива набувають особливого значення.

Аналіз літературних джерел за темою дослідження і постановка проблеми. За статистичними даними 2017 року у місті Києві в середньому щороку утворюється близько 1,2 млн тонн твердих побутових відходів, з яких на сміттєспалювальний завод «Енергія» йде 253,8 тис. тонн, на полігони та звалища відправляється 946,2 тис. тонн (у т.ч. на полігон №5 прийнято 315,7 тис. тонн, на полігон №6 прийнято 97,8 тис. тонн, решта 532,7 тис. тонн розміщено на невстановлених звалищах області) [1]. Тобто 78,85% всіх відходів знаходяться на полігонах. Тому утилізація сміття, а також використання його у вигляді палива для енергетичних підприємств, а саме для ТЕЦ є надзвичайно вигідною стратегією для столиці.

Аналіз літературних джерел [2,3] дав чітке уявлення про морфологічний склад ТПВ та його енергоефективність. За цими даними сміття складається з горючих елементів, таких як: вуглець, водень, кисень та азот, але за рахунок великого показника зольності і вмісту води має досить низьку теплотворну здатність. Ці показники унеможливають його спалювання в котельному агрегаті ТЕЦ.

Метою даної роботи є обґрунтування раціонального складу горючої маси при переробці твердих побутових відходів в біопаливо для теплової електроцентралі малої потужності (5 МВт) міста Києва.

Викладення основного матеріалу. Для вирішення поставленої проблеми пропонується попереднє просушування та подрібнення твердих побутових відходів з

додаванням інших альтернативних видів палива: деревні гранули та гранули з активного мулу. Дані види біопалива мають високу теплотворність та низький вміст води. Ці параметри та морфологічний склад як гранул, так і ТПВ наведені в таблиці 1. Також, використання цієї суміші буде економічно доцільним, адже ціна таких гранул є невисокою в порівнянні з традиційними видами палива (вугілля, газ, мазут).

Таблиця 1. Морфологічний склад та нижча теплота згоряння різних видів палива

Вид палива	Елементарний склад палива, %							Q _н , МДж/кг
	С	Н	О	N	S	А (зола)	W (волога)	
Деревні гранули	47,1	5,2	41,2	0,16	0,05	1,1	4,9	18,8
Гранули з активного мулу	45,9	6	44,9	0,7	0,2	1,27	1,12	19,246
ТПВ	18,2	3,52	13,23	0,62	0,21	29,14	38,15	9,84

Сам процес підготовки суміші до спалювання на ТЕЦ складається з кількох етапів:

- подача палива в бункер-накопичувач;
- підсушування біопалива підігрітим повітрям з котлоагрегату (за температури 200°C);
- відділення металу з ТПВ магнітним сепаратором;
- подрібнення біопалива до необхідної фракції (до 20 мм);
- змішування біопалива.

Технологічна схема приміщення для підготовки біопалива зображена на рисунку 1.

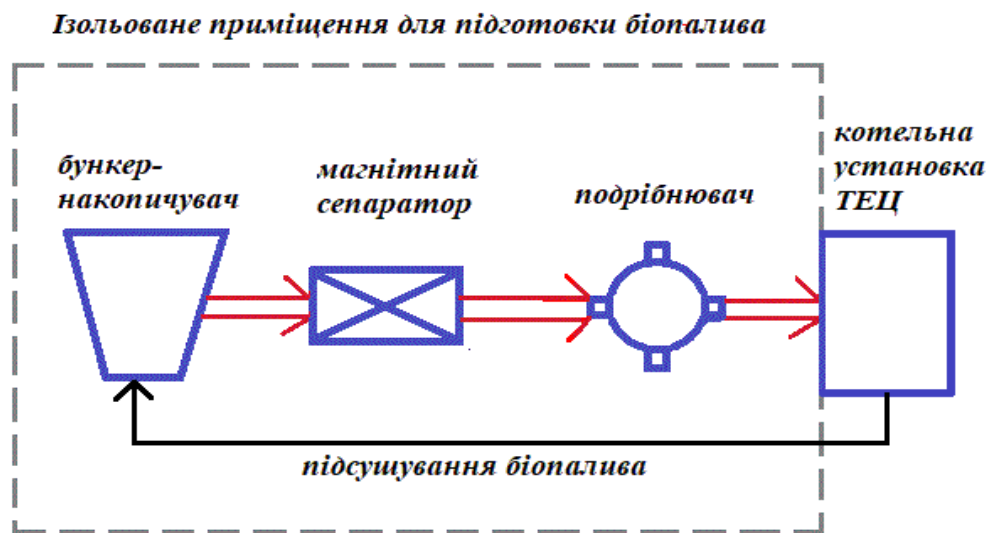


Рисунок 1. Приміщення для підготовки біопалива на ТЕЦ

Попереднє відділення металів за участі магнітного сепаратора є обов'язковим етапом, який створений для запобігання потрапляння металевих елементів в дробарку і надалі в котлоагрегат, що може значно знизити ККД котла та призвести до виходу із ладу обладнання на ТЕЦ [4].

Методики, матеріали та результати досліджень. Для розв'язку поставленої задачі було використано методи математичної оптимізації – метод лінійного програмування.

Цільовою функцією в даному випадку є максимальна тепловіддача як кожного з компонентів біопалива, так і їх суміші.

Враховуються такі обмеження:

- вологість W кожного з елементів, а також суміші;
- вміст золи;
- урахування морфологічного складу газів при згорянні.

Також, за допомогою загальноприйнятого методу Менделєєва було розраховано нижчу теплоту згоряння палива з переходом на різну вологість. Результати зображені на рисунку 2.

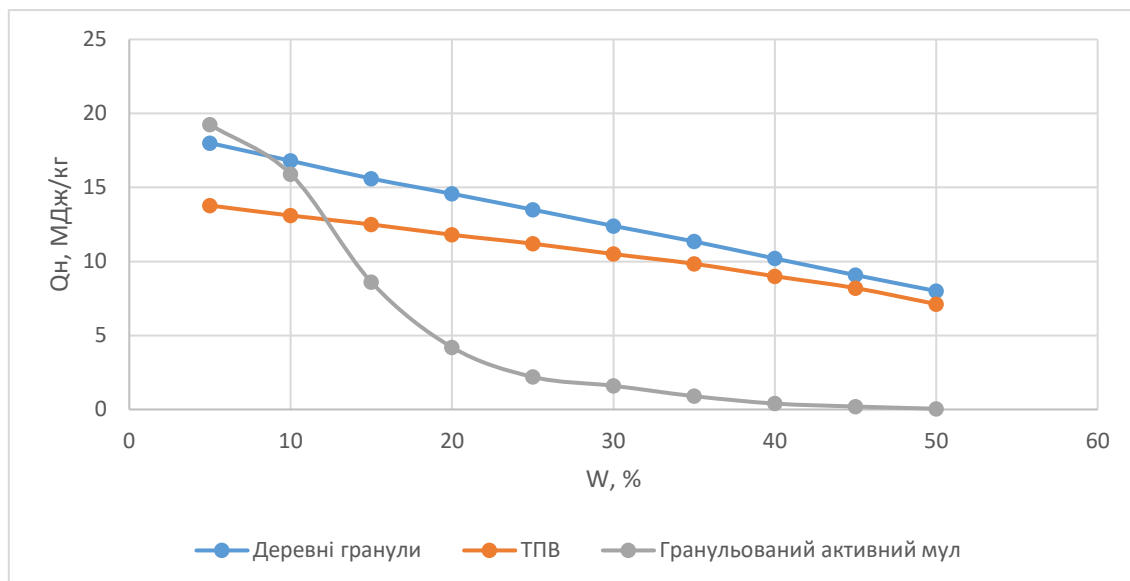


Рисунок 2. Графічна залежність теплотворної здатності різних видів палива від вологості

Розв'язок цієї задачі дозволяє отримати біопаливо з максимальним значенням енерговіддачі з урахуванням всіх обмежень на режим згоряння.

Висновки. Проаналізовано проблему утворення та накопичення твердих побутових відходів у місті Києві, в результаті чого:

- визначено, що використання відходів в якості біопалива для ТЕЦ має як екологічне значення, так і енергозберігаюче для столиці в період пікових навантажень на електромережі;
- було досліджено, що перед спалюванням біомаса проходить декілька стадій підготовки;
- для підвищення енерговіддачі палива запропонована суміш ТПВ, деревних гранул та гранул з активного мулу, що дозволить значно покращити горіння біопалива.

Список використаної літератури:

1. Концепція поводження з твердими відходами м. Києва за 2017 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-kyiv/2260781-kiiv-rozrobiv-konceptiu-povodzenna-z-tverdimi-vidhodami-2017.html>.
2. CEN/TS 14961:2005. “ Solid biofuels. Fuel specifications and classes ”. – London, 2005.
3. Склад, властивості й обсяг твердих побутових відходів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ecology-lectures.ru/inzhenerna-ekologiya/sklad-vlastivosi-i-obsyag-pobutovih-vidhodiv/>.

4. Электростанции на древесных отходах (электрогенератор и электростанция на дровах и опилках) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://bioenergy.grinyov.com.ua/wp-content/uploads/2014/12/электростанции-на-древесных-отходах>.

УДК 621.31

Борушко К.В., студент, Ткачук К.К., д.т.н., професор

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

У статті розглядаються різні методи підвищення ефективності сонячних панелей: за допомогою застосування нових матеріалів, установки концентраторів сонячного випромінювання, а також технології стеження за Сонцем. Розкриваються причини, за якими сонячна енергетика поки не може конкурувати з основними способами отримання електроенергії.

Different methods of increasing the efficiency of solar panels are considered in the article: with the help of the use of new materials, the installation of solar radiation concentrators, as well as the technology of monitoring the Sun. The reasons for which solar power can not compete with the main ways of obtaining electricity is revealed.

Вступ. Використання сонячної енергії знаходить все більше поширення в сучасному світі через свою загальнодоступності і невичерпності енергії Сонця, а також завдяки її екологічності. Але також є ряд причин, за якими геліоенергетика поки не може перевершити традиційні способи отримання електричної енергії. Такими перешкодами є висока вартість і низький ККД сонячних панелей. Є й інші, не менш важливі причини, наприклад, залежність від географічного розташування сонячних станцій, неможливість отримання енергії в нічний час, а також у зимовий період, при туманною і похмурій погоді. Присутній на необхідності встановлювати додаткове обладнання і виділяти великі площі для розміщення сонячних панелей.

Аналіз стану питання. У наш час йде активний пошук нових способів і пристроїв, а також шляхів підвищення продуктивності існуючих технологій, що дозволяють максимально ефективно перетворити енергію Сонця в електрику. Ведеться робота по удосконаленню використовуваних і отримання нових матеріалів, адже часто висока вартість сонячних батарей визначається високою ціною на фотоелементи.

Мета роботи. Розглянути різні методи підвищення ефективності сонячних панелей: за допомогою застосування нових матеріалів, установки концентраторів сонячного випромінювання, а також технології стеження за Сонцем. Розкриваються причини, за якими сонячна енергетика поки не може конкурувати з основними способами отримання електроенергії.

Основні матеріали дослідження. Основними відомими способами підвищення ефективності сонячних панелей є:

- розробка прогресивних технологій виготовлення фотоелементів, спрямованих на зменшення їх вартості та збільшення ККД;
- використання концентраторів сонячного випромінювання;
- застосування систем стеження за Сонцем [1].

Одним з важливих питань застосування сонячних панелей є вибір матеріалу фотоелемента, адже від нього у великій мірі залежить ККД системи. Найбільш поширеними є модулі, виготовлені за двома основними технологіями: з монокристалічного кремнію і полікристалічного кремнію.

Монокристалічний кремній це «чистий» кремній, з дуже малою кількістю домішок. Він має структуру, що нагадує стільники. У сонячних панелях використовуються пластини товщиною до 300 мкм [2].

Полікристалічний кремній має нижчу якість порівняно з монокристалічним. Кристали в ньому спрямовані в різні боки, а зерна не паралельні. Тому неоднорідна структура перешкоджає ефективному перетворенню сонячної енергії.

Поява плівкових сонячних панелей - один з найважливіших кроків розвитку в сфері підвищення ефективності фотоелементів. Розрізняють батареї на основі телуриду кадмію, а також селеніду міді-індію. Варто виділити новий вид панелей - полімерні сонячні панелі, виготовлені з полімерних матеріалів. Зведемо в таблицю основні переваги та недоліки вищевказаних матеріалів (Табл. 1).

Таблиця 1. Переваги і недоліки матеріалів, використовуваних в якості фотоелементів

Матеріал	Переваги	Недоліки
Монокристалічний кремній	Високий ККД-близько 20%	Висока собівартість технології вирощування кристалів
Полікристалічний кремній	Технологія виробництва менш затратна, ніж попередня	Низький ККД - до 18%
На основі телуриду кадмію	Широкий спектр поглинаючого сонячного випромінювання	Низький ККД - близько 10%, отруйність матеріалу
На основі селеніду міді-індію	Високий ККД - близько 20%, низька собівартість	Не існує єдиного технологічного процесу, придатного для масового виробництва
Полімерні з'єднання	Доступність матеріалів, низька собівартість, відсутність шкідливих випарів	Низький ККД - 5%

Розглянемо основні види установок сонячних панелей з концентраторами випромінювання [4].

Параболоциліндричні концентратор являє собою лист відображає матеріалу параболическої форми. Установка фокусує сонячну енергію в центр, де теплоносії, поміщений в металеву чорну трубку, нагрівається до температури 300-390 ° С. Після цього теплоносії, в якості якого може виступати масло, використовується для вироблення електроенергії в двигуні Стірлінга. Замість теплоносія також використовують фотоелементи, що скорочує поверхню пристрою при тій же віддачі.

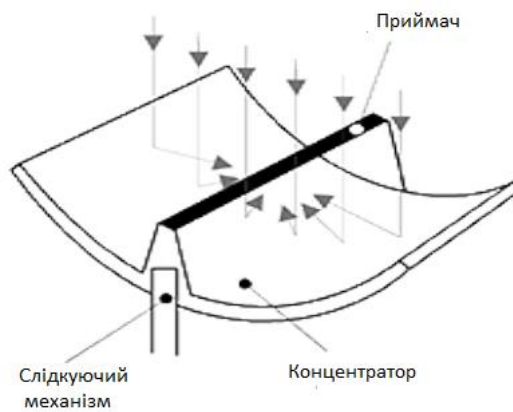


Рисунок 1. Параболоциліндричні концентратор

Плоский дзеркальний відбивач з дзеркалами Френеля складається з безлічі плоских дзеркал, які концентрують випромінювання на поверхню фотоелектричного елемента або на вершину баштовій конструкції з приймачем, де знаходиться теплоносіє.

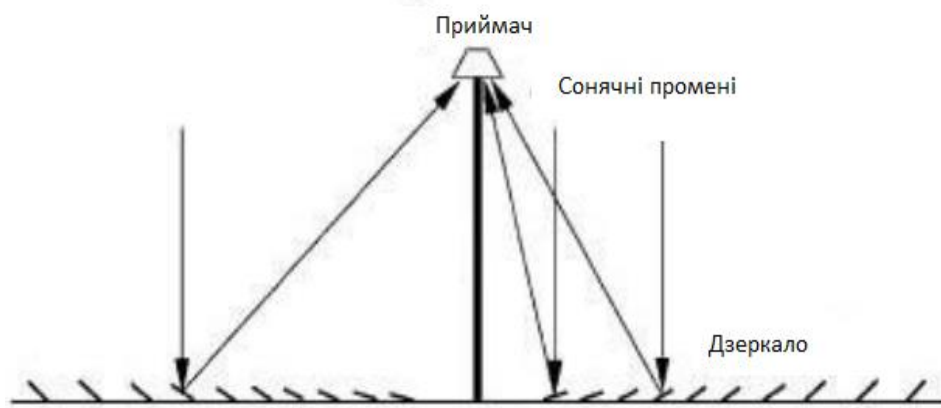


Рисунок 2. Плоский дзеркальний відбивач з дзеркалами Френеля

Параболічний концентратор виготовляється у формі параболоїда обертання. Дана установка орієнтується по двох координатах при стеженні за Сонцем. Сонячна енергія фокусується на невеликий простір. Двигун Стірлінга або фотоелектричний елемент закріплюється на кронштейні в фокусі відбивача. Необхідно, щоб двигун Стірлінга розташовувався так, щоб область нагріву знаходилася у фокусі відбивача.

Проведемо аналіз переваг і недоліків всіх вищевказаних типів концентраторів і зведемо отримані дані в таблицю (Табл. 2).

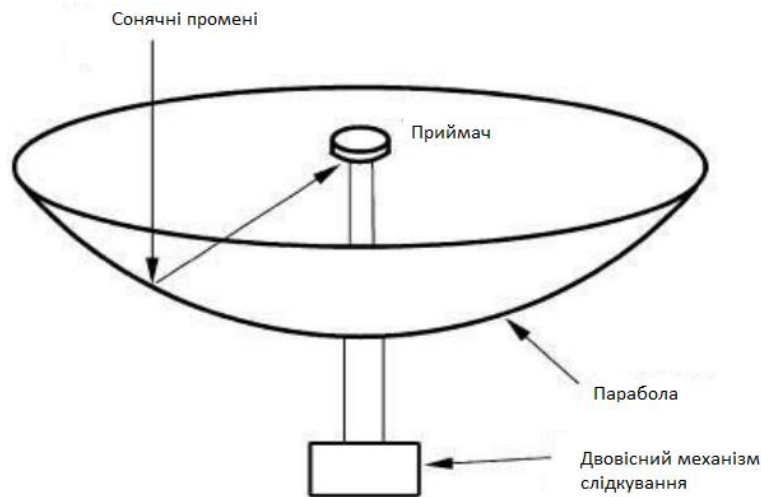


Рисунок 3. Параболічний концентратор

Таблиця 2. Переваги та недоліки різних концентраторів сонячного випромінювання

Тип концентратора сонячного випромінювання	Переваги	Недоліки
Параболоциліндричні концентратор	1. Досить використовувати одновісний сліdkуючий механізм, тому установка може бути орієнтована по одній осі, наприклад, «північ - південь», при цьому сліdkуючи за Сонцем з заходу на схід. 2. Температура теплоносія може досягати 400° С, тому це - найпрогресивніша технологія в сфері отримання електроенергії з тепла.	1. При використанні фотоелемента необхідна додаткова установка охолоджуючого пристрою для захисту від перегріву.
Плоский дзеркальний відбивач з дзеркалами Френеля	1. Використання плоских відбивачів, які дешевше, ніж сферичні дзеркальні відбивачі. 2. Монтаж проводиться близько до поверхні землі, що зменшує структурні вимоги.	1. Менш ефективні в перетворенні сонячної енергії в електричну, ніж Параболоциліндричні концентратори. 2. Є проблеми з установкою акумуляторів в дану конструкцію.
Параболічний концентратор	1. Є найбільш ефективною системою, що має ККД близько 30%, завдяки двовісній системі стеження. 2. Кожен модуль має власний приймач, завдяки чому система може працювати як автономно, так і бути частиною системи з безлічі концентраторів.	1. Використання дзеркал параболічної форми, які є дорогими і складними у виготовленні.

Зараз почали застосовувати слідкуючі системи, які вже довели свою ефективність, збільшуючи ККД панелей до 50%.

Така система може бути як одновісна, так і двовісна. Двовісний механізм, на відміну від одновісного, може переміщати панель в двох напрямках, тобто орієнтуватися за Сонцем по азимуту і зеніту. Установка повинна мати легкий металевий каркас, що не перешкоджає руху. Всі пристрої які стежать за Сонцем складаються з двох частин: схеми управління і механізму, що здійснює обертання системи.

Система управління здійснює слідкування за Сонцем. Вона може бути виконана на базі мікроконтролера або на базі операційних підсилювачів і транзисторів. Для визначення положення Сонця застосовують фоторезистори, які в схемі є сенсорами сонячного світла. Момент, що обертає механізм може бути реалізований на базі сервоприводів з вентильними двигунами. Харчування двигунів і схеми управління здійснюється за рахунок енергії, отриманої від сонячної батареї.

Найпростіша схема пристрою стеження за Сонцем на базі операційних підсилювачів і транзисторів приведена нижче (Рис. 4.)

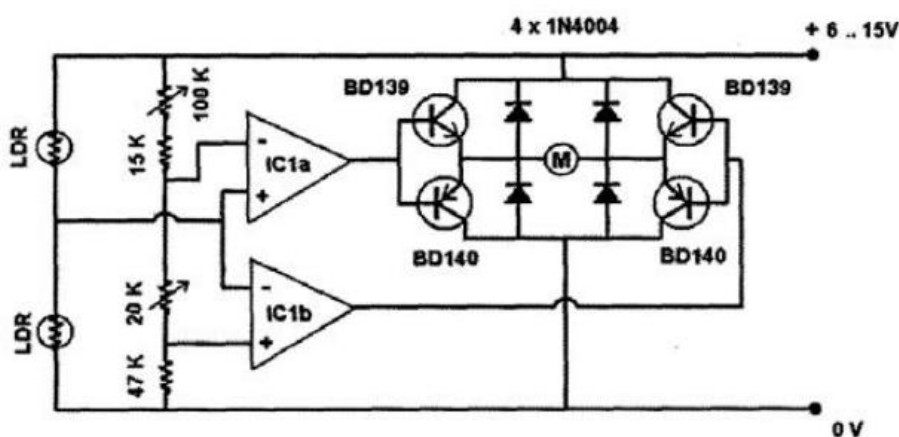


Рисунок 4. Схема пристрою стеження за Сонцем

Схема містить два операційних підсилювача, два фоторезистора, транзистори, діоди, резистори та підлаштовані резистори.

Перевагами даної схеми є простота конструкції і складання, а також низька собівартість.

Недоліком є те, що дану схему недоцільно застосовувати в промислових масштабах через її малу потужність.

У схемах на базі мікроконтролера відсутні, як правило, операційні підсилювачі і транзистори, при цьому вони здатні реалізовувати досить складні алгоритми управління.

Висновки. Таким чином, серед рішень в частині застосування нових матеріалів самим передовим є використання плівкових панелей на основі селеніду міді-індію, розвиток технології масового виробництва даного матеріалу принесе великі успіхи в підвищенні ефективності систем сонячних панелей. Серед установок з концентраторами випромінювання найбільш ефективними є параболічний концентратор і сонячні башти, які успішно показали себе на практиці в деяких країнах світу. Для пристроїв з слідкуючою системою продуктивніше застосовувати схеми на базі мікроконтролерів, які набагато спрощують збірку і вже заздалегідь запрограмовані на стеження за Сонцем.

Всі описані вище технології мають спільну мету: підвищити ефективність сонячних панелей, щоб зробити їх більш конкурентоспроможними і доступними, забезпечити

ефективну окупність, зменшити використання викопних джерел палива на користь сонячної енергії, вирішити проблему дефіциту ресурсів

Список використаної літератури:

1. Ахметшин А. Т. Повышение эффективности автономных солнечных фотоэлектрических установок для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей: дисс. ... к.т.н. Уфа, 2016. 172 с.
2. Кашкаров А. Солнечные батареи и модули как источники питания // Современная электроника. 2015. № 5. С. 8-15.
3. The Other Kind of Solar Power [Електронний ресурс]. URL: <http://www.economist.com/node/13725855> (дата обращения: 03.01.2017).
4. Yinghao Chu. Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies [Електронний ресурс]. URL: <http://www.geni.org/globalenergy/research/review-and-comparison-of-solar-technologies/Review-and-Comparison-of-Different-Solar-Technologies.pdf>

УДК 504.06

Бровді І. В., студент,

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

**АНАЛІЗ ШЛЯХІВ УТВОРЕННЯ ФОСФОГІПСУ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ
УТИЛІЗАЦІЇ ЦЬОГО ВІДХОДУ НА ПАТ «РІВНЕАЗОТ»**

Хімічна промисловість є джерелом утворення різноманітних відходів виробництва.

У статті розглянуто утворення відходу виробництва – фосфогіпсу. Проаналізовано схеми виробництва азотно-фосфорного добрива та екстракційної фосфорної кислоти. Для покращення екологічної ситуації на підприємстві запропонований захід, що дозволить знизити об'єми відходів.

The chemical industry is the source of the production of various waste products.

The article deals with formation of production waste - phosphogypsum. The schemes of production of nitrogen-phosphorus fertilizers and extraction phosphoric acid have been analyzed. To improve the environmental situation at the enterprise, the proposed measure, which will reduce the amount of waste.

Вступ та аналіз стану питання. ПАТ «Рівнеазот» - одне з найбільших підприємств хімічної промисловості, яке виробляє мінеральні добрива та іншу хімічну продукцію. Водночас воно є забруднювачем навколишнього середовища. Основну увагу потрібно звернути на утворення відходу фосфогіпсу. Він утворюється при виробництві азотно-фосфорного добрива та екстракційної фосфорної кислоти.

Залежно від якості сировини, яку використовують, та прийнятої технології на 1 т кислоти (у перерахунку на 100 %-ву H_3PO_4) утворюється від 4,5 до 8,4 т вологого фосфогіпсу (або 3,6—6,2 т у перерахунку на суху речовину). При переробці 1 т апатитового концентрату в ЕФК утворюється 1,6 т фосфогіпсу, а на 1 т P_2O_5 утворюється 4—5 т фосфогіпсу [1].

Кількість фосфогіпсу, який утворюється переважає кількість фосфориту, потрібного для реакції, звідки стає зрозумілим, що проблема його утилізації є досить актуальною й важливою.

Є постійна необхідність транспортування і зберігання фосфогіпсу. Якщо і дотримуються всі санітарні вимоги, то всеодно погіршується санітарний стан майданчика заводу і екологічна обстановка прилеглої до нього території. Для створення відвалів фосфогіпсу доводиться постійно відчужувати великі ділянки земель, іноді оброблювані, часто ці майданчики перевищують розміри промислових майданчиків самого підприємства. Тому доцільно розробити систему утилізації відходу.

Мета роботи. Розглянути технологічні схеми, відходом яких є фосфогіпс, і розробити систему утилізації відходу фосфогіпсу.

Матеріали і результати досліджень. До технологічних схем, відходом яких є фосфогіпс, відносяться схеми виробництва азотно-фосфорного добрива та екстракційної фосфорної кислоти.

Виробництво азотно-фосфорного добрива має такі основні стадії: спочатку приймання сировини, далі фосфорно-кислотне розкладання фосфориту, потім збагачення пульпи розкладу сульфатною кислотою, далі амонізація пульпи і нарешті сушка та класифікація грануляту [2].

Схема виробництва добрива приведена на рис. 1. Опис схеми: фосфорит із бункера (1) ваговими дозаторами (2) подається до першої секції багатосекційного реактора 1; в цей же час здійснюється завантаження фосфатної кислоти; для того, щоб розкласти фосфатну сировину подається сульфатна кислота до другої зони реактора 1; далі пульпа кислотного розкладу направляється на вакуум-фільтр (3); після того, як тверда фаза, яка зветься фосфогіпсом, викидається до відвалу, а рідка частина, яка є розчином фосфатної кислоти, надходить до реактора 2; фосфорно-кислотне розкладання фосфатної сировини здійснюється подачею фосфориту із бункера 1 і фосфатної кислоти до реактору 2; пульпа розкладу по верхньому перетоку надходить до реактора 3, куди в цей же час подається сульфатна кислота, далі надходить до реактору 4; разом з цим відбувається подача аміаку у вигляді аміачної води (25 мас. % NH_3); далі йде стадія сушки та грануляції; парогазова суміш з реакторів направляється до газоочисних апаратів, де відбувається очистка газів до нормативних вимог. Повітря, яке пройшло стадію очистки, подається у атмосферу.

Виробництво екстракційної фосфорної кислоти є сірчано-кислотним розкладанням апатитового концентрату, який був одержуваний збагаченням хибинських апатито-нефелінових руд і містить близько 39% P_2O_5 .

При кристалізації гіпсу в його кристалічні ґрати входять аніони HPO_4^{2-} , які ведуть до утворення фосфогіпсу – відходу виробництва фосфорної кислоти. На 1 т P_2O_5 (у фосфорній кислоті) одержують до 8,5 т фосфогіпсу дигідрату. Екстракція (спосіб розділення суміші речовин на складові частини за допомогою розчинника, в якому вони розчиняються неоднаково) H_3PO_4 полягає в дії сірчаної кислоти на порошок природного порошку:



Перехід домішок в іншу фазу полегшує їх виділення. Кальцієва складова випадає в осад у вигляді гіпсу (CaSO_4), друга йде в газову фазу у вигляді фтороводня HF . Схема виробництва ЕФК (рис. 2) включає розклад подрібненої сировини в реакторі, фільтрацію твердого осаду, упарювання фосфорної кислоти до потрібної концентрації та очищення газів, що відходять. Твердий відход є "фосфогіпс". Фтороводень, що утворився взаємодіє з порожньою породою сировини:



Під час промивання водою газів, що відходять, обидва летючі продукти уловлюються

у вигляді кремнефтористоводневої кислоти H_2SiF_4 [2].

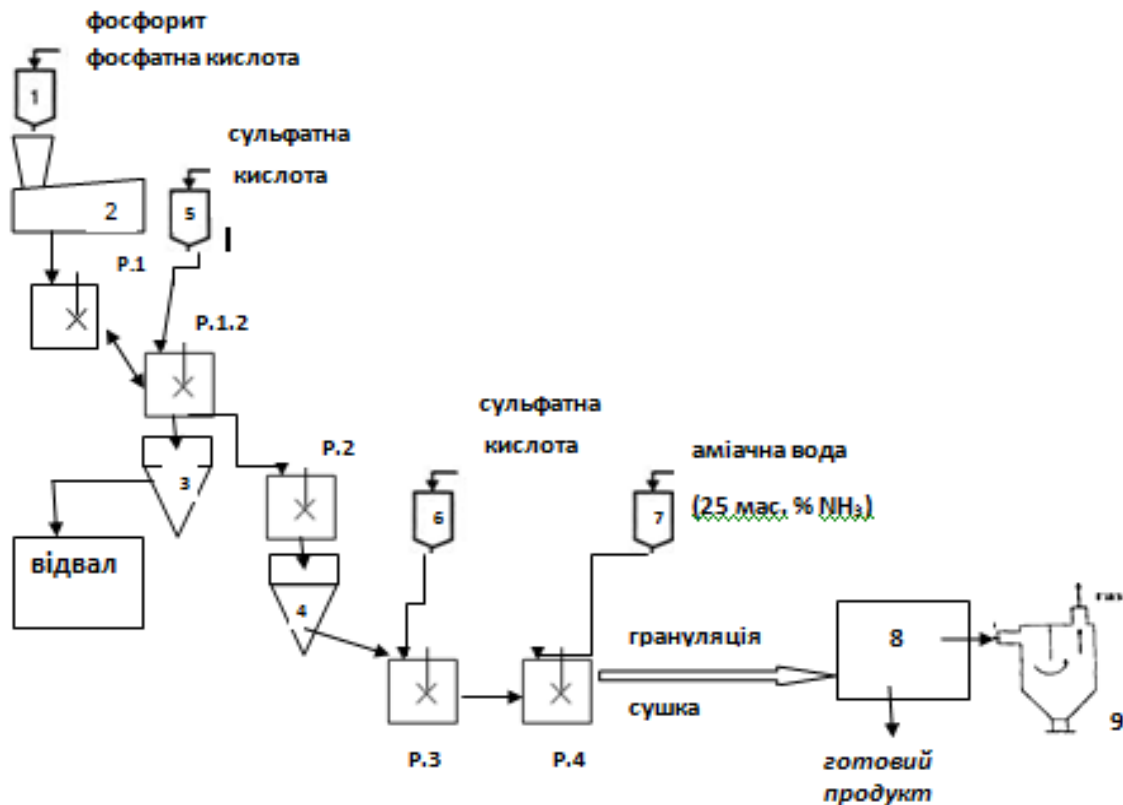


Рисунок 1 – Схема виробництва азотно-фосфорного добрива

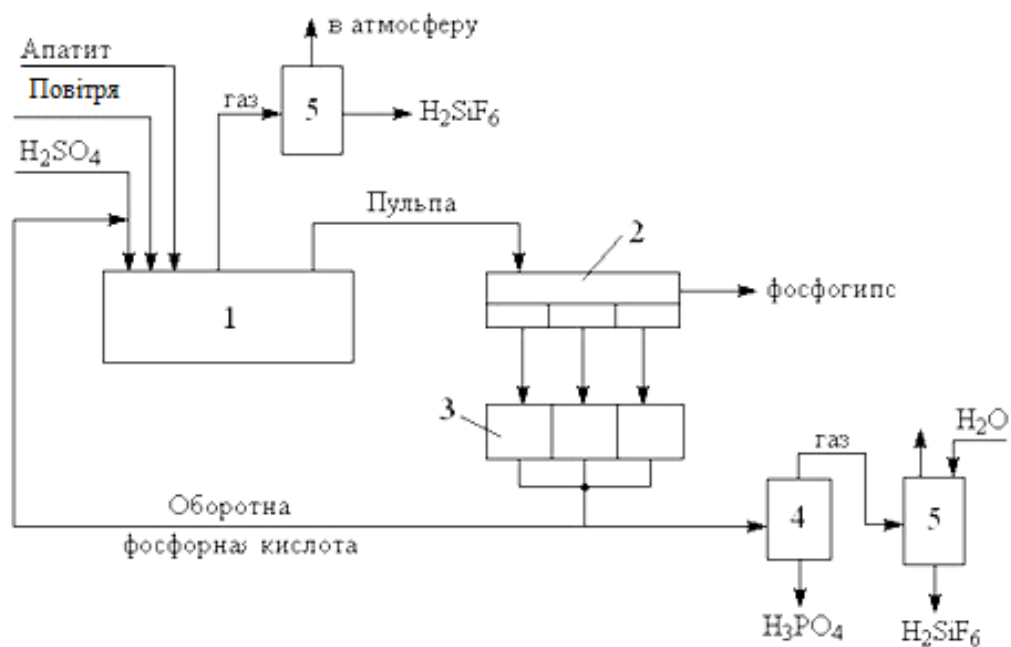


Рисунок 2 – Схема виробництва екстракційної фосфорної кислоти:

1 - реактор розкладання апатиту (екстрактор); 2 - вакуум фільтр; 3 - збірка фільтратів;
4 - колона випарювання фосфорної кислоти; 5 - система очищення газів.

Утворення уже товарної фосфорної кислоти включає в себе відділення осаду CaSO_4 (фосфогіпсу) і концентрування кислоти. Залежно від умов розкладання утворюються кристали $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (дигідрат) або $\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$ (напівгидрат). Фосфогіпс відокремлюють на вакуум-фільтрі. Фільтрат направляють на випарювання, де концентрація кислоти збільшується до 52-54%. Це і є товарна кислота. При випаровуванні з кислоти видаляється 80-90% фтору у вигляді HF . Також з реактора відходять і уловлюються в системах очищення фторовмісні гази [2].

Видно на схемах виробництва екстракційної фосфорної кислоти і азотно-фосфорного добрива, що відходом виробництва є фосфогіпс (рис. 1, рис. 2). Співвідношення частин добрива і відходу відноситься 1:4. На ПАТ "Рівнеазот" у спеціально відведених місцях складування накопичено близько 16512184,6 т фосфогіпсу, і ця цифра зростає, адже, немає системи утилізації цього відходу [3].

Тому доцільно було поставити утилізувати фосфогіпс. Фахівцями була розроблена комплексна технологія переробки фосфогіпсу. З промивного сірчано-кислого розчину на першій стадії виділяється груповий рідкоземельний концентрат нейтралізацією аміаком, на другій стадії при нейтралізації вапном - гіпс і супутні нейтралізовані домішки фосфору і фтору, одночасно утилізуючи аміак. Матковий розчин від глибокої нейтралізації використовували в голові процесу промивання фосфогіпсу, а гіпс з домішками фосфату кальцію і фториду кальцію направляли для виробництва в'язучих [4].

Етапи технології:

1. Відмивання фосфогіпсу від водорозчинних солей фосфору і фтору здійснюється розведеним розчином сірчаної кислоти з отриманням відмитого фосфогіпсу; сірчано-кислого розчину, що містить домішки фосфору, фтору і РЗЕ (рідкоземельних елементів).

2. Переробка сірчано-кислого розчину проводиться з отриманням: РЗК (зміст РБО-98,5-99,5%); аміаку, що направляється на нейтралізацію сірчано-кислого розчину; лужної пульпи гіпсу.

За результатами випробувань були розроблені вихідні дані для проектування дослідно-промислового виробництва по переробці відвального фосфогіпсу продуктивністю 60 тис. тонн в рік з отриманням концентрату РЗМ, гіпсового в'язучого та будівельних виробів на його основі - сухих будівельних сумішей в асортименті [5].

Основні переваги розробленої технологічної схеми переробки фосфогіпсу:

- технологія безвідходна, відрізняється від відомих відсутністю рідких і твердих відходів, низькою витратою реагентів і води;
- дозволяє розглядати фосфогіпс як стратегічну сировину для виробництва РЗМ;
- технологія відрізняється високою глибиною переробки фосфогіпсу з отриманням широкого асортименту готової продукції для різних галузей народного господарства і військово-промислового комплексу.

Розроблена комплексна безвідходна технологія переробки фосфогіпсу реалізована на напівпромисловій установці ТОВ «ЛІТ» в режимі повної циркуляції оборотної води з отриманням високоміцного і будівельного гіпсу (α і β -напівгидрату сульфату кальцію) і рідкоземельного концентрату [5]. Екологічність та економічність процесу забезпечується тим, що він не потребує автоклавного теплового оброблення і не супроводжується викидами парникових газів.

Висновок. Таким чином, для зменшення кількості відходу, який знаходиться на території підприємства, буде ефективно установити установку з технологією переробки фосфогіпсу на гіпсові в'язучі, а також отримання концентрату РЗМ. Це допоможе позбутись відвалів відходу, а також допоможе отримати прибуток підприємству після переробки.

Список використаної літератури:

1. Маркевич И. П. Утилизация и ликнологии неорганических веществ. / И. П. Маркевич, В.В. Печковский // М.: Химия, 1984. - 240 с.
2. Прокошева М. А. Влияние хранения и применения фосфогипса на окружающую среду и рекультивацию нарушенных земель/ М. А. Прокошева, Н.А.Торина., Ю.А. Щугаров, Г. Н. Баранова // Тр. НИУИФа. 1981. № 239. С. 59—64.
3. Екологічна ситуація у Рівненській області за 2015 рік. Статистичний збірник. Головне управління статистики у Рівненській області. – Рівне, 2016. – 52 с.
4. Пат. 88658. Спосіб вилучення рідкісноземельних елементів із фосфогіпсу / С. В. Власян, М. Д. Волошин та інші // Бюл. № 6. – 2014.
5. Абрамов А. М. Комплексная технология переработки фосфогипса с получением концентрата РЗМ, гипсового вяжущего и строительных изделий на его основе / А.М. Абрамов, Ю.Б. Соболев, Ж.Н. Галиева, Р.С. Галиев, О.Р. Сабина // Группа компаний «Скайград». – 2011.

UDC 691.035.267

Vadim Bronytskyi, assistant, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

Anna Bilous, student, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ANALYSIS OF ECOLOGICAL LEGISLATION OF UKRAINE AND EUROPEAN COUNTRIES

Comparison of active ecological legislations, Ukrainian and European, gives opportunity to get full image of safety measures, which Ukraine externalizes in contradistinction to Europe. Having compared the ecological situation of the leading European countries and Ukraine, we can get the result of influence of ecological legislation on condition of environment in different countries and Europe at all.

Key words: *ecological legislation, environmental protection, ecological rights and obligations, anthropogenic pressure, atmospheric air pollution.*

Порівняння чинних екологічних законодавств, українського та європейського, надає можливість отримати повну картину заходів безпеки, які втілює Україна на відміну від Європи. Порівнявши екологічний стан провідних європейських країн та України, отримаємо результат впливу екологічного законодавства на стан навколишнього середовища окремих країн та Європи в цілому.

Ключові слова: *екологічне законодавство, захист навколишнього середовища, екологічні права та обов'язки, антропогенне навантаження, забруднення атмосферного повітря.*

Introduction. The current Constitution of Ukraine, adopted in 1996, laid down the principles of the state's activities to stimulate efficient use of nature, environmental protection and the establishment of environmental safety. The law establishes ecological rights and obligations of citizens of Ukraine. Comparing the Ukrainian system with the European one, it will be possible to assess the advantages and disadvantages of the Ukrainian ecological legislation.

Analysis of the status of the issue. The magnitude and increase of anthropogenic pressure on the natural environment has led to environmental security as the most important component of the international and national security of each country. In order to protect the environment from environmental encroachments, the state implements ecological policies. The ecological problem is one of the biggest problems in our country, as well as in many others. Therefore, it is expedient to compare the environmental legislation of Ukraine and several European countries in order to identify the advantages and disadvantages of each of them.

Purpose. The purpose of the work is to make a comparative analysis of Ukrainian environmental legislation with the leading European countries. Eventually, the analysis has to be done to identify the advantages and disadvantages.

The main material. The leading role in the formation of environmental principles and their implementation in foreign legal systems remains with European countries.

After analyzing the environmental provisions of the constitutions of European countries, it can be concluded that the legal framework of the legislation in the field of environmental protection is formed on such basic environmental principles as legal protection of rational use of natural resources, information cooperation in the field of environmental protection, prevention of causing and reimbursement of environmental damage.

The main tendencies of development and formation of Ukrainian and European legislation are given in Table 1.

The development of environmental legislation in Europe took place gradually (Figure 1). Do not look at the fact that France was one of the first countries in this field, Spain was the most important player in the development of this legislation. Although Ukraine is a relatively young state, however, in the current Constitution of Ukraine of 1996, there are a number of environmental articles and laws that try not to abide by European standards.

Table 1. Analysis of Ukrainian and European environmental legislation

<i>European legislation</i>	<i>Ukrainian legislation</i>
• An important part are documents that establish ecological requirements for different types of activities;	• The most important document - The current Constitution of Ukraine, adopted in 1996;
• the existence of general framework requirements in the field of environmental protection;	• the law establishes environmental rights and obligations of citizens of Ukraine;
The sources of EU environmental law can be grouped into the following groups: • general guidelines; • directives designed to regulate the control of the environmental consequences of economic activities of enterprises and establish responsibility for causing environmental damage; • guidelines for the protection of certain natural components and the protection of wildlife; • guides on environmental protection against domestic and industrial waste pollution.	Legislative and legal mechanism of environmental management consists of: • constitutional regulation of environmental legal relations; • ecological and legal regulation, based on the norms of laws and codes of Ukraine; • regulation of ecological legal relations with environmental and legal norms of various branches of legislation; • international legal regulation; • regulation of environmental legal norms of the security branches of legislation.

the most active development of legislation in the field of protection of subjective environmental rights;	enhancing environmental safety and maintaining eco-logic equilibrium on the territory of Ukraine is the most actively developing;
high degree of influence on the development of international environmental law and their active interaction;	low development of environmental legal regulation;
despite the existence of a common legal framework for the countries of the European Union, the national environmental law of individual countries has its own peculiarities.	national environmental law does not have rapid development, but gradually develops with the support of state bodies of Ukraine.

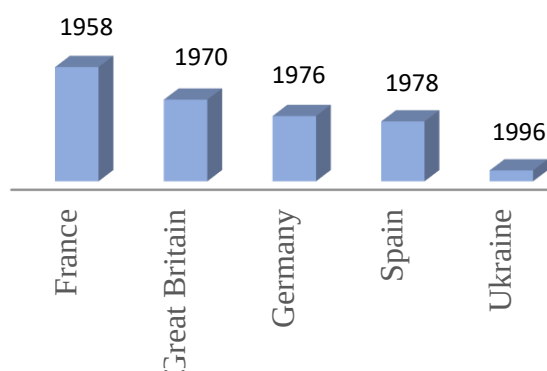


Figure 1. The beginning of the development of environmental legislation in European countries

A comparative analysis of the impact of atmospheric air pollution on population in different countries of the world is conducted, and from Figure 2 we can conclude that Ukraine ranks 7th in the ranking. Countries such as Germany, Japan, and Canada, although present on this list, but with low rates, so we can say that the countries are struggling with a problem such as air pollution.

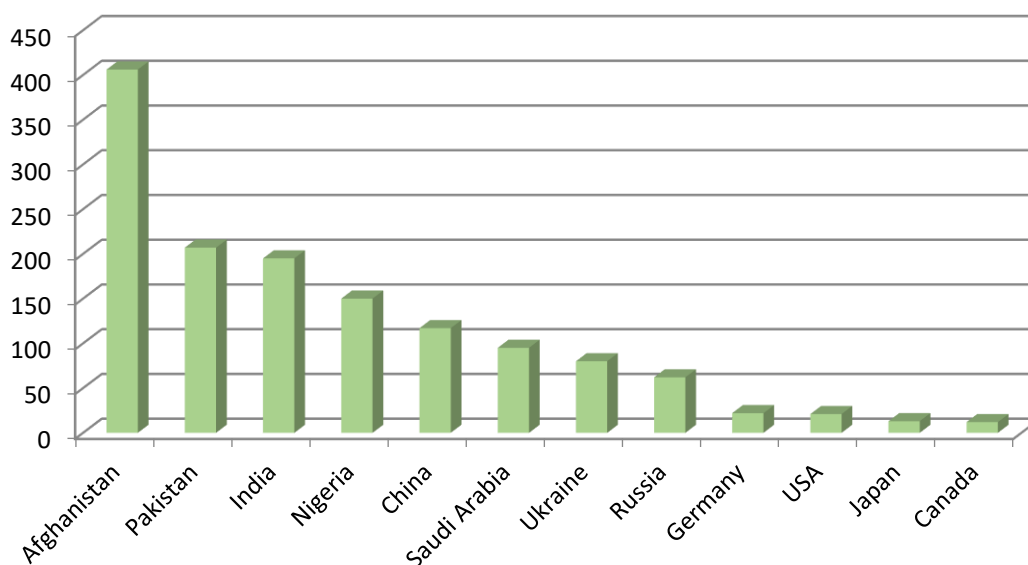


Figure 2. Indicators of the impact of atmospheric air pollution on the population

Despite the fact that Ukraine is on the 7th place among the countries with not the best ecological situation, the government of the country is actively fighting the pollution of atmospheric air pollution. One example is the introduction of air defense measures in all Ukrainian regions (Fig. 3). These events take place in two stages:

- the first is an analysis of the situation in the region and the outcome of the expected improvement in atmospheric air;
- the second one is to obtain actual results after the implementation of these measures.

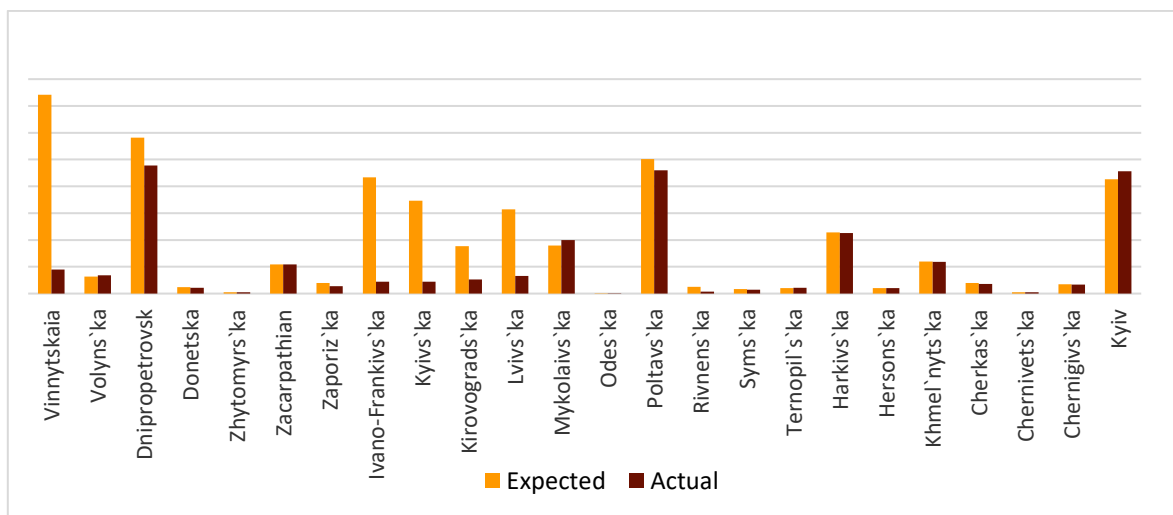


Figure 3. Implementation of air protection measures by regions in 2017

Conclusions. After analyzing the environmental legislation of Ukraine with the leading European countries, we can conclude that although the Ukrainian legislation in the field of ecology is not perfect, it is becoming a development. The country conducts a number of environmental measures to improve the situation and prevent environmental disasters. Ukraine has a great potential in this area and is trying to take measures to reduce the negative impact on the population.

References:

1. The Law of Ukraine “On the Protection of the Environment” [Електронний ресурс] // Legislation of Ukraine. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
2. Air defense measures of the regions of Ukraine [Електронний ресурс] // State Statistics Service of Ukraine. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
3. Air Condition in the World 2018 [Електронний ресурс] // Health Effects Institute. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://texty.org.ua>

УДК 504.3.054

М.В. Попач, ст. викл. Гребенюк Т.В.

КПІ ім. І. Сікорського

АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Розглянуто проблему забруднення атмосфери котельними установками на території України, наведено розрахунок забруднюючих речовин на прикладі котельні в м. Березне. Досліджено вплив видів палива на екологічний стан України. Проаналізовано шляхи зменшення забруднення атмосфери. Запропоновано вирішення даного питання в таких напрямках: використання методів очищення конкретних видів забруднюючих речовин, використання очисних установок та заміна застарілого обладнання на більш нове.

Ключові слова: котел, джерело викидів, циклон, екологічні показники, довкілля, забруднення, концентрація.

In the following topic the problem of atmospheric pollution by boiling facilities in Ukraine is considered and given example of Berezne boiler pollutants calculation. Also the influence of fuels on the ecological situation in Ukraine is researched. In summary analyzed different possibilities of reducing atmosphere pollution, and in the consequence were taken the next solutions techniques : purification specific pollution substance; applying treatment plants; and replacing and upgrading outdated equipments to up to date.

Key words: boiler, source of emissions, cyclone, ecological indicators, environment, pollution, concentration.

Вступ. Внаслідок науково технічного прогресу постає загроза збільшення кількості забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі, зокрема у гідросфері, атмосфері та літосфері. Теплоенергетика не є виключенням. Вона становить загрозу для атмосфери відхідними газами, утворення озонових дір та розорення ресурсів.

Аналіз літературних джерел за темою дослідження і постановка проблеми. Аналіз дав змогу довести, що під час спалювання органічного палива в енергетичних установках у атмосферне повітря разом з димовими газами надходять забруднювальні речовини та парникові гази, серед яких [1,2]:

- речовини у вигляді суспендованих твердих частинок;
- оксиди сірки SO_x у перерахунку на діоксид сірки або сірчистий ангідрид SO_2 ;
- оксиди азоту NO_x у перерахунку на діоксид азоту NO_2 ;
- оксид вуглецю CO ;
- важкі метали та їх сполуки;
- діоксид вуглецю CO_2 ;
- метан CH_4 ;
- азоту (І) оксид або оксид діазоту N_2O .

Аналіз [2] показує, що під час роботи джерел енергії присутні такі фактори шкідливого впливу на навколишнє середовища:

- використання атмосферного кисню та викидання продуктів повного спалювання CO_2 , H_2O ;
- теплові викиди;

- шум;
- шкідливі викиди в атмосферу.

Теплові викиди пов'язані з високою температурою продуктів згорання, шлаку, а також ступенем теплоізоляції огорожувальних конструкцій обладнання.

Шум є більш впливовим фактором для котлоагрегатів великої та середньої потужності. При роботі водогрійних котлів малої потужності та опалювальних апаратів шум не перевищує допустимих значень. Під час спалювання палива в котельних установках, в атмосферу викидається ряд шкідливих речовин, наведених вище.

Проаналізовано [3] щодо рівнів викидів забруднюючих речовин в атмосферу при спалюванні різних видів палива. Ці дані наведено в Табл.1.

Таблиця 1. Рівні викидів забруднюючих речовин в атмосферу при спалюванні різних видів палива

Вид палива	Викиди, т/ тис. т палива				
	CO ₂	NO ₂	SO ₂	тверді частки	разом
Природний газ	1,18	3,52	0	0	4,7
Брикети, пелети	4,68	9,32	0,28	4,11	17,7
Деревина	4,9	9,4	0,3	4,3	18,9
Тирса деревна	5,0	9,6	0,5	5,0	20,0
Деревні відходи, обрізки	5,2	9,9	0,4	5,2	20,7
Швидкозростаюча деревина	4,8	9,5	0,0	8,4	22,7
Мазут	5,2	5,2	35,3	0,3	45,9
Брикети торф'яні	8,0	26,8	3,0	13,0	50,9
Кам'яне вугілля	9,6	63,6	9,2	65,3	147,7

В загальному обсязі видно, що найбільша кількість викидів утворюється від кам'яного вугілля – 147,7 т на тисячу тон палива, майже в три рази менше викидів від торф'яних брикетів і мазуту, приблизно схожі показники у швидкозростаючої деревини, деревних відходів, тирси деревної, просто деревини та брикетів – від 17,7 до 22,7 т на тисячу тон палива, а найменше викидів від природного газу – 4,7 т. Ця закономірність пояснюється агрегатним станом, калорійністю палива, транспортуванням тощо.

Метою роботи є аналіз забруднення атмосферного повітря від котельних установок. Висвітлення кількісних характеристик викидів на реальному прикладі та узагальненні шляхів їх зменшення

Методики, матеріали та результати досліджень. З метою встановлення взаємозв'язку кількості викидів від палива було проведено розрахунок забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу від котельні в м. Березне. На даному об'єкті встановлено 3 котли КБНГ-2,5 (два котли в роботі, один – резерв).

Для визначення даних про викиди забруднюючих речовин та парникових газів, як правило, застосовується комбінація двох основних методів:

- постійних вимірювань концентрацій забруднювальних речовин у димових газах енергетичних установок;
- розрахункових методів за даними про витрати та склад використаного палива і характеристики енергетичних та газоочисних установок [4].

В даному випадку визначення даних проводилось за другим варіантом згідно нормативного документу ГДК 34.02.305-2002 [5].

Річна витрата природного газу становить 800 тис м³.

Проведено ряд розрахунків, що показано в таблиці 2.

Таблиця 2. Потужність валових викидів

Забруднююча речовина	Фактичний викид	
	г/с	т/рік
Оксиди азоту (у перерахунку на діоксид азоту)	0,1298	2,0411
Оксид вуглецю	0,0618	0,972

Для того, щоб достовірно зрозуміти стан кількості викидів на даній котельні, необхідно порівняти їх з діючими нормами. Ці дані показано на рисунку 1.

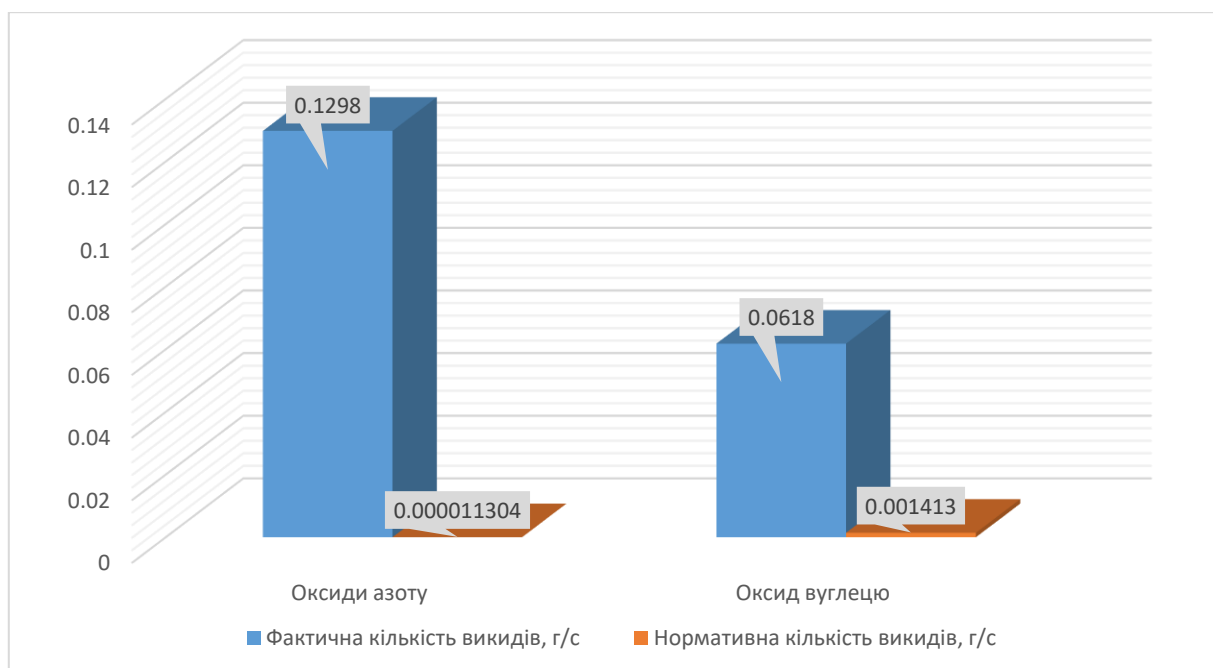


Рисунок 1. Порівняння викидів забруднюючих речовин з нормою

Кількість забруднюючих речовин, що викидаються, в рази перевищують нормативні показники. В Україні існує багато котелень, де не дотримуються умов викидів у атмосферу. Ситуація потребує змін, тому далі пропонуються можливі варіанти вирішення даної задачі.

Узагальнені варіанти вирішення проблеми. Всі котли та інші паливоспалюючі установки, що сертифікуються в Україні, проходять перевірку по відповідності екологічних показників, в тому числі по концентрації викидів NO_x та CO.

Існує три основні способи зменшення шкідливих викидів [5]:

- очищення палива та окислювача від складових, що можуть утворювати шкідливі речовини;
- випалювання шкідливих речовин;
- очищення димових газів від шкідливих речовин, що утворилися під час спалювання палива.

Одним з варіантів зменшення кількості викидів може бути установка спеціального очисного обладнання, що може бути представлене такими рішеннями:

- пилоосаджувальні камери;
- інерційні пиловловлювачі;
- циклони;
- вихрові та динамічні пиловловлювачі;
- тканинні фільтри;
- волокнисті фільтри;
- зернисті фільтри тощо.

Для кожного конкретного випадку обирається відповідна очисна установка. Вибір залежить від діаметру частинок та складу суміші забруднюючих речовин. В загальному випадку, ефективність, наприклад, циклона коливається від 60% (застарілі моделі) до 99,99% (сучасні циклони).

На сьогодні актуальною проблемою в Україні є і використання застарілого обладнання на котельнях. В середньому, термін експлуатації котла становить 20-25 років, в той час як в Україні їх використовують понад 30 років. Окрім небезпеки що становить для працівника в плані зношеності конструкції та можливості нещасних випадків, це ще є більша шкода для атмосфери. Зрозуміло, що старі котельні установки викидають більше забруднюючих речовин у зв'язку з негерметичністю конструкції. Тому можливий ще один варіант зменшення викидів забруднюючих речовин – заміна старого обладнання на більш нове. Це підвищить якість та продуктивність роботи котельні, забезпечить працівникам безпечніше місце роботи та зменшить кількість викидів.

Висновки. Проаналізовано стан атмосферного повітря, забрудненого котельними установками. В результаті чого визначено глобальний та локальний характер проблеми. Глобальний пов'язаний зі зміною хімічного складу атмосферного повітря, а локальний – із підвищенням температури поблизу котельних установок.

Встановлено, що вирішення даної ситуації повинно бути комплексним: застосування методів для очищення від конкретного типу забруднюючої речовини, встановлення очисних установок, при можливості та потребі – заміна основного складу обладнання.

Список використаної літератури:

1. ГДК 34.02.305-2002. “Викиди забруднювальних речовин в атмосферу від енергетичних установок”. – К., 2002.
2. Степанов Д.В. Котельні установки промислових підприємств: навч. пос. для студ. /Д.В. Степанов, Є.С. Корженко, Л.А.Боднар. – Вінниця: Вища школа, 2005. – 286 с.
3. Екологічні аспекти використання деревних паливних ресурсів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/3589/>.
4. Розрахунок викидів при спалюванні природного газу [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.te.ukrstat.gov.ua/files/respondent/2tp.pdf.
5. Клименко М. О. Техноекологія / М. О. Клименко, І. І. Залеський. – Київ: "Академія", 2011. – 256 с.

УДК: 502/504

Косач О.А., студент, Кофанов О.Є., асистент

КПІ ім. І. Сікорського, ІЕЕ

Кафедра інженерної екології

ДИНАМІКА ЗМІНИ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ВНАСЛІДОК ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ЦЕЛЮЛОЗНО- ПАПЕРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

***Анотація.** У роботі представлені результати оцінки якості води Канівського водосховища за межею м. Українка на основі розрахунку індексу забруднення вод. Для оцінки використані дані багаторічних спостережень на мережі стаціонарних постів за 2005 – 2016 рр. за основними забруднюючими речовинами.*

***Summary.** This work presents the results of the assessment of water quality based on the calculation of the water pollution index outside Ukrainka city. The long-term observations on the network of stationary posts for the basic pollutants during 2005 – 2016 were used for evaluation.*

Вступ. Целюлозно-паперова промисловість є однією з найбільш водоспоживних галузей народного господарства. Крім того, целюлозно-паперові комбінати належать до основних забруднювачів водного середовища [1]. Внаслідок виробничої діяльності підприємств галузі утворюються стічні води, які в залежності від виду продукції містять завислі речовини (в основному, волокна целюлози), різноманітні барвники та клейові речовини тощо. Через застарілі технології очистки стічних вод, що не виконують своєї функції на належному рівні, забруднюючі речовини потрапляють до водойм, здійснюючи негативний вплив на водне середовище. Наразі не є можливим визначення граничної межі асиміляційного потенціалу водного середовища, тому важливою задачею є спостереження за його рівнем забруднення.

Аналіз стану питання. Питання динаміки зміни рівня забруднення Канівського водосховища внаслідок виробничої діяльності підприємств целюлозно-паперової промисловості на сьогодні не до кінця вивчене. Проте, загалом розроблено достатньо методик, що дозволяють оцінити стан водного середовища та вплив діяльності виробничих підприємств на нього протягом певного періоду. Наприклад, у роботі [2] на основі індексу забруднення вод проведено інтегральну оцінку сучасного якісного стану річки Сіверський Донець у межах Харківської області, а в роботі [3] здійснено аналіз змін якості вод водних об'єктів Нижнього Дністра з використанням національних і міжнародних індексів якості. У роботі [4] проводиться аналіз існуючих моделей та методик оцінки якості води, пропонується концепція моделювання оцінки рівня забруднення водних ресурсів.

Метою даної роботи є аналіз динаміки рівня забруднення Канівського водосховища за межами м. Українка Київської обл. на основі індексу забруднення вод.

Методика та матеріали дослідження. Оцінку та аналіз стану забруднення водного середовища проводять, використовуючи різноманітні методи та показники. Часто застосовують метод інтегрального оцінювання якості води, метод оцінювання сумарного ефекту якості води, метод оцінювання рівня забрудненості води за заданою лімітуючою ознакою шкідливості тощо. Серед показників визначають індекс забруднення вод (ІЗВ), показник хімічного забруднення (ПХЗ-10) тощо. В даній роботі для аналізу динаміки зміни рівня забруднення гідросфери використано індекс забруднення вод. Перевагами даного показника є простота, репрезентативність та використання в якості вхідних даних тільки результатів гідрохімічних спостережень. Індекс забруднення вод обчислюють за шістьма

компонентами: киснем, органічними речовинами, обумовленими за біохімічним споживанням кисню за п'ять діб та речовинами з найбільшим перевищенням граничнодопустимих концентрацій за формулою:

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (1)$$

де $ІЗВ$ – індекс забруднення вод;

C_i – концентрація i -ї забруднюючої речовини, мг/дм³;

$ГДК_i$ – граничнодопустима концентрація i -ї забруднюючої речовини, мг/дм³.

Результати дослідження та їх аналіз. В роботі проведена оцінка динаміки зміни рівня забруднення вод Канівського водосховища внаслідок забруднення її стоками підприємства целюлозно-паперової промисловості. В якості вхідних даних використано середньорічні концентрації забруднюючих речовин у водах водосховища за 2005-2016 рр. за результатами відбору проб води у 500 м нижче місця скиду стічних вод ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат», представлені в екологічних паспортах Київської області за відповідні роки [5-11]. Деякі роки, а саме 2008, 2010, 2011, 2012, 2014 роки, складають виключення через відсутність даних в екологічних паспортах відповідних років. Розглядалися основні забруднювачі вод Канівського водосховища, а саме: завислі речовини, сульфати, хлориди, нітрати, мінералізація. Враховано показник біохімічного споживання кисню за п'ять діб. На основі даних розраховано індекс забруднення вод за 2005-2007 рр. (табл. 1), та за 2008-2016 рр. (табл. 2).

Таблиця 1. Значення індексу забруднення вод Канівського водосховища за межами м. Українка Київської обл. за 2005-2007 рр.

Рік	Значення ІЗВ	
	Канівське вдсх, 500 м вище скиду ПрАТ «Київський КПК»	Канівське вдсх, 500 м нижче скиду ПрАТ «Київський КПК»
2005	0.4298	0.4762
2006	0.2794	0.376
2007	0.4473	0.4733

Таблиця 2. Значення індексу забруднення вод Канівського водосховища за межами м. Українка Київської обл. за 2008-2016 рр.

Рік	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Значення ІЗВ	-	0.276	-	-	-	0.5408	-	0.7711	0.8721

На рис. 1 наведено динаміку зміни показника ІЗВ в період 2005-2007 рр., визначеного за результатами середньорічних концентрацій забруднюючих речовин з двох місць відбору проб – «500 м вище скиду ПрАТ «Київський КПК» та «500 м нижче скиду ПрАТ «Київський КПК». Як бачимо, за вказані роки індекс забруднення вод приймає більші значення після місця скиду стічних вод підприємства, проте, різниця між двома значеннями в середньому становить 0,056

одиниць, що не критично. За прийнятою класифікацією ІЗВ для обох випадків воду характеризуємо як чисту II-го класу. Для вод другого класу характерні певні зміни порівняно з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги [2].

Рисунок 1. Динаміка зміни показника ІЗВ в період 2005-2007 рр.

На рис. 2 наведено динаміку зміни показника ІЗВ в період 2005-2016 рр., визначеного за результатами середньорічних концентрацій забруднюючих речовин з місця відбору проб – «Канівське вдсх., 500 м нижче скиду ПрАТ «Київський КПК». Виняток складають 2008, 2010-2012 та 2014 рр. через відсутність даних. Як видно, найменше значення ІЗВ відслідковується у 2009 році – 0,276, а найбільше, відповідно, у 2016 році – 0,8721. З 2009 по 2016 рр. спостерігається тенденція до підвищення рівня забруднення води. Відбувається поступове наближення показника ІЗВ до одиниці, яка є перехідною межею між «чистою» водою II-го класу та «помірно забрудненою» водою III-го класу.



Рисунок 2. Динаміка зміни показника ІЗВ в період 2005-2016 рр.

Висновки. Аналіз виконаних розрахунків показує, що динаміка зміни рівня забруднення Канівського водосховища в межах території нижче м. Українка проявляється у поступовому підвищенні цього рівня. Очевидно, зростання рівня забруднення води є наслідком виробничої діяльності підприємства целюлозно-паперової промисловості ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат». За останні роки значення показника індексу забруднення вод наближається до одиниці – межі, перетин якої спричинить присвоєння воді водосховища III-го класу якості. Через промислову діяльність ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат» водне середовище, до якого підприємство скидає стічні води, знаходиться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості водної екосистеми.

Вищезгадане підприємство потребує проведення оцінки впливу на Канівське водосховище та виявлення недоліків виробничого процесу, через які відбувається негативний вплив на водне середовище з метою впровадження заходів, спрямованих на покращення його стану. У разі бездіяльності підприємства з точки зору природоохоронної діяльності динаміка зміни рівня забруднення Канівського водосховища в межах території нижче м. Українка

продовжить проявлятися у підвищенні рівня, що в майбутньому може призвести до негативних чи навіть катастрофічних наслідків.

Список використаної літератури:

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОП Грінь Д.С. – 2016. – 350 с.
2. Жук В. М. Інтегральна оцінка сучасного якісного стану р. Сіверський Донець у межах Харківської області / В. М. Жук, Г. В. Коробкова. // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2015. – №1. – С. 103–109.
3. Оцінка якості водних об'єктів Нижнього Дністра / Н. В.Ковальова, В. І. Медінець, О. П. Конарева, С. В. Медінець. // Всеукраїнська науково-практична конференція. – 2011. – №1. – С. 136–138.
4. Ушакова І. О. Аналіз існуючих методик оцінки якості водних ресурсів / І. О. Ушакова, К. І. Попов. // Системи обробки інформації. – 2013. – №6. – С. 310–313.
5. Поєдинок Р. Ю. Екологічний паспорт Київської області за 2005 рік [Електронний ресурс] / Р. Ю. Поєдинок // Офіційне. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: <http://old.menr.gov.ua/docs/protection1/kyivska/1KYIVOBLeko.doc>.
6. Ольшанський А. І. Екологічний паспорт Київської області за 2006 рік [Електронний ресурс] / А. І. Ольшанський // Офіційне. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: http://old.menr.gov.ua/docs/protection1/kyivska/2KYIVobl_eko_06.rar.
7. Чабанов О. І. Екологічний паспорт Київської області за 2007 рік [Електронний ресурс] / О. І. Чабанов // Офіційне. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://old.menr.gov.ua/docs/protection1/kyivska/3Eko_pas_Kuiv_obl_2007.doc.
8. Безкоровайний О. І. Екологічний паспорт Київської області за 2009 рік [Електронний ресурс] / О. І. Безкоровайний // Офіційне. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: http://old.menr.gov.ua/docs/protection1/kyivska/5Ecopasport_Kiev_obl_2009_110610.rar.
9. Шандра В. М. Екологічний паспорт Київської області за 2013 рік [Електронний ресурс] / В. М. Шандра // Офіційне. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://old.menr.gov.ua/protection/protection1/kyivska>.
10. Мельничук М. Д. Екологічний паспорт Київської області за 2015 рік [Електронний ресурс] / М. Д. Мельничук // Офіційне. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://old.menr.gov.ua/docs/protection1/kyivska/kyivska_ecopasport_2015.docx.
11. Горган О. Л. Екологічний паспорт Київської області за 2016 рік [Електронний ресурс] / О. Л. Горган // Офіційне. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://menr.gov.ua/files/docs/eco_passport/Київська%20Екологічний%20паспорт%202016.docx.

УДК 691: 035.267

Ömer Cebeci, professor, Istanbul Sehir University

Tkachuk Kostantyn, professor, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

Liudmyla Diadiusha, student, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ANALYSIS OF CROP YIELDS IN UKRAINE AND PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF HEAT-INSULATING MATERIALS BASED ON THEIR WASTE

Залучення виробництва відходів та одержання з них нових видів продукції є одним з головних напрямків у галузі будівельних матеріалів. Можливо розширити площу використання рослинних відходів, шляхом отримання ефективних ізоляційних матеріалів.

The attraction of the production of wastes and the receipt of new types of products from them is one of the main directions in the field of building materials. It is possible to expand the area of use in the construction of vegetable waste by obtaining effective insulation materials.

Introduction. The main wall materials in Ukraine are ceramic and silicate bricks, aerated concrete products and other wall materials (Fig. 1).

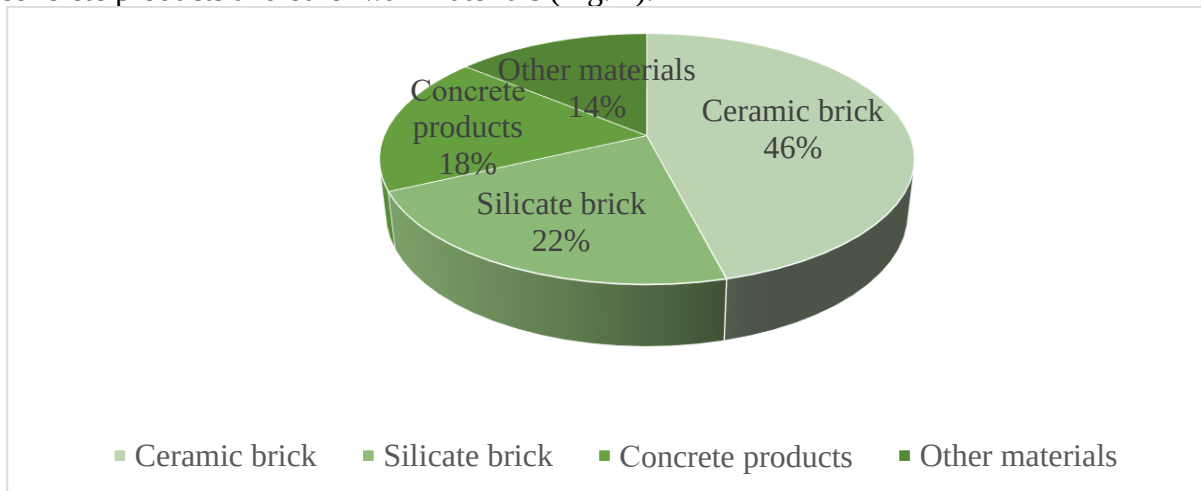


Figure 1. Percentage of the use of wall materials in Ukraine

Analysis of the status of the issue. At present, special attention is paid to the use of plant wastes in the technologies of obtaining thermal insulation materials in the countries of Europe and Ukraine. The results of practical experimental studies indicate the high efficiency of the use of plant wastes as raw materials for the production of heat-insulating materials with high thermal insulation characteristics. Such raw material can be completely waste produced after harvesting and processing of grain crops, flax, technical hemp, etc. Agricultural production in Ukraine, including grain crops, flax and hemp, is in the agro-industrial complex of Ukraine. According to the State Statistics Service of Ukraine, in Table. 1 yields in 2017.

Purpose. The purpose of the article is to substantiate the effectiveness of using an environmentally safe heat-insulating material with high physical and mechanical characteristics based on agricultural crop waste.

The main material. At present, special attention is paid to the use of plant wastes in the technologies of obtaining thermal insulation materials in the countries of Europe and Ukraine. The results of practical experimental studies indicate the high efficiency of the use of plant wastes as raw materials for the production of heat-insulating materials with high thermal insulation characteristics.

Such raw material can be completely waste produced after harvesting and processing of grain crops, flax, technical hemp, etc. Agricultural production in Ukraine, including grain crops, flax and hemp, is in the agro-industrial complex of Ukraine. According to the State Statistics Service of Ukraine, in Table. 1 yields in 2017.

Due to the large volumes of production, up to 40-50% of straw is not used, sprouts and rotates in open skates. The most rational is the use of straw for the construction of houses. The use of straw for the construction of various buildings has been known since ancient times. However, the history of the construction of dwelling houses from blocks of pressed straw began only at the end of the XIX century. The first documented structure is a one-room school, built in the United States in the state of Nebraska in 1896 [1].

Table 1. Harvesting of cereal crops in 2017

Type	All agricultural holdings	Agricultural enterprises	Households
	volume of production, thsd. centner	volume of production, thsd. centner	volume of production, thsd. centner
Cereal crops	619166,6	479050,9	140115,7

The ecology of any materials is not static, which does not change the properties in time, but shows only the degree or degree of study of this direction by man in the modern development of civilization. For example, ordinary cement at the beginning of the last century was considered an ecological material, and only in the degree of studying the entire cycle of substances and flows of energy in nature, environmental monitoring of the full life cycle of the material, its status has changed to negative. Construction is one of the most energy intensive areas of human activity, the locomotive of the economy of most states, and this is the source of a significant part of the adverse environmental impact for global and local ecosystems.

The EU has strict standards for the approval of any materials for their use in construction. Straw received permission at EU level for its use in construction. All building materials belong to one of the 7 Euro classes (A to F) depending on their reaction to fire during the relevant tests. According to ISO standards, straw bales are tested for creep (EN ISO 1182 based on ISO 1182). Highly flammable products can be tested using a simple fire resistance test in accordance with EN ISO 11925-2. The straw used in construction usually meets the requirements of class E for flammability. This means a normal flame. To prove this, it is necessary to use flat samples measuring 250 mm x 90 mm and a maximum thickness of 40 mm. These samples should be kept in the fire for 15 seconds, and the height of the flame must not exceed 150 mm within 20 seconds after the start of the test. Straw testing for fire resistance in accordance with EN 1365-01 and EN 1363-1 showed its stability for 90 minutes. Regarding resistance to biological influences, in particular the assessment of fungal growth, in accordance with the instructions ON 6010 / DIN EN ISO 846 EOTA CUAP straw bales have demonstrated the probability of such exposure at the level of 25-50% (class 2-3).

According to European experience, the use of straw for the construction of such structures, as it turned out, is not much cheaper than buildings built on traditional technologies. This requires environmental assessment and classification of building materials in accordance with environmental protection requirements. In this case, it is necessary to make decisions about the use of the material in order to be able to assess its direct and indirect impact on the environment and people from an ecological point of view. Such an approach to their choice meets the requirements of the global concept of "sustainable development" [2].

Table 2. Technical characteristics of building material

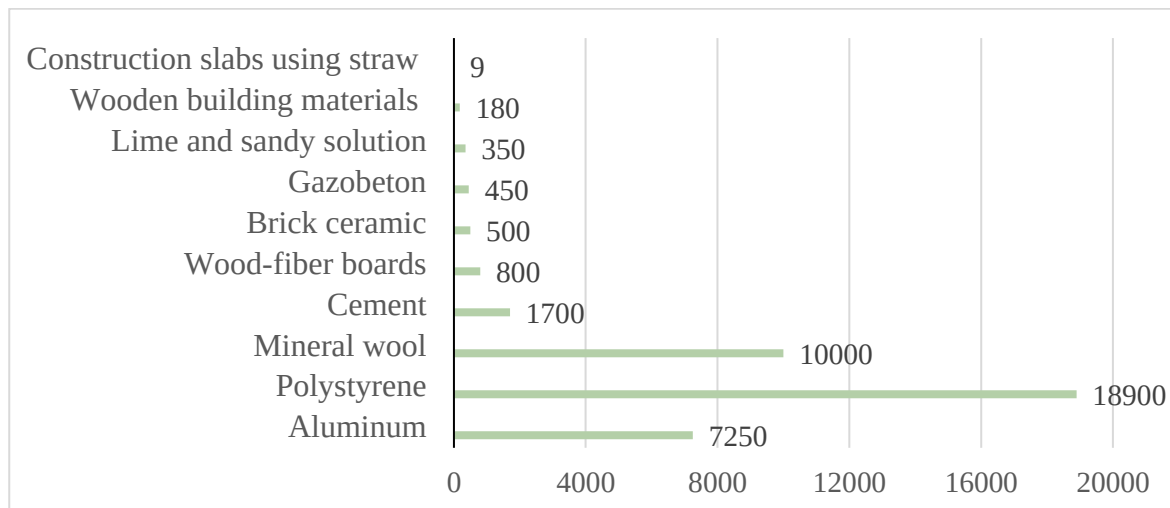
Indicator	Brick	Claydite	Concrete	Panels using straw
Density, kg / m ³	1400 – 1700	850 - 1800	600 - 1000	300 - 400
Thermal conductivity, W / m ⁰ C	0,56- 0,95	0,5 - 0,8	0,14 – 0,38	0,008 - 0,04

When assessing the life cycle of building materials, it is also necessary to take into account the complex of loads on the environment and the person at the expense of transportation of the material. The advantage is given to local building materials and produced in the immediate proximity to the place of extraction of raw materials for them, etc.

The basic scheme of estimation of ecological effects on the life cycle of a material includes analysis of the following stages: extraction of raw materials, manufacturing of materials and products, stage of construction, exploitation, destruction or reuse.

Thus, using a logical reasoning method and using an analytical scheme for estimating environmental loads over the life cycle a qualitative environmental assessment of any building material can be made. This scheme allows to predict the most significant risks at each stage of the life cycle of the material from the extraction of raw materials to its destruction [3].

Estimates are assigned to the material for the following "eco-factors": damage to ecosystems, scarcity of raw materials (deficit), emissions of harmful substances into the environment (emissions), energy consumption (energy consumption), human health and "environmental health" I) and waste provisions (waste). The listed "eco-factors" are indicators of the ecological quality of the material, or, in other words, are indicators of the environmental properties of the material. Below are the semantic values of the listed indicators widely used today in the world practice of environmental assessment of building materials in the framework of ISO 14000.

Figure 2 - Energy consumption for material extraction, kWh/m³

When consuming energy it is not only about its necessity for the production of material, but also for its extraction and transportation. The use of energy means, on the one hand, the consumption of scarce raw materials, and, on the other hand, emissions of harmful substances, such as carbon dioxide (affecting the greenhouse effect), nitrogen oxides (the strongest oxidants that lead to the

formation of smog), sulfur dioxide (which is the cause occurrence of acid rain), etc.

Already these data are sufficient for the environmental analysis of the material from this assessment criterion.

Conclusions. Summing up, we can conclude that Technical characteristics of straw bales: density 300-400 kg / m³ (4.6 times less bricks), thermal conductivity 0.008 - 0.08 W / m °C (5.6 times smaller than bricks), energy consumption in the production of material 55 times less in straw panels compared with the brick, the data on harvesting of grain crops in 2017 showed that Ukraine has huge potential in the field of "green construction".

References

1. Areas, gross harvest and yields of agricultural crops, fruits, berries and grapes [Електронний ресурс] // State Statistics Service of Ukraine. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. Walker P. Compression Load Testing of Straw Bale Walls [Електронний ресурс] / Walker // Report by Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: <http://people.bath.ac.uk/>.
3. Jones B. Building with Straw Bales / Barbara Jones. – Cambridge: UIT Cambridge Ltd.; Revised & Updated edition, 2009. – 184 с.

УДК 338.246.025:622.323

А.В. Бодюк, к.е.н., с.н.с., в.о. зав. кафедри

Київського університету управління та підприємництва

ЕКОНОМІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА НАУКОВІ НОВАЦІЇ МОРСЬКОЇ ГЕОЛОГІЇ ВУГЛЕВОДНІВ

Теоретично обґрунтована економічна морська геологія в поняттях ресурсно-економічних треб. Проаналізовано економічні перспективи розвідки і видобування нафти і газу на українському шельфі Чорного й Азовського морів та джерела їх фінансування.

Ключові слова: геологія, нафта, газ, треба, видобування, шельф.

Теоретически обоснована экономическая морская геология в понятиях ресурсно-экономических треб. Проанализированы экономические перспективы разведки и добычи нефти и газа на украинском шельфе Черного и Азовского морей та источники их финансирования.

Ключевые слова: геология, нефть, газ, треба, добыча, шельф.

In theory is grounded ekonommarine geology in concepts resource-economic treb. The economic aspects of secret service and booty of oil and gas are analysed on the Ukrainian shelf of Black and Azovskogo Maureies and source of their financing.

Keywords: geology, oil, gas, treba, booty, shelf.

Постановка проблеми. В мовах ринкової економіки перспективність результатів геологічних досліджень визначається в першу чергу по вартісних показниках впровадження

його результатів у народне господарство, господарську діяльність окремих спеціалізованих суб'єктів господарювання, у зовнішньоекономічну діяльність.

Наукова та вартісна значимість результатів таких досліджень мають глибоко-історичні корені. Оскільки утворення і накопичення корисних копалин в сучасних надрах визначається складними геологічними процесами, що відбувалися, відбуваються і будуть відбуватися на більшій частині поверхні Землі, у Світовому океані. Результатом цих далеких природоутворювальних або й сучасних процесів є: утворення багатьох видів корисних копалин; нагромадження осадків на різних глибинах морів і океанів; зміни або й руйнування берегів; зміни в глибинах морського дна; формування вздовж берегів акумулятивних форм рельєфу; цунамі та інші.

Результати вивчення процесів осадконагромадження на дні морів і океанів, утворення там родовищ корисних копалин, руйнування берегів та інших процесів мають наукове, економічне, екологічне, соціальне та інше значення. Тому з проведенням геологічних, екологічних та іншого роду досліджень, оприлюдненням їх результатів сформувалася відносно нова наукова галузь – морська геологія (МГ).

Морська геологія належить до галузей геологічних наук, що вивчає геологічну будову і перетворення земної кори, яку складає дно морів і океанів. Її об'єктивно називати трансдисциплінарною наукою, оскільки у вивченні підводного дна і його глибин поєднує методи дослідження та їх результати галузей геологічної науки, зокрема, літологію, петрографію, тектоніку, четвертинну й історичну геологію, стратиграфію, палеогеографію, вчення про корисних копалини та ін.

У дослідженнях МГ застосовуються методи, засоби та попередньо отримана інформація цих галузей і у поєднанні суміжних наук, зокрема, геоморфології, геофізики, геохімії та ін. Геологічні дослідження у глибоководному середовищі ведуться глибоководним бурінням, драгуванням, виконанням геофізичних операцій, засобами підводних суден і апаратів, із застосуванням спеціального устаткування, інформаційних технологій і т.п. Тому підводні геологічні дослідження є надто затратними.

За природні об'єкти дослідження морської геології на предмет оцінки наявних у водних середовищах або під ними ресурсів і запасів потрібно прийняти: вуглеводні; солі; інші корисні копалини; солону воду; морську та океанічну земну кору; водне і земне середовище та інші природні компоненти, на предмет доцільності розробки родовищ корисних копалин, господарського використання речовин або водного чи підводного середовища.

Оскільки підводна площа становить близько 71% поверхні Землі, тому морська геологія належить до перспективних і економічно вигідних наук. Оскільки основним її завданням, як природничої науки, є вивчення походження, будови й історії розвитку океанів і морів, обґрунтування умов утворення і характеру розміщення під ними або в них корисних копалин, у тому числі вуглеводнів, а за результатами досліджень – обґрунтування перспективності та економічної доцільності розробки морських родовищ корисних копалин, технологій засобів їх експлуатації.

Актуальність розвитку морських досліджень, зокрема, родовищ нафти і природного газу на дні Чорного і Азовського морів, вартісних оцінок обсягів запасів цих вуглеводнів залишається на далеку перспективу, особливо в ресурсно-економічному аспекті.

Оскільки щорічно з українських надр, за даними Інтернет, видобувають 20 млрд м³ природного газу. Однак таких обсягів недостатньо для нашої країни, бо її економіка потребує ще близько 60 млрд м³ цього енергоносія на рік. Проблеми покриття дефіциту вітчизняного природного газу вирішувалися угодами на його постачання з Росії та з країн Середньої Азії. Тепер і на найближчу перспективу недостаток вітчизняного природного газу буде компенсуватися його поставками виключно з Росії (безпосередньо або від країн Європи). Але

її монопольне постачання супроводжується постійними проблемами, що виникають: економічні (цінові, вартісні, пов'язані з "розкраданням газу" тощо); політичні (щодо розміщення Російського Чорноморського флоту, вступу України в окремі наднаціональні утворення тощо); транспортні, технологічні, соціальні та ін. До цих проблем добавляються і фінансові, які є ще складнішими, ніж названі, і юридичні, зокрема, які стосуються відповідних угод щодо фінансування проектів геологічного вивчення глибоководних родовищ вуглеводнів, інших об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми морської геології досліджували в різних аспектах Айбулатов Н.А., Архангельский А.Д., Безруков П.Л., Винограду А.П., Гожик П.Ф., Зенкович В.П., Єремєєв В.М., Іванік О.М., Клещенко С.А., Купрін П.Н., Леонтьєв О.Д., Мітін Л.І., Мельник О.В., Невеский Е.Н., Орловський Г.М., Страхів Н.М., Ткаченко Г.Г., Шнюков Є.Ф., Щербаков Ф.А., а також Шепард Ф.П., Emery Д., Uchuri E. та ін. [1 – 4; 6 – 7]. Дослідження цих авторів прямо чи опосередковано охоплюють вивчення наявності, стану, умов розміщення родовищ вуглеводнів та й перспектив їх видобування у водному і підводному середовищі. Але в поняттях «економічний» питання геологічного вивчення родовищ вуглеводнів та його оцінок, у відомій нам літературі, ними не розглядаються, а якщо розглядаються, то з погляду економіки надрокористування.

Зауважимо, що, як свідчать літературні джерела, у світовому господарстві ситуація з вуглеводнями, які видобуваються на суходольних родовищах, погіршується і буде погіршуватись. У країнах Євросоюзу видобуток нафти і газу знижується, оскільки виснажуються старі родовища, тобто стають економічно не вигідними. Окрім того, енергетична проблема посилиться через масове виведення з експлуатації старих АЕС. Тому залежність країн ЄС від імпорту вуглеводнів до 2030 р. зросте від 57 % до 65 %. Причому їх залежність щодо поставки нафти становитиме 93 %, природного газу – 84 %. Слід також врахувати і фактор потреб інших країн світу: США і Японія щорічно імпортують майже мільярд тонн нафти; щорічно зростає потреба Китаю у нафті та природному газі [1, с. 6]. Проблеми з постачанням власного та імпортованого природного газу негативно впливатимуть на загальний стан фінансово-економічного розвитку економік різних країн, на їх зовнішні економічні зв'язки, трудову зайнятість фахівців (населення).

До речі, чинний механізм, сформований на урядовому рівні і погоджений відповідними угодами, газопостачання від Росії в умовах сучасних механізмів ринкової економіки становить загрозу енергетичній та політичній безпеці України. Окрім того, цінова політика на завезений в Україну природний газ є фактором підвищення собівартості, зниження конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світовому ринку. До речі, епізодичне зниження Росією ціни на газ пояснюється менше економічними, а більше іншими мотивами, зокрема, переговорними процесами на рівні керівників держав.

Для України виходом із такої складної економічної ситуації з вуглеводнями є, з одного боку, збільшення обсягів і темпів видобутку нафти та газу в межах території, з іншого – застосування на виробництвах, особливо енергомістких, зокрема, металургійних, енергозберігаючих технологій, альтернативних джерел енергії, більш сучасних економічних методів ведення господарства надрокористувачами та проведення інших науково-технічних заходів і таким чином зниження потреб у вуглеводнях.

Однак для переходу підприємств промисловості і житлово-комунального господарства на енергозберігаючі технології потрібні нові технічні засоби, відповідно на переоснащення – дуже великі суми коштів, з якими тепер у державі також проблеми. Тому на найближчу перспективу в Україні поряд з впровадженням технологій енергозбереження, заміників вуглеводнів необхідно освоювати їх нові родовища і нові ринки. Для розробки проектів й оцінки впровадженнь необхідно застосовувати і науковий апарат економічної геології.

Встановлення об'єктивних оцінок стану родовищ вуглеводнів у морському чи океанічному середовищі якраз належить до складних проблем економічної геології.

Метою роботи є обґрунтування економічних проблем і відображень у показниках геологічного вивчення покладів нафти і природного газу на українському шельфі Чорного та Азовського морів, тобто в поняттях морської геології.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як показали дослідження фахівців, перспективними і економічно вигідними родовищами з ваговими обсягами видобування вуглеводнів можуть стати їх родовища на шельфі Чорного і Азовського морів. Розвідкою і видобутком цих корисних копалин на даному шельфі займається державна акціонерна компанія «Чорноморнафтогаз». На наш погляд, можна виділити для неї ряд проблем освоєння родовищ нафти і газу на українському шельфі Чорного і Азовського морів: геологічні; технологічні; економічні; політичні та ін.

Геологічні проблеми обумовлені тим, що глибоководне надророзвідувальне виробництво (НРВ) і подальше видобування вуглеводнів являють собою надто складний і високотехнологічний процес, а також і не дешевий, потребує великих економічних затрат. Тобто геологічні проблеми потребують вирішення економічних, зокрема, значних фінансових.

Бо, хоча на процесах геологічних досліджень дна морів користуються і тими методами, які застосовують в геологічних дослідженнях надр на суходолі, або близьким, з врахуваннями особливостей застосування засобів отримання геологічної інформації, її об'єктів, але природні умови для НРВ на глибинах надто складні, тому і економічні затрати на НРВ не порівнювальні з суходільними.

До економічних, на наш погляд, належать проблеми: об'єктивної оцінки вартості видобування вуглеводнів; собівартості та відпускної ціни видобутих вуглеводнів; економічної оцінки надророзвідувального виробництва; фінансування НРВ; вартості придбання та експлуатації технічних засобів для НРВ та ін.

Узагальнено науковці вважають, що «Для обґрунтування оптимального варіанта кондицій для підрахунку запасів корисних копалин і оптимального варіанта промислового освоєння оцінюваного родовища (геологічного об'єкта) слід використовувати такі показники: балансові запаси корисних копалин; річна продуктивність підприємства; ціна одиниці товарної продукції; надходження від реалізації товарної продукції; експлуатаційні витрати (у тім числі амортизаційні відрахування); прибуток від виробничої (операційної) діяльності підприємства; капіталовкладення; чистий грошовий потік; норма дисконту; чистий дисконтований грошовий потік; індекс прибутковості; внутрішня норма прибутковості; термін окупності капіталовкладень; рентабельність виробничої діяльності гірничодобувного підприємства; дохід власника надр» [9, с. 56].

На наш погляд, рекомендовані показники є показниками оцінки господарської діяльності практично будь-якого промислового підприємства, аналогічно й геологічних підприємств.

Питання і показники економіки геологічних підприємств належить не до питань морської економічної геології, а до загальної економіки підприємства (правда, аналізуються, обчислюються з певними галузевими особливостями). Для подальших обґрунтувань, за потребово-ресурсною теорією, нами пропонується застосовувати теоретичне поняття треб, як економічне.

Для їх визначення, перш за все, проаналізуємо економічні ознаки вуглеводнів (корисних копалин) та їх родовищ як економічних треб. Поняття треб нами обґрунтовується за економічною ознакою корисних копалин як економічних об'єктів, а родовищ – як економічних об'єктів виробничих підприємств.

Тому в економічній морській геології слова «треба» і «треби» нами пропонується застосовувати для вираження базових економічних понять економічної геології. До таких понять належать треби: корисні копалини, зокрема, вуглеводні; породи; родовища корисних копалин як скупчення корисних копалин, де будуть проводитися процеси НРВ, гірниче освоєння морських надр; інформація про корисні копалини (має вартість); інформація про родовища корисних копалин (має вартість); поняття засобів виробництва (для їх придбання, монтажу, експлуатації потребуються економічні затрати); процеси праці геологів (також оцінюються затратами на оплату праці, фіскальними відрахуванням від їх сум) і т.п.

Засоби виробництва належать до економічних понять. Праця геологів та інших фахівців, зайнятих геологічним вивченням вуглеводнів та їх родовищ, також розглядається як економічне поняття.

Виокремимо для НРВ поняття «надро-економічні треби» як поняття, що означає базові поняття морської економічної геології. До них належать: вуглеводні як об'єкти для НРВ (за економічною теорією – предмети праці); вуглеводні як об'єкти для подальших виробничих потреб, тобто виробничого застосування (а не як природні об'єкти), зокрема, в якості енергетичного ресурсу; буріння, підводні знімки та інші галузеві процеси пошуку вуглеводнів (оскільки необхідно дати оцінку отриманій геологічній інформації як товару, що відображає дані за інший товар – корисні копалини); загальні процеси НРВ (оскільки необхідно дати оцінку отриманій геологічній інформації як товару – економічному поняттю, аналогічно); праця фахівців (оскільки в геологічній інформації необхідно врахувати живу й уречевлену працю у пошуково-розвідувальному процесі й у подальшому видобуванні, тобто під час експлуатації родовища); донне середовище та ін.

Ці об'єкти у процесі геологічного вивчення надр отримують певні природно-ресурсні характеристики, параметри.

Для порівняння, поряд з економічними, покажемо товарознавчі характеристики вуглеводнів, як природної речовини. До них, на наш погляд, слід віднести якраз такі: фізичні параметри корисної копалини (наприклад, запах, колір, густина, в'язкість, щільність та ін.); хімічний склад (вуглець, сірка, кисень, азот та ін.); речовинний склад (смоли, асфальтени, базові мастила, газоподібні речовини); фізичні властивості корисної копалини (властивості нафти розчиняти вуглеводневі гази, оптичні, температура кипіння); кількісні показники (обсяг, маса корисних копалин, нафтонасиченість родовища).

Повертаючись до економічних понять, по-перше, відмітимо, що вуглеводні, як й інші корисні копалини, є об'єктами для: видобування підприємствами тобто їх виробничої діяльності; зайнятості пошуково-розвідувальними дослідженнями і роботами працівників геологічних підприємств; досліджень науковцями геологічних науково-дослідних закладів; комерційних угод щодо реалізації видобутих покладів; інвестиційних угод щодо пошуково-розвідувальних досліджень і робіт; інвестиційних угод щодо постачання технологічних засобів та їх монтажу, експлуатації (наприклад, будівництва стаціонарної плавучої бурової установки) та ін.

До ресурсно-економічних показників вуглеводневих треб пропонується відносити:

а) натуральні показники: кількість або обсяги вуглеводнів (тонни, тис. куб. м); кількість родовищ, свердловин (од.); розміщення родовищ (площа, тис. км², глибина, межі);

б) економічні: вартість вуглеводнів (видобутих, ринкова тощо); обсяги інвестицій для НРВ; затрати на реалізацію інвестиційних проєктів; термін окупності затрат та ін.; вартість родовищ; вартість дозволів та ін.;

в) ресурсні: початкові сумарні ресурси (т у. п, м³); прогнозні ресурси (т у. п; м³); прогнозні запаси (т у. п; м³); пластовий тиск (МПа);

г) часові: прогнозний період геологічного вивчення надр (роки); прогнозний період експлуатації родовищ (роки) та ін.

Так, ресурсна треба оцінюється наступними показниками. Початкові сумарні ресурси вуглеводнів українського сектору акваторій Чорного і Азовського морів оцінюються обсягом більше 1,5 млрд т у. п, які територіально розподіляються показниками, млн т у. п.: Північно-Західний шельф Чорного моря – 604,1; континентальний схил і глибоководна западина Чорного моря – 346,0; Прикерченський шельф Чорного моря – 257,0; акваторія Азовського моря – 324,8 [1, с. 6; 5].

Розглянемо й інші показники. Значні запаси енергоресурсів відкриті на таких територіях: площі Килима – 250 – 485 млрд м³ природного газу; Скіфській ділянці – 35 млрд м³ газу та 25 – 60 млн т нафти; структурі Нахімова – 29 млрд м³ газу; структурі Корнілова – 35 млрд м³ газу; структурі Ахіба – 6,7 млн т у. п.

У районі Північно-Західного шельфу Чорного моря відкриті 8 газових і газоконденсатних родовищ. До них належать Голицинське, Південно-Голицинське, Штормове, Архангельське, Шмідта, Кримське, Одеське, Безіменне. П'ять з них розробляються. У межах українського сектору Азовського моря відкриті шість газових родовищ. Три із них знаходяться у розробці. Названі родовища розвідані на глибинах моря до 120 м. За оцінками фахівців, переважна більшість запасів вуглеводнів залягає в глибоководній частині шельфу Чорного моря понад 800 м [5].

Щодо перспектив відмітимо, що «За оцінками експертів, запаси енергоносіїв на українській ділянці шельфу Чорного моря розвідані лише на 4 – 5 %. Аби провести повну розвідку хоча б третини вуглеводневих покладів у Чорному морі, потрібно 5 – 7 років та багатомільярдні інвестиції» [5].

Проаналізоване належить до перспективних потреб НРВ на різних глибинах. Для досліджень на таких глибинах, безумовно, потребуються сучасне техніко-технологічне оснащення і відповідно зумовлені значимі інвестиції для фінансування його придбання і оплати витрат на НРВ.

У числі пріоритетних завдань ДАТ "Чорноморнафтогаз" визначено нарощування ресурсної бази вуглеводнів за рахунок проведення пошуково-розвідувальних досліджень і робіт, з розміщенням площ, на таких територіях: Прикерченському і Північно-Західному шельфі Чорного моря; південній і західній частині Азовського моря. На цих територіях заплановано провести пошуково-розвідувальне буріння на 10 нових площах. За результатами геологічного вивчення надр очікується відкрити два-три родовища зі загальними запасами вуглеводнів 60 – 70 млн т умовного палива [1, с. 7]. Намічено також завершити облаштування і забезпечити введення в експлуатацію об'єктів: Одеського (2012 р.) газового родовища; Безіменного (2015 р.) газового родовища; Суботинського нафтового родовища (2012 р.).

Ці родовища мають значимий потенціал для нарощування обсягів видобутку вуглеводнів. Очікується, що з введенням в експлуатацію нових родовищ і свердловин вже у 2015 р. обсяги видобутку природного газу зростуть до 1512,2 млн м³, нафти – до 306,8 тис. т [1, с. 7]. Крім того, технологічний флот поповниться новими суднами.

Розглянемо ще приклади виробничих потреб. До них належить техно-логічний флот, бурові установки та інші засоби. Технологічний флот є одним із видів виробничих потреб, що належить до транспортно-виробничих засобів, оскільки розглядається як виробничий об'єкт. До виробничих потреб належать і бурові установки, які також є виробничими об'єктами. Наприклад, в умовах пошуку нафти і газу на українському шельфі Чорного і Азовського морів необхідні: стаціонарні плавальні бурові установки (СПБУ) для виконання пошукових робіт на глибинах морів до 100 м; плавальні напівпогружені бурові установки (ППБУ) для освоєння глибоководного шельфу (1000 і більше метрів).

Зокрема, в якості виробничої треби планується запровадити стаціонарну плавучу бурову установку (Super M2) виробництва Китайської національної експортно-імпоротної корпорації точного машинобудування. Будівництво цієї конструкції потребує певного фінансування. Його передбачається здійснити в рамках співпраці з Експортно-імпортним банком Китаю, але за умови гарантії Державної інноваційної фінансово-кредитної установи України. А ППБУ заплановано придбати в Китаї на умовах лізингу [1, с. 7].

До речі, наприклад, у гідрології найбільш важливе місце займають методи польових досліджень. Виконання польових досліджень здійснюється з метою вивчення морського дна прямими спостереженнями (з застосуванням телебачення, фотографуванням, працею водолазів, роботою підводних апаратів) чи дослідженнями з суден та інших плавальних засобів або стаціонарних споруд (відбиранням проб донних осадків, бурінням свердловин, виконанням геофізичних операцій). Для придбання таких засобів наукового або виробничого призначення також необхідні певні кошти.

Таким чином, для геологічного вивчення надр з вуглеводнями і потім введення в експлуатацію родовищ вуглеводнів значимими є потреби капіталу для фінансування основних засобів і нематеріальних активів суб'єктів госпо-дарювання, зайнятих НРВ, а пізніше і зайнятих видобуванням. Порядок визначення потреби в капіталі для фінансування витрат на придбання основних засобів і нематеріальних активів має свою специфіку. На обсяги потреб в капіталі для фінансування основних засобів і нематеріальних активів впливають такі фактори: вид діяльності (галузь, підгалузь і т.д.); місце розташування геологічного підприємства; обсяги та види процесів геологічного вивчення надр; первісна вартість активів, які заплановано придбати; вартість модернізації існуючих основних засобів; термін окупності інвестицій.

До речі, потреба в капіталі для фінансування відповідних активів (засобів геологічного вивчення морського дна) виникає в таких випадках:

- 1) у разі заснування нового підприємства або започаткування нових видів надророзвідувального виробництва та випуску його продукції;
- 2) якщо планується суттєве розширення надророзвідувального виробництва, яке неможливо забезпечити за наявних потужностей;
- 3) у разі технічного переозброєння наявних засобів з метою підвищення продуктивності виробництва чи поліпшення якості виконуваних досліджень і робіт.

Узагальнено відмітимо, що площа українського шельфу Чорного моря займає 133,7 тис. км². На цій площі, за даними Державної служби геології та надр України, потенційні запаси енергоресурсів (нафти і природного газу) оцінені в 2,3 млрд т умовного палива (що еквівалентно 2,3 трлн м³). Цей показник складає близько 40% усіх енергетичних запасів нашої країни. Тому не випадково, за висновком деяких експертів, цих ресурсів може бути достатньо для повноти забезпечення потреби нашої країни у природному газі та частково – у нафті [5]. Хоча, як показує досвід Румунії, Туреччини і, навіть, Грузії, шельфовий видобуток енергоносіїв надзвичайно витратний, а тому під силу тільки великим компаніям і міжнародним консорціумам.

Відповідно, перед економічною морською геологією стоять перспективні проблеми: натуральної і економічної оцінки потреб у техніко-технологічних засобах НРВ; встановлення відповідності між потребами у вуглеводнях і затратами на їх пошук; обґрунтування оптимального за затратами періоду проведення геологічного вивчення шельфу та ін.

Висновки і пропозиції. Таким чином, запаси енергоносіїв на українській ділянці шельфу Чорного моря розвідані лише на 4 – 5 %, тому за перспективні необхідно визнати проведення заходів геологічного вивчення надр, зокрема, і проведення певних досліджень морської економічної геології, а отже і розробки її теоретичних положень. Економічну морську геологію пропонується теоретично розробляти та висвітлювати в поняттях ресурсно-економічних потреб.

Ця геологічна галузь набуває дедалі більшого теоретичного і практичного значення у зв'язку з необхідністю обґрунтування заходів з прискорення пошуків і видобування корисних копалин у акваторіях морів. Зростає і значимість геологічної інформації, на базі якої, зокрема, формується система геолого-економічних показників, вивчаються родовища вуглеводнів за оцінками фахівців з економічної геології.

Одним з найбільш оптимальних економічних заходів для подолання проблеми вуглеводнів в Україні, як визнано на державному на науковому рівнях, слід розглядати збільшення найближчим часом обсягів розвідки і видобутку газу і нафти на українському шельфі Чорного і Азовського морів. Але оскільки на ці заходи потрібні значні кошти, то реалізувати їх необхідно із залученням переважно вітчизняних інвесторів.

Як джерело інвестиційних коштів за перспективне пропонується залучення коштів місцевих громад, а то й населення країни. Для мобілізації таких коштів необхідні відповідні державні рішення, у тому числі з фіскальних сприянь.

Вважати не потрібним залучення зарубіжних інвесторів для освоєння вуглеводневих родовищ на морських територіях, оскільки власних фінансових ресурсів в Україні достатньо. Для оптимізації витрат і вигод до розрахунків необхідно залучати фахівців з економічної геології.

Актуально проводити комплексні дослідження в поняттях вуглеводневих треб та практики їх застосування, оскільки в Україні проблеми постачання і виробничого використання вуглеводнів стали не тільки економічними, але й політичними. Тому ці проблеми необхідно вирішувати й на науковому рівні.

Паралельно з економічними дослідженнями потрібні і фіскальні обґрунтування казначейських доходів за скарбницькими зобов'язаннями майбутніх користувачів морських родовищ для видобування нафти і природного газу, а також інших корисних копалин.

Список використаних джерел:

1. Енергетична безпека України в Чорноморському регіоні. Аналітична доповідь / О.Л. Михайлюк, О.Є. Калашникова / за ред. О.О. Воловича. – Одеса: Вид-во «Фенікс», 2011. – 55 с.
2. Калашников М. Странам, богатым нефтью и газом, грозит судьба инков, ацтеков и майя? / М. Калашников. [Электронный ресурс]. – Доступный з <http://www.newsland.ru>.
3. Вознюк М. Газ по-черному: Украина обойдется своими ресурсами? / М. Вознюк. [Электронный ресурс]. – Доступный з <http://www.izvestia.com.ua/ru/article/1464>.
4. Горбова Х.Ф. Перспективи видобутку нафти і газу на українському шельфі Чорного і Азовського морів // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.7. – С. 102 – 107. http://archive.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/nvnlut/22_7/102_Gor.pdf
5. <http://chornomorka.com/archive/a-1164.html>
6. Першотравнева О. Поняття концесії та концесійного договору / О. Першотравнева // Економіка, фінанси, право: наук. журнал. – 2001. – № 12. – С. 13 – 16.
7. Шепард Ф.П., Морська геологія, пер. (переведення) з англ.(англійський), [2 вид-ва], Л., 1969
8. Геологічна діяльність моря. – http://npu.edu.ua!/e-book/book/html/D/ipgoe_kfg_Geologiya/240.html
9. Рудько Г.І., Плотніков О.В., Курило М.М., Радованов С.В. Економічна геологія родовищ залізистих кварцитів. – К.: Вид-во «Академпрес», 2010. – 272 с.

УДК 502

Науменко Д.П., студ.

Гребенюк Т.В., к.т.н., ст. викл.,

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

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НА СТАН ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ

В роботі проаналізовано ряд питань, пов'язаних з розвитком паперової промисловості. Проаналізовано кількість лісових насаджень в Україні. Розглянуто процес виробництва та вплив целюлозно-паперової галузі на стан водного середовища, поблизу скидання стічних вод. Встановлено факт перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин у річках Хомора і Случ.

The paper analyzes a number of issues related to the development of the paper industry. The number of forest plantations in Ukraine has been analyzed. The process of production and influence of the pulp and paper industry on the state of the water environment near the discharge of wastewater is considered. The fact of exceeding the maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in the rivers of Khomor and Sluch is established.

Вступ. Для початку будь-якого виробництва, треба знати чи є запаси сировини для нього, щоб знати чи доцільно почати виготовлення продукції. Загальна площа земель лісового фонду становить 10,8 млн га, з яких вкрито лісовою рослинністю 9,5 млн га, що становить 15,7 відсотка території України. За 50 років лісистість зросла майже в 1,5 рази, а запас деревини — в 2,5 рази і досяг 1,8 млрд м³. Середній щорічний приріст у лісах Держкомлісгоспу дорівнює 4,0 м³ на 1 гектар і коливається від 5,0 м³ в Карпатах до 2,5 м³ у Степовій зоні. Більша частина лісу зосереджена на Закарпатті та у зоні Полісся [1], що представлено на рис.1.

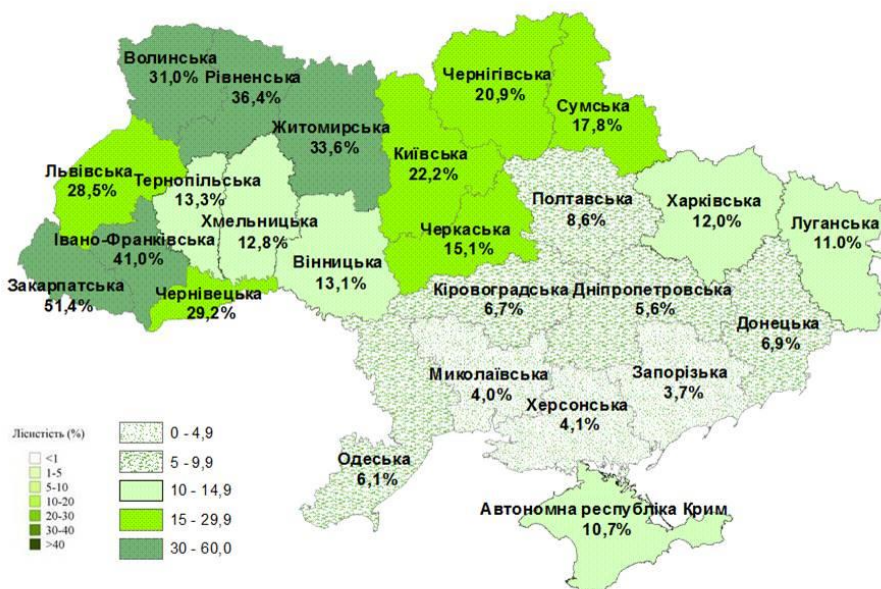


Рисунок 1. Лісистість адміністративних областей України

Аналіз стану питання. Розглянуто систему перетворення деревини в папір. Для виготовлення паперу використовують целюлозу, яку отримують із деревини ялинки, сосни, берези, хвої, каштану, та ін. На паперовій фабриці стовбури дерев обдирають від кори, розмелюють, і дають набухнути у воді. На цьому етапі відсоток води складає 95% і 5% деревної маси. Завдання цього етапу – подрібнити деревину до фібрил – дрібних волокон. Дерево певний час вариться у спеціальних розчинах, до складу яких входять розчини кислот. Вони повинні не тільки подрібнити тріски, але й відбілити деревну масу, адже від цього залежить, який сорт паперу отримаємо [2].

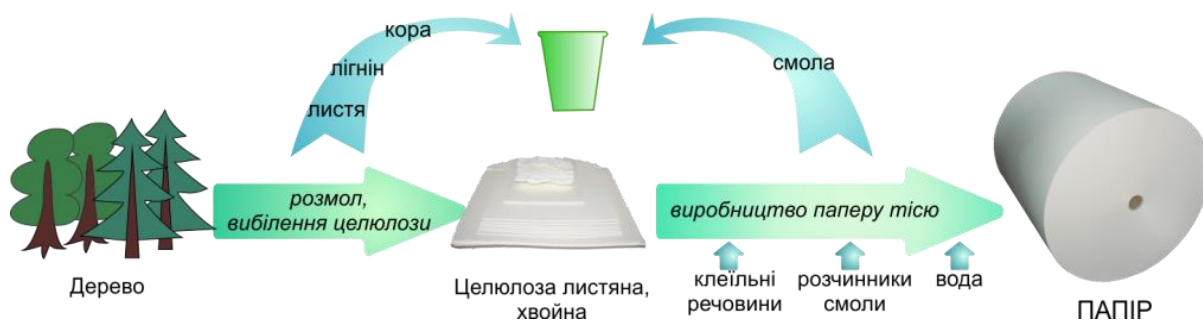


Рисунок 2. Схема виготовлення паперу

Встановлено, що для виготовлення паперу використовується велика кількість води. Отже, паперову фабрику доцільніше будувати біля водного об'єкта, щоб використовувати воду для технологічного процесу виробництва, а потім скидати їх.

Метою роботи є дослідження впливу целюлозно-паперової промисловості на водні об'єкти.

Матеріали і результати дослідження. Проведено аналіз вмісту у водних об'єктах шкідливих речовин. Встановлено, що річки Случ та Хомора у Житомирській та Хмельницькій областях є забрудненими стічними водами целюлозно-паперових підприємств такими речовинами, як:

- розчинений вуглеводень;
- смоли;
- жири;
- сульфід луги;
- спирти;
- фурфурольні компоненти;
- сивушні ефіроальдегідні та скипидарні фракції;
- кислоти.

Проаналізовано склад поверхневих вод річок Хомора і Случ та представлено табл. 1.

Представники Державної екологічної інспекції України неодноразово встановлювали факт порушення підприємством природоохоронного законодавства у частині забруднення водного басейну річки Хомора. Встановлено, що підприємство «Понінківська картонно-паперова фабрика – «Україна» аварійно скидає стічні води у зв'язку з чим річка стала жовтого кольору і речовини осіли на водоростях. Отже, антропогенний вплив даного підприємства призводить до загибелі популяцій риб та ракоподібних. На даний час річка не є придатною для комунально-побутового споживання [3].

Стічні води целюлозно-паперових підприємств за видом забруднення поділяються на стоки декількох видів: коровмісні, волокнокаоліновмісні, лужновмісні, кислі, з неприємним

запахом, хлоровмісні, шламо- і золівмісні, умовно чисті та дощові. Кожен з цих потоків має самостійну каналізацію і підлягає цеховому очищенню. Існують також загальнозаводські очисні споруди, на яких стоки підлягають механічному, а потім біологічному очищенню. При необхідності здійснюють доочищення хімічними та іншими методами [4].

Таблиця 1. Результати гідрохімічних аналізів поверхневої води в р. Хомора та р. Случ

Назва створу	Дата відбору	Температура	Запах	Прозорість	Розчин. кисень	pH	ХСК	БСК-5	Залізо	Марганець
ГДК за Сан Пин №4630-88			2	>20	>4	6,5 - 8,5	15	2,26	0,3	0,1
Створ 1 р. Хомора, ліва притока р. Случ, 7км від гирла, межа Житомирської та Хмельницької областей	19.04.2016	14	5	19	0,16	7,76	43,97	6,12	0,550	0,441
	26.04.2016	10	5	17	1,44	7,72	48,64	6,16	0,625	0,580
	11.05.2016	17	5	16	0,16	7,68	78,18	9,12	0,725	0,603
Створ 2 р. Хомора, 4 км від гирла, смт Першотравенськ	19.04.2016	15	5	17	1,04	7,29	62,28	8,16	0,850	0,580
	26.04.2016	10	5	15	2,64	7,68	56,32	7,44	0,658	0,650
	11.05.2016	17	5	13	1,04	7,67	80,88	9,44	0,725	0,510
Створ 3 р. Случ, 256 км від гирла, м. Баранівка	19.04.2016	15	2	26	3,68	7,42	31,14	3,36	0,508	0,290
	26.04.2016	11	2	21	4,56	7,87	30,72	3,28	0,342	0,099
	11.05.2016	18	2	24	4,96	7,83	26,96	2,72	0,350	0,081
Створ 4 р. Случ, 215 км від гирла, с. Гульськ Новоград-Волинський район	19.04.2016	15	2	29	8,72	7,90	29,31	3,12	0,525	0,128
	26.04.2016	10	2	21	10,64	8,22	28,16	2,96	0,338	0,058
	11.05.2016	19	2	24	10,08	8,10	26,96	2,80	0,375	0,099
Створ 5 р. Случ, 207 км від гирла, с. Івашківка Новоград-Волинський район	19.04.2016	15	2	25	8,48	7,89	27,48	3,04	0,513	0,139
	26.04.2016	11	2	23	10	8,19	25,60	2,72	0,325	0,064
	11.05.2016	19	2	18	9,76	8,09	29,66	2,88	0,325	0,081
Створ 6 р. Случ, 203 км від гирла, питний водозабір м. Новоград-Волинський	19.04.2016	14	2	27	8,52	7,80	31,14	3,12	0,575	0,116
	26.04.2016	11	2	29	9,84	7,80	35,84	3,20	0,550	0,174
	11.05.2016	18	2	22	10,08	8,08	29,66	3	0,400	0,100

Механічний метод очищення є першим етапом очищення стічних вод - механічне видалення з них завислих і плаваючих частинок. Для цього застосовують решітки, сита, пісковловлювачі, відстійники, жироловліювачі. Суть хімічних методів очищення стічних вод полягає у взаємодії хімічних реагентів із забрудненнями. Вона сприяє видаленню із розчину завислих, колоїдних і розчинених сполук. Внаслідок цього знижується забарвленість, стоки знезаражуються, усуваються неприємні запахи. В основу фізико-хімічних методів очистки стічних вод покладені процеси адсорбції, дистиляції, іонного обміну, електродіалізу, осмосу та ін. З біологічних методів розповсюджені такі: зрошення ґрунту стічними водами, очистка їх у біологічних водоймищах і біофільтрах, обробка активним мулом, анаеробне бродіння стічних вод.

Проаналізувавши ряд методів та заходів очищення стічних вод, обрано схему механо-біолого-хімічної очистки стічних вод [5], що представлена на рисунку 3: 1 - метантенк; 2 - мулові майданчики; 3 - стічна вода; 4 - решітки; 5 - пісковловлювач; 6 - первинний відстійник; 7 - біореактор (аеротенк з біоплівкою); 8 - вторинний відстійник; 9 - ємність для хлорування; 10 - контактний резервуар; 11 - ємність для флокуляції-коагуляції; 12 - відстійник; 13 - піщаний фільтр; 14 - фільтр з активним вугіллям; 15 - згущувач осаду.

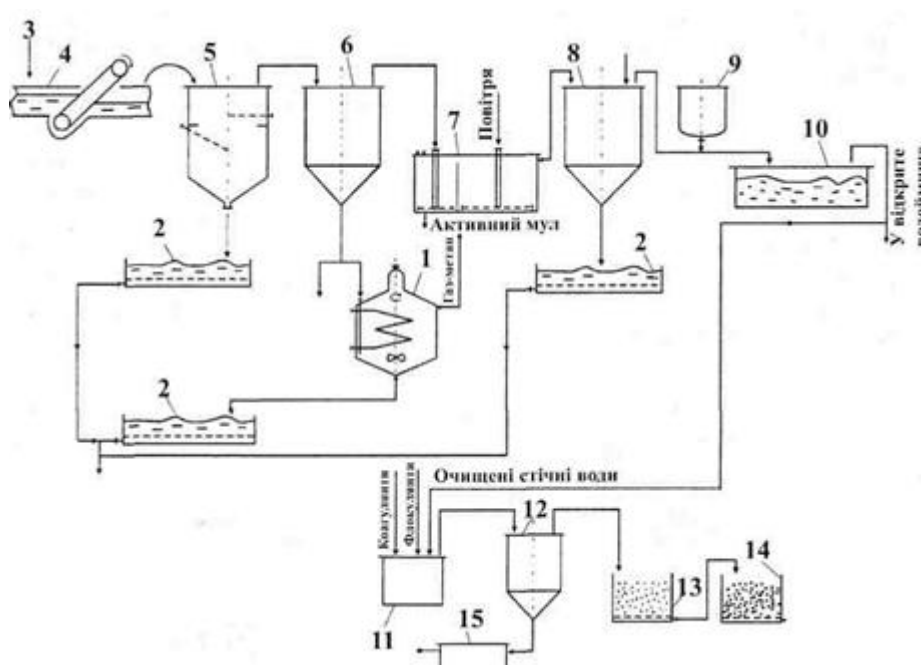


Рисунок 3. Схема механо-біолого-хімічної очистки стічних вод

Перевагами даного методу є поєднання декількох методів очищення стічних вод, що дає змогу проведення більш якісної очистки від забруднювальних речовин і домішок.

На даний момент українське законодавство у разі порушення правил охорони вод передбачає штраф у розмірі 1700-3400 грн. У Верховній раді зареєстрували законопроект про посилення відповідальності за забруднення морів, поверхневих, підземних вод та джерел питної води. Він передбачає серйозне підвищення штрафів – за промислове забруднення водойм вони мають складати від 51 тис. грн. до 136 тис. грн. При порушенні екологічних нормативів, може розглядатись припинення терміну дії дозвільних документів на целюлозно-паперове виробництво [6].

Висновки. З розвитком целюлозно-паперової промисловості, постає потреба в модернізації виробничого процесу. Доведена необхідність удосконалення системи очищення стічних вод, що забезпечить збереження якості поверхневих вод, поблизу їх скидання у відкриту водойму. Окрім цього є доцільним збільшення кількості лісових насаджень, адже паперове виробництво потребує великої кількості деревини. Проаналізувавши законодавчі документи, встановлена необхідність впровадження законопроектів, щодо посилення відповідальності за забруднення морів, поверхневих, підземних вод та джерел питної води.

Список використаної літератури:

1. Загальна характеристика лісів України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ukrbio.com>
2. Як виготовляють папір [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://drukarstvo.com>
3. Держекоінспекція здійснює кризовий моніторинг річки Хомора в Хмельницькій області [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://menr.gov.ua>
4. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти. - К.: ВПЦ "Київський університет", 1999.
5. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. - К.: Вища школа, 2005.
6. Результати додаткових досліджень води у річках Хомора і Случ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://oda.zt.gov.ua>

УДК 628.4.032

Ömer Cebeci, professor, Istanbul Sehir University

Tkachuk Kostantyn, professor, Igor Sikorsky KPI

Anna Onyshchenko, student, Igor Sikorsky KPI

WASTE MATERIALS CO-PROCESSING IN CEMENT INDUSTRY

Застосування технології сумісної переробки твердих побутових відходів у цементних печах з ціллю вирішення проблеми утилізації відходів в Україні. Спалювання твердих побутових відходів як альтернативного палива на цементних заводах задля економії невідновлювальних джерел енергії та зменшення засміченості території.

Application of technology for the co-processing of municipal solid wastes in cement kilns with the aim of solving the problem of waste utilization in Ukraine. Combustion of municipal solid wastes as alternative fuels at cement plants to save on non-renewable sources of energy and to reduce the contaminated area.

Introdaction. Human life on the planet is accompanied by a large amount of waste of different types. Year after year, the amount of waste per capita is multiplied by increasing the needs of mankind. So, in recent years, the mass of solid domestic waste that gets into the environment reaches 500 million tons per year. Solid municipal waste is the result of the activities of each person and serve as a source of environmental pollution of hazardous substances. But we can not overlook the fact that it is profitable to use solid municipal waste as a valuable material used in many industries. The use of modern technology of co-processing can become a breakthrough for the Ukrainian waste

management system. Implementing this technology, the amount of landfill in the Ukrainian territory will be reduced, since the needs of landfilling will not exist. Also reduce consumption of non-renewable sources of energy by replacing 30% of traditional fuel for cement kilns.

Analysis of the status of the question. Any use of anything is waste. Improving the quality of industrial processes, increasing supply in the market, improving the living standards of the population - all these factors are the basis for changing the quantitative and qualitative composition of solid household waste. Due to the mass closure of production, as well as numerous losses in production, as a result of Ukraine's loss of its territories with developed production, low-waste waste has increased, which directly affects the ecological situation of the country as a whole.

Municipal solid waste is a real serious threat to the population. Their number is increasing, warehouses are in a crowded state, and the allocation of new landfill sites is not a way out of the current situation. In this way, scientists came to the idea of recycling solid household waste. Sources of natural raw materials such as coal, oil, ore and so on are depleted and we have to think about finding alternative sources.

This practice already exists abroad. Solid waste recycling projects have been successfully implemented in highly developed countries such as the USA, a number of European countries, Japan and the Baltic countries.

Statement of the main material. Growing populations and high levels of consumption increase the amount of municipal waste that requires integrated and environmentally sound waste management systems. The cement industry has an inherent need for fuel with high heat of combustion. Thus, municipal solid waste with a high calorific value is desirable as spent fuel for thermal processes in the cement industry, which is an opportunity for both waste and cement industry. However, ecological viability must be objectively, systematically and holistically evaluated.

Cement is the main component of concrete, which in turn is the second most consumable material on earth, besides, the cement industry is one of the most intense energy consumption. Modern enterprises often have a nominal production capacity of over 1 million tons per year. To make one ton of cement, an equivalent of 60-130 kg of fuel and 110 kW of electricity is required. Due to the high consumption of energy, which is more than 30% of the total cost of production of cement industry, the reduction of energy costs is the main motivation for technological progress in the process of cement production. In order to reduce the cost of fossil fuel consumption (non-renewable source), co-processing technology was used to introduce alternative fuels as part of the production process. This technique provides less cost of production, introducing waste from various industrial activities, in addition, contributing to the reduction of environmental commitments; they generate waste when they are rejected in inappropriate places. It is obvious that the cement sector is extremely intense in energy consumption and should be taken into account in the study of energy planning, especially given the changes in the energy matrix that has been taking place continuously since the oil crisis of 70 years, yet this change is very heterogeneous.

An environmental analysis is performed by comparing the environmental performance, the pollution indicator and the value for the equivalent of CO₂ from the level of cement production, before and after the acceptance of reuse of waste. Cement production begins with the extraction of raw materials, where limestone is a major component. The once ground limestone is mixed with other materials such as clay, iron, silicon and aluminum. This mixture is called raw flour. This mixture is sent in an oven where it is heated to a temperature between 1200 and 1500 °C, which leads to partial melting and the formation of clinker granules. This material is cooled, mixed with a small amount of other ingredients, such as gypsum and slag from an oven bomb, and is milled that generates cement. Scheme of work of cement production is presented in Figure 1.

The cement industry is considered energy-intensive, because its energy needs to reach high

temperatures. Traditionally, fossil fuels such as coal, fuel oil and petroleum coke are traditionally used. Co-recycling of industrial waste is an attempt to reduce the use of such fuels. In this process, the waste is added to the raw material, partially replacing the fuel or the raw material (Marcelo Firpo de Souza Porto, 2006).

Co-processing is the use of waste as a raw material (without changing the final product quality), either as a source of energy, or as a substitute for natural mineral resources (processing of materials) and fossil fuels such as coal, oil and gas (energy recovery) in industrial processes. The wastes used for co-processing are called alternative fuels and raw materials (alternative sources of energy).

Given the situation with the cement industry in a context of continued expansion and the need to use cheaper fuel, joint processing has become a great opportunity for the business sector. This alternative is even five to ten times cheaper than conventional forms of burning. The cost of combustion costs \$ 1,000 to \$ 3,000 depending on the type of waste. Utilization at landfills may cost \$ 150 per ton. Burning in cement kilns ranges from US \$ 100 to \$ 700 per ton.

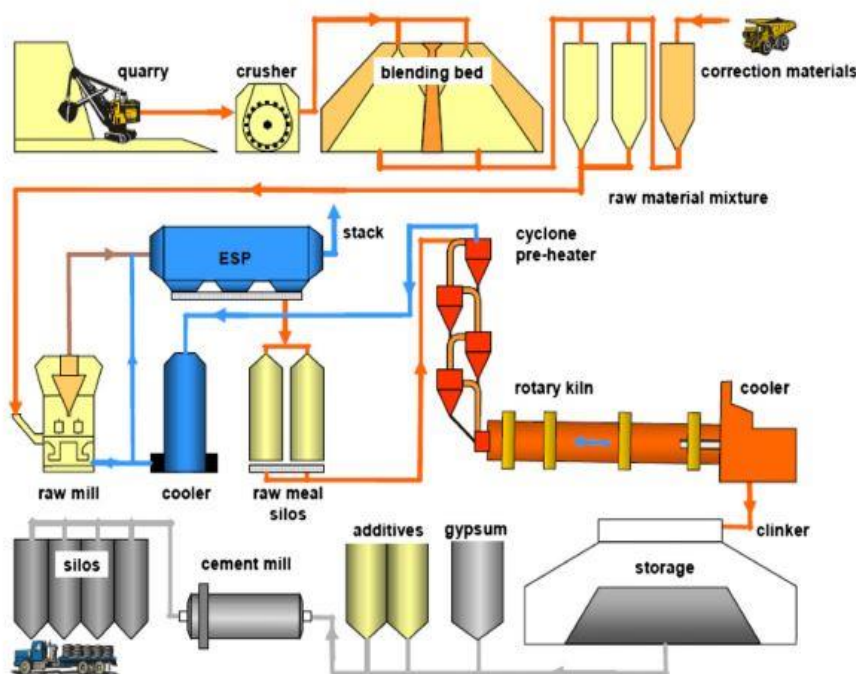


Fig.1. Schematic representation of cement production

Main positive vectors of co-processing:

- the ability to reduce the amount of emissions of hazardous substances into the environment;
- replacement of about 30% of traditional fuel used in cement plants;
- direct impact of the company on the ecological state of the country and improvement of the environment;
- energy saving;
- enhancing the image of the company that uses the technology.

Particularly important is the analysis of certain properties of solid household waste, which is taken as a basis for the use of alternative raw materials or fuels. The analysis includes physical properties, point properties, composition and content of ash, caloric content and moisture content. These parameters are very important for obtaining fuel characteristics, which, in turn, must comply

with the norms and legislation on environmental protection. It is also important to pay attention to the moisture that is responsible for the form of waste. It is also important to calculate the calorific stability, which is responsible for controlling feed in a rotary kiln.

The composition of industrial waste is important not only in the emissions generated by these metals in the atmosphere, but also on their influence on the properties of cement. Most of the waste (80%) is used in furnaces as an alternative fuel because its calorific value exceeds 7100 kJ / kg (lower calorific value).

Environmental efficiency evaluates the amount of the pollutant, taking into account the gas emissions per kg of fuel used. This efficiency is in the range from 0 to 1, where environmental efficiency is equal to 0, means 100% of the environmental impact or high pollution level, and efficiency 1 means 0% of the environmental impact or non-pollutant.

The choice of using the technology of social processing covers only the positive aspects for the cement industry.

It is very important to monitor the use of joint processing by environmental inspections and other environmental authorities. Thereby controlling the impact on people and the environment. To minimize the impact, investment investment in staff and infrastructure is needed, thereby increasing the capacity of institutions.

Considering the ecological effect, we will be able to analyze the capacity of solid household waste as an alternative raw material.

Conclusions. Since the waste management system in Ukraine is not perfect and requires innovations, the introduction of joint waste processing will be well resolved. Such installations are not expensive and payback period is not great. But the benefits for the company and the environment are large enough. It is worth considering the fact that garbage collection companies themselves will pay the cement plant for the disposal of garbage. In general, the use of technology for the co-processing of solid waste in cement kilns is a real chance for Ukraine to reduce the amount of waste on the territory of Ukraine, saving natural resources, namely natural fuels, and new environmental technologies in production.

References.

1. G. Wehenpohl, B. D.-P. Guidelines on co-processing waste materials in cement production. Holcim Group / G. Wehenpohl, B. D.-P.. // Renewable and Sustainable Energy Review. – 2006.
2. Leonor Patricia Güereca. The co-processing of municipal waste in a cement kiln in Mexico. A life-cycle assessment approach. Journal of Cleaner Production / Leonor Patricia Güereca. // Renewable and Sustainable Energy Review.– 2015.
3. Marcelo Firpo de Souza Porto. Understanding risks in socially vulnerable contexts: The case of waste burning in cement kilns in Brazil. / Marcelo Firpo de Souza Porto. // Safety science. – 2006.
4. Milanez, J. B. Industrial wastes co-incineration in cement kilns: problems and challenges / 4. Milanez, J. B.. // ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestao Empresarial e Meio Ambiente. // Renewable and Sustainable Energy Review. – 2007.
5. Wendell de Queiroz Lamasa, J. C. Waste materials co-processing in cement industry: Ecological efficiency of waste reuse / Wendell de Queiroz Lamasa, J. C.. // Renewable and Sustainable Energy Review. – 2013.

УДК 622.276:502:612.014.461

Бодюк Віта Адамівна, юрист

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ВУГЛЕВОДНІВ НА ВОЛИНІ

У зв'язку з децентралізацією влади, що проводиться в Україні, за актуальну слід визнати проблему господарського використання громадами місцевих природних ресурсів.

Волинь, як відомо, не бідна на корисні копалини, зокрема, кам'яне вугілля, торф, сапропель, бурштин, нафту, природний газ та ін.

У недалекому минулому на Волині знайшли поклади нафти у Володимир–Волинському, Ковельському, Локачинському, Рожищенському та Турійському районах. Ці райони входять до геологічної Гончо–Бродівської ділянки Волинсько–Подільського краю Східноєвропейської платформи (Західний нафтогазоносний регіон). Видобуток нафти було розпочато ще у 70-х роках. Але на фоні багатих родовищ в СРСР родовища нафти на Волині вважалися не перспективними. Хоча, як приклад, прогнозні ресурси вуглеводнів лише на Озерянській структурі складають 850 млн куб м.

У Локачинському районі на Волині експлуатуються газові свердловини. Розташовані вони за півтора – два кілометри від села Марковичі. Тут природний газ видобувають ще з 1999 року. Потужності родовищ достатньо для постачання цього виду палива більше сорока тисячам сімей щорічно. Закономірно, що місцеве населення для своїх потреб використовує газ, що видобувається.

Розробляло газові свердловини на території Локачинського району Газопромислове управління “Львівгазвидобування”.

Тепер місцевим газом за домашніми потребами користуються 18 газифікованих населених пунктів. До них належать, зокрема, села Марковичі, Міжгір'я, Роговичі, Шельвів та ін.

Але з використанням Локачинського природного газу виникло ряд територіальних проблем. По-перше, газ містить, як чималий домішок, сірку. Як наочний доказ її вмісту: газ горить не блакитним, а червоним полум'ям. Тому потребується застосування певних засобів і технологій його очищення.

З метою його комплексного очищення ще у 2002 році тут встановили спеціальні технічні засоби. Отримані після спеціальної обробки домішки спалюють. У період спалювання над газовими свердловинами добре видно чорні хмари диму, що «висять» там кілька тижнів. Місцеві мешканці замітили, що саме в цей період повітря найбільше насичується сіркою.

Таким чином, наявна екологічна проблема. Після звернення в м. Ковель до Держстандартметрології з проханням направити фахівця для проведення експертизу газу, його не впустили навіть на територію свердловин.

Далі, як показав час, мешканці, що проживають у газифікованих селах, скаржаться на постійний головний біль, алергічний кашель та високий тиск.

Діти газифікованих сіл часто хворіють, постійно скаржаться на головний біль, кашель, мають збільшені щитоподібні залози. Серед діток – багато алергіків.

Із 320 жителів села Марковичі – семеро онкохворих.

У селі навіть садові дерева перестають плодоносити, а то й всихають.

А пільг на лікування та оздоровлення мешканців немає жодних.

Таким чином, наявна друга проблема – оздоровлення населення.

За місцевий газ мешканці сплачують, як все населення. З подорожчанням плати і незмінності зарплати зростають проблеми з купівельною спроможністю населення, його добробутом.

Мешканці старшого віку живуть тільки на пенсію, газ оплачують за субсидією, за встановлений ліміт його витрачання. Цей ліміт фактично нижчий, ніж реальні побутові потреби у природному газі.

Таким чином, наявна третя проблема – розміру плати за місцевий природний газ. Логічно, що населення не повинно платити таку величезну ціну, живучи поблизу газових свердловин, тобто по суті, за власний газ, згідно Конституції України.

Наявна і четверта проблема – соціальна.

Далі, вантажний транспорт, що приїжджає до свердловин, руйнує місцеві дороги.

Зауважимо, що природний газ займає найбільшу питому вагу серед споживаних енергоносіїв в Україні.

Місцеві органи влади і громадські організації на Волині ініціюють і проводять діяльність по вирішенню центральними органами влади цих проблем не один рік, але безрезультатно. У зв'язку з децентралізацією влади, такі проблеми, на наш погляд, вони їх мають вирішувати самостійно.

Література:

1. <https://www.volynnews.com/news/society/zapasiv-nafty-na-volyni-vystachyt-na-20-rokiv/>
2. <https://www.volynnews.com/news/society/hazovi-sverdlovyny-na-volyni>

Єлецька І.В., студент,
КПІ ім. Ігоря Сікорського
ІЕЕ, гр. ОЗ-42

АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ ПОЛІХЛОРОВАНИМИ БІФЕНІЛАМИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ТА ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Анотація. Проаналізовано стан забруднення поліхлорованими біфенілами(ПХБ) територію України. Розглянуто вплив трансформаторного масла з ПХБ на навколишнє середовище. Визначено пріоритети застосування методів очищення трансформаторного масла.

Annotation. State of pollution by the polychlorinated biphenyls (PSB) is analysed of the territory of Ukraine. Influence of transformer oil with PCB on the environment is considered. It is defined priorities of application of methods of purification of transformer oil.

Вступ. Починаючи з 2007 року в Україні ратифікована Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі. Вона передбачає заборону виробництва, імпорту поліхлорованих біфенілів (ПХБ), їх повторного використання та переробки. Обладнання з концентрацією більше 10 % ПХБ закликають вилучити з експлуатації. Національний планом

дій сторін конвенції є уживання заходів по усуненню ПХБ до 2028 року.

Аналіз стану питання. ПХБ - це синтетичні сполуки, які налічують 209 можливих поєднань (названих сполуками) хлору навколо біфенільної молекули. Збільшення кількості хлору у сполуці передуює підвищенню токсичності. Головними джерелами ПХБ є електричне обладнання (трансформатори, конденсатори) та будівельні матеріали (лаки, фарби). ПХБ є стійкими в навколишньому середовищі, накопичуються в харчовому ланцюгу та можуть викликати несприятливі наслідки для здоров'я людей та дикої природи, включаючи рак, шкоду імунної, нервової та репродуктивної систем.

ПХБ набули широкого використання у промисловості завдяки термостійкості та хімічній інертності. Їх використовують як присадку до трансформаторного масла, для ізоляції та захисту від перегріву.

Мета роботи. Аналіз стану забруднення поліхлорованими біфенілами та вибір методу очищення трансформаторного масла.

Розподіл забруднення на території України. В Україні ПХБ-вмісне обладнання не вироблялося. Використовувалися конденсатори та трансформатори вироблені за кордоном. Ізолюючі речовини випускалися під назвами «трихлордифеніл (ТХД)», «совол» та «совтол». Так, поліхлоровані біфеніли розповсюджені і на території України. За підтримки UNEP, в Україні в 2003 році проведено інвентаризацію ПХБ більш ніж на 4500 найбільших промислових підприємствах. Результати інвентаризації наведено на рис.1 та рис.2. Концентрація ПХБ наведена у кг/область [1].

За результатами розподілу, найбільша кількість трансформаторів станом на 2006 рік у Донецькій області – 601,3 т за масою, тобто 30,6% від загальної кількості. Таку тенденцію можна пояснити великою кількістю металургійних підприємств. Тенденція розподілу маси ПХБ побідна до розподілу по кількості. Даний зв'язок пояснюється застосуванням подібних типів трансформаторів на території України та прямою залежністю маси масла від кількості обладнання.

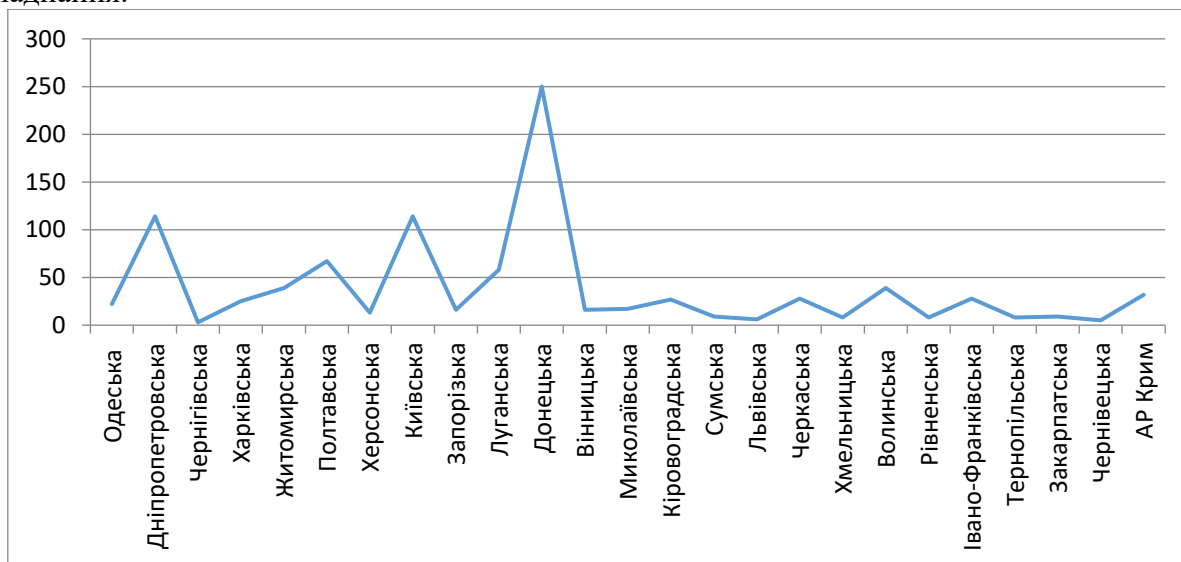


Рисунок 1 Розподіл трансформаторів із вмістом ПХБ по областям України станом на 2006 рік

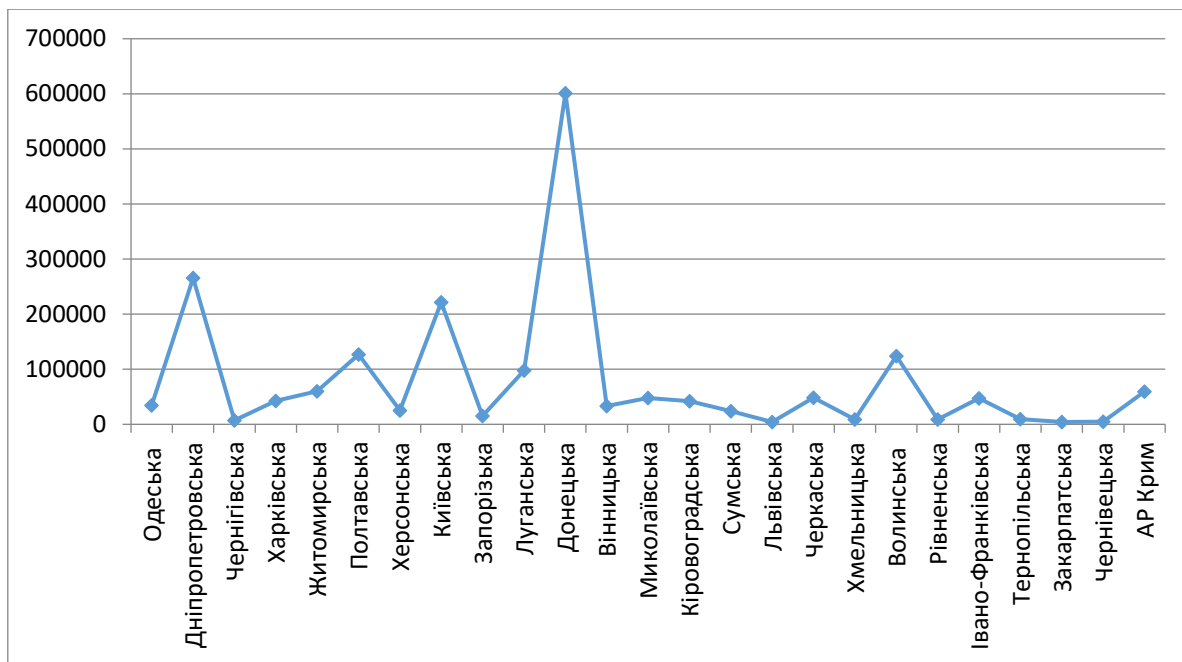


Рисунок 2 Розподіл концентрацій ПХБ по областям України станом на 2006 рік

Вплив ПХБ на навколишнє середовище. Потрапляння ПХБ до навколишнього середовища відбувається за умови невідповідності нормам технічного обслуговування, що передують таким ризикам:

- 1) Ризики пов'язані з витоком масла, що містить ПХБ;
- 2) Ризики від пожеж;
- 3) Ризики після використання обладнання, що містить ПХБ.

Основним джерелом попадання поліхлорованих біфенілів до навколишнього середовища є витоки трансформаторного масла. Найбільш розповсюдженими є витоки з пломб та прокладок. Масло з ПХБ може просочуватись через пори дерев'яних опор, які виконують ізоляційну функцію. При механічних порушеннях, можливий вплив кислотності масла і як наслідок – корозія корпусу трансформатора. Слабкі деталі внутрішнього корпусу, зокрема охолоджувальні пластини, піддаються дії корозії. Також джерелом ПХБ можуть бути забруднені матеріали (одяг, рукавиці) при проведенні ремонтних робіт [2].

Вплив ПХБ на навколишнє середовище. ПХБ потрапляють до навколишнього середовища переважно через ґрунтовий покрив та поверхневі води. За рахунок сильного зв'язування з ґрунтом, відсутня можливість міграції до ґрунтових вод. Потрапляючи до організму людини через шкіру та продукти харчування вони накопичуються в жирових тканинах. Накопичуючись, ПХБ чинять токсичну дію. Агенством по вивченню раку International Agency for Research on Cancer віднесено ПХБ до речовин канцерогенної дії. ПХБ в атмосферному повітрі можуть ініціювати пошкодження ДНК та хромосом організму. Відбувається вплив на вроджений імунітет, за рахунок погіршення функціонування клітин, що протидіють вірусам [3].

Стратегія видалення та методи очищення трансформаторного масла від ПХБ.

Для зменшення негативного впливу та виконання міжнародних умов, необхідне впровадження заходів по очищенню ПХБ з трансформаторних масел на території України.

За результатами інвентаризації, в Україні накопичено 1964200 кг ПХБ в трансформаторних обладнаннях. Для застосування діючого обладнання на базі очищеного

масла, останнє необхідно очищувати до 3 разів [4]. Для цього необхідно обрати стратегію в залежності від виду забрудненого обладнання. Проект ГЕФ/ЮНІДО «Екологічно ефективне поводження та остаточне знешкодження поліхлорованих дифенілів (ПХД) в Україні» пропонує виконання ряду заходів, що наведено на рис 3.



Рисунок 3. Вибір стратегії видалення ПХД

Для незалежності переробки від інших країн, запропоновано очищення масла на території України. Досвід інших країн довів, що можна очищувати паливо централізовано та на місці його використання. Джерелом [4] запропоновано використання ряду технологій, зокрема: дехлорування лужними металами, очищення в автоклаві, інісінерація небезпечних відходів, плазмова технологія, дехлорування в газовій фазі та каталітична деструкція.

Для очищення трансформаторного масла на місці відсутня необхідність застосування обладнання з великою продуктивністю. Мобільність застосування підтримують лише три методи з розглянутих:

1. Дехлорування лужними металами;
2. Дехлорування в газовій фазі;
3. Каталітична деструкція.

З урахуванням показників кожного методу, на основі методу ієрархій визначено найбільш пріоритетний метод. Ефективність кожного методу складає 99,9% і вище. Загальні характеристики кожного з них наведені у табл.1.

Таблиця 1 Загальні характеристики методів очищення трансформаторного масла від ПХБ

	Дехлорування лужними металами	Дехлорування в газовій фазі	Каталітична деструкція
Ефективність деструкції, %	99-99.9	99.9999	99,999
Середня продуктивність кг або л/добу	1000	2100	10 000
Викиди	N ₂ , H ₂	CO ₂ , N ₂ , O ₂ , вода, скидів 140 тис. кг/міс	N ₂ , H ₂
Електроенергія на кВт*кг або л	34,5	2,5	0,2
Водозабезпечення л/1000 л масла	80	500	96
Реагенти	Азот, CO ₂ , природний газ	Каустична сода, водень, азот, водяна пара, природний газ, CO ₂	Нафтопродукти, бікарбонат натрію
Кількість робітників за зміну, з них:	2	3	3
фахівці	1	2	2
робітники	1	1	1
Вартість очищення в середньому, дол. США/л або кг	0,15	5,6	1,9
Впливи та ризики	Концентрація ПХБ в викидах менше 1 мгк/м ³ ; в твердих і рідких залишках – 2 ppm; незначні ризики пов'язані з хім. реагентами	2% від обсягу початкових відходів	1,5% від обсягу початкових відходів, шлам

Фактори, що найбільше різняться, обрано у якості критеріїв вибору пріоритетної технології. До цих факторів належать: середня продуктивність, енергетичні ресурси, водозабезпечення, кількість реагентів, робітників за зміну, вартість очищення 1 л або кг та вплив на навколишнє середовище. Розрахунки проведено за допомогою веб-ресурсу <https://axd.semestr.ru>. Результати розрахунків наведено нижче.

$$\begin{pmatrix} 0,675 & 0,508 & 0,707 & 0,056 & 0,423 & 0,071 & 0,707 \\ 0,129 & 0,113 & 0,070 & 0,188 & 0,092 & 0,452 & 0,070 \\ 0,197 & 0,379 & 0,223 & 0,756 & 0,485 & 0,477 & 0,223 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,331 \\ 0,205 \\ 0,113 \\ 0,113 \\ 0,081 \\ 0,093 \\ 0,062 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,49924385 \\ 0,14909838 \\ 0,3516436 \end{pmatrix}$$

Останні цифри відповідають значенням пріоритетності кожного методу відповідно. Отже, найбільший пріоритет має метод дехлорування лужними металами, приблизно 0,499. Даний числовий показник відповідає майже половині пріоритетності всіх методів.

Висновки. Проблема забруднення ПХБ має світові масштаби. Всі області України мають трансформатори з забрудненим маслом. Накопиченні ПХБ чинять токсичну та канцерогенну дію на організм людини та тварин. Очищення на території підприємств характеризується високою ефективністю. Метод дехлорування лужними металами має найбільший пріоритет з урахуванням критеріїв вибору.

Список використаної літератури:

1. Інвентаризація ПХД 2003 року [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pcbs-ukraine.org/pkhd-v-ukraini/poperednii-dosvid-vyrishennia-problemy-pkhd-v-ukraini> (дата звернення 03.04.2018 р.). – Назва з екрана.
2. PCB Transformers and Capacitors: From Management to Reclassification and Disposal. // United Nations Environment Programme. – 2002. – №1. – С. 20–25.
3. Polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls. // World Health Organization. – 2016. – С. 259–390.
4. Визначення шляхів екологічно обґрунтованого видалення поліхлорованих дифенілів (ПХД) в Україні : методичний посібник / В. В. Четвериков, С. М. Коваль, А. В. Россоха, О. І. Бондар. – Херсон : Олді-Плюс, 2018. – С. 10-61.

УДК 504:658.628

А. С. Недава, студент

К. К. Ткачук, д.т.н., професор

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

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Визначено сутність системи екологічного менеджменту, як ефективної системи управління на промислових підприємствах. Розглянуто та проаналізовано основні вимоги та положення міжнародного стандарту ISO 14001. Виявлено основні переваги та недоліки запровадження системи екологічного менеджменту та прийняття стандартів ISO 14001 на підприємствах України.

The essence of ecological management system as an effective control system at industrial enterprises is determined. The main requirements and provisions of the international standard ISO 14001 are considered and analyzed. The main advantages and disadvantages of the introduction of the ecological management system and the adoption of ISO 14001 standards at the enterprises of Ukraine are revealed.

Вступ. З часу прийняття незалежності, в Україні відбулися значні зміни як у державно-політичному, так і у економічному розвитку: прийнята система понять, яка розрахована на

ринкові відносини, визнання різних форм власності, розвиток підприємницької діяльності. Такий розвиток економіки України характеризується підвищенням уваги до екологічних проблем, серед яких захист навколишнього середовища і раціональне використання природних ресурсів виділяють як одні з найбільш актуальних не тільки для нашої країни, а й для усього світу. Як причини слід виділити застарілі технології виробництва та обладнання, високий рівень концентрації екологічно небезпечних промислових об'єктів, незадовільний стан природоохоронних систем (або їх повна відсутність) та незабезпечення належного правового та економічного механізмів в сфері охорони довкілля.

В останні роки на державному рівні, в бізнесі, серед експертів активно обговорюють проблеми конкурентоспроможності підприємств і економіки, які зумовлені ризиками, пов'язаними з інтеграцією України до СОТ (Світова організація торгівлі), створенням зони вільної торгівлі з країнами ЄС, гармонізацією українських законів і стандартів з міжнародними і т.п. [1].

Це ризики масового витіснення українських виробників з внутрішніх і зовнішніх ринків через їх низький рівень конкурентоспроможності, що може привести до застою підприємств, адже без попиту не потрібен і сам товар.

В Україні на державному рівні більшу увагу приділяють, як правило, технічному регулюванню стандартизації, метрології та захисту прав споживачів, нехтуючи при цьому екологічною складовою виробництва (яка є однією з першочергових у світовій практиці). І як правило, за умов такого насиченого ринку, успіху у конкурентній боротьбі можна досягнути лише виробляючи продукцію, характеристики якої перевершують норми встановлені міжнародними стандартами.

Проте, слід зауважити, що в Україні на більшості промислових підприємств фактично відсутній системний підхід до управління якістю і екологічною діяльністю, а проблема розробки та впровадження систем менеджменту якості та екологічного менеджменту, що відповідають вимогам міжнародних стандартів ISO серій 9000 і 14000, є досить актуальною та потребує подальших досліджень.

Мета дослідження:

- визначення сутності системи міжнародних стандартів ISO 14000, що стосуються питань екологічного менеджменту на промислових підприємствах;
- виокремлення переваг та недоліків впровадження такої системи екологічного управління на підприємствах України.

Результати досліджень. Промисловість є найважливішим структурним компонентом усього господарського комплексу України. Одночасно вона є основним забруднювачем навколишнього природного середовища [2].

Рівень її впливу на довкілля залежить від багатьох чинників, серед яких виділяють характер територіального розміщення підприємств, наявність у них можливості утилізації відходів, можливість оновлення обладнання і т.д. А отже постає питання поліпшення стану навколишнього середовища, при цьому уникаючи великих фінансових витрат для виробництв. Як результат еволюції управління підприємством внаслідок такої необхідності і з'явився екологічний менеджмент.

Система стандартів, прийнятих у Західній Європі, є особливою і винятковою, але все-таки майбутнє у цій сфері належить серії міжнародних стандартів систем екологічного менеджменту і аудиту ISO 14000, розроблених міжнародним інститутом ISO (The International Organization for Standardization), які мають забезпечувати зменшення несприятливих впливів на навколишнє природне середовище. Офіційно стандарти ISO 14000 є добровільними, оскільки не замінюють законодавчих вимог. Підприємство може використовувати стандарти ISO 14000 для виявлення власних недоліків та може бути сертифікованим третьою

незалежною стороною.

На сьогодні діяльність в області екологічного менеджменту знайшла широке практичне розповсюдження у всіх розвинутих країнах, а також у країнах, які розвиваються. Так, наприклад, в Норвегії 350 підприємств сертифіковано на відповідність стандартам ISO 14000, в Бельгії – 303, в Угорщині – 637, Великобританії – 2917, Франції – 2344 [3].

Стандарт ISO 14001 встановлює основні вимоги до систем екологічного менеджменту з метою надання підприємствам інструменту для розробки політики і вирішення задачі скорочення негативного впливу на навколишнє середовище [2].

Стандарти серії ISO 14000 мають наступну структуру:

ISO 14001. Системи управління навколишнім середовищем. Технічні вимоги і настанови щодо використання.

ISO 14004. Системи управління навколишнім середовищем. Загальні настанови щодо принципів управління, систем та засобів забезпечення.

ISO 14010. Настанови щодо здійснення екологічного аудиту. Загальні принципи.

ISO 14011. Настанови щодо здійснення екологічного аудиту. Процедури аудиту. Аудит систем управління навколишнім середовищем.

ISO 14012. Настанови щодо здійснення екологічного аудиту. Кваліфікаційні вимоги до аудиторів з екології.

ISO 14020. Екологічні етикетки і декларації. Загальні принципи.

ISO 14021. Екологічні етикетки і декларації. Екологічні заяви у рамках самодекларації. Терміни та визначення.

ISO 14022. Екологічні етикетки і декларації. Екологічні заяви у рамках самодекларації. Позначення.

ISO 14023. Екологічні етикетки і декларації. Екологічні заяви у рамках самодекларації. Методологія перевірки і верифікації.

ISO 14024. Екологічні етикетки і декларації. Екологічні заяви у рамках самодекларації. Керівні принципи і методики.

ISO 14040. Управління навколишнім середовищем. Оцінювання життєвого циклу. Принципи і структура [4].

Основна мета міжнародного стандарту ISO 14001 полягає в тому, щоб дати організаціям нормативну основу для захисту навколишнього середовища і відповіді на змінні екологічні умови при дотриманні балансу з соціально-економічними інтересами.

Ключовими вимогами для відповідності стандарту ISO 14001 є:

- вироблення екологічної політики – певного документу про принципи та цілі підприємства. Дана екологічна політика повинна містити заяву про наміри відповідати екологічним нормативам, що прийняті у державі, а також про постійне систематичне поліпшення системи екологічного менеджменту;

- встановлення та дотримання процедур визначення впливу на навколишнє середовище;

- розробка екологічних цілей та задач;

- створення на підприємстві програми екологічного менеджменту;

- виділення достатньої кількості людських, технологічних та фінансових ресурсів для забезпечення ефективного функціонування системи екологічного менеджменту;

- проведення навчання персоналу, залучаючи при цьому як внутрішні, так і зовнішні можливості;

- здійснення періодичного моніторингу основних параметрів та показників діяльності підприємства;

- проведення періодичного аудиту системи екологічного менеджменту;

– контроль за представленою системою екологічного менеджменту зі сторони керівництва, її перегляд з точки зору ефективності.

Запровадження екологічних стандартів на підприємстві дає змогу попередити негативний вплив господарської діяльності на оточуюче природне середовище, оскільки вони передбачають поєднання безпосередньо виробничої діяльності із захистом довкілля. Але застосування їх на підприємствах має як позитивні, так і негативні наслідки, представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки запровадження системи екологічного менеджменту та прийняття стандартів ISO 14001 на підприємстві

Переваги	Недоліки
1) підвищення конкурентоспроможності підприємства; 2) розвиток «зеленого» ринку, надання екологічних послуг; 3) покращення якості продукції з подальшим привабленням нових споживачів; 4) вихід на міжнародні ринки; 5) зниження виплат, штрафів і стягнень за рахунок зменшення обсягів викидів; 6) економія виробничих витрат та ресурсів; 7) можливість порівняння існуючої екологічної політики з міжнародними.	1) можливість відповідності вимог лише формально, за рахунок гнучкості стандартів ISO 14000; 2) відсутність якісних і кількісних вимог до обсягів викидів, концентрації речовин, тощо; 3) неможливість запровадження стандарту деякими підприємствами, через високу вартість попереднього екологічного аудиту та через проведення реконструкцій проблемних зон.

Висновок. В Україні існують передумови для формування системи екологічного менеджменту, що підтверджується існуючою законодавчою базою з питань охорони навколишнього природного середовища. Аналіз переваг та недоліків стандартів серії ISO 14000, а також протиріч, що виникають під час їх впровадження, демонструє, що, незважаючи на існування певних недоліків, переваги від їх запровадження є більшими.

Актуальним є в галузі стандартизації завчасно виявити й звести до мінімуму недоліки стандартів, що можуть стати на заваді їх впровадженню. Також необхідним є вдосконалення державної політики в сфері екологічного менеджменту та створення сприятливих економічних умов для можливості запровадження ефективної системи екологічного менеджменту на вітчизняних підприємствах.

Список використаної літератури:

1. Даций О. І. Інноваційна модель розвитку економіки України в умовах глобалізації: монографія / О. І. Даций, М. В. Гаман, Н. В. Даций. – Донецьк: Юго-Восток, 2010. – 370 с.
2. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2016 рік [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://menr.gov.ua/files/docs/Reg.report/.pdf>.
3. Количество организаций, сертифицированных на соответствие стандартам ISO и EMAS [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.14000.ru>.

4. ISO 14000 [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-14000-2015-\(rus\).pdf](http://www.pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-14000-2015-(rus).pdf).

УДК 502/504

Рабош І. О., аспірант кафедри інженерної екології;

Кофанова О. В., д. п. н., к. х. н., професор кафедри інженерної екології;

Підгорний А. В., к. х. н., доцент кафедри загальної та неорганічної хімії.

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

АНАЛІЗ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЙ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Актуальність роботи визначається збільшенням техногенного навантаження автотранспортного комплексу (АТК) на ґрунтовий покрив урбанізованих територій. У роботі проаналізовано вплив АТК на навколишнє природне середовище та досліджено хімічний склад ґрунтових витяжок. Визначено рівень кислотності (рН) досліджуваних проб, а також вміст основних катіонів та аніонів. Встановлено, що в процесі перетворення і трансформації органічних речовин в ґрунті велику роль відіграють три групи чинників: параметри забруднення, властивості ґрунтів і зовнішнього середовища.

Ключові слова: екологічна безпека; автотранспортний комплекс; рівень забруднення; геохімічний аналіз, ґрунт, ґрунтова витяжка.

The ecological crisis is one of the most serious and dangerous problems of the contemporary world and society. Anthropogenic activity leads to the widespread pollution of the atmosphere, hydrosphere and lithosphere, which, in turn, leads to the serious consequences for humanity. The work analyzes the impact of the motor transport complex on the environment and investigates the chemical composition of soil extracts. The level of acidity (pH) of the soil samples studied, as well as the content of the basic cations and anions, has been determined. It has been established that in the process of transformation and transformation of organic substances in soil, three groups of factors play an important role: pollution parameters, soil properties and characteristics of the external environment.

Key words: environmental safety; motor transport complex; pollution level; geochemical analysis, soil, soil extractor.

Вступ. Велике техногенне навантаження автотранспортного комплексу (АТК) спричинює забруднення урбанізованих територій шкідливими речовинами (ШР). Потрапляючи в ґрунт, ці речовини викликають зміну його фізичних, хімічних та біологічних властивостей і, як наслідок, порушуються природні біохімічні процеси. Забруднення ґрунтового покриття відбувається повсюдно – у великих і малих містах, навколо автозаправних станцій (АЗС), автомийних комплексів (АМК), уздовж доріг тощо. Міський ґрунтовий покрив виступає «поглиначем» газових домішок, що виділяються від автотранспорту та промислових підприємств, виконуючи роль своєрідного бар'єру на шляху поширення ШР.

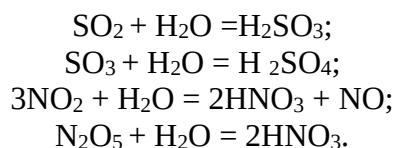
Швидкість накопичення ШР значно перевищує здатність ґрунтового покриву до самоочищення [1], тому виявлення джерел забруднення, хімічний аналіз складу компонентів і визначення основних чинників утворення токсикантів з метою прийняття заходів, спрямованих на зниження забруднень, є надзвичайно важливими завданнями.

Метою роботи є оцінка геоecологічного стану територій АТК за допомогою хімічного аналізу водних ґрунтових витяжок.

Матеріали та результати досліджень. Як об'єкти дослідження обрано території 9 складових АКТ, зокрема АЗС, шиномонтажі, сервіси транспортного обслуговування (СТО), що знаходяться в м. Києві. Точкові проби відбирались на майданчику розміром 1 м² з шару ґрунту 0 - 20 см методом конверту [2]. Для екологічної оцінки ґрунтового покриву виконували хімічний аналіз рівня кислотності (рН) ґрунту та якісне визначення основних мікро- і макрокомпонентів, у ґрунтових витяжках [3-4].

Результати хімічного дослідження ґрунтових витяжок показали зміну рН від кислої (рН = 5) до нейтральної та слабо лужної (рН = 7,6) реакції. У зв'язку з цим припускаємо, що кисла реакція середовища спричинена вмістом аніонів сульфатної (SO₄²⁻), нітратної (NO₃⁻) або ортофосфатної (PO₄³⁻) кислот. При згорянні палива через високу температуру азот повітря реагує з киснем, утворюючи оксид Нітрогену, обсяг якого залежить від особливостей процесу горіння в технологічному циклі. Обсяги сірчастого та сірчаного газів визначаються, головним чином, вмістом Сульфуру в паливі, його типом тощо.

Потрапляючи в атмосферу, оксиди Нітрогену і Сульфуру утворюють відповідні кислоти, зокрема сірчану та нітратну (азотну):



Проте якісні реакції на вивлення даних аніонів не дали позитивного результату. При низьких значеннях рН знижується активність багатьох мікроорганізмів, що є результатом уповільненого розкладу рослинних залишків і вивільнення з них Нітрогену, Фосфору, Сульфуру та багатьох мікроелементів [5-6]. Отже, за таких умов визначення цих елементів є певним чином затрудненим. Отож, в умовах кислої реакції концентрація ряду хімічних елементів може сягати рівня, токсичного для рослин, тварин і мікроорганізмів. Зокрема, в фазі проростання пригнічується процес фосфорилування, знижується потрапляння в рослини Кальцію, Магнію, Калію, Фосфору та Феруму, зменшується споживання води. При цьому, як правило, знижується ємність катіонного обміну ґрунтів, погіршуються деякі водно-фізичні характеристики. Таким чином, невеликий вміст катіонів Кальцію і Магнію у досліджуваних зразках обумовлений низьким рН, що свідчить про «вимивання» цих елементів з рослин.

Загальновідомо, що Кальцій являється компонентом, котрий вирівнює кислотність. Однак при постійному потраплянні кислоти у ґрунтовий профіль запас Кальцію знижується через його взаємодію з кислотами та кислими солями. Коли запас Кальцію вичерпується різко зростає кислотність ґрунту, що приводить також до вивільнення Алюмінію з мінеральної основи ґрунту. Алюміній, котрий знаходиться в мінералах у зв'язаному стані, є біологічно пасивним. Але, як тільки він вивільнюється і під впливом кислого середовища стає рухливим, то заміщує Кальцій та стає «отрутою» для рослин та ґрунтових організмів [7].

Різкі відмінності значень рН середовища досліджуваних ґрунтових витяжок свідчать, що забруднення ґрунтового покриву територій АТК залежить не тільки безпосередньо від самого джерела, а й від властивостей ґрунтів та характеристик навколишнього середовища.

Встановлено [8], що здатність до поглинання ШР знижується в ряду ґрунтів: глина – суглинки – супіски, що пов'язано з різною ємністю катіонного обміну та його гранулометричним складом (рис. 1).

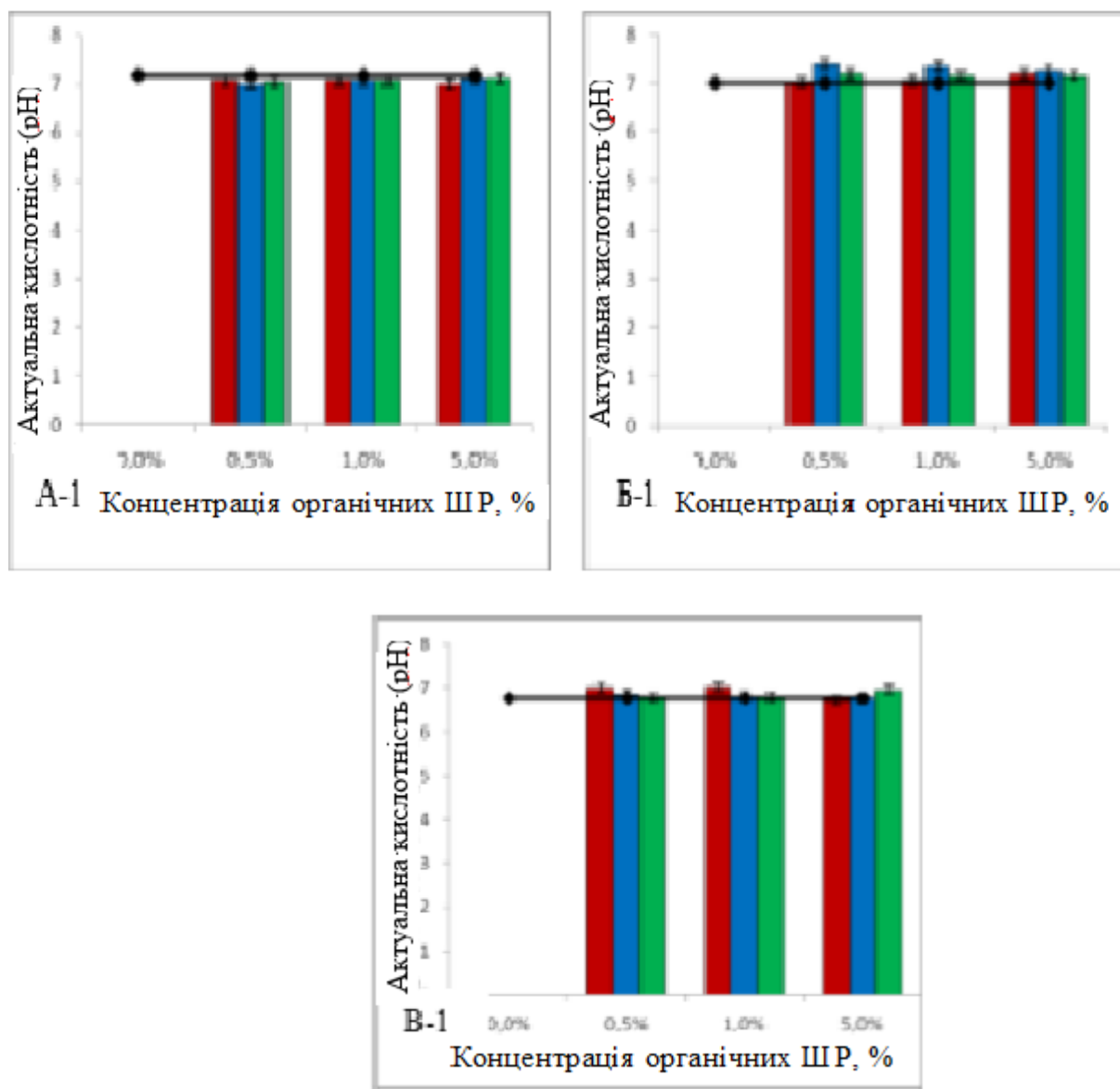


Рисунок 1 – Актуальна кислотність ґрунтів (pH) різного гранулометричного складу, забруднених органічними ШР при різних концентраціях в порівнянні з незабрудненими ґрунтами: А – глина, Б – суглинки, В – супіски. — незабруднений ґрунт; ■ – бензин; ■ – дизельне паливо; ■ – моторне масло.

Під впливом забруднювачів в ґрунті збільшується як загальний уміст органічного Карбону, так і частка негідролізованого залишку внаслідок включення продуктів біорозщеплення аліфатичних компонентів органічних речовин до складу гумінових кислот [9-10].

Отже, забруднення ґрунтів ШР, що утворюються при функціонуванні АТК, значною мірою змінює їх морфологічний склад, водно-фізичні властивості, рівень кислотності, впливає на обмінні процеси, гумусовий стан ґрунтів, азотний, фосфатний та калійний режими. При спалюванні моторного палива також утворюються мікрочастинки розчинні та нерозчинні у воді, котрі здатні поглинатися ґрунтами, рослинами тощо, змінюючи умови для їх життєдіяльності. Тобто у процесі перетворення речовин у ґрунті велику роль відіграють такі чинники, як параметри забруднення, властивості ґрунтів і зовнішнього середовища. Тому при недостатньо продуманому антропогенному впливі, порушенні природних екологічних зв'язків у ґрунтах швидко розвиваються небажані процеси мінералізації гумусу, підвищуються їх кислотність (лужність), підсилюється накопичення солей, що погіршує родючість ґрунтів, а в критичних випадках може призвести до локального руйнування ґрунтового покриву.

Список використаної літератури:

1. Ананьева, Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв / Н. Д. Ананьева; отв. ред. Д. Г. Звягинцев. – М.: Наука, 2003. – 223 с.
2. ГОСТ 14.4.4.02.84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
3. Хоботова Е. Б., Даценко В. В. Навчально-методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Методологія аналітичних фізико-хімічних наукових досліджень в екології». – 2008. – Харків.: Харківський автомобільно-дорожній університет. – 58 с.
4. Институт биотехнологии, пищевой и химической инженерии ГТУ. Аналитическая химия. Титриметрический и гравиметрический анализ, комплексонометрическое и окислительно-восстановительное титрование [Електронний ресурс]:[учеб. пособ.]. – Режим доступа: <http://www.chem-astu.ru/chair/study/anchem/index.html>. – Назва з екрану.
5. Кириенко, О. А. Микробиологическая оценка экологического состояния урбанизированных почв / О. А. Кириенко, Е. Л. Имранова // Экология урбанизированных территорий. – 2008. – № 4. – С. 57 – 61. – ISSN 1816-1863.
6. Андрійко, О. О. Хімія: Метод. вказівки до викон. лаборатор. практикуму для студ. техн. спец. бакалавр. циклу підготовки ден. форми навчання / О. О. Андрійко, А. В. Підгорний, Н. А. Гуц. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 64 с.
7. Косолапова, А. В. Оценка изменений свойств почв под влиянием антропогенных факторов / А. В. Косолапова // Вестник Воронежского пед. ун-та. – 2006. – № 5. – С. 5–6.
8. Миненко, А. К. Функциональная зависимость микробоценоза дерновоподзолистых почв от кислотного режима / А. К. Миненко // Почвоведение. Использование земельных ресурсов. – 2008. – № 2. – С. 1-13. – ISSN 0032-180X
9. Герасимов, М. И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Учебное пособие / М. И. Герасимов, М. Н. Строганова, Н. В. Можарова, Т. В. Прокофьева. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.
10. Sposito G. (Ed). The Surface Chemistry of Natural Particles. Oxford University Press, 2004. – 242 p.

УДК 504.53.064

Ярмошик І. М., студент

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

ЗАХИСТ ҐРУНТІВ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ СТОКАМИ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ: ЕКОЛОГО-ПРАВОВІ ВИМОГИ

У статті проводиться характеристика екологічних вимог і аналізуються норми правових актів, які визначають напрямки і способи захисту ґрунтів від забруднення стоками автозаправних станцій. Висловлюється думка, що комплексне застосування відповідних заходів є важливим складовим чинником у забезпеченні екологічної безпеки автозаправок, сприятиме мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Ключові слова: автозаправні станції, забруднення стоками, захист ґрунтів, екологічна безпека.

Protection from soil from pollution runoff gas station: environmental and legal requirements

The article characteristic analyzes of environmental requirements and standards regulations that define the direction and ways to protect soil pollution from runoff gas station. The author suggest that comprehensive application of appropriate measures is an important constituent factor in ensuring the environmental safety of gas station, will contribute to minimizing the negative effects on the environment.

Key words: gas station, pollution runoff, protection of soil, ecological safety

Вступ. Заправки на сьогоднішній день є невід'ємною складовою інфраструктури автомобільного транспорту України, адже їх діяльність спрямована на обслуговування транспорту, а саме продаж пального для нього.. З метою реалізації поставлених завдань кожна автозаправна станція (АЗС), як правило, має в своєму складі [службове приміщення](#); заправні ділянки (острівці) з масло- і паливороздавальними колонками, водо- і повітрязаправними пристроями, ділянки з підземними резервуарами для зберігання масла і палива, компресорне та протипожежне устаткування [1]. За даними Державної служби статистики України, загальна кількість АЗС станом на 2017 рік становить 6885 одиниць [2].

Функціонування АЗС передбачає такі види господарської і техногенної діяльності (експлуатація повітряних автотехніки, що супроводжується вихлопами газів і продуктів згорання палива, їх осідання на ґрунт і виробничу поверхню; мийка та обробка поверхонь засобами від обledenіння; утримання в належному стані технічних баз, підсобних приміщень; гігієнічне обслуговування потреб пасажирів згідно з санітарними вимогами та ін.), котрі спричиняють забруднення землі стоками з різними механічними, фізичними і хімічними домішками (осад, стружка, бруд, пісок, нафтопродукти, бензол та ін.), негативно впливають на окремі природні об'єкти, екологічну систему в цілому, ставлять під загрозу здоров'я людей.

Аналіз стану питання. Незважаючи на широке розповсюдження АЗС, комплексної оцінки їх впливу на навколишнє середовище і досі не здійснено. Проте саме з цими об'єктами пов'язане надходження забруднювачів в повітря, ґрунт і підземні води та їх подальша міграція у відкриті водні об'єкти. Тому серед актуальних питань, які потребують свого комплексного вирішення, залишається нагальним питання захисту ґрунтів від забруднення стоками АЗС. Невідповідне проектування і будівництво комунікаційних систем, недосконала ізоляція резервуарів, аварійні ситуації, порушення правил виконання технологічних процесів

призводить до надходження в навколишнє середовище токсичних речовин, небезпечних для працівників АЗС та жителів прилеглих територій.

Мета статті полягає у проведенні аналізу еколого-правових вимог захисту ґрунтів та води від забруднення стоками АЗС.

Виклад основного матеріалу. Вважаємо за доцільне, насамперед, встановити спільне та відмінне між поняттями стоки та стічні води, оскільки в національних і міжнародних нормативних актах, науковій літературі, публікаціях періодичних видань використовуються обидва поняття. Згідно тлумачного словнику зміст поняття стоки (стік) слід розуміти в наступних значеннях: 1) це дія, що означає «стікати»; 2) кількість води, що стікає в річку, озеро, море за певний період; 3) те ж саме, що «відтікання»; 4) водовідвідний жолоб, труба або інший пристрій, по якому стікає вода, водостік; схил, по якому стікає вода; 5) рідкі відходи, що стікають звідки-небудь [3]. Стік означає стікання, переміщення вільної води по земній поверхні або в ґрунтовій товщі. Стік води буває: поверхневий, внутрішньогрунтовий, дренажний, підземний [4].

Води стічні – 1) води, які були у виробничо-побутовому чи сільськогосподарському використанні, а також ті, які пройшли через забруднену територію, в тому числі населеного пункту (промислові, сільськогосподарські, комунально-побутові, ливневі та інші); 2) води, які відводяться після використання в побуті та виробничій діяльності людини (ГОСТ 17.1.1.01-77) [5]; 3) означають використані води, які містять речовини або предмети та підлягають регулюванню згідно з національним законодавством [6]; 4) вода, що утворилася в процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності (крім шахтної, кар'єрної і дренажної води), а також відведена з забудованої території, на якій вона утворилася внаслідок випадання атмосферних опадів [7].

Судячи з наведених дефініцій, поняття стоки є ширшим за поняття стічні води, адже включає в свій зміст власне об'єкт (не лише стічні води, але й рідкі відходи) та сам процес стікання. Власне стоки від експлуатації АЗС, переважно, утворюються в результаті мийки автотранспорту і технічних мийок, поверхневої обробки окремих деталей, за рахунок зливової води з ділянок з твердим покриттям і стоків від місць громадського призначення, санітарних вузлів для працівників. Стоки зливової води можуть містити забруднюючі речовини від витоків мазуту, дизельного палива, що виникають при експлуатації, під час ремонту і технічного обслуговування транспортних засобів, зберіганні палива та поведінки з ним. Щодо ж до основних шляхів забруднення ґрунтів, то науковці виділяють змивання в ґрунтовий покрив хімічних речовин, що використовуються на АЗС; осідання з повітря викидів у результаті роботи автотранспорту; виливи палива [8]. Також атмосферні опади, потоки дощових і талих вод поглинають частину шкідливих викидів автотранспорту, які осідають на території АЗС.

Так, згідно норм Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р. № 1264-ХІІ із змінами земля, вода, надра та інші природні ресурси, які залучені в господарський обіг або не використовуються в економіці в даний період є об'єктами правової охорони, використання та контролю за їх станом з боку держави, зокрема, шляхом: виконання відбору проб та лабораторного вимірювання показників складу та властивостей вод (поверхневих, підземних та ін.); проведення підприємствами і організаціями первинного обліку про стан навколишнього природного середовища та його об'єктів і передачі відповідної інформації уповноваженим державним органам. Важливою є вимога, що при проектуванні й експлуатації господарських та інших об'єктів, діяльність яких може шкідливо впливати на навколишнє природне середовище (а до таких ми відносимо й аеропорти), повинні розроблятися і здійснюватися заходи щодо запобігання аваріям, ліквідації їх шкідливих екологічних наслідків. Водночас Земельний і Водний кодекси України здійснюють

регламентацію правових відносин з метою збереження, науково обґрунтованого і раціонального використання землі, ґрунтів і води для потреб підприємств різних галузей економіки.

Закон України «Про транспорт» від 10.11.1994 р. № 232/94-ВР із змінами зобов'язує підприємства транспорт, раціонально використовувати надані їм земельні ділянки, не допускати заболочення, погіршення якості земель і забруднення їх промисловими та іншими відходами, неочищеними стоками, вживати заходів для захисту ґрунтів від ерозії, додержувати інших вимог щодо охорони земель.

Вирішення проблеми забруднення ґрунтів на територіях поблизу АЗС, то пропонується здійснювати постійний моніторинг ґрунтового покриву в межах АЗС; проводити відбір його проб з поверхневого шару та з глибини 20 см посезонно на відстані 20, 100, 250, 500, 1000 м від підприємства; контролювати його якісні показники [8]. Варто зауважити, що відповідно до тексту «Правил технічної експлуатації автозаправних станцій (РД 153-39.2-080-01) закріплюють порядок і процедура сертифікації АЗС з метою підтвердження їх відповідність вимогам чинного законодавства та нормативних документів України, спрямованих, у тому числі, на забезпечення екологічної безпеки як стану захищеності навколишнього середовища від порушення його екологічної рівноваги та відсутності загрози нанесення шкоди здоров'ю людей. Власне екологічна безпека аеропортів має забезпечуватися сукупністю заходів, спрямованих на зниження негативного антропогенного і техногенного впливу на навколишнє середовище. Вважаю за доцільне під час сертифікації АЗС більшу увагу звертати на умови екологічної безпеки провадження діяльності у сфері автотранспорту, зокрема, щодо захисту ґрунтів від стоків.

Висновки. Вважаємо, що заходи еколого-правового захисту ґрунтів від забруднення стоками АЗС є складовим елементом екологічної безпеки АЗС та в цілому галузі автотранспорту. Оскільки у наукових публікаціях відсутні сучасні комплексні дані реального стану якісних показників ґрунтів на територіях АЗС нашої держави, то доцільною і нагальною є потреба у проведенні за ініціативою Державної транспортної служби України відповідних досліджень. Також необхідно долучити наукові установи і природоохоронні громадські організації до розробки фахових, адекватних сьогоденню, еколого- і економічно обґрунтованих технологій захисту ґрунтів від забруднення стоками АЗС, мінімізації негативних наслідків техногенно- господарської діяльності. Адже дане положення декларується національним законодавством, але не знайшло свого практичного втілення.

Список використаної літератури:

1. Бажан М. П. Українська радянська енциклопедія / М. П. Бажан, О. К. Антонов. – Київ: Головна редакція УРЕ, 1974. – (2).
2. Статистична інформація за 2017 рік [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: www.ukrstat.gov.ua
3. Словник української мови: в 11 т. / АН УРСР. Інститут мовознавства; за ред. І. К. Білодіда. – К.: Наукова думка, 1970-1980. – Т. 9. – С. 711. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrlit.org/slovnyk>.
4. Словник екологічних термінів до курсу «Основи екології» / заг. ред. Ю. А. Скиба; Національний педагогічний ун-т ім. М. П. Драгоманова, кафедра екології. – К.: НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2008. – 72 с.
5. Тлумачний словник екологічних термінів та понять, пов'язаних з охороною навколишнього середовища для студ. спец. 7.070801 «Екологія та охорона навколишнього середовища» / уклад.: Л. В. Левандовський, Л. І. Танащук, Л. Ф. Степанець, В. Х. Суходол. – К.: НУХТ, 2006. – 61 с.

- 6.Протокол ООН про реєстри викидів і перенесення забруднювачів від 21.05.2003 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/995_159.
- 7.Водний кодекс України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР (із змінами) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>.
- 8.Франчук Г. М. Багатофакторний аналіз токсичності ґрунту / Г. М. Франчук, В. А. Гроза, С. М. Маджд // Вісник. – 2012. – Том 50. – № 1 – С. 196-201.

УДК 622.241

Я. С. Коляда, студ.

Л. І. Євтєєва, к.т.н., асистент

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ВИБУХУ НА ВИХІД ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ФРАКЦІЙ ГІРСЬКОЇ МАСИ

Зроблено аналіз впливу параметрів вибуху на вихід дрібнодисперсних фракцій та стан атмосфери робочої зони, визначено розміри зони переподрібнення при вибуху одиночного циліндричного заряду, також встановлено вплив параметрів вибуху в залежності від схеми розташування свердловин та від їх кількості.

Ключові слова: буріння, вибухова речовина, підривання, гірська порода, об'єм, пил, кар'єр.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА НА ВЫХОД МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИЙ ГОРНОЙ МАССЫ

Сделан анализ влияния параметров взрыва на выход мелкодисперсных фракций и состояние атмосферы рабочей зоны, определены размеры зоны переизмельчения при взрыве одиночного цилиндрического заряда, также установлено влияние параметров взрыва в зависимости от схемы расположения скважин и от их количества.

Ключовые слова: бурение, взрывчатые вещества, взрывания, горная порода, объем, пыль, карьер.

INFLUENCE OF PARAMETERS OF EXPLOSION ON AN EXIT OF FINELY DIVIDED FRACTIONS OF MOUNTAIN MASS

The analysis of influence of parameters of explosion on an exit of finely divided fractions of mountain mass and condition of the atmosphere of a working zone is made. The overgrinding zone sizes at explosion of a single cylindrical charge are determined. Influence of parameters of explosion depending on the scheme of an arrangement of wells and from their quantity is established.

Ключові слова: drilling, explosives, detonations, rock, volume, dust, quarry.

Вступ. Одним із основних суб'єктів забруднення атмосферного повітря є гірничодобувна промисловість. При виконанні гірничих робіт в атмосферне повітря надходить значна кількість пилу та отруйних газів. Основними джерелами виділення отруйних газів при

відкритій розробці є підривання вибухової речовини (далі – ВР) [1].

Втрати корисної копалини при вибуховій відбійці формуються, головним чином, в області впливу імпульсних тисків, значно перевищуючи межу міцності матеріалу на стиснення [2].

Найбільш сильні руйнування у вигляді переподрібнення та пластичних деформацій спостерігаються в безпосередній близькості від заряду ВР. На ці руйнування затрачається велика доля енергії хвилі стиснення через значні її втрати на розсіювання та подолання внутрішнього тертя між частинками чередовища (дисипативні втрати).

Аналіз стану питання. Аналіз результатів досліджень [2] вказує на загальну, незалежно від властивостей гірських порід, тенденцію до зменшення виходу переподрібнених фракцій зі збільшенням крупності частинок ВР. Найвиразніше це простежується при вибуховому руйнуванні моделей з граніту. В залежності від щільності заряджання, обумовленої величиною частинок ВР, змінюються параметри детонації, проте їх вплив на показники вибуху не є однозначно визначеними. Наприклад, сухі піроксилнові порохи, залежно від їх марок, характеризуються тиском детонації порядку 5,5 – 6,5 МПа, у інших гранульованих ВР ця величина або наближається до вказаного значення, або нижче, ніж у піроксилінових порохів.

Встановлений теоретичними і підтверджений лабораторними дослідженнями характер впливу тип ВР, його дисперсності на показники виходу переподрібнених фракцій не викликає сумнівів. Проте експерименти, виконані в промислових умовах, характеризуються наступними істотними відмінностями:

- вибухове перетоврення промислових ВР в зарядах діаметром понад 200 мм, що має місце на кар'єрах, протікає в ідеальних або близьких до них умовах;
- масштаб дисперсності λ значно нижче, ніж в модельних вибухах.

Можна зробити висновок, що зниження виходу переподрібнених фракцій при збереженні незмінної величини частинки, що випускаються даний час промисловістю ВР може бути досягнуто зменшенням діаметру заряду. Також зі збільшенням діаметру заряду більш вагомою роль у визначенні показників виходу переподрібнених фракцій грають детонаційні характеристики ВР.

Метою роботи є встановлення закономірностей та залежностей параметрів підривних робіт з урахуванням глибини свердловин, їх діаметру, радіус зони переподрібнення, кількість свердловин, типу сітки розташування свердловин, а також розміру фракцій гірської маси.

Методики, матеріали і результати досліджень. Потужним джерелами миттєвого виділення шкідливих домішок, які забруднюють атмосферне повітря та навколишнє природне середовище, є масові вибухи [3].

Масовий вибух на кар'єрі є тимчасовим миттєвим джерелом пилогазовиділення. При цьому протягом короткого проміжку часу склад атмосфери різко змінюється та потрібен певний час (від 0,5 до 2 та більше годин) для того, щоб він відновився до попереднього стану [2].

При масових вибухах виникають сейсмічні та ударні повітряні хвилі (УПХ), викидаються в атмосферу велика кількість газів, пилу та шматків породи, які негативно впливають на навколишнє середовище та представляють собою загрозу здоров'ю працівників та мешканців селітебних територій [4].

Після вибуху навколо заряду утворюються три зони: зона переподрібнення, зона радіальних тріщин та зона руйнування відображеної хвилі [2]. Проте, найбільш шкідливою, з точки зору охорони навколишнього середовища, є зона переподрібнення, яка являє собою певний об'єм особливо небезпечних дрібнодисперсних фракцій. Діаметр заряду є однією з основних характеристик, які визначають розміри зони переподрібнення, а також ефективним способом управління якістю переподрібнення.

В роботах Л. І. Барона, Б. Н. Кутузова, Ф. І. Кучерявого, Н. Я. Рєпіна, В. А. Михайлова, В. Т. Бересневича та ін. наведені дані, які переконливо свідчать про роль діаметру заряду та його вплив на степінь переподрібнення порід. При цьому підвищення степені подрібнення порід пояснюється підвищенням рівномірності розподілення ВР в масиві та збільшення числа окремонностей, що знаходяться в зоні подрібнення, яка регулюється.

Знаючи діаметр заряду d_c та радіус зони переподрібнення r_n , проведемо розрахунок об'єму пилу, що утворюється при вибухових роботах в зоні переподрібнення за формулою (1):

$$V_{\Pi} = V_2 - V_1 = \left(\pi r_n^2 L_c - \frac{\pi d_c^2}{4} L_c \right). \quad (1)$$

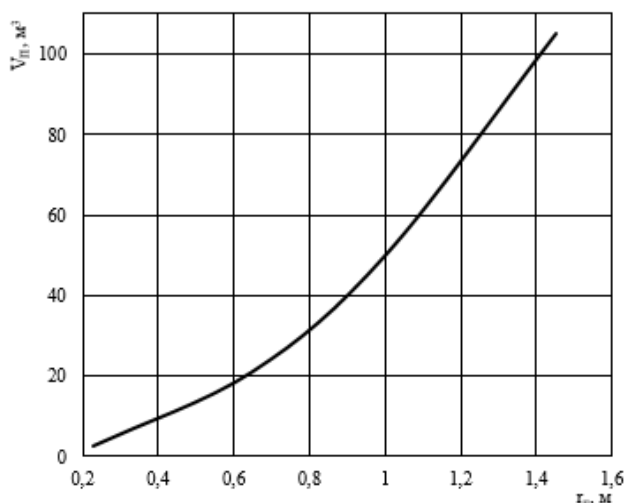
Прийmemo, що $L_c = 16$ м.

Об'єм V_1 , який займає заряд, діаметром 0,042 м становить 0,02 м³, при $d_3 = 0,214$ м такий об'єм становить 0,58 м³. Об'єм має тенденцію до стрімкого зростання. При радіусі зони переподрібнення $r_n = 0,23$ м об'єм $V_2 = 2,66$ м³, при $r_n = 1,45$ м об'єм $V_2 = 105,68$ м³, що майже в 40 разів більше.

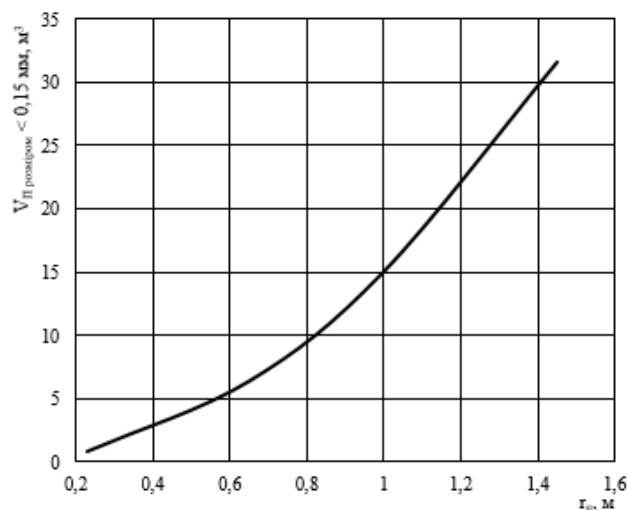
Різниця $V_2 - V_1$ показує, який об'єм займають дрібнодисперсні фракції, утворені внаслідок вибуху в зоні переподрібнення. Така різниця становить 2,64 м³ при $d_3 = 0,024$ м і $r_n = 0,23$ м і збільшується до 105,11 м³, що в 40 разів більше, при $d_3 = 0,214$ м і $r_n = 1,45$ м (табл. 3.1, рис. 3.3).

Таблиця 1 – Результати розрахунку виходу дрібнодисперсних фракцій при вибуху одиночного заряду різного діаметру

Діаметр заряду d_3 , м	Радіус зони переподрібнення r_n , м	V_1 , м ³	V_2 , м ³	V_{Π} , м ³	Об'єм дрібнодисперсних фракцій розміром < 0,15 мм
0,042	0,23	0,02	2,66	2,64	0,79
0,1	0,65	0,13	21,24	21,11	6,33
0,15	1,0	0,28	50,26	49,98	14,99
0,214	1,45	0,58	105,68	105,1	31,53



а)



б)

Рисунок 1. Залежність зміни виходу переподрібнених фракцій розміром 0-5 мм (а) та < 0,15 мм (б) від радіусу зони переподрібнення

Залежності носять нелінійний характер та описуються наступними рівняннями (фракції розміром 0-5 мм та < 0,15 мм відповідно):

$$V_{\Pi} = 50,008 r_{\Pi}^2 - 0,0297 r_{\Pi} + 0,0013 \quad (2)$$

$$V_{\Pi} = 15,01 r_{\Pi}^2 - 0,0199 r_{\Pi} + 0,0007 \quad (3)$$

На основі результатів проведених розрахунків можна зробити висновок, що діаметр заряду відіграє значну роль в утворенні небезпечних фракцій пилу. Зі збільшенням діаметру заряду розміри зони переподрібнення збільшуються, таким чином збільшується і об'єм переподрібнених фракцій. Отже, у даному випадку раціональним діаметром заряду є діаметр, розміром 0,042 м.

Таблиця 2. Результати розрахунку V_{Π} (м³) гірської маси від кількості свердловин та діаметру заряду ($L_c = 16$ м)

Кількість свердловин, шт.	Діаметр заряду, мм			
	0,042	0,1	0,15	0,214
25	65,92	527,79	1249,57	2627,69
50	131,84	1055,58	2499,14	5255,39
100	263,68	2111,15	4998,28	10510,77
150	395,52	3166,73	7496,42	15766,16
200	527,36	4222,3	9996,56	21021,54
250	659,2	5277,88	12495,7	26276,93

Об'єм дрібнодисперсних фракцій гірської маси, що утворюються при підриванні свердловин залежить не лише від їх глибини, діаметру заряду, а й від кількості свердловин

Як бачимо з аналізу табл. 2 величина V_{Π} зі збільшенням кількості свердловин зростає. Зі зміною кількості свердловин від 25 до 250 при $d_z = 0,042$ м і $L_c = 16$ м величина V_{Π} зростає від 65,92 до 659,2 м³.

За результатами розрахунку побудовані графічні залежності зміни V_{Π} від n (рис. 2).

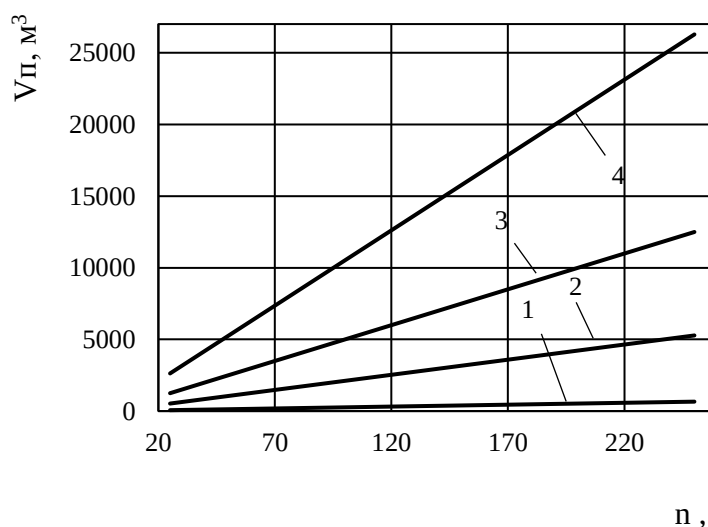


Рисунок 2. Залежність об'єму дрібнодисперсних фракцій гірської маси від кількості свердловин при $L_c = 16$ м та діаметрі: 1 – 0,042 м; 2 – 0,1 м; 3 – 0,15 м; 4 – 0,214 м

Після проведення розрахунків були отримані наступні рівняння регресії лінійного виду $V_{\Pi} = a + bn$:

- $V_{\Pi} = 2,6368n$ при $d_3 = 0,042$ м
- $V_{\Pi} = 21,112n + 0,0027$ при $d_3 = 0,1$ м
- $V_{\Pi} = 49,982n - 0,0959$ при $d_3 = 0,15$ м
- $V_{\Pi} = 105,11n + 0,0001$ при $d_3 = 0,214$ м

Отже, можна зробити висновок, що зі збільшенням кількості свердловин об'єм дрібнодисперсних фракцій зростає, що підтверджують вищенаведені розрахунки.

Кількість утвореного при вибухових роботах пилу залежить як від параметрів свердловин, їх кількості, параметрів вибухівки, способу підривання, так і від геометрії розташування сітки свердловин. Найпоширенішими сітками розташування свердловин є квадратна та шахматна (трикутна) сітки.

З розрахунку (табл. 3) видно, що кількість свердловин зі зміною діаметру d_3 та розміру сітки розташування свердловин $a \times b$ зростає.

При $d_3 = 0,042$ м і розмірах квадратної сітки $1,5 \times 1,5$ м кількість свердловин $n = 429$ шт., при $d_3 = 0,214$ м і розмірах квадратної сітки $5,3 \times 5,3$ м кількість свердловин $n = 27$ шт. Аналогічна залежність прослідковується і при шахматній сітці. Так, при $d_3 = 0,1$ м і розмірах сітки $3,5 \times 3,5$ м можна пробурити 68 свердловин, а при $d_3 = 0,214$ м і розмірах сітки $5,3 \times 5,3$ м кількість свердловин $n = 26$ шт.

За результатами розрахунку побудований графік залежності $n = f(d_3)$ (рис. 8). Наведені на рисунку залежності носять нелінійний характер і апроксимуються наступними рівняннями регресії для квадратної та трикутної сіток відповідно:

$$n = -292241 d_3^3 + 137831 d_3^2 - 21096 d_3 + 1093,6, \quad (9)$$

$$n = -287731 d_3^3 + 135876 d_3^2 - 20822 d_3 + 1079,1. \quad (10)$$

Таблиця 3. Результати розрахунку об'єму дрібнодисперсних фракцій в залежності від схем розташування свердловин на уступі кар'єру при бурових роботах

Геометрія сітки свердловин	d_3 , мм	Розміри сітки свердловин, м	Кількість свердловин на блоці, шт.	Об'єм пилу з розміром фракцій 0-5 мм, м ³	Об'єм пилу з розміром фракцій <0,15 мм, м ³
Квадратна	0,042	1,5×1,5	429	1132,56	339,768
	0,1	3,5×3,5	70	1477,7	443,31
	0,15	4,5×4,5	44	2199,12	659,736
	0,214	5,3×5,3	27	2837,7	851,31
Шахматна (трикутна)	0,042	1,5×1,5	423	1116,72	335,016
	0,1	3,5×3,5	68	1435,48	430,644
	0,15	4,5×4,5	42	2099,16	629,748
	0,214	5,3×5,3	26	2732,6	819,78

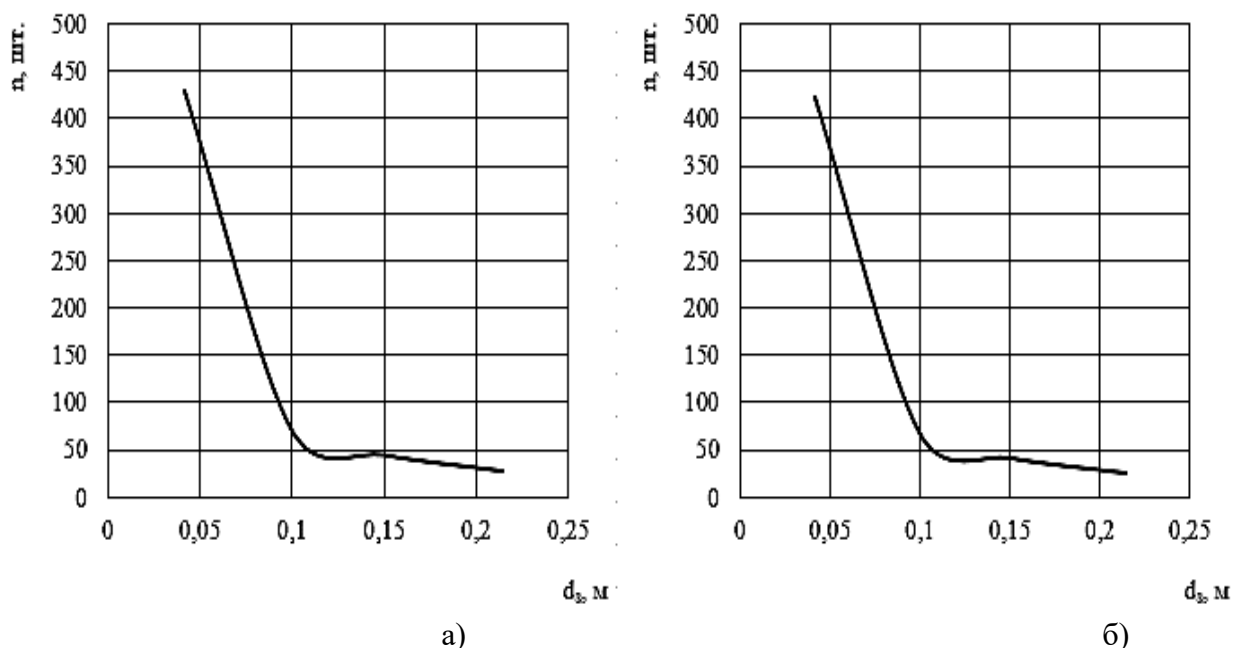


Рисунок 3. Залежність кількості свердловин від їх діаметру: а – при квадратній сітці; б – при шахматній сітці

Криві, зображені на графіку (рис. 9,а) описуються наступними рівняннями регресії для квадратної та шахматної сіток відповідно:

$$V_{\Pi} = 3337,9 d_3^3 - 1346,9 d_3^2 + 200,79 d_3 + 2,4912, \quad (11)$$

$$V_{\Pi} = 1866,5 d_3^3 - 762,74 d_3^2 + 135,93 d_3 + 4,0433. \quad (12)$$

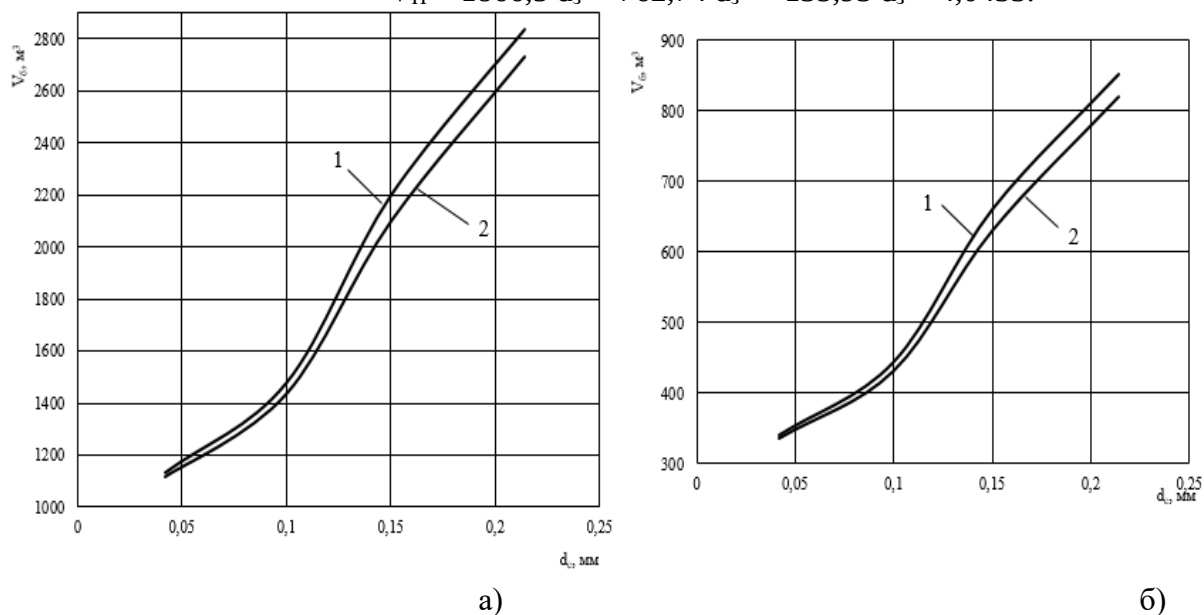


Рисунок 4. Залежність об'єму дрібнодисперсних фракцій розміром 0-5 мм (а) та <0,15 мм (б) від діаметру та розмірів сітки розташування: 1 – квадратної; 2 – шахматної

Залежності на рис. 4,б відповідно для квадратної та трикутної сіток описуються наступними рівняннями регресії:

$$V_{\Pi} = -22,956 d_3^3 + 194,18 d_3^2 - 318,3 d_3 + 486,85, \quad (13)$$

$$V_{\Pi} = -177263 d_3^3 + 73366 d_3^2 - 5939,3 d_3 + 468,18. \quad (14)$$

Результати проведених розрахунків показують, що зі збільшенням діаметру заряду розміри зони переподрібнення збільшуються, то збільшується і об'єм переподрібнених фракцій. Такий об'єм становить $2,64 \text{ м}^3$ при $d_3 = 0,042 \text{ м}$ та $r_n = 0,23 \text{ м}$ та збільшується до $105,11 \text{ м}^3$, що в 40 разів більше.

Серед розглянутих схем розташування свердловинних зарядів найбільш раціональною є шахматна (трикутна) сітка з розмірами $1,5 \times 1,5 \text{ м}$. Така схема розташування чинить менш негативний вплив на навколишнє природне середовище в порівнянні з квадратною сіткою.

Висновки. Згідно проведеного аналізу щодо впливу параметрів вибуху на вихід дрібнодисперсних фракцій було встановлено, що

- в залежності від умов підривання свердловинного заряду параметри ударної хвилі та розміри зони інтенсивного подрібнення можуть змінюватись. Особливу увагу треба приділити структурі та типу ВР, які застосовуються при відбійці. Аналіз результатів дослідження вказує на загальну, незалежну від властивостей гірських порід, тенденцію до зменшення виходу переподрібнених фракцій із збільшенням крупності частинок ВР.

- зниження виходу переподрібнених фракцій при збереженні незмінної величини частинок, які випускають промисловістю ВР може бути досягнуто зменшенням діаметру заряду. Отже, зі збільшенням діаметру заряду все більш вагому роль у визначенні показників виходу переподрібнених фракцій грають детонаційні характеристики ВР.

- результати проведених розрахунків показують, що зі збільшенням діаметру заряду розміри зони переподрібнення збільшуються, то збільшується і об'єм переподрібнених фракцій. Такий об'єм становить $2,64 \text{ м}^3$ при $d_3 = 0,042 \text{ м}$ та $r_n = 0,23 \text{ м}$ та збільшується до $105,11 \text{ м}^3$, що в 40 разів більше.

- серед розглянутих схем розташування свердловинних зарядів найбільш раціональною є шахматна (трикутна) сітка з розмірами $1,5 \times 1,5 \text{ м}$. Така схема розташування чинить менш негативний вплив на навколишнє природне середовище в порівнянні з квадратною сіткою.

Список використаної літератури:

1. Воробйов В. Д., Тверда О. Я., Коляда Я. С. Оцінка впливу отруйних газів на стан повітря в зоні промислового вибуху гранеміту // Проблеми охорони праці в Україні. – К. : ДУ «ННДІПБОП», 2016. – Вип. 31. – С. 113–119.
2. Ефремов Е. И. Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород / Э. И. Ефремов, В. М. Комир, И. А. Краснопольский, В. П. Мартыненко. – К. : Техника, 1990. – 149 с.
3. Ефремов Е. И. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / Е. И. Ефремов, П. В. Бересневич, В. Д. Петренко. – Дніпропетровськ: Січ, 1996. – 179 с.
4. Охорона праці та соціальний захист працівників: збірник матеріалів Міжнародної наукової конференції, 19-21 листопада 2008 р. / гол. Ред. К. Н. Ткачук. – К. НТУУ «КПІ», 2008. – 532 с.

УДК 622.241

Я. С. Коляда, студ.

Л. І. Євтеєва, к.т.н., асистент,

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОБГРУНТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ОБ'ЄМІВ ВИХОДУ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ФРАКЦІЙ ГІРСЬКОЇ МАСИ ПРИ БУРОПІДРИВНИХ РОБОТАХ

Зроблено обґрунтування та оцінку впливу об'ємів виходу дрібнодисперсних фракцій гірської маси при буропідривних роботах. Приведена та обґрунтована формула для повної оцінки об'ємів дрібнодисперсних фракцій. Наведені графо-аналітичні залежності об'єму дрібнодисперсних фракцій від діаметру та розмірів сітки розташування.

Ключові слова: буріння, вибухова речовина, підривання, гірська порода, об'єм, пил, кар'єр.

ОБОСНОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ВЫХОДА МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ ГОРНОЙ МАССЫ ПРИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Сделан анализ влияния параметров взрыва на выход мелкодисперсных фракций и состояние атмосферы рабочей зоны, определены размеры зоны переизмельчения при взрыве одиночного цилиндрического заряда, также установлено влияние параметров взрыва в зависимости от схемы расположения скважин и от их количества.

Ключевые слова: бурение, взрывчатые вещества, взрывания, горная порода, объем, пыль, карьер.

REASONING AND ASSESSMENT OF VOLUMES OF THE EXIT OF FINELY DIVIDED MOUNTAIN MASS OF FRACTIONS DURING THE DRILLING-AND-BLASTING WORKS

Reasoning and assessment of influence of volumes of an exit of finely divided mountain mass during the drilling-and-blasting works is made. The formula for full assessment of volumes of finely divided mountain mass is given and proved. The given graphic-analytical dependences of volume of finely divided mountain mass on diameter and the sizes of a grid of a layout.

Key words: drilling, explosives, detonations, rock, volume, dust, quarry.

Вступ. Одним із основних суб'єктів забруднення робочої зони кар'єру є пил. При виконанні гірничих робіт в атмосферне повітря надходить великий об'єм пилу та отруйних газів [1]. Знижувати вплив бурових робіт на загальний об'єм пилових викидів пропонується здійснювати в два етапи. По-перше, безпосередньо в процесі буріння. Для цього необхідно інтенсифікувати процес видалення бурового шламу із свердловини.

Аналіз стану питання. Дослідження висоти уступу [2] на викиду пилу, проведені в промислових умовах показали, що концентрація пилу в пилогазовій хмарі при підриванні сланців та висоти уступу 10 м склала 3300 мг/м³, тоді як при висоті уступу 24 м концентрація пилу знизилась вдвічі.

До організаційних заходів, направлених на скорочення часу провітрювання кар'єрів, відноситься організація проведення масових вибухів в період максимальної вітрової

активності [3]. Такий захід дозволяє при переносі часу вибуху з 15-16 год на 12-13 год скоротити тривалість провітрювання підірваних блоків на 15-20 %.

У випадку розташування кар'єрів поблизу житлових густонаселених масивів, з метою попередження забруднення оточуючого середовища, проведення масових вибухів може бути присвячено періоду мінімальної вітрової активності.

Дослідження [4] показали, що певне зменшення впливу масових вибухів на склад атмосфери кар'єрів та прилеглих до них ділянок можливо здійснити за рахунок підривання оптимально допустимого об'єму одноразового вибуху на кар'єрах.

Розрахунки показали, що оптимально допустима кількість ВР, яка підривається в блоці (без засобів пилоподавлення) коливається в межах 25-31т (33-41 т із засобами боротьби з пилом).

При буропідривних роботах необхідним є визначення раціональних параметрів бурових свердловин, як діаметр d_c , глибина L_c , також кількість цих свердловин, схема розташування, тип ВР та засіб підривання. Такий підхід значно покращить процес зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище під час буропідривних робіт на кар'єрах.

Метою роботи є встановлення закономірностей та залежностей параметрів підривних робіт з урахуванням параметрів буропідривних робіт, а також розміру фракцій гірської маси та дати повну оцінку об'ємів дрібнодисперсних фракцій, а також їх вплив на стан навколишнього природного середовища

Методики, матеріали і результати досліджень. До параметрів бурових свердловин відносять діаметр (d_c) і глибину (L_c). За цими параметрами можна розрахувати об'єм свердловини, а отже і об'єм дрібнодисперсних фракцій гірської маси, що утворюється внаслідок бурових робіт. Оскільки форма свердловини подібна до циліндра, то розрахунок проводиться за відомою формулою об'єму V циліндра:

$$V = \pi r^2 L_c, \quad (1)$$

де r – радіус, м.

Знаючи діаметр заряду d_c та радіус зони переподрібнення r_{Π} , проведемо розрахунок об'єму пилу, що утворюється при вибухових роботах в зоні переподрібнення за формулою (2):

$$V_{\Pi} = V_2 - V_1 = \left(\pi r_{\Pi}^2 L_c - \frac{\pi d_c^2}{4} L_c \right) \quad (2)$$

Повну оцінку об'ємів дрібнодисперсних фракцій, а також їх впливу на стан навколишнього природного середовища можна дати, враховуючи вихід фракцій при бурових та підривних роботах сумарно. Просумувавши (1) та (2), а також враховуючи, що $d_c = d_3$ отримаємо загальний вихід дрібнодисперсних фракцій для буропідривних робіт:

$$V_{\text{бп}} = \left(\pi r^2 L_c - \frac{\pi d_c^2}{4} L_c + \pi r_{\Pi}^2 L_c \right) \cdot n. \quad (3)$$

Прийmemo, що довжина блоку $L_6 = 50$ м, ширина блоку $B_6 = 20$ м, висота уступу $H_y = 12$ м, довжина перебуру 2 м, глибина свердловини $L_c = 16$ м.

За цими даними проведемо розрахунок об'єму дрібнодисперсних фракцій при різних схемах розташування свердловин на уступі кар'єру при буропідривних роботах. Результати такого розрахунку дають змогу побудувати залежності кількості свердловин від їх діаметру, а також об'єму переподрібнених фракцій від діаметра заряду ($d_c = d_3$), на основі яких можна зробити висновок про те, який діаметр, сітка розташування є раціональними з точки зору екології.

Результати розрахунку (табл. 1) показують, що зі збільшенням діаметру та відповідно розмірів сітки розташування свердловин об'єм дрібнодисперсних фракцій збільшується (рис. 1). Такий об'єм при $d_3=0,042$ м становить 1140,729 м³, а при $d_3=0,15$ м вже 2211,681 м³, що майже в 2 рази більше. При шахматній сітці розташування свердловин розмірами 3,5×3,5 м та діаметрі 0,1 м об'єм дрібнодисперсних фракцій становить 1444,127 м³, що майже в 2 рази менше об'єму таких фракцій при діаметрі 0,214 м і розмірах шахматної сітки 5,3×5,3 м.

Таблиця 1 – Результати розрахунку об'єму дрібнодисперсних фракцій в залежності від схем розташування свердловин на уступі кар'єру при бурових роботах

Геометрія сітки свердловин	d_3 , мм	Розміри сітки свердловин, м	Кількість свердловин на блоці, шт.	Об'єм пилу з розміром фракцій 0-5 мм, м ³	Об'єм пилу з розміром фракцій <0,15 мм, м ³
Квадратна	0,042	1,5×1,5	429	1140,729	342,219
	0,1	3,5×3,5	70	1486,602	445,981
	0,15	4,5×4,5	44	2211,681	663,504
	0,214	5,3×5,3	27	2853,446	856,034
Шахматна (трикутна)	0,042	1,5×1,5	423	1124,776	337,433
	0,1	3,5×3,5	68	1444,127	433,238
	0,15	4,5×4,5	42	2111,15	633,529
	0,214	5,3×5,3	26	2747,763	824,329

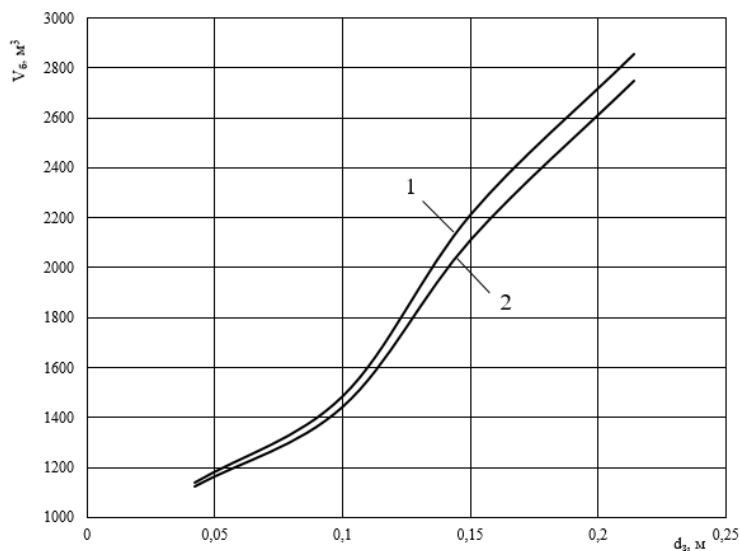


Рисунок 1 – Залежність об'єму дрібнодисперсних фракцій від діаметру та розмірів сітки розташування: 1 – квадратної; 2 – шахматної

Залежності, зображені на графіку (рис. 1) апроксимуються рівняннями наступного виду:

$$V_{\text{бп}} = -687811 d_3^3 + 279899 d_3^2 - 22802 d_3 + 1655,6, \quad (4)$$

$$V_{\text{бп}} = -594810 d_3^3 + 246225 d_3^2 - 19962 d_3 + 1572,9. \quad (5)$$

Найбільш шкідливими є фракції розміром $< 0,15$ мм, залежність їх об'єму від діаметру свердловини аналогічна попередній (рис. 2).

Наведені залежності на рис. 2 носять нелінійний характер та описуються наступними рівняннями:

$$V_{\text{бп}} = -206341 d_3^3 + 83969 d_3^2 - 6840,6 d_3 + 496,69, \quad (6)$$

$$V_{\text{бп}} = -178976 d_3^3 + 74057 d_3^2 - 6007,2 d_3 + 472,36. \quad (7)$$

Об'єм фракцій розміром $< 0,15$ мм змінюється в діапазоні від $342,219 \text{ м}^3$ до $856,034 \text{ м}^3$ при відповідній зміні діаметру свердловини від $0,042$ до $0,214$ м. та розмірів квадратної сітки. Що стосується шахматної сітки, то об'єм фракцій змінюється в меншому діапазоні в порівнянні з квадратною схемою розташування свердловин, проте різниця незначна. При $d_3 = 0,042$ м об'єм $V_{\text{бп}} = 337,433 \text{ м}^3$, а при $d_3 = 0,214$ м такий об'єм становить $V_{\text{бп}} = 824,329 \text{ м}^3$.

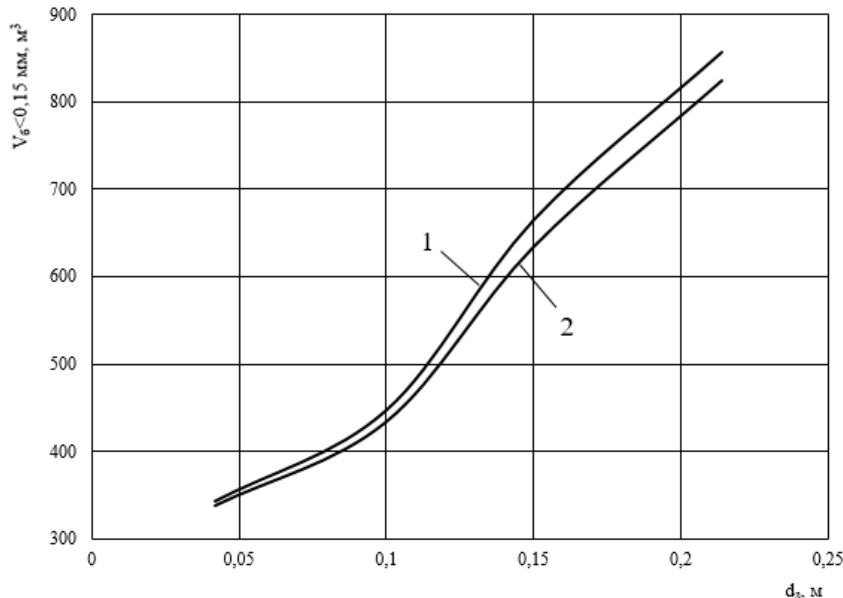


Рисунок 2 – Залежність об'єму дрібнодисперсних фракцій розміром менше $0,15$ мм від діаметру та розмірів сітки розташування: 1 – квадратної; 2 – шахматної

Об'єм пилу при буропідричних роботах на кар'єрах значні, тому відбувається величезне навантаження на навколишнє оточуюче середовище. При масових вибухах на кар'єрі утворюється пилогазова хмара, яка при своєму розвитку може досягати висоти $1,0 \dots 1,5$ км та поширюватися в атмосфері на відстань $5-10$ км (в залежності від погодних умов) [4].

Згідно результатів розрахунку можна зробити висновок, що такий вплив можна зменшити, правильно обираючи параметри свердловин та схем їх розташування. Рациональним з точки зору охорони навколишнього природного середовища є невеликі діаметри та глибини свердловин. Що стосується схем розташування, то більш оптимальною є шахматна сітка.

Висновки. Отримані дані по утворенню об'ємів пилу при буропідричних роботах на кар'єрах дозволяють визначити:

- раціональні параметри буріння, при яких підривання гірських порід забезпечують

мінімальний вихід дрібнодисперсних фракцій;

- структуру та зміст моніторингу за даними технологічних процесів.

Такий підхід дасть змогу зменшити навантаження на атмосферу уже на стадії планування буропідливних робіт, проте слід продумати також про заходи зменшення об'ємів пилу на стадії проведення таких робіт. Комплексне застосування цих заходів дасть змогу отримати максимальний результат.

Список використаної літератури

1. Воробйов В. Д., Тверда О. Я., Коляда Я. С. Оцінка впливу отруйних газів на стан повітря в зоні промислового вибуху гранеміту // Проблеми охорони праці в Україні. – К. : ДУ «ННДІПБОП», 2016. – Вип. 31. – С. 113–119.
2. Борьба с пылью в рудных кар'єрах / [В. А. Михайлов, П. В. Бересневич, В. Г. Борисов та ін.]. – М.: Недра, 1981. – 262 с.
3. Михайлов В. А. Снижение запыленности и загазованности воздуха на открытых горных работах / В. А. Михайлов, П. В. Бересневич. – К.: Техника, 1975. – 262 с.
4. Ефремов Е. И. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / Е. И. Ефремов, П. В. Бересневич, В. Д. Петренко. – Дніпропетровськ: Січ, 1996. – 179 с.

УДК 502/504

Паршакова С.В., студент

Кофанов О.С., асистент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІЕЕ

Кафедра інженерної екології

ВИДАЛЕННЯ МИШ'ЯКУ І ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ВОДИ МЕТОДОМ ПАСИВНОГО ОЧИЩЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ В ЯКОСТІ СОРБЕНТУ ГРАНУЛЬОВАНОГО ПОЛІУРЕТАНУ В ДРЕНАЖНОМУ ВІДСТІЙНИКУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Анотація. У роботі розглянуто проблему забруднення компонентів довкілля через відсутність на гірничодобувних підприємствах ефективних систем очистки шахтних вод. Для вирішення даної проблеми запропоновано метод пасивної очистки при якому стоки шахтних вод проходять фільтрацію за допомогою сорбції неорганічними речовинами.

Summary. The problem of the contamination of environmental components caused by the lack of the efficient water treatment systems on the mining enterprises was considered in the paper. For the solution of this problem, a method of passive cleaning was proposed in which mine waters are filtered by sorption with the help of inorganic substances.

Вступ. Гірничодобувна промисловість є однією з найважливіших галузей виробництва в нашій країні, однак вона чинить відчутний негативний вплив на навколишнє середовище. І цей вплив поширюється на природний ландшафт, атмосферу, літосферу і поверхневі водойми не тільки в безпосередній близькості від гірничодобувних і вугільних підприємств, а й розповсюджується на прилеглі населені пункти, рекреаційні зони тощо. Крім того,

особливістю гірських робіт є їх тимчасовий характер, а тому при виснаженні родовища видобуток корисних копалин припиняється і з'являється проблема покинутих шахт, на яких відсутня протидія деградації ґрунтів і ландшафтів, припиняється повноцінне очищення і відкачування шахтних вод, з'являються інші небезпеки техногенного характеру. До них відносяться, зокрема, підтоплення приміських та міських територій і угідь, перетік води до інших шахт, обвалення земної поверхні, вихід шахтних газів тощо. І сьогодні питання забезпечення належного рівня екологічності існуючих та закритих гірничих підприємств стоїть доволі гостро для України.

Аналіз стану питання. Природоохоронні заходи, здійснювані підприємством, повинні повністю компенсувати негативний вплив виробництва на навколишнє середовище [2]. При цьому, економічна складова зумовлена антропогенним навантаженням на довкілля, включаючи витрати на очищення шахтних вод та їх повторне використання на виробництві, очищення ґрунтів і рекультивацію пошкоджених територій, є доволі значною. Саме тому підприємству вигідно інвестувати в розробку й впровадження менш затратних шляхів вирішення цих проблем.

Це зумовлює необхідність детального вивчення питань очистки і повторного використання шахтних вод на вугільних підприємствах, а також необхідність вирішення проблем неправильної фільтрації, які призводять не лише до забруднення ґрунтів, а й потрапляння заліза та інших активно-небезпечних компонентів в підземні і поверхневі води, погіршуючи стан навколишнього середовища.

На даний момент більшість екологічних досліджень, сфокусованих на вирішенні проблеми скидів неочищених вод, розглядають активні методи очистки, зокрема стандартним фільтруванням, і не приймають до уваги можливість застосування пасивного методу, де сорбентом виступає неорганічна речовина.

Крім того, з точки зору токсичності, мінімізація концентрації забруднюючих речовин, зокрема миш'яку, в підземних шахтних дренажах є найбільш проблематичною, через те що одна з властивостей важких металів це їх довгий строк розкладання. Останнім часом все більшої популярності набувають системи, де очищення шахтних вод відбувається через адсорбційне або іонообмінне середовище. Через їх просту експлуатацію, а також оптимальне знезараження миш'яку і його сполук, в результаті на виході вода залишається без небезпечних домішок і шлаків. Крім того, завдяки можливості застосування цих методів у технологічних схемах пасивних систем очистки, які є більш економічними і потребують менших витрат на обслуговування, ніж активні системи, їх можна застосовувати у віддалених районах покинутих або діючих ділянок видобутку корисних копалин [3].

Метою даної роботи є оцінка методу пасивного очищення води, при якому досягається оптимальне видалення миш'яку і важких металів з використанням в якості сорбенту гранульованого поліуретану в дренажному відстійнику вугільної шахти.

Методика та матеріали дослідження. Сьогодні програма ООН з навколишнього середовища пропагує застосування на шахтах, поблизу яких відбувається окислення ґрунтів забрудненими водами, впровадження системи пасивної очистки дренажу і стічних шахтних вод. В межах цієї програми проводився аналіз і збір даних шляхом розподілу результатів через серію швидких дрібномасштабних випробувань. Як приклад, зразки дренажної системи були отримані з покинутої шахти в Південній Кореї, де була присутня проблема денатурації земель через вміст важких металів (Pb-Zn) [3].

Вирахуванні концентрації важких металів, таких як Pb, Cd, Zn і Fe, перевищували допустимі значення [4], тому було зроблено висновок що з часом забруднення ґрунтів досягне критичного стану. Через це було запропоновано метод, який регулює вибір сорбенту, що відповідає заданому набору виявлених забруднюючих речовин.

При цьому розмір часток сорбенту і час контакту з порожнім шаром сорбенту є основними параметрами для обраної методики серії тестів. Додатком до основного методу може виступати модель Томаса [5], що спрощує вибір фільтра за допомогою сорбції гранульованими частинками поліуретану в методі пасивного очищення.

Результати дослідження та їх аналіз. В результаті аналізу діяльності вугільних шахт України з'ясовано, що шахтні води містять значну кількість забруднюючих речовин, а застаріле обладнання не завжди здатне забезпечити прийнятний ступінь очистки. Крім того, ремонт та технологічна підтримка деяких типів установок є економічно не вигідною, що стимулює керівництво гірничодобувних підприємств шукати альтернативи. Такою альтернативою можуть стати методи пасивної очистки, зокрема, сорбція [6].

Крім того, сьогодні у нашій країні є велика кількість вугільних підприємств, які припинили свою діяльність, однак не пройшли усі необхідні стадії рекультивації, а тому є загрозою для довкілля, здоров'я і життя населення, а також для прилеглих шахт через можливість перетікання в них забруднених вод.

Саме тому в межах даної роботи проведено дослідження існуючих методів сорбційної очистки шахтних вод та проаналізовано міжнародний досвід. В результаті обрано методику відповідно до програми ООН з навколишнього середовища. Дана методика пасивної очистки була випробувана в польових умовах на закритих шахтах в Південній Кореї, де були отримані задовільні результати експерименту [7]. Для отримання найбільш точних результатів, відповідно до методики, вносяться зміни по робочим умовам, зокрема корегується швидкість вхідного потоку забрудненої води, тобто стоку шахтного дренажу, який потрапляє до однієї з камер фільтруючого відстійника.

Таким чином, результати застосування даного способу пасивного очищення шахтних вод свідчать про те, що після проведених серій швидких дрібномасштабних тестів виявлено зменшення концентрації важких металів і миш'яку [8], а також арсенатів [9]. За допомогою даного методу, з попереднім розрахунком необхідного розміру частинок сорбенту, можна мінімізувати вплив гірничо-видобувних підприємств на навколишнє середовище, зокрема на ґрунти. Також визначено, що в умовах шахтних підприємств України є доцільним використовувати у якості сорбенту гранульований поліуретан.

Крім того, в результаті проведеного дослідження встановлено, що запропонований метод пасивного очищення шахтних вод є перспективним як з екологічної, так і з економічної точки зору для застосування в Україні.

Висновки. Використання пасивного методу очистки дренажних стоків шахтних вод є доцільним для очистки скидів гірничих підприємств від забруднюючих речовин. З економічної точки зору, пасивний метод очистки шахтних вод спрямований на поліпшення екологічної безпеки підприємств і є більш прийнятним, так як у порівнянні з активними методами потребує менше фінансових ресурсів. Запропонований метод очищення і повторного використання шахтних вод є екологічно безпечним, а можливість його використання у віддалених районах є однією з найголовніших переваг.

Література:

1. Д. В. Дорохов, В. І. Сивохин, І. С. Костюк та інші. Технологія підземної розробки пластових родовищ корисних копалин: Підручник для ВНЗ - Донецьк: ДонГТУ, 1997 - 344 с.
2. Горшков В.А. Очищення і використання стічних вод вугільної промисловості. - М.: Недра, 1981 - 169 с.
3. Altundoğan, H.S., Altundoğan, S., Tuğmen, F., Bildik, M., 2000. Arsenic removal from aqueous solutions by adsorption on red mud. Waste Management 20, 761-767

4. СанПиП 2.04.02. - 84 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди - М.: Стройиздат, 1985 - 131 с.
5. Thomson, J. J. (March 1904). "On the Structure of the Atom: an Investigation of the Stability and Periods of Oscillation of a number of Corpuscles arranged at equal intervals around the Circumference of a Circle; with Application of the Results to the Theory of Atomic Structure". Philosophical Magazine. Sixth. 7 (39): 237–265.
6. da Silveira Neta, J.d.J., Moreira, G.C., da Silva, C.J., Reis, C., Reis, E.L., 2011. Use of polyurethane foams for the removal of the Direct Red 80 and Reactive Blue 21 dyes in aqueous medium. Desalination 281, 55-60
7. Cui, M.C., Jang, M., Cho, S.H., Khim, J.H., 2011. Potential application of sludge produced from coal-mine drainage treatment as a sorption material: implication of material characteristics for heavy metal adsorption. Environmental Geochemistry and Health 33, 103-112.
8. А.М. Кутепов, Т.І. Бондарева, М.Г. Беренгартен Загальна хімічна технологія. Підручник для ВНЗ, изд. 2-е, виправлене і доповнене. М.: ВШ. - 1990. с. 21.
9. Dou, X., Mohan, D., Pittman Jr., C.U., 2013. Arsenate adsorption on three types of granular schwertmannite. Wat. Res. 47, 2938-2948.

УДК 504

Мельничук М.О., студент

Крючков А.І., к.т.н., доц. каф. ІЕ,

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

ПРОГНОЗ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНІ БОРТА КАР'ЄРУ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

У роботі здійснено прогноз температури поверхні борта кар'єру на основі статистичних даних. Встановлено кореляційну залежність між часом та річним ходом температури поверхні землі. Було прослідковано динаміку середньомісячних температур земної поверхні протягом останніх 20 років. У результаті досліджень було створено математичну модель для розрахунку температури поверхні борта кар'єру та здійснено відповідні розрахунки.

PROJECTION OF TEMPERATURE CHANGE OF THE SURFACE OF THE CAREER SIDE ON THE BASIS OF STATISTICAL DATA

In the work, the forecast of the surface temperature of the side of the career is based on statistical data. The correlation dependence between time and annual course of temperature on the surface of the earth is established. It was observed the dynamics of the average monthly temperature of the earth's surface during the last 20 years. As a result of the research, a mathematical model for calculating the surface temperature of the quarry side was created and appropriate calculations were made. Key words: quarry, blasting operations, temperature of the sides of the quarry

Вступ. Буровибухові роботи є одним з головних етапів технології видобутку щебню.

Разом із збільшенням масштабів видобутку корисних копалин, все частіше перед науковцями постає проблема оцінки та підвищення стійкості бортів кар'єрів. В той же час, забезпечення стійкості борту кар'єру можливо лише на основі аналізу змін в ньому. В свою чергу, інтенсивність деформації бортів кар'єру внаслідок ведення буровибухових робіт залежить від їх температури. Тому виведення кореляційної залежності зміни температури поверхні борта кар'єру від часу на основі статистичних даних на сьогоднішній день є важливим кроком у дослідженні впливу зміни умов навколишнього середовища на інтенсивність деформації бортів кар'єру.

Аналіз стану питання. Існує велика кількість спостережень за зміною температури поверхні ґрунту, проте відсутнє узагальнення і нове вирішення науково практичної задачі, яка полягає у прогнозуванні температури поверхні гірського масиву зі зміною часу.

Мета роботи: встановлення кореляційного взаємозв'язку між часом та температурою бортів кар'єру на основі статистичних даних для умов Київської області за останні 20 років.

Методики, матеріали і результати досліджень. Температура на поверхні ґрунту у річному циклі постійно змінюється (табл. 1) [1].

Таблиця 1. – Статистичні дані середньомісячної температури для Київської області

Місяць	I	II	III	IV	V	VI
Середня температура, °C	-3,69	-2,51	2,31	10,13	16,16	19,4
Місяць	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Середня температура, °C	21,59	20,39	14,63	8,37	3,18	-1,93

Періодичність зміни температури поверхні борта кар'єру не викликає сумніву, тому для опису та прогнозу річного ходу зміни температури поверхні борта використаємо кореляційні рівняння періодичного типу (метод А. К. Митропольського [2]). Згідно досліджень, для опису річного ходу температури слід використати періодичну функцію, яка має вигляд

$$f(x) = a_0 + \sum_{k=1}^m (a_k \cos kx + b_k \sin kx). \quad (1)$$

В цьому рівнянні кількість невідомих коефіцієнтів дорівнює $2m + 1$. Якщо кількість замірів $n \geq 2m + 1$, то коефіцієнти a_k та b_k знаходять за методом найменших квадратів, тобто при умові, що

$$\sum_{h=1}^{n-1} (u_k - \tilde{y}_k)^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

При знаходженні коефіцієнтів a_k та b_k візьмемо до уваги, що функції

$$1, \cos kx, \sin kx \quad (k = 1, \dots, m),$$

де $m \leq \frac{n}{2}$, складають систему функцій, які ортогональні по відношенню до системи рівновіддалених значень x_k з ряду фактичних замірів $u_0, u_1, \dots, u_{n-1}$:

$$\sum_{k=0}^{n-1} \cos \frac{2hk\pi}{n} \cos \frac{2hl\pi}{n} \begin{cases} = 0, \text{ якщо } k \neq l; \\ = \frac{n}{2}, \text{ якщо } k = l \neq 0, \neq \frac{n}{2}. \end{cases} \quad (3)$$

та подібні відношення, в яких один або обидва косинуси замінюють на синуси.

Для знаходження коефіцієнтів в рівнянні (1) диференціюємо вираз (2) по a_k та b_k і прирівнюємо похідну до нуля. Дякуючи ортогональним властивостям (3) розв'язок одержаних рівнянь має вигляд:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{h=0}^{n-1} u_k; a_k = \frac{2}{n} \sum_{h=0}^{n-1} u_k \cos kx_n; b_k = \frac{2}{n} \sum_{h=0}^{n-1} u_k \sin kx_n. \quad (4)$$

У нашому випадку, коли кількість місяців $n = 12$, розрахунки дещо спрощуються. Попередній аналіз показав, що впливом більш високих гармонік можна знехтувати, тому прийемо $k = 1, \dots, 4$.

За схемою А. К. Митропольського[2] всі дані спостережень за середньомісячною температурою на поверхні ґрунту для Київської області (табл. 1) запишемо у вигляді матриці U .

$$U = \begin{bmatrix} I & VII & \cdot & \cdot \\ II & VI & VIII & XII \\ III & V & IX & XI \\ IV & \cdot & X & \cdot \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8,36 & 17,42 & \cdot & \cdot \\ -8,06 & 14,62 & 15,79 & -6,03 \\ -4,29 & 8,87 & 10,76 & -1,29 \\ 2,25 & \cdot & 4,81 & \cdot \end{bmatrix} \quad (5)$$

Далі, з використанням матриці схеми знаків M та даних температури матриці U розраховуємо по схемі [2] відповідні коефіцієнти (табл. 2).

$$M = \begin{bmatrix} + & + & + & + \\ + & - & - & + \\ + & - & + & - \\ + & + & - & - \end{bmatrix}$$

Таблиця 2. – Розрахунок коефіцієнтів a_k та b_k

I				II		
	a_0	a_2	a_4		a_1	a_3
+17,9	0,5	1	1	-25,28	1	1
+35,35	0,5	0,5	-0,5	-44,23	0,866	0
+36,28	0,5	-0,5	-0,5	-25,3	0,5	-1
+18,5	0,5	-1	1	+1,76	0	0
6	+56,965	-1,115	+0,635	6	-76,233	+0,02
	+8,994	-0,186	+0,106		-12,705	+0,003
III				IV		
	b_2	b_4			b_1	b_3
-25,28	0	0	+17,9	0	0	
+0,41	0,866	0,866	-1,57	0,5	1	
-2,4	0,866	-0,866	+0,66	0,866	0	
+18,5	0	0	+1,76	1	-1	
6	-1,723	+2,433	6	+1,547	-3,330	
	-0,287	+0,406		+0,258	-0,555	

Знаючи значення відповідних коефіцієнтів, запишемо наступне рівняння:

$$f(x) = 8,994 + [(-12,705 \cos(x) - 0,186 \cos(2x) + 0,003 \cos(3x) + 0,106 \cos(4x)) +$$

$$(0,258 \sin(x) - 0,287 \sin(2x) - 0,555 \sin(3x) + 0,406 \sin(4x)) \quad (6)$$

Використовуючи дану кореляційну залежність, розраховані середньомісячні температури поверхні ґрунту та порівняно їх значення із статистичними даними спостережень (табл. 3).

Таблиця 3. – Спостереження та розраховані значення середньомісячної температури

Місяць	I	II	III	IV	V	VI
Дані спостережень, °C	-3,69	-2,51	2,31	10,13	16,16	19,4
Розраховані значення, °C	-3,788	-2,478	2,302	10,099	16,213	19,322
Місяць	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Дані спостережень, °C	21,59	20,39	14,63	8,37	3,18	-1,93
Розраховані значення, °C	21,616	20,38	14,566	8,473	3,055	-1,832

Застосовуючи дану методику, аналогічно було розраховано кореляційні залежності та відповідні коефіцієнти для найтеплішого (2015) і найхолоднішого (2006) років за останні 20 років. Результати розрахунків наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. – Розраховані значення коефіцієнтів

Коефіцієнти	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	b_1	b_2	b_3	b_4
Найтепліший рік	10,4917	-11,8165	0,7333	0,2167	-0,9667	-0,2021	0,2598	-1,2	-0,3753
Середні температури	8,994	-12,705	-0,186	0,003	0,106	0,258	-0,287	-0,555	0,406
Найхолодніший рік	7,3083	-14,0829	-1,9333	-0,5	-0,4833	-0,5236	-2,8867	-0,6833	2,0495

Використовуючи дану залежність, побудоване графічне відображення річного ходу температури для поверхні ґрунту в Київській області (рис. 1).

Порівнявши дані спостережень та розрахункові значення видно, що отримане кореляційне рівняння досить точно виражає зміну температури поверхні ґрунту в Київській області.

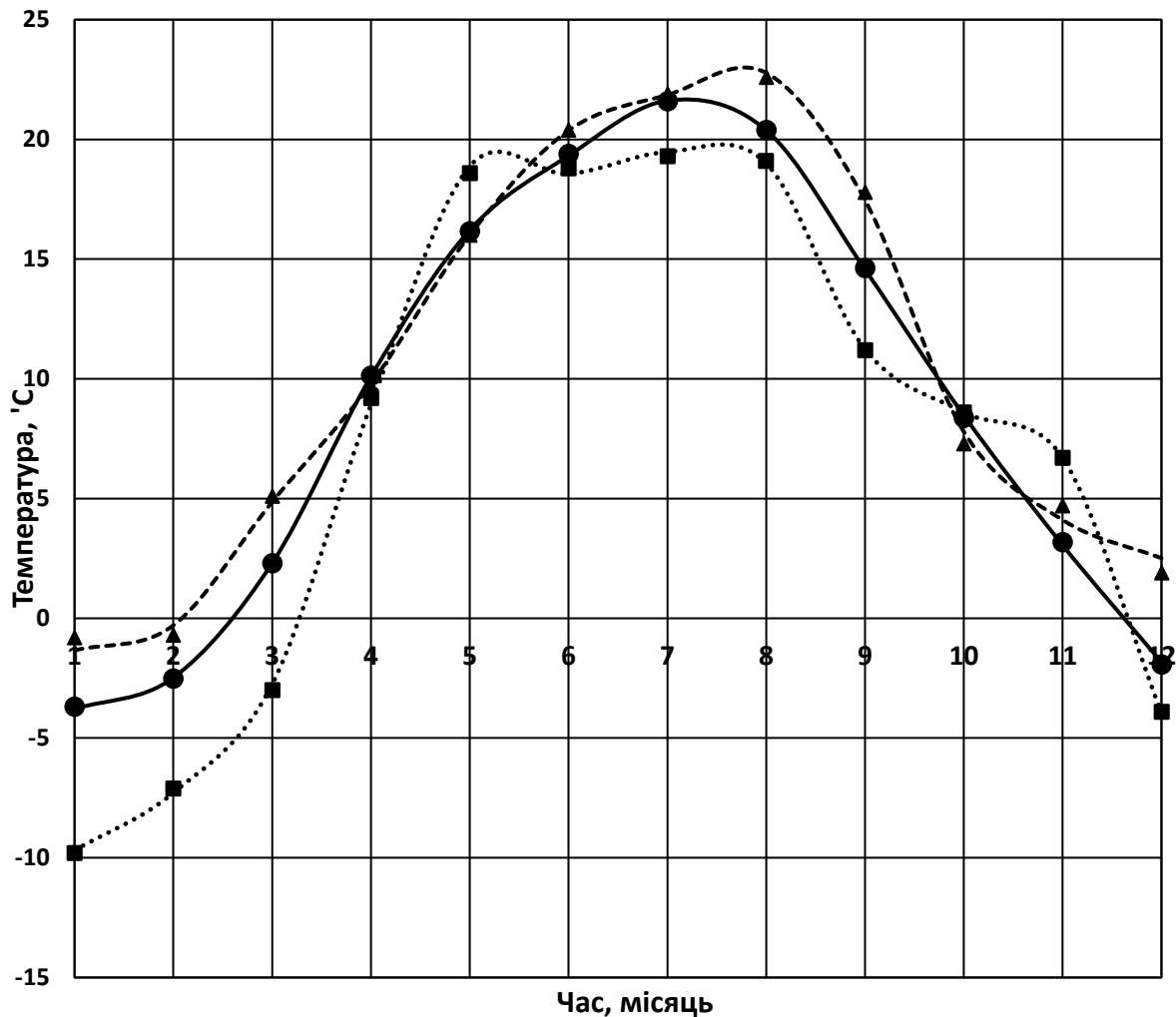


Рисунок 1. – Річний хід температури поверхні ґрунту по місяцях: ● – статистичні середньомісячні значення температури за останні 20 років; — – розраховані середньомісячні значення температури за останні 20 років; ■ – статистичні значення температури в найхолодніший рік; – розрахункові значення температури в найхолодніший рік; ▲ – статистичні значення температури в найтепліший рік; ---- - – розрахункові значення температури в найтепліший рік.

Висновки. Використовуючи методику А. К. Митропольського, було розраховано кореляційну залежність періодичної зміни температури поверхні ґрунтів Київської області від пори року. На основі даної залежності, можливе подальше удосконалення розрахунків залежності інтенсивності деформації бортів кар'єру від температури.

Література

1. Кліматичні дані по м.Києву [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv&p=1.
2. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – Москва: Наука. 1971. – 576 с.

UDC: 502/504

Author: Oliynyk V.O.

Scientific head: Ass. Bronytskyi V.O.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, IEE

Department of Engineering Ecology

IMPROVEMENT OF ATMOSPHERIC CLEANING SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE FINNISH PLANT NOKIAN TYRES FACTORY

Summary. *The paper presents a method for improving the value of atmospheric emissions by using the example of the Finnish Nokian Tires plant. To reduce emissions we propose to use electrostatic, which is one of the best because it absorbs nearly 99% of all emissions.*

Анотація. *У роботі представлено метод покращення значення викидів у атмосферу на прикладі фінського заводу Nokian Tyres. Для зменшення кількості викидів пропонується використовувати електрофільтр, який є одним з найкращих, оскільки вбирає майже 99% всіх викидів.*

Key words: *tire industry, atmospheric emissions, electro filter.*

Introduction. Tire industry is one of the most common in chemical industries. In Ukraine there are about 10 major tire and rubber plants. Let's consider this industry outside of our country, for example, the Finnish factory of Nokian Tires. The plant is very environmentally friendly compared to Ukrainian factories. But they work in the levels of rules specified by law in their country. Analyzing these data, it is possible to reduce the amount of emissions into the atmosphere. To do this, in addition to the existing filters, we will add new ones.

Analysis of the question. The question of the dynamics of the level of pollution of the Finnish city of Nokian as a result of the production activity of the tire industry has not yet been fully studied. However, there are sufficient techniques to improve the state of the atmosphere and the impact of the tire industry on it during the year. Thus, it is possible to improve the cleaning system, which removes harmful emissions through the use of electric filters. Since the environmental issue in Finland is extremely critical, it is proposed to improve the system with the use of more electric filters, or to use them in cascade mode (one after another).

Aim of this work is analysis of atmospheric emissions pollution dynamics on the example of the Finnish tire plant Nokia Tires.

Methodology and research materials. Production of automobile tires is a complex chemical process and takes several steps before getting the finished product. Each of the stages is accompanied by a negative impact on the environment. Let's consider this production on the example of the Finnish tire factory **Nokian Tires**.

Nokian Tires Plc. (Finnish: Nokian Renkaat Oyj) - a Finnish concern, a manufacturer of tires for cars and trucks, buses, special heavy and industrial vehicles. founded in 1988.

Concern's specialization is the production of tires for difficult climatic conditions and snow-capped countries. The factories produce tires for cars and heavy tires for various types of heavy

machinery (forestry, mining and agricultural machinery). The factories also have production lines for tires that extend the life of their service.

Production is fully automated, during the production cycle the operator has only three times the direct contact with the bus. The obligatory cycle of the production process is a multi-stage internal testing of finished products. After visual inspection of the operator, automated bench tests are carried out.

Manufacturing of automobile tires, as well as every chemical-technological process consists of some stages:

- The raw material is supplied to the tape;
- The process of mixing and heating the raw material;
- Production of components from the formed mixture;
- Preparation of unvulcanized tires;
- Vulcanization;
- Quality control;

The main raw material for the production of tires is natural rubber, synthetic rubber, technical carbon and butter. The share of rubber mixtures on the total mass of the tire is more than 80%. The rest of the 20% are diverse reinforcement materials. The rubber compound is made up of about one-third of the fillers. The most important of these is the carbon black, which gives the tires a black color. Another important filler is the oil used in the mixture as a plasticizer. Additionally, additives such as vulcanizing agents, reinforces and other substances are used to improve the properties and protect rubber compounds.

At the mixing stage, all the raw material is mixed and heated at a temperature of about 120 degrees Celsius. The composition of the rubber compound is the same for different parts of the tire. The composition also depends on the purpose and model of the tire. The rubber compound used in the summer tire for a car differs from the rubber mixture of a winter tire. Creating new mixes and improving existing ones is an important task for the tire design process.

The mixtures are used to absorb various components - such as cables, fabrics, or breakers. For production 10-30 different components are used. Most of them are functioning as amplifiers.

Manufacturers of tires are not vulcanized tires with the help of special equipment. The components are mounted on the drum assembly machine, and the tire frame is placed on a stretching machine. After this, the wheel of the machine wound the connected surface layer and the bus breaker on the frame. The carcass is pressed and stretched. This is done in order to ensure a solid gluing of the frame with the above components of the tire. This does not create a vulcanized tire.

The next step in the production of the tire is vulcanization. The tire is sintered inside the press under high pressure, using a special mold and gets its final shape. This will give you a picture and the necessary marks.

Each manufactured tire for a car is checked - both visually and with the help of a special car. During visual inspection, the tire is checked for external defects. The car measures the tread pattern, as well as verifies the radial shift and the impact of the lateral forces. After the quality control, the bus is tested, labeled and transmitted to the warehouse.

One of the main values of the Nokian plant in Finland is the protection of the environment. Therefore, at all stages of production to these issues come up with extraordinary attention. Comprehensive emissions into the atmosphere can be divided into several groups:

- Emissions of organic compounds (ethane, propane, butane, ethylene, etc.)
- Emissions from thermal power plants producing heat and steam for production (CO₂)

In 2015, emissions from heat and steam amounted to 24 555 tons of CO_2 , and the estimation of greenhouse gas emissions in 2016 from April to December is only 8 709 tons of CO_2 . When applied for the whole year, the emissions will be 11 612 tons of CO_2 .

In order to improve the situation of atmospheric emissions it is advisable to install additional filters. It is for this purpose proposed to apply an electric cleaning method.

This method is one of the perfect methods for cleaning gases from suspended particles dust and fog are electric cleaning, which allows you to capture up to 99% of particles. Dusting in the electro filters is a complex physical process, which includes gravity, inertia, diffusion and electrostatic precipitations. The main elements of an electric filter are crown 1 and precipitating 2 electrodes, which form an inhomogeneous electric field of 3:

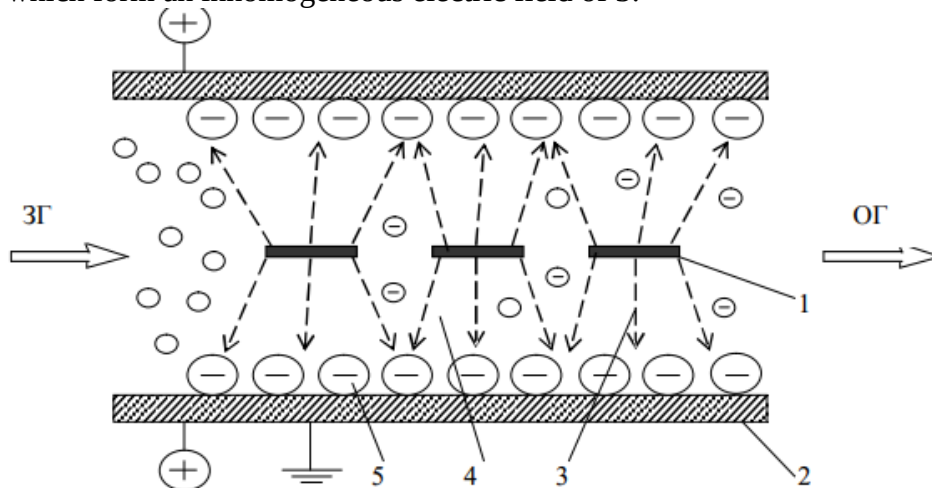


Figure 1 - Principle of operation of the electric filter:
1 - crown electrode; 2 - precipitating electrode; 3 - electric field;
4 - charge zone; 5 - sediment layer of dust

The cleaning of gases in electric filters is as follows:

Contaminated gases are passed through an inhomogeneous electric field 3, formed between coronation 1 and precipitating 2 electrodes. Due to the action of the electric field, free electrons and positively charged molecules begin to move in the direction of the field force lines.

The direction of movement of each charge depends on its sign, and the speed of movement - from the intensity of the electric field. The higher the electric field strength between coronation and precipitating electrodes, the more acceleration is obtained by ions and electrons. At a sufficiently high speed, ions and electrons, when in contact with neutral gas molecules, ionize them, that is, knock out a part of the external electrons. The electrons formed as a result of ionization also ionize the molecules of the gas, that is, the process of shock ionization. The most intense shock ionization occurs at the surface of the crown electrode, to which the voltage is applied.

Degree of purification in the electrofilter is determined by the method and mode of regeneration of the electrodes. In dry electrostatic precipitators and crown electrodes, a spring-cam, shock-hammer, magnetic pulse and vibration shaking system are used to remove dust from the precipitating and crowning electrodes. For the removal of deposited solids in wet electric filtration, continuous or periodic washing of the electrodes is used with supplying them with the required amount of washing liquid washing the precipitated dust.

Electro filtrations for placement of charge and deposition zones are single-band and dual-zone. In single-zone electro filter, the charging and deposition zones are combined. In dual-zone devices, the charge takes place in the ionizer, and precipitation is carried out in the depositioner. Depending

on the number of successively located precipitating electrodes, one-, two-, three-, and four-electrode filters are distinguished.

Uniform vertical plate filters of the UV series are designed to clean gases at temperatures up to 250 ° C. These electro filters have one electric field of 7.4 m long and separated by gas for 1 ... 3 sections. The main structural elements of UV filters are unified with the corresponding elements of UH electric filters. For the capture of coal dust gases at a temperature of up to 130 ° C, unified vertical plate dry electric filters of the UVB series are used. Their feature is that the housing is completed in the form of a mine that is open to the atmosphere in order to prevent the explosion.

Conclusion. In order to reduce the amount of atmospheric emissions from the Finnish tire plant was proposed to add to the existing systems of purification a new electro filter. This option will reduce emissions by almost 99%, which is the best indicator of the various existing filters.

Reference:

1. Nokian Tires Wikipedia[Electronic resource] /. Access to resource: https://uk.wikipedia.org/wiki/Nokian_Tyres.
2. Production process at Nokian plants [Electronic resource] / Access to resources: <https://www.nokiantyres.ua/innovaciya/fakty-pro-shyny/vyrobnychyj-proces/>.
3. Electro Filters [Electronic resource] /.- Access to resource: <http://www.ecologyside.ru/ecosids-315-1.html>.
4. Bondarenko A. A. Technology of chemical industry – K.: High school, 1982. – 330 p.

УДК 504.05

А. І. Крючков, к.т.н., доц.,
Г. В. Сільченко, студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ РЕСУРСІВ В ЯКОСТІ ТВЕРДОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПАЛИВА ПРИ РОБОТІ ТЕЦ

Анотація. В статті розглянутий стан енергетики України та можливість використання декількох видів ресурсів в якості енергетичного палива для ТЕЦ.

Встановлено, що метод спалювання відходів у киплячому шарі за певних умов дозволяє поєднувати різні види ресурсів в якості палива при роботі ТЕЦ.

Abstract. The article considers the state of power of Ukraine and the possibility of using several types of resources as energy fuel for CHP.

It has been established that the method of combustion of waste in a boiling layer under certain conditions allows to combine various types of resources as fuel at work of CHP.

Вступ. За останні роки на стан української енергетики найбільшою мірою вплинули: руйнування інфраструктури нафтогазової і вугільної промисловості; висока залежність від російських постачальників (атомна енергетика), дефіцит окремих видів енергоресурсів, у т. ч. антрацитових марок вугілля і проблеми з його поставками, що впливає на безперебійність роботи вітчизняних ТЕС зокрема, та об'єднаної енергетичної системи України загалом; недостатня готовність до диверсифікації постачань окремих видів енергоресурсів (ядерного

палива, вугілля); високий рівень монополізації окремих функціональних і регіональних сегментів енергетичного ринку України; неготовність промисловості і споживчого ринку до зростання цін на енергоресурси, що спричиняє зниження рентабельності енергетичних галузей та зумовлює зростання соціально-політичної напруженості [1].

Мета роботи. Поєднання декількох видів ресурсів в якості твердого енергетичного палива при роботі ТЕЦ.

Методики, матеріали та результати досліджень. Сьогодні в Україні досить складна ситуація, що стосується не лише сфери енергетики, а й сфери поводження відходів. Одним із шляхів вирішення цих питань є розробка раціональної суміші біопалива, що дасть змогу не лише гарантувати енергетичну незалежність від центральних мереж, а й підвищити продуктивність використання біопалива.

Пропонується використовувати одразу три види біопалива, а саме: брикети із відходів активного мулу, паливні брикети із сільськогосподарських відходів та брикети з вторинних відходів. Поєднання цих компонентів дозволить підвищити продуктивність роботи ТЕЦ.

Для продуктивної роботи ТЕЦ необхідно визначити, яка технологія найкраще буде відповідати вище зазначеним вимогам до спалювання твердого біопалива. Сучасні промислові установки для спалювання палива, обладнані системами контролю технологічних процесів, що забезпечують повність автоматичну експлуатацію. Основними технологіями спалювання біомаси є спалювання палива в нерухомому шарі, спалювання палива в псевдо зрідженому (киплячому і циркулюючому) шарі та пилове спалювання.

На рисунку 1 наведена технологія спалювання ТПВ компанії Kawasaki Heavy Industries, Ltd. з вихровим киплячим шаром. Спалювання відходів у киплячому шарі являє собою процес окислення органічної частини відходів при підвищеній температурі до нетоксичних газів (двоокису вуглецю, водяна пара і азот) та виділення мінеральної частини у вигляді розплаву та золи. Спалювання відбувається при температурі 800-1200 °С. Зневоднений осад подається і піч, де він згорає з виділенням золи та димових газів.

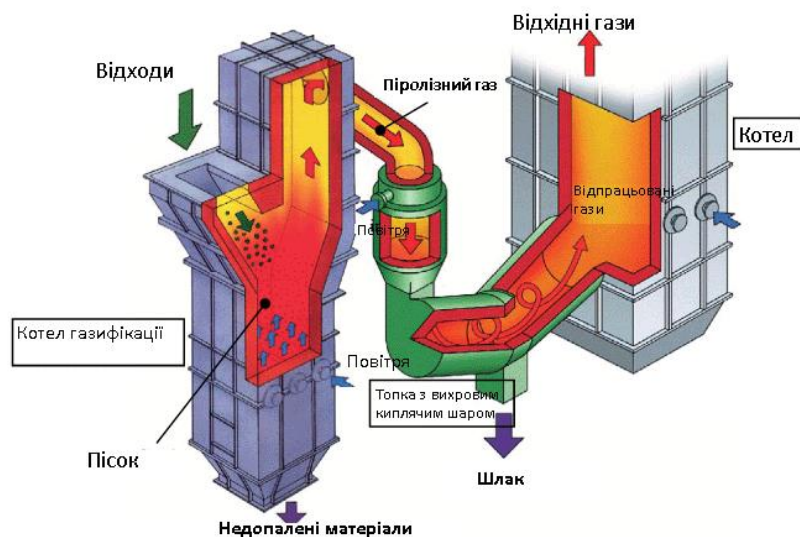


Рис. 1 – Технологія спалювання відходів у киплячому шарі

Спалювання відбувається при температурі 800-1200 °С. Зневоднений осад подається і піч, де він згорає з виділенням золи та димових газів. Димові газі використовуються для генерації енергії (пари та електроенергії). Такий метод є найбільш освоєним та високо інтенсивним, що забезпечує практично повне знищення органічної речовини відходів.

Кількість сухої речовини зменшується в 2-3 рази, а обсяг щодо зневодненого осаду в 15 разів. Перевагою печей з ПКШ є їх гнучкість щодо розміру часток і рівня вологості паливної біомаси. Також можливе використання сумішей з різних видів біомаси та їх спільне спалювання з іншими видами палива [3].

Висновки

Метод спалювання в киплячому шарі дозволяє використовувати суміші з різних видів біомаси та їх спільне спалювання з іншими видами палива. Поєднання різних видів ресурсів в якості енергетичного палива дозволить істотно зменшити навантаження на навколишнє природне середовище.

Список використаних джерел

1. Енергетична галузь України: підсумки 2015 року: Центр Разумкова. – К.: Вид-во «Заповіт». – 70 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.razumkov.org.ua/upload/2016_ENERGY.pdf
2. Сергієнко, М. І. Виробництво паливних брикетів із відходів активного мулу / М. І. Сергієнко, М. В. Бондаренко. - С.128-132. - Бібліограф. в кінці ст.
3. «Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України». Керівництво з відбору технологій / Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 134 с.

УДК 577.34 – 631.46

Ремез Н.С., д.т.н., професор,

Олійник Ю.С., студ.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СИНЕРГЕТИЧНОЇ ДІЇ ХІМІЧНОГО ТА РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА СТІЙКІСТЬ ЕКОСИСТЕМ

У статті представлена математична модель, що описує синергетичну взаємодію хімічного та радіаційного забруднення та її вплив на рівноважний стан екосистем. Наведені результати моделювання синергетичної взаємодії важких металів (мідь, свинець, цинк, кадмій) з радіонуклідом цезій-137.

A mathematical model describing the synergistic interaction of chemical and radiation contamination and its impact on the equilibrium state of ecosystems is presented in the article. The results of the simulation of the synergistic interaction of heavy metals (copper, lead, zinc, cadmium) with radionuclide cesium-137 are given.

Вступ. Внаслідок Чорнобильської катастрофи територія України зазнала радіоактивного

забруднення понад 7 млн гектарів землі. Після аварії осідання радіонуклідів на земну поверхню було значнішим у місцях, де під час проходження радіоактивних хмар випадали інтенсивні дощі, забруднення ^{137}Cs , ^{90}Sr та іншими радіонуклідами має чітко виражений плямистий характер. Саме тому й сьогодні є імовірність відкриття нових, малих за площею забруднених радіонуклідами площ по всій території України.

Ефект радіоактивного забруднення може багаторазово підсилюватися під час одночасної його дії (явище синергізму) з хімічним (пестицидами, важкими металами, діоксидами тощо) і фізичним (електромагнітним, температурним і шумовим впливами) забрудненнями. [1] Наприклад, незначний надлишок вмісту пестицидів або ртуті у ґрунтовому покриві посилює дію радіації на довкілля.

Значимість вивчення наслідків комбінованої дії різних фізичних і хімічних факторів на біологічні об'єкти в даний час не викликає сумніву. Поєднання взаємодіючих агентів присутні в будь-якій області біології, екології та медицини. При цьому результат взаємодії факторів може носити адитивний, антагоністичний або синергічний характер [2]. Синергізму в даний час приділяється особлива увага.

Аналіз стану питання. Важливим завданням сучасної екології є вивчення ефектів, викликаних комбінованою дією стресових чинників на живі організми, а також процеси відновлення та адаптації до стресових впливів. В умовах забрудненого середовища важливо знати особливості одночасного, синхронного впливу різних шкідливих чинників на організми, взаємодію чинників між собою. Явище синергізму у взаємодії різних за своєю природою стресорів – це актуальне питання для багатьох науковців.

Ще одним аргументом на користь вивчення комбінованих впливів є додаткова можливість зрозуміти механізми окремо діючих факторів, що беруть участь в комбінації. Так, наприклад, для ефектів впливу іонізуючих випромінювань на біологічні об'єкти характерна поява прихованих ушкоджень, які можуть протягом довгого часу не виявляти себе будь-якою зміною функціонального стану біологічних об'єктів різного ступеня складності [3]. Для виявлення такого роду пошкоджень використовують додаткові впливи, в результаті яких дані пошкодження проявляються і стають можливими для реєстрації відповідною тест-системою. Особливо це актуально при виявленні пошкоджень, викликаних дією малих доз іонізуючого випромінювання.

Метою роботи є розробка математичної моделі, яка описує синергетичну взаємодію хімічного та радіаційного забруднення та її вплив на рівноважний стан екосистем.

Методики, матеріали і результати досліджень. Стійкий стан рівноваги можна визначити таким чином: якщо при досить малому початковому відхиленні від положення рівноваги система ніколи не відхиляється далеко від цього положення, то стан рівноваги є стійким і відповідає стійкому стаціонарному режиму функціонування реальної системи. Якщо ж система після виведення її зі стану рівноваги з часом відхилятиметься від цього стану, то такий стан рівноваги є нестійким.

Екологічні системи теж можуть мати як стійкі, так і нестійкі положення рівноваги. Нестійкі положення рівноваги з часом можуть переходити у стійкі або система набуде нереальних (критичних) форм, або, в решті решт, може загинути. Всі ці випадки описуються точковими математичними моделями, що побудовані за допомогою звичайних диференціальних рівнянь та їх систем [4].

Розроблена математична модель впливу синергетичної дії радіаційного та хімічного забруднення на стійкість екосистем матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 - \frac{r_1}{K_1} N_1^2 + \gamma_1 N_1 N_2, \\ \frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 - \frac{r_2}{K_2} N_2^2 + \gamma_2 N_1 N_2, \end{cases}$$

де N_1 – величина дози опромінення, мЗв/рік; N_2 – концентрація шкідливої речовини, мг/кг; r_1, r_2 – константи швидкості накопичення забруднення, що визначається експериментально; K_1 – величина радіоекологічної ємності, мЗв/рік; K_2 – величина ГДК шкідливої речовини, мг/кг; γ_1, γ_2 – коефіцієнт синергетичної дії для кожного компонента.

Розглянемо запропоновану математичну модель на прикладі м. Маріуполь.

Зі звітів Центральної геофізичної обсерваторії маємо інформацію про забруднення важкими металами ґрунтів у м. Маріуполь у 2014-2017 роках (табл. 1).

Таблиця 1 – Вміст важких металів у ґрунтах м. Маріуполь у 2014-2017 роках

Рік	Забруднюючі речовини (середній / максимальний вміст, в кратності ГДК)			
	Cu	Pb	Zn	Cd
2014	0,4 / 4,2	1,7 / 6,5	1,5 / 4,9	0,1 / 0,8
2015	1,0 / 3,3	3,5 / 36,2	3,3 / 7,3	0,8 / 2,5
2016	1,7 / 5,6	4,1 / 13,1	4,9 / 10,0	1,8 / 3,5
2017	0,9 / 3,5	1,3 / 8,4	2,9 / 5,6	2,2 / 14,5

За даними Маріупольської гідрометеорологічної обсерваторії маємо інформацію про радіаційний фон м. Маріуполь у 2014-2017 роках (табл. 2).

Таблиця 2 – Радіаційний фон м. Маріуполь у 2014-2017 роках

	2014	2015	2016	2017
Cs, мЗв/рік	1,052	1,227	1,14	0,964

Після проведених розрахунків, отримали результати у вигляді графічних залежностей, які показують, що синергетична дія Cs-137 з Cu проявляється при їх відношенні 1:1, Cs-137 з Pb – при відношенні 1:3, Cs-137 з Zn – 1:2 і Cs-137 з Cd – 1:1 (рис. 1-4).

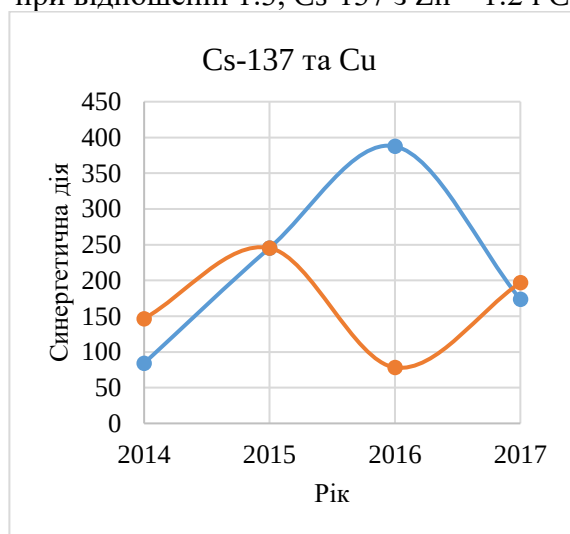


Рисунок 1 – Синергетична взаємодія цезію-137 та міді

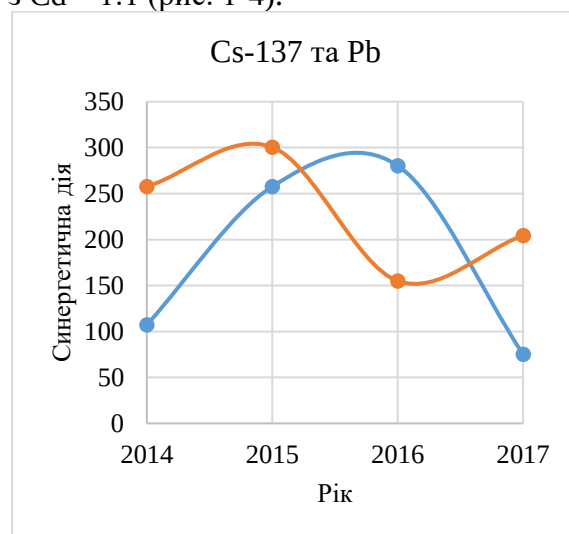


Рисунок 2 – Синергетична взаємодія цезію-137 та свинцю

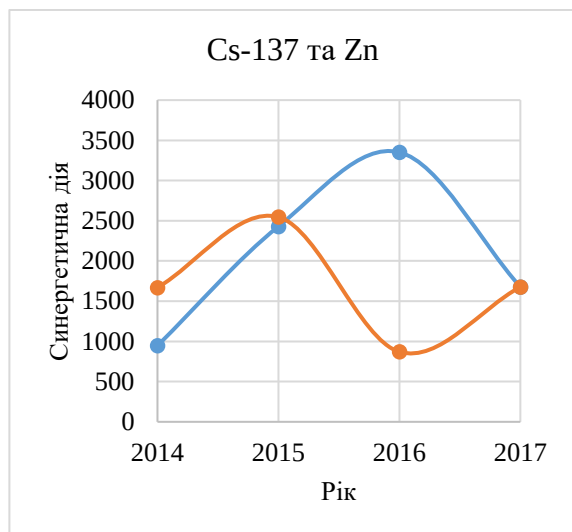


Рисунок 3 – Синергетична взаємодія цезію-137 та цинку

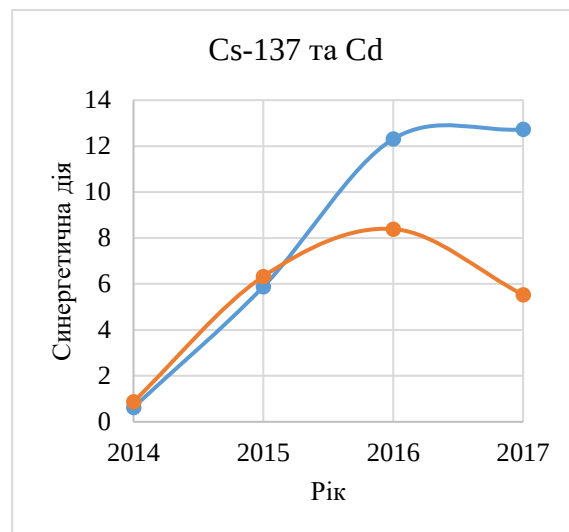


Рисунок 4 – Синергетична взаємодія цезію-137 та кадмію

Висновки. Розроблена математична модель адекватно описує вплив синергетичної взаємодії радіонуклідів та важких металів на стійкість екосистем, а також може використовуватися для прогнозування накопичення забруднення у приземному шарі ґрунту.

Література.

1. Петин В.Г., Журавская Г.Л., Пантюхина А.Г., Рассохина А.В. Малые дозы и проблема синергетического взаимодействия факторов окружающей среды. / В.Г. Петин, Г.Л. Журавская, А.Г. Пантюхина, А.В. Рассохина // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. - 39 (1) – С. 113-126.
2. Sucher N.J. Searching for synergy in silico, in vitro and in vivo / N.J. Sucher // Synergy. – 2014. – V.1 – N1. – P. 30-43.
3. Виленчик М.М. Радиобиологические эффекты и окружающая среда. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.
4. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології: Навч. посіб. для студ. екол. і біол. спец. вищ. навч. закл. – К.: Вид. дім «КМ Академія», 2002. – 203 с.

Ремез Наталя Сергіївна, д.т.н., професор
Бойко Аліна Геннадіївна, аспірант
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РОЛЬ МАКРОЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ЕКОСАНІТАРІЇ

Вступ. На сьогоднішній день існує проблема деградації ґрунтово-рослинного покриву, що зумовлює зниження сільськогосподарського виробництва. Даний процес розпочався ще

близько 10 тис. років тому, а саме з появи землеробства. За оцінками спеціалістів, на той час площа придатних для сільськогосподарського використання земель складала близько 4,5 млрд га, а в наш час таких земель залишилося близько 2,5 млрд га [1]. Це свідчить про те, що у середньому щороку втрачалось до 200 тис. га придатних для ведення сільського господарства земель.

Однією з основних причин деградації ґрунтів є втрата у ньому поживних речовин. Для вирішення цієї проблеми фермери інтенсивно стали застосовувати мінеральні добрива, оскільки останні зручніші для транспортування, зберігання та розпилення. Але при цьому з'явилися інші несприятливі наслідки, наприклад, підкислення, так як довгострокове використання даних добрив зменшує вміст органічного вуглецю, що призводить до утворення нових проблем.

Мета роботи. Освітлення способу отримання органічного добрива за рахунок застосування екосанітарії, виявлення у цих добрив вмісту макроелементів як важливого показника підвищення росту рослинної культури.

Матеріали і результати досліджень. Позитивний вплив у питанні деградації ґрунтів може здійснити екосанітарія – новий підхід для вирішення проблем поводження та застосування відходів життєдіяльності людини [2], що впроваджує замкнений цикл використання відходів. Її технічним рішенням є екосанітарні туалети, які поділяють потоки на тверду та рідку фракції (урину та фекальні маси) без додавання води або дуже її малої кількості, що, у свою чергу, сприяє зменшенню використання водних ресурсів. А потім після обробки, яка відбувається завдяки конструкції даного туалету, ці продукти життєдіяльності стають добривами для сільськогосподарських культур і застосовуються як продукт збагачення ґрунту органічними речовинами та засіб збільшення врожаю.

В основу хімічного складу людських продуктів життєдіяльності входять поживні елементи, серед яких найбільшу роль відіграють макроелементи: азот, фосфор і калій. Ці три елемента живлення є необхідними для рослин у великих кількостях (на відміну від мікроелементів), оскільки вони входять у більш складні молекули, які є "будівельним матеріалом" для тканин і органів самої рослини [3].

Оскільки поживні речовини у твердій фракції відходів життєдіяльності людини в основному перебувають у зв'язаній органічній формі, то їх значна кількість знаходиться в рідкій. У будь-якому випадку для внесення добрив необхідно враховувати їх співвідношення, тому говорячи про урину як добриво, надають інформацію про вміст всіх макроелементів. Але у багатьох джерелах літератури, зокрема вітчизняних, зустрічається тільки вміст азоту та фосфору, хоча калій являється не менш вагомим поживним елементом для рослини, а також його кількість є більшою у складі екскрементів, ніж фосфору. Таким чином, виникає потреба у знаходженні залежності виходу калію від вмісту азоту та фосфору.

Дані вмісту поживних елементів у рідкій фракції життєдіяльності людини для розрахунку були взяті по різних країнах світу з джерела [4]. Методом найменших квадратів знайдено рівняння множинної регресії: $y_x = 0,4664 + 0,1869x_1 + 0,5047x_2$, а щільність зв'язку двох факторів (вмісту азоту та фосфору) та результативної ознаки (виходу калію) підтверджено високим коефіцієнтом кореляції $R=0,97$.

Висновки. Екосанітарія являється альтернативним рішенням проблем деградації ґрунтів. А поставлене питання вмісту поживних речовин розкрито знайденим рівнянням, яке має практичне значення для розрахунку, тобто маючи дані вмісту азоту та фосфору ми можемо дізнатися вміст калію.

Перелік посилань:

1. Царик Л.П. Екологія: підруч. для 10 кл. загальноосвіт. навч. закл.: профіл. рівень / Л.П. Царик, П.Л. Царик, І.М. Вітенко. – 2-ге вид. – К.: Генеза, 2011. – 240 с.
2. Бодік І. Стійка санітарія в Центральній та Східній Європі – відповідаючи потребам малих та середніх населених пунктів / І. Бодік, Р. Пітер. – Словачія: UVTIP Nitra, 2008. – 90 с.
3. Елементи живлення рослин: Макроелементи, Мезоелементи та Мікроелементи [Електронний ресурс] // АГРОЛАВКА, 2015. – Режим доступу: <https://agrolavka.com.ua/a189520-elementi-zhivlennya-roslin>
4. Jönsson H. / Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data // H. Jönsson, B. Vinnerås; Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003. – Lübeck: Ecosan – Closing the loop, 2004. – pp. 623-626.

УДК 624.39.329

Канар М. О., студент

Ремез Н. С., д.т.н., професор

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

**ВПЛИВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН НА НАДЛИШКОВИЙ ТИСК
ПОВІТРЯНО-УДАРНИХ ХВИЛЬ**

Вступ. Сьогодні процеси удару і вибуху лежать в основі функціонування багатьох виробів і технологій. Цим пояснюється інтерес до вивчення цих процесів і актуальність обраної теми. В даний час сформовані уявлення про основні закономірності процесів удару і вибуху, накопичений великий обсяг експериментальних даних, розроблені математичні моделі, що відображають багато закономірностей цих процесів.

Аналіз стану питання. У теорії та практиці підривних робіт основним фактором інтенсивності утворення повітряно-ударних хвиль вважають тип вибухової речовини (ВР). На сьогоднішній день існують не тільки традиційні вибухові речовини, але й нові суміші, які вважаються менш шкідливими для навколишнього середовища та більш ефективними в підривних роботах. Сьогодні широко виконуються дослідження щодо розроблення нових промислових сумішевих вибухових речовин (ВР) і методів їх застосування на відкритих гірничих роботах.

У працях Прокопенко В. С., Туручко І. І., Косьмін І. В. Лотоус К. В., Фролова О. О. описані нові типи ВР, розроблених ЗАТ «Технових». Автори виконали також порівняння різних варіантів зарядження свердловин і стверджують про перспективність використання цих ВР[1]. Проте, питання впливу повітряно-ударних хвиль нових сумішевих ВР залишається відкритим.

Метою роботи є розрахувати вплив традиційних та нових сумішевих вибухових речовин на надлишковий тиск повітряно-ударних хвиль.

Методики, матеріали і результати досліджень. Практично вся (> 90%) енергія вибуху ВР витрачається на утворення повітряно-ударних хвиль. Енергія, що виділяється при вибуху, призводить до виникнення і розповсюдження в навколишньому середовищі дуже вузької зони

стиснення-розрідження. У межах цієї зони, що поширюється з надзвуковою швидкістю, протікають фізичні процеси, звані ударною хвилею. Суть цих процесів полягає в стрибкоподібній зміні всіх параметрів середовища (тиску, температури, густини). Тип вибухової речовини є основним показником при визначенні максимального (надлишкового) тиску на фронті ударної хвилі та швидкості його збільшення. Надлишковий тиск на фронті ударної хвилі - основний параметр, що визначає нищівну силу ударної хвилі [3].

Традиційною вибуховою речовиною є тротил. Ця ВР призначена для підривання гірських порід на підземних та відкритих гірничих роботах. До нових сумішевих вибухових речовин відносять полімікс ГР4-Т10, комполайт ГС6 та полімікс ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%). Полімікс ГР4-Т10 призначений для руйнування гірських порід різної міцності. Полімікс ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%) є сумішшю 74% за масою поліміксу ГР1/8 з 26% компонента рідкого ущільнюючого марки К2. Вибухова речовина комполайт ГС6 призначена для проведення підривних робіт свердловинними зарядами в необводнених породах різної міцності в будь-яких кліматичних умовах при ручному та механізованому заряджанні їх безпосередньо в свердловини насипом або з застосуванням поліетиленових рукавів.

Проведемо порівняння результатів дії вибуху зарядів традиційних та нових сумішевих ВР.

Для розрахунку впливу традиційних та нових сумішевих вибухових речовин, знайдемо надлишковий тиск на фронті ударної хвилі для різних ВР (табл.1) та побудуємо залежності зміни тиску від відстані розповсюдження цієї хвилі.

Надлишковий тиск будемо визначати за формулою[2]:

$$\Delta P = \frac{3(\gamma-1)\rho_0 Q}{2} \left(\frac{r_0}{r_H} \right)^3 + \frac{P_a}{2} \quad (1)$$

де γ – показник ізентропи; ρ_0 – щільність ВР, кг/м³; Q - теплота вибухового перетворення ВР (теплота вибуху), Дж/кг; r_0 – радіус заряду, м; r_H - відстань розповсюдження вибухової хвилі, м; P_a – атмосферний тиск, Па.

Таблиця 1 – Параметри вибуху тротилу та нових сумішевих вибухових речовин [1]

Вибухові речовини	Параметри		
	Q , Дж/кг	γ	ρ_0 , кг/м ³
Тротил	4184,0*10 ³	1,25	1600
Полімікс ГР4-Т10	3864,4*10 ³	1,245	872
Комполайт ГС6	3919,7*10 ³	1,235	852
Полімікс ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%)	3355,7*10 ³	1,242	1000

У результаті чисельного розв'язання задачі були отримані графічні функціональні залежності зміни надлишкового тиску від відстані розповсюдження цієї хвилі для різних радіусах заряду (рис.1, рис.2, рис.3).

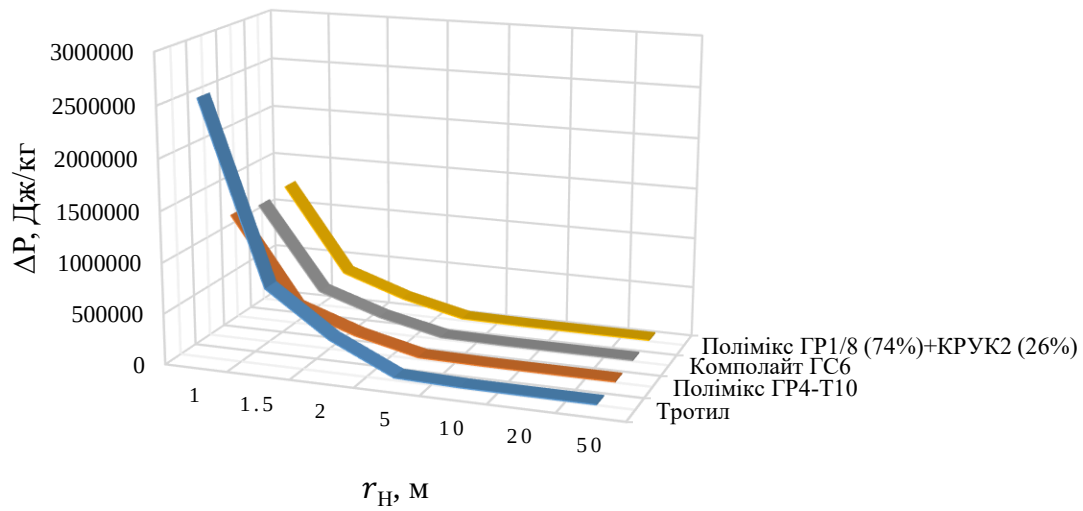


Рис.1. Залежність зміни надлишкового тиску повітряно-ударної хвилі від відстані розповсюдження хвилі при $r_0 = 0,1$ м

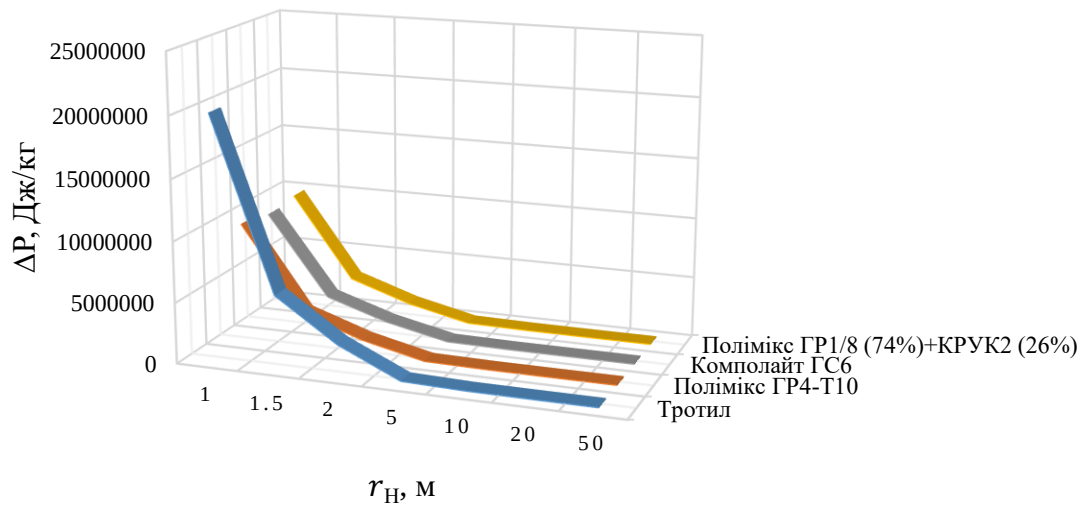
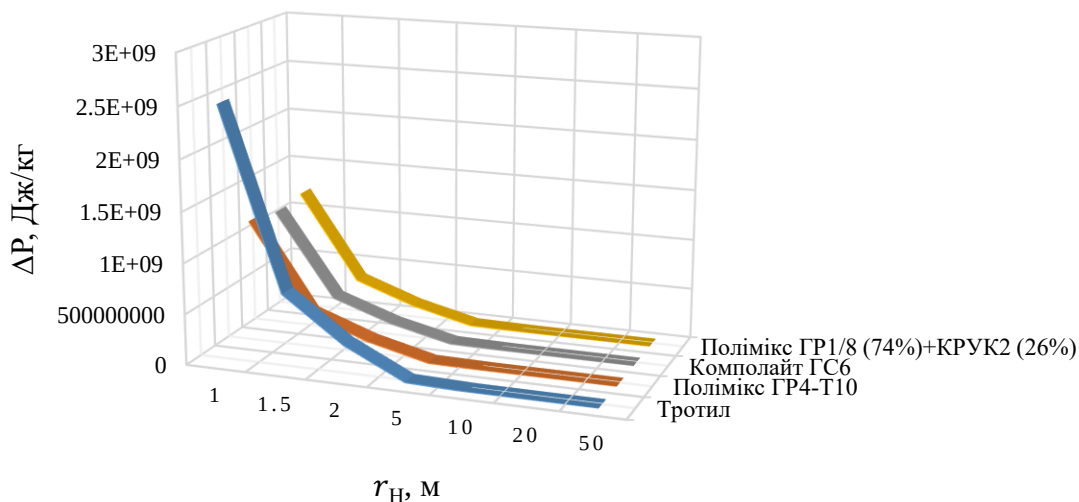


Рис.2. Залежність зміни надлишкового тиску повітряно-ударної хвилі від відстані розповсюдження хвилі при $r_0 = 0,2$ м



0

Рис.3.

Залежність зміни надлишкового тиску повітряно-ударної хвилі від відстані розповсюдження хвилі при $r_0 = 1$ м

Висновки. За результатами розрахунків та отриманими залежностями, можна сказати, що традиційні вибухові речовини, такі як тротил, мають більший негативний вплив на навколишнє середовище, а отже його сила руйнування оточуючих об'єктів вище, ніж у нових сумішевих вибухових речовинах. Застосування поліміксу ГР4-Т10, комполайту ГС6 та поліміксу ГР1/8 (74%)+КРУК2 (26%) при підривних роботах безпечніше, з точки зору утворення надлишкового тиску, проте, використання навіть менш шкідливих речовин, задають шкоду навколишньому середовищу.

Література

1. Лучко І. А. Математичне моделювання дії вибуху в ґрунтах і гірських породах / І. А. Лучко, Н. С. Ремез, А. І. Лучко. — К. : НТУУ "КПІ", 2011. — 264 с.
2. Физика взрыва / Под ред. Л. П. Орленко. — Изд. 3-е, испр. — В 2 т. Т. 1. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 832 с.
3. Оника С. Г. Определение избыточного давления на фронте ударных воздушных волн при взрывах на открытых разработках / С. Г. Оника, Ф. Г. Халявкин, Н. И. Березовский. // Горная механика и машиностроение. — 2011. — С. 21–26.
4. Соболев В. В. Технологія та безпека виконання підривних робіт : навч. посіб. Для ВНЗ / В.В. Соболев, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. — Дніпро : НГУ, 2017. — 314 с.

УДК 542.07

Земська Алла Євгеніївна, студент

Тверда Оксана Ярославівна, к.т.н., ст. викладач

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ СТОКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Виконано порівняння критеріїв оцінки обладнання для очищення фармацевтичних стоків з використанням методу аналізу ієрархій. Визначено загальний ступінь важливості кожного критерію. Встановлено, що найбільш вагомим є перший спосіб очищення – за допомогою системи зворотного осмосу Ecosoft.

The comparison of the criteria for evaluating the equipment for the purification of pharmaceutical effluents using the hierarchy analysis method is performed. The general degree of importance of each criterion is determined. It is found that the most important is the first method of cleaning—with the help of Ecosoft reverse osmosis system.

Вступ. Одним із визначальних чинників екологічної безпеки й здоров'я населення є якість природних вод. Серед факторів погіршення стану водних екосистем - надходження у водні об'єкти фармацевтичних речовини (ФР). Джерелом постачання цих речовин у м. Умань являються стічні води фармацевтичного підприємства ПрАТ «Технолог». Ці речовини в складі міських стічних вод важко піддаються біологічній деструкції на міських очисних спорудах.

Дані сполуки накопичуються в донних відкладеннях, у флорі та фауні водних об'єктів, спричиняючи негативний вплив на компоненти водної екосистеми, погіршуючи її екологічну безпеку [1].

Вирішенням проблеми захисту водних об'єктів від забруднення ФР може стати запобігання їх надходження разом з стічними водами ПрАТ «Технолог» до міських очисних споруд.

Мета роботи: визначення ступеня важливості критеріїв оцінки обладнання для очищення фармацевтичних стоків за допомогою методу аналізу ієрархій.

Матеріали і результати досліджень. У роботі використані дані по стічних водах фармацевтичного підприємства ПрАТ «Технолог» з цеху наповнення і фасування ампул вітамінів, санітарної обробки обладнання і приміщень, від мийки ампул та перевірки ампул на герметичність, а також дані по побутових стічних водах. Проведено аналіз існуючих методів очищення промислових стоків для даного підприємства.

У результаті проведення науково-дослідної роботи рекомендовано три способи очищення стоків: використання системи зворотного осмосу Ecosoft, адсорбера Aqualine та механічного фільтру Ecosoft. Критеріями оцінки обладнання, для використання на підприємстві обрано: ефективність очищення, вартість та простота монтажу.

Метод аналізу ієрархій дозволить обрати найбільш вагомий критерій оцінки обладнання для очищення фармацевтичних стоків. Кожному критерію оцінки (Р) призначено характеристики (Н). За бальною системою оцінювалась відносна важливість кожної характеристики для кожного з критеріїв оцінки. Даний метод дозволив обрати критерій, що найбільше відповідає характеристикам (Н) (табл. 1) [2].

Таблиця 1. Матриця логічного порівняння характеристик критеріїв оцінки обладнання для очищення фармацевтичних стоків.

Критерії вимірювання	Ефективність очищення (Н1)	Ціна (Н2)	Простота монтажу (Н3)
	$a_0^1=3$	$a_0^2=2$	$a_0^3=1$
Система зворотного осмосу Ecosoft (P1)	$a_1^1=3$	$a_1^2=1$	$a_1^3=1$
Адсорбер Aqualine (P2)	$a_2^1=2$	$a_2^2=3$	$a_2^3=2$
Механічний фільтр Ecosoft (P3)	$a_3^1=1$	$a_3^2=2$	$a_3^3=3$

За таблицею 1 виконано розрахунок відносного ступеня важливості характеристик критеріїв оцінки при виборі обладнання. Для порівняння характеристик критеріїв та визначення їх ступеня важливості, складено матриці(табл. 2-5).

Таблиця 2. Аналіз характеристик та визначення їх ступеня важливості

Характеристики	Н1	Н2	Н3	Середнє геометричне або вага характеристики	Ступінь важливості характеристики
P1	1	1,5	3	2,12	0,58
P2	0,67	1	2	1,16	0,32
P3	0,33	0,5	1	0,4	0,1
Сума	-	-	-	3,68	1

Таблиця 3. Аналіз характеристик критеріїв оцінки та визначення їх ступеня важливості при оцінці обладнання для очищення фармацевтичних стоків за першим критерієм

Характеристики	Н1	Н2	Н3	Середнє геометричне або вага характеристики	Ступінь важливості характеристики
P1	1	3	3	3	0,72
P2	0,33	1	1	0,57	0,14
P3	0,33	1	1	0,57	0,14
Сума	-	-	-	4,14	1

Таблиця 4. Аналіз характеристик критеріїв оцінки та визначення їх ступеня важливості при оцінці обладнання для очищення фармацевтичних стоків за другим критерієм

Характеристики	Н1	Н2	Н3	Середнє геометричне або вага характеристики	Ступінь важливості характеристики
P1	1	0,67	1	0,82	0,35
P2	0,67	1	0,67	0,67	0,3
P3	1	0,67	1	0,82	0,35
Сума	-	-	-	2,31	1

Таблиця 5. Аналіз характеристик критеріїв оцінки та визначення їх ступеня важливості при оцінці обладнання для очищення фармацевтичних стоків за третім критерієм

Характеристики	H1	H2	H3	Середнє геометричне або вага характеристики	Ступінь важливості характеристики
P1	1	0,5	0,33	0,4	0,1
P2	2	1	0,67	1,16	0,32
P3	3	1,5	1	2,12	0,58
Сума	-	-	-	3,68	1

Загальний ступінь важливості критеріїв оцінки при виборі обладнання розраховується наступним чином і складає [3]:

$$N1 = M_1^1 \cdot M_0^1 + M_1^2 \cdot M_0^2 + M_1^3 \cdot M_0^3,$$

$$N1 = 0,72 \cdot 0,58 + 0,14 \cdot 0,32 + 0,14 \cdot 0,1 = 0,476,$$

$$N2 = 0,35 \cdot 0,58 + 0,3 \cdot 0,32 + 0,35 \cdot 0,1 = 0,334,$$

$$N3 = 0,1 \cdot 0,58 + 0,32 \cdot 0,32 + 0,58 \cdot 0,1 = 0,218.$$

Висновки. За допомогою методу аналізу ієрархій виконано порівняння критеріїв оцінки обладнання для очищення стоків фармацевтичного підприємства ПрАТ «Технолог». В ході роботи було визначено загальний ступінь важливості кожного критерію: 0,476; 0,334; 0,218 відповідно. Згідно з загальним ступенем важливості критеріїв встановлено, що найбільш вагомим є перший спосіб очищення – за допомогою системи зворотного осмосу Ecosoft.

Список використаних джерел

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – Москва, 2008. – 278 с.
2. Системный анализ и управление в экологии [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <http://lib4all.ru/base/B1836/B1836Part5-24.php>.
3. Етапи і послідовність системного аналізу [Електронний ресурс] // Київ. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: http://pidruchniki.com/91284/ekologiya/etapi_poslidovnist_sistemnogo_analizu.

УДК 502/504

Тарікулієв А. Ф., магістр

Кофанова О. В. д. пед. н., к. хім. н., професор

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

СИСТЕМА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ПОВОДЖЕННІ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ НА СПЕЦКОМБІНАТАХ АЗЕРБАЙДЖАНСЬКІЙ РЕСПУБЛІКИ

Проблема поводження з радіоактивними відходами (РАВ) є комплексною, надзвичайно важливою і потребує уваги з боку уряду, громадських організацій, спеціалізованих підприємств, суспільства в цілому. Необхідним є забезпечення адекватного захисту персоналу підприємств і мінімізація шкідливого впливу РАВ на навколишнє середовище, а також запобігання виникнення радіаційних інцидентів та аварій.

Ключові слова: радіаційна безпека; спецкомбінат; радіоактивні відходи; поводження з відходами, ізотопи.

The problem of radioactive waste (RW) management is complex, extremely important and requires attention from the government, public organizations, specialized enterprises and society. It is necessary to ensure the adequate protection of employees of enterprises and to minimize the harmful effects of RW on the environment, as well as to prevent the occurrence of various radioactive accidents.

Key words: radiation safety; special factory; radioactive waste; waste management, isotopes.

Вступ. Проблема поводження з радіоактивними відходами (РАВ) є надзвичайно важливою, а тому потребує належної уваги як з боку урядовців країни, так і з боку громадських організацій, керівництва спеціалізованих підприємств, працівників, суспільства в цілому. Особливе значення діяльності такого роду полягає у тому, що необхідним є не тільки забезпечення адекватного захисту персоналу підприємства, а й мінімізація шкідливого впливу РАВ на навколишнє природне середовище, тваринний і рослинний світ, населення тощо. Спеціалізовані підприємства, зайняті в цій сфері, повинні мати висококваліфіковані кадри, адекватні методи і засоби контролю та захисту працівників для забезпечення максимальної безпеки діяльності. На рис. 1 показана схема, що надає змогу прослідкувати за утворенням, збереженням і переробкою РАВ [1].

Метою роботи є оцінка заходів та принципів забезпечення радіоактивної безпеки персоналу спецкомбінатів Азербайджанської Республіки, а також їх діяльності з радіаційного захисту населення і довкілля.

Матеріали та результати досліджень. У відповідності з Основоположними міжнародними принципами безпеки (Основи безпеки № SF-1, м. Вена, 2007 р.), будь-яка система безпеки повинна спрямовуватись на захист людей і довкілля. Це повною мірою стосується й радіаційної безпеки (РБ) та діяльності спецкомбінатів (СК) республіки. Варто зазначити, що РБ спрямована не тільки на захист самого спецкомбінату та його персоналу, а й на забезпечення безпеки територій, що підлягають забрудненню внаслідок діяльності з поводження з РАВ, персоналу інших підприємств (організацій), який тимчасово залучається до робіт з утилізації, переробки та перевезення РАВ.

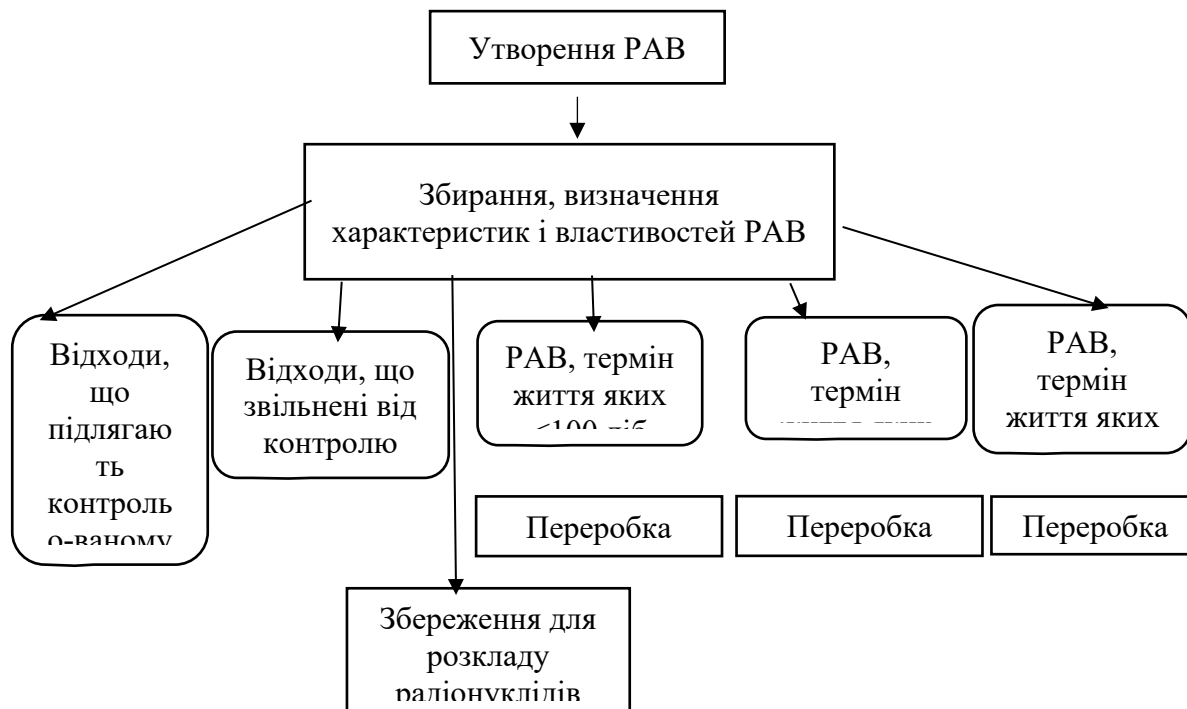


Рисунок – 1 Схема поводження з РАВ на спеціалізованих підприємствах.

Основоположними міжнародними принципами поводження з усіма категоріями РАВ [2] є такі:

1. охорони здоров'я людей.
2. охорони навколишнього природного середовища.
3. забезпечення безпеки за межами національних границь.
4. захисту здоров'я майбутніх поколінь.
5. запобігання необґрунтованого навантаження на майбутні покоління.
6. наявності національної правової структури.
7. контролю утворення РАВ.
8. взаємозв'язку між етапами поводження з РАВ.
9. безпеки установок для поводження з РАВ упродовж усього терміну їх роботи.

У діяльності з забезпечення РБ персонал спецкомбінатів керується такими документами, як: Основні санітарні правила (СП) забезпечення радіаційної безпеки № 1972/1987; СП поводження з радіоактивними відходами "СПОРО-85"; Правила безпеки при транспортуванні радіоактивних речовин від 14.12.1973 р.; Основними міжнародними принципами безпеки (Основи безпеки № SF-1, м. Вена, 2007 р.). Радіаційний захист населення та безпека джерел випромінювання регулюється Міжнародними основними нормами безпеки (м. Вена, 2011 р.), Типовою інструкцією з радіаційної безпеки (м. Москва, 2011 р.) та іншими документами [3].

Основними факторами радіаційної небезпеки (РН) на підприємстві та прилеглих територіях є:

- зовнішнє опромінювання іонізуючим випромінюванням;
- можливість радіоактивного забруднення обладнання, помешкань, спецодягу та кожних покривів людей;
- внутрішнє опромінювання за рахунок можливого радіоактивного забруднення повітря та потрапляння радіонуклідів до організму людини.

Персонал СК працює з радіоактивними речовинами широкого діапазону небезпеки – від дуже низької (наприклад, Тритій, група Д) і до особливо високої радіотоксичності (наприклад, Радій-226, група А). Найтоксичнішими ізотопами є радіоізотопи груп А і В, що мають такі характерні особливості за Методикою категорювання ЗРІ за потенційною радіаційною небезпекою від 01.03.2008 р.:

- великий період напіврозпаду;
- є джерелами α - і β -випромінювання;
 - вибірково накопичуються в окремих органах і тканинах людини та досить повільно виводяться з організму.

Промислові, будівельні, мінеральні чи біологічні відходи, що мають дещо підвищений радіаційний фон не можуть бути віднесені до РАВ, якщо немає перевищення певного граничного (порогового) значення радіаційних параметрів. Зокрема, до таких граничних критеріїв відносять:

- радіоактивне забруднення робочих поверхонь (част./ $\text{см}^2\text{хв}$), табл. 1);
- питома активність РАВ (Бк/кг, табл. 2);
- потужність поглиненої дози (мкЗв/год., табл. 3, 4).

Отже, перевищення хоча б одного з вказаних 3-х радіаційних параметрів (табл. 1–4) може вважатися свідомством радіаційної небезпеки та потребує відповідних заходів з РБ при поводженні з РАВ. Дуже небезпечні речовини, такі як кадмій, ртуть, вибухові речовини, фосфати, гідрати, нітрати та сульфіді, а також патогенні та інфекційно-небезпечні речовини не залежно від їх радіаційних характеристик не підлягають прийому на СК, а потребують додаткових заходів з безпеки поводження.

Таблиця 1

Порогова оцінка радіоактивних речовин (РАВ) за рівнем радіаційного забруднення

Вид радіонукліда	Порогове значення величини забруднення, част./ $\text{см}^2\text{хв}$.)
Нукліди, що випромінюють β -випромінювання	більше 500
Нукліди, що випромінюють α -випромінювання	більше 50
Трансуранові нукліди	більше 5

Таблиця 2

Порогова оцінка радіоактивних речовин (РАВ) за питомою активністю

Вид радіонукліда	Порогова питома активність радіоактивної речовини (РАІ) невідомого складу, Бк/кг
Нукліди, що випромінюють β -випромінювання	більше 10^5
Нукліди, що випромінюють α -випромінювання	більше 10^4
Трансуранові нукліди	більше 10^3

Таблиця 3

Порогова оцінка радіоактивних речовин (РАВ) за потужністю поглиненої дози, радіонукліда невідомого складу

Радіонуклідний склад	Порогова потужність поглиненої дози, мГ/ч
Невідомий	0,001 (1 мкЗв/год.)

Таблиця 4

Порогова оцінка радіоактивних речовин (РАВ) за потужністю поглиненої дози

Категорія відходів	Порогова потужність поглиненої дози, мГ/ч
Низькоактивні	від 0,001 до 0,3 (1-300 мкЗв/год.)

Крім того, при виконанні робіт з збирання, утилізації, переробки і транспортування РАВ можуть виникати як радіаційні інциденти, так і радіаційні аварії. Це може трапитися, наприклад, при порушенні правил прийомки, транспортування або переробки РАВ, викиді радіоактивних речовин під час технологічних процесів їх обробки (наприклад, при цементуванні, пресуванні РАВ, у тому числі й внаслідок забруднення системи вентиляції сховища), при втратах радіоактивних матеріалів або порушенні умов їх зберігання, розгерметизації законсервованих могильників тощо.

Список використаної літератури:

1. Положение про деятельность спецкомбината "Изотоп", утвержденное Министром МЧС Азербайджанской Республики.
2. The principles of Radioactive Waste Management. – Vienna, IAEA, Safety series, № 111 – F, STI/PUB/989, 1996.
3. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами; сер. учеб. курсов № 27. – Международное агентство по атомной энергии. – Вена, 2005.

УДК 502/504

Кофанов О. Є., аспірант

Ремез Н. С., д.т.н., професор

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

МІСЦЕВІ ОСОБЛИВОСТІ ДИСПЕРСІЇ ПОЛЮТАНТІВ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ПРИДОРОЖНЬОМУ ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРІ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Представлено аналіз основних чинників, що впливають на дисперсію домішок у атмосферному повітрі населених пунктів, зокрема особливостей міської забудови, а також наявності зелених насаджень і водних об'єктів. Показано вплив характеристик вуличних каньйонів на розсіювання й локальне концентрування домішок у придорожньому повітряному просторі.

Ключові слова: забруднення атмосферного повітря автотранспортом, забруднюючі речовини, полютанти, придорожній повітряний простір, викиди шкідливих речовин, розсіювання домішок у повітрі, дисперсія.

The paper presents an analysis of the main factors that influence the dispersion of harmful impurities in the atmosphere of cities, in particular the peculiarities of the urban buildings positioning, as well as the presence of green spaces and water objects. The influence of the characteristics of street canyons on the local concentration and dispersion of impurities in the roadside airspace was investigated.

Keywords: air pollution by motor vehicles, pollutants, roadside airspace, emissions of harmful substances, dispersion of impurities in the air, dispersion.

Вступ. Приземний шар атмосферного повітря формується за рахунок взаємодії повітряного потоку з елементами підстилаючої поверхні, а, отже, його ще називають "шаром шорсткості". При цьому особливості конкретної міської території, а саме характер і щільність міської забудови (МЗ), пагорби, низини, долини тощо [1] визначають характер руху повітряних потоків, і, як наслідок, рівень забруднення атмосферного повітря, характер розсіювання шкідливих домішок у повітряному просторі тощо.

Дослідженню впливу рельєфу і типу МЗ на закономірності й особливості дисперсії певних токсикантів в атмосферному повітрі присвячено багато праць вітчизняних і закордонних учених. Зокрема, М. З. Згуровським [2] відмічається, що у приземному повітряному шарі внаслідок топографічних особливостей місцевості виникають специфічні поля турбулентності, в результаті чого змінюються не тільки горизонтальні і вертикальні потоки (вітри), а й розподіл температури й вологості. Ці фактори сприяють перемішуванню, трансформації, дисперсії і локальному концентруванню токсикантів на певних ділянках території [3]. На думку Е. М. Паращука з колегами, основними чинниками, що найбільшою мірою впливають на режим розсіювання домішок у міському атмосферному повітрі, є гідродинамічний фактор, обумовлений формуванням вихрових потоків поблизу будівель, і геометричний фактор, що пов'язаний з взаємодією полютантів з поверхнею перешкод.

Отже, поряд з автомагістралями через перемішування і взаємодію компонентів відпрацьованих газів (ВГ) між собою та із складовими навколишнього середовища формуються локальні поля забруднення з максимумами і мінімумами концентрацій певних полютантів.

Метою роботи є встановлення основних закономірностей дисперсії шкідливих домішок (ШД), що викидаються з ВГ автотранспортних засобів (АТЗ) на автомагістралях населених пунктів.

Результати дослідження та їх аналіз. Місцеві особливості розсіювання й концентрування ШД у міському атмосферному повітрі залежать від багатьох факторів, а тому задача моделювання їх дисперсії ускладнюється не тільки особливостями місцевого рельєфу і типом МЗ, наявністю рослинності та водних об'єктів, а й кліматичним, метеорологічним та синоптичним режимами.

Охарактеризуємо особливості міської забудови, що є одним з основних чинників, що визначає характер дисперсії ШД у атмосферному повітрі. Зокрема, у роботі [4] запропоновано представляти архітектурно-планувальні фрагменти МЗ як сукупність елементарних фрагментів – вуличних каньйонів (ВК), що мають певні просторово-геометричні характеристики. При цьому автори розглядають три основні зони ВК [5, 6]:

- навітряний бік, для якого завдяки надходженню чистого повітря характерним є незначний рівень забруднення;
- внутрішня частина каньйону;
- підвітряний бік ВК, для якого спостерігається сильне забруднення.

При дослідженні умов руху повітряних мас ВК вздовж автомагістралі використовується коефіцієнт ажурності забудови, який дорівнює відношенню площі проекції розривів між будинками на лінію дороги (магістралі) до загальної площі проекції фронту МЗ на цю лінію [4].

У нашому дослідженні використовуємо класифікацію ВК за геометричними параметрами. Цей показник характеризується, по-перше, відношенням середньозваженої висоти МЗ h до ширини ВК D , а, по-друге, відношенням його довжини L до середньозваженої висоти h .

З відношенням ширини каньйону до висоти МЗ пов'язаний показник відкритого неба (ПВН), який описує поперечний переріз ВК. Тобто ПВН це частка небесного куполу, який видно з поверхні або з певної точки, або по всій площині вулиці чи магістралі (так званий інтегрований ПВН). Цей показник розраховують за формулою [4]:

$$\text{ПВН} = (\cos\beta_1 + \cos\beta_2) / 2 \quad (1)$$

де $\text{tg}\beta_1 = (h_1 / 0,5D)$;

$\text{tg}\beta_2 = (h_2 / 0,5D)$;

h_1 і h_2 – середньозважені висоти МЗ відповідно з кожного боку каньйону;

D – ширина ВК.

Значення ПВН змінюється у межах від 0 до 1, причому при ПВН = 1 забудова поряд з магістраллю відсутня. Потенційну екологічну безпеку ВК можна оцінити за такими індексами, як [7]:

- відношення середньої довжини забудов l до протяжності ділянки магістралі L : i_1
 $= l / L$;
- відношення середньозваженої висоти забудов h до їх максимальної висоти H : i_2
 $= h / H$;
- відношення ширини проїзної частини магістралі d до середньої ширини ВК D : i_3
 $= d / D$.

Характер МЗ (якщо це не багатопверхові будинки) моделюють також за допомогою коефіцієнта шорсткості поверхні z_0 , см (табл. 1). У випадку багатопверхової МЗ необхідно враховувати також "дворові колодці", де формуються локальні потоки із зонами підвищених швидкостей, а також застійні зони [1].

Таблиця 1

Залежність параметра шорсткості поверхні z_0 залежно від типу підстилаючої поверхні

Тип поверхні	z_0 , см
Пісок	0,01÷0,1
Сніговий покрив	0,1÷0,6
Скошена трава (~0,01 м)	0,1÷1
Низька трава	1÷4
Висока трава	4÷10
Карликові рослини	10÷30
Передмістя з середньою забудовою	20÷40
Міста з суцільною МЗ	80÷120
Центри великих міст	200÷300

Відомо, що зелені насадження значною мірою впливають на зміну характеристик вітрових потоків й особливості розподілу поллютантів у приземному шарі повітря, сприяючи очищенню атмосферного повітря і зменшенню тим самим токсичного впливу ВГ на здоров'я людей і довкілля (табл.2) [8]. Тому, враховуючи той факт, що об'єкти потенційно підвищеного екологічного навантаження з боку автомагістралі, як правило, розташовані на відстані не більше, а іноді навіть і менше, ніж 20–25 м від дорожнього полотна, то саме обачливо посаджені "зелені екрани" зможуть суттєво покращити екологічну ситуацію.

Таблиця 2

Вплив зелених насаджень на рівень загазованості міського повітря влітку

Тип посадки	Зниження рівня загазованості повітря, %
Однорядна смуга дерев	7–10
Дворядна смуга дерев	10–20
Дворядна смуга дерев з дворядною смугою кущів	30–40
Трирядна смуга дерев з дворядною смугою кущів	40–50
Чотирирядна смуга дерев з дворядною смугою кущів	50–60

Водні об'єкти не тільки впливають на кліматичні і метеорологічні умови міста, а й частково абсорбують шкідливі домішки, створюючи геохімічні бар'єри для їх подальшого розповсюдження. Всі ці особливості необхідно враховувати при розрахунках і моделюванні

обсягів і полів забруднень, визначенні концентрацій токсикантів, особливо на локальному рівні.

У місті можна виокремити декілька шарів повітряного простору, що характеризуються певними особливостями вітрового режиму. Наприклад, нижній шар повітря знаходиться на висоті від поверхні землі приблизно до дахів будівель. Швидкість вітру в цьому шарі, як правило, визначається характером і щільністю МЗ та може змінюватися і за величиною, і за напрямком. При цьому вітрові потоки на бокових поверхнях забудови та над дахами мають більшу швидкість, а перед будівлями створюються умови для формування застійних зон. За будинками зазвичай відбувається складний рух потоків, який залежить в основному від характеристик МЗ.

На відкритих ділянках, наприклад, на перетинах проспектів або на широких дорожніх розв'язках і міських площах, а також у "дворових колодязях" створюються додаткові вихрові потоки повітряних мас.

Другий шар повітряного середовища знаходиться на висоті від рівня дахів будівель і до висоти, де все ще спостерігається вплив МЗ, а третій шар розташований на висотах, де цей вплив майже не відчувається [1]. Об'єктом нашого дослідження є нижній шар повітряного середовища, який розподіляємо ще на чотири підрівні залежно від сили впливу автомагістралі на навколишнє середовище і організм людини. Отже, для моделювання й прогнозування стану приземного шару придорожного повітряного простору виокремимо такі 4 його підрівні:

- перший підрівень – розташований на висоті від поверхні землі до висоти 1 м і характеризує найбільший вплив ШР на здоров'я дітей приблизно до 10–12 років, водіїв автомобілів та мотоциклів, а також на велосипедистів;
- другий підрівень становить від ~1 до 2-х м, причому межі цього підрівня обумовлені зростом дорослих людей і дітей середнього віку (старше 12 років);
- третій шар становить від ~2-х метрів до 3,5–4-х метрів від поверхні землі та визначається просторовим розташуванням людей, що рухаються у міському транспорті (наприклад, трамваях, автобусах, тролейбусах і маршрутних таксі). Дослідження екологічного стану цього підрівня є особливо важливим у теплу пору року, коли вікна у транспортних засобах відкриті, причому, як правило, одночасно з обох боків;
- четвертий підрівень становить від ~4-х метрів від поверхні землі і до висоти дахів МЗ. Дослідження цього шару повітря є важливим з огляду на можливе проникнення поллютантів у житлові будинки, приміщення шкіл, університетів, офісів тощо, розташованих поблизу доріг та автомагістралей.

Таким чином, встановлено, що локальні величини атмосферних параметрів на висотах від поверхні землі і до дахів будинків великою мірою залежать від типу підстилаючої поверхні, характеристик міської забудови тощо. У зв'язку з цим у розрахунках забруднень повітряного середовища приймаємо, що на досліджуваних висотах (від 0 до 50–100 м від поверхні землі) всі характеристики атмосферного повітря і метеорологічні чинники залишатимуться незмінними для всіх виокремлених підрівнів атмосферного повітряного простору. Але це твердження не стосується температурної інверсії.

Висновки. Розроблені моделі дають змогу прогнозувати дисперсію забруднюючих речовин у придорожному просторі та за допомоги аналізу особливостей міської території визначати місця локального концентрування конкретних забруднювачів, що викидаються з відпрацьованими газами автомобілів, а також встановлювати та оцінювати екологічний стан ділянок потенційно підвищеного екологічного навантаження з боку автомагістралей. Це, у свою чергу, сприятиме прийняттю правильних управлінських рішень, особливо за несприятливих для дисперсії ШД умов.

Список використаної літератури:

- 1 Абрамовський Є. Р. Атмосфера великих міст / Є. Р. Абрамовський, В. І. Карплюк, М. М. Переметчик. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2011. – 350 с.
2. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / [М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев]. – К. : Наукова думка, 1997. – 367 с.
3. Паращук Е. М. Результаты моделирования распространения выбросов автотранспорта на ограниченной территории города / Паращук Е. М., Коваль В. Н., Прокопенко М. Н. // Экологические системы и приборы. – 2007. – № 3. – С. 56 – 59.
4. Бакуліч О. О. Потенційна екологічна небезпека вуличних каньйонів міста / Бакуліч О. О., Олійник Р. В., Самойленко Є. С. // Вісник Нац. транспортного ун-ту. – 2015. – Вип. 1 (31). – С. 18–26.
5. Балакин В. В. Регулирование аэрационного режима уличных каньонов приёмами планировки и застройки / Балакин В. В. // Весник МГСУ. – 2014. – Вип. 5 – С. 108–118.
6. Wang G. Modelling urban traffic air pollution dispersion / G. Wang, F. H. M. van den Bosch, M. Kuffer // SPRS 2008 : Proceedings of the XXI congress : Silk road for information from imagery : the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 3-11 July, Beijing, China. Comm. VIII, WG VIII/2. Beijing : ISPRS, 2008. – P. 153–158.
7. Ранжування структурних елементів вулично-дорожньої мережі за допомогою індексного методу / [Данчук В. Д., Олійник Р. В., Самойленко Є. С., Тарабан С. М.] // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2012. – Вип. 86. – С. 146–153.
8. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию строительства обходных и кольцевых автомобильных дорог и вводов в города. – М. : Союздорнии, 1980. – 44 с.

УДК 502/504

Броницький В.О. асист.

Ремез Н. С., д.т.н., професор

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АНАЛІЗ СТАНУ СФЕРИ ПОВОДЖЕННЯ З ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

Розглянуто проблему поводження з побутовими відходами в Україні. Оцінено поточний екологічний стан полігонів та звалищ. Проаналізовані стан сфери поводження з побутовими відходами полігонів за 2014-2018 р.р. Доведено необхідність оцінки екологічних показників та ризиків при повторному використанні закритих полігонів та введенні їх у статус «екологічно безпечних об'єктів».

The problem of household waste management in Ukraine is considered. The current ecological condition of landfills and dumps is assessed. The reports of the state of the sphere of household waste management of landfills for 2014-2018 are analyzed. Data from the Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine and the State Statistics Service of Ukraine were used for evaluation.

Вступ. Україна посідає перше місце у світі за кількістю побутового сміття на душу населення. 90 % від загальної кількості відходів, що утворилися, захоронюються на полігонах в Україні та з постійним збільшенням об'ємів відходів і як наслідок збільшення площ, що відводяться під полігони гостро постає питання про екологічну безпеку та стійкість полігонів для і їх повторного використання в подальшому.

Аналіз стану питання. За даними Міністерства розвитку громад та територій України та державною службою статистики України за 2018 рік (без урахування даних АР Крим та м. Севастополь) утворилось майже 54 млн. м³ побутових відходів, або понад 9 млн. тонн, які захоронюються на 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 9 тис. га [1].

Метою роботи є аналіз екологічний стану полігонів та звалищ, проаналізувавши звіти стану сфери поводження з побутовими відходами полігонів за 2014-2018 р.р. [2-5].

Результати досліджень. На 2018 рік загальна кількість полігонів та звалищ становить 6107 одиниць. На рис. 1 наведено розподіл об'єктів по областях держави. Згідно з даними Міністерства розвитку громад та територій України є 324 одиниці закритих, не діючих полігонів та звалищ. На рис. 2 наведена загальна кількість таких об'єктів по областях держави на 2018 рік. Згідно проведеного аналізу динаміки зростання кількості закритих полігонів (рис. 3) з кожним роком кількість таких екологічно небезпечних об'єктів буде тільки збільшуватися [1-6].

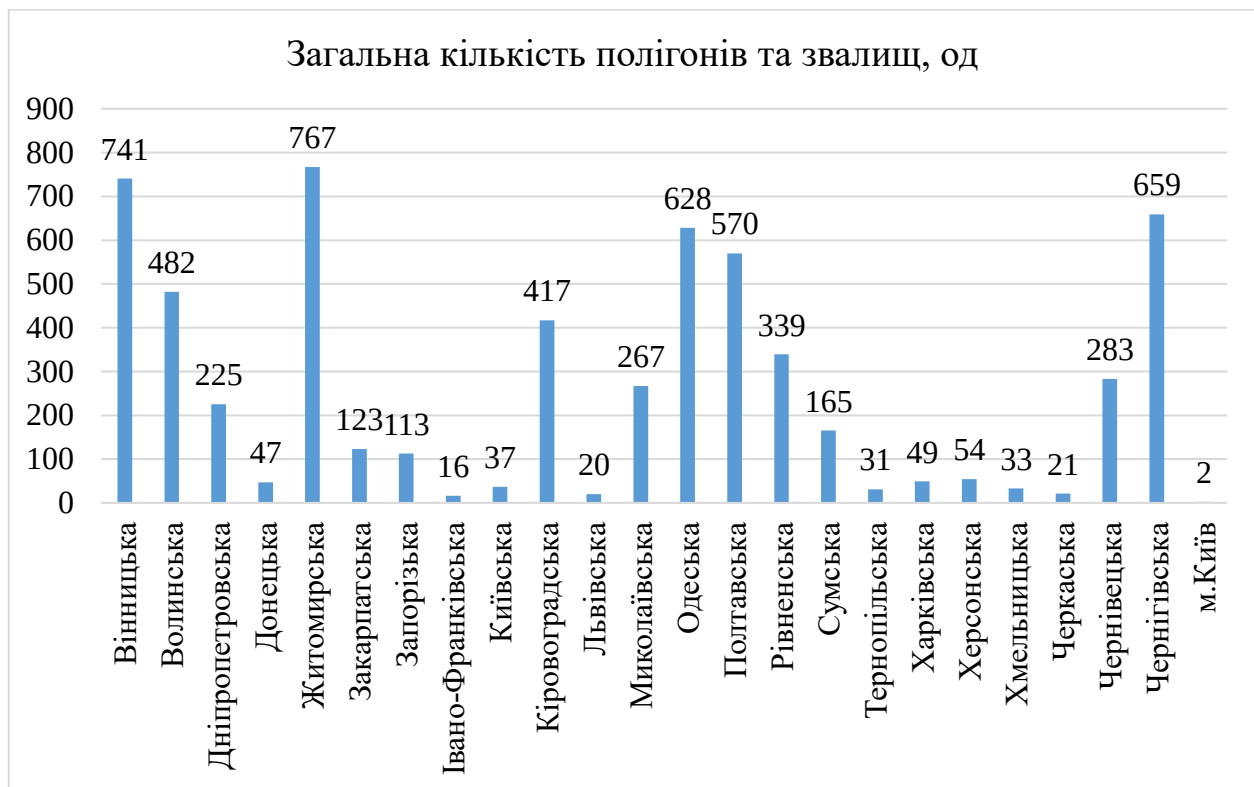


Рис. 1 Загальна кількість полігонів та звалищ



Рис. 2 Загальна кількість полігонів та звалищ



Рис. 3 Кількість закритих полігонів та звалищ, які не діють по рокам

У порівнянні з нормами ЄС (не більше 500 полігонів на країну) показник поточної кількості полігонів в Україні перевищує у 12 разів.

Кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 256 од., а 984 од. не відповідають нормам екологічної безпеки.

Неналежним чином проводиться робота з паспортизації та рекультивації сміттєзвалищ. З 1991 сміттєзвалищ, які потребують паспортизації, у 2018 році фактично паспортизовано 157 од. (потребує паспортизації 30 % сміттєзвалищ від їх загальної кількості).

Найбільша кількість полігонів, які потребують рекультивації, у Закарпатській області

–67 % від загальної кількості полігонів в області та у м. Києві.

Потреба у будівництві нових полігонів складає понад 421 одиниці. Найбільша потреба у будівництві нових полігонів у Дніпропетровській області – 55 одиниць, Закарпатській області – 44 одиниці.

Через неналежну системи поводження з твердими побутовими відходами в населених пунктах, як правило у приватному секторі, щорічно виявляється 26,6 тис. несанкціонованих звалищ, що займають площу 0,75 тис. га, з них ліквідовано у 2018 році 26 тис несанкціонованих звалищ площею 0,68 тис. га.

В результаті діяльності полігонів утворюється біогаз, в якому виділяються такі забруднюючі речовини як азоту діоксид, аміак, діоксид сірки, сірководень, вуглецю оксид, метан, завислі речовини (пил). Ґрунтовий покрив також є найважливішим компонентом природного середовища, що зазнає помітного антропогенного впливу в зоні захоронення відходів. Пріоритетні показники екологічного стану – ступінь засоленості останніх легкрозчинними солями, забрудненість важкими металами, наявність органічних забруднюючих речовин, реакція середовища [6].

Висновок. Згідно із державним вектором розвитку поводження з ТПВ - створенням нових полігонів, а саме, понад 421 одиниці, наразі постає загрозлива екологічна ситуація в Україні. Це пов'язано з тим, що на цих екологічно небезпечних об'єктах постійно потрібно контролювати стан атмосферного повітря в зоні знешкодження та захоронення відходів, за оцінкою вмістом водяної пари, метану, азоту повітря, діоксиду сірки, фтористого водню, температурою повітря і іншими показниками, а ґрунтовий покрив – присутністю у водних витяжках іонів SO_4^{2-} , Cl_2^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , наявністю важких металів: Ni, Pb, Zn, Cr, V, Kd, Zr та ін. [10].

Така ситуація ставить перед науковцями актуальну задачу щодо оцінки екологічних показників та ризиків при повторному використанні закритих полігонів та введенні їх у статус «екологічно безпечних об'єктів».

Список використаної літератури:

1. Статистичний збірник «Довкілля України за 2018 рік» / За ред. О. М. Прокопенко. Державна служба статистики України. К., 2019. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/11/Zb_dovk_2018.pdf
2. Звітність 1-ТПВ розділ 1 за 2019 рік. Веб-сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/03/TPV-1-2018.pdf>
3. Звітність 2-ТПВ розділ 2 за 2019 рік. Веб-сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/03/TPV-1-2018.pdf>
4. Звітність 3-ТПВ розділ 3 за 2019 рік. Веб-сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/03/TPV-1-2018.pdf>
5. Звітність 4-ТПВ розділ 4 за 2019 рік. Веб-сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/03/TPV-1-2018.pdf>
6. Управління та поводження з відходами. Частина 3. Полігони твердих побутових відходів: навчальний посібник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Іщенко В. А. Петрук Р.В. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 139 с.

УДК 502/504

Борисов О.О., аспірант

Кофанова О.В., д.пед.н., к.х.н., професор

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

РОЗПОДІЛ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЧІВ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ ПОВІТРЯ

Для урбанізованих територій встановлення закономірностей розповсюдження поллютантів відпрацьованих газів автотранспортних засобів є актуальним питанням, оскільки дає змогу оцінити й попередити негативний вплив від небезпечних об'єктів. Особливого значення воно набуває для міст з великою кількістю водних об'єктів, таких як м. Київ, оскільки потрапляючи до водного середовища забруднювачі можуть трансформуватися у ще більш небезпечні речовини.

Ключові слова: атмосферне повітря, водне середовище, забруднюючі речовини, викиди автотранспортних засобів, розповсюдження домішок у повітрі.

For urbanized territories, the determination of the laws of the propagation of pollutants of vehicles exhaust gases is a crucial issue, since it enables to assess and prevent the negative impact of dangerous objects. It is especially important for cities with a large amount of water objects, such as Kyiv, as pollutants can be transformed into even more dangerous substances when they enter the aquatic environment.

Key words: atmospheric air, aquatic environment, pollutants, vehicles emissions, propagation of impurities in the air.

Вступ. Для розв'язання містобудівних завдань часто потрібні дані щодо розподілу концентрацій шкідливих речовин (ШР) поблизу жвавих автомагістралей та впливу викидів відпрацьованих газів автомобілів на довкілля, людину, в тому числі й на водні об'єкти, розташовані на придорожніх територіях. Зрозуміло, що розподіл токсикантів великою мірою залежить від орографії місцевості, кліматичних та метеорологічних умов, синоптичної ситуації тощо.

Метою роботи є встановлення закономірностей розповсюдження забруднювачів відпрацьованих газів (ВГ) автотранспортних засобів (АТЗ) у придорожньому повітряному просторі та на прилеглих до автомагістралей територіях поблизу водних об'єктів та встановлення рівня негативного впливу на них з боку автотранспорту.

Результати дослідження та їх аналіз. У приземному шарі повітря поля розсіювання ШР формуються під впливом зовнішньої сили горизонтального градієнту тиску, сили Коріоліса і сили тертя, що залежить від шорсткості поверхні землі та турбулентної в'язкості, яка, в свою чергу, визначається гідростатичною стійкістю граничного шару атмосфери [1–3]. Отже, оцінювання та прогнозування рівня забруднення повітряного простору та на цій основі визначення екотоксикологічного ризику для здоров'я населення, що тривалий час перебуває на придорожніх територіях, є надзвичайно важливим завданням.

З точки зору атмосферних процесів, екологічну небезпеку можна схарактеризувати нестаціонарністю та неоднорідністю метеорологічних полів, що, як правило, сприяє підвищенню рівня забруднення атмосферного простору. До основних метеорологічних факторів, що впливають на рівень забруднення у приземному шарі атмосфери, належать [4]:

- турбулентне розсіювання хмари певного забруднювача чи забруднювачів – визначається термодинамічним станом атмосфери та характеризується вертикальним

градієнтом температури, вертикальним градієнтом швидкості вітру, висотою шару перемішування, а також температурними інверсіями;

- перенесення речовини у напрямку вектору середнього вітру – визначається умовами циркуляції повітряних потоків та характеризується швидкістю середнього вітру та напрямком переносу.

Крім того, на думку авторів, стійкість стратифікованого граничного шару атмосфери визначається саме співвідношенням між термічними і динамічними чинниками. Основним динамічним параметром підстилаючої поверхні є характеристика її шорсткості z_0 , см, від якої починають відраховувати логарифмічний профіль середнього вітру [5]. Фактично z_0 це висота, на якій швидкість вітру дорівнює нулю за логарифмічного характеру зміни профілю швидкості.

За наявності певних перешкод, тобто так званих "проникних" шарів, відбувається зниження швидкості вітру через опір потоку повітря. До такого напівпроникного середовища відноситься, наприклад, рослинність, техногенна забудова тощо. Дослідники відмічають, що у проникному середовищі достатньо розвинуті турбулентні потоки та можливі вторинні локальні максимуми швидкості вітру. Отже, профіль середнього вітру на таких ділянках, як правило, відрізняється від профілю середнього вітру у вільній атмосфері [6; 7]. Проте навіть за умови наявності випадковим чином розподілених у просторі перешкод стан приземного шару атмосфери моделюють за відомими законами гідромеханіки, вважаючи середовище неперервним і суцільним, а величини z_0 враховують за даними табл. 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнт шорсткості поверхні z_0 [8–10]

Тип поверхні	z_0 , см
Пісок	$0,01 \div 0,1$
Сніговий покрив	$0,1 \div 0,6$
Скошена трава (~1,0 см)	$0,1 \div 1$
Скошена трава (~3,0 см)	$\sim 0,7$
Скошена трава (~4,5 см) при $z_u = 6-8$ м/с	$\sim 1,7$
Висока трава (~60 см) при $1,5 \leq U \leq 6$ м/с	$3,7 \div 9,0$
Ліс листяний $10 \leq h \leq 15$ м	$100 \div 200$
Карликові рослини	$10 \div 30$
Передмістя з середньою забудовою	$20 \div 40$
Міста з суцільною МЗ	$80 \div 120$
Центри великих міст	$200 \div 300$

Отже, для розрахунку полів розсіювання забруднюючих речовин викидами автотранспортних засобів застосовують різноманітні моделі, наприклад моделі, що передбачають розв'язок рівнянь атмосферної дифузії, причому в багатьох країнах для розрахунків на невеликій відстані від джерела успішно використовують гауссову модель факельного наближення, що базуються на емпіричній функції відстані для дисперсій гауссових розподілів [11–13]. Це так зване напівемпіричне рівняння турбулентної дифузії, де передбачається, що при збереженні характеру термодинамічної стійкості атмосфери, а також сталих напрямку і швидкості вітру, розсіювання ШР у горизонтальному та вертикальному

напрямах відбувається незалежно одне від одного. При цьому врахування фізичних чинників, що впливають на перенесення, трансформацію і седиментацію домішки, здійснюється введенням відповідних коефіцієнтів [14–17]. Лінеаризована модель розсіювання домішки враховує її перенесення у напрямку руху повітряного потоку, молекулярну та турбулентну дифузію, конвекцію, просторово-часову неоднорідність параметрів розсіювання, а також взаємодію домішки з підстилаючою поверхнею і верхньою межею перемішування, сухе та вологе осадження, трансформацію домішок тощо [18]. Однак ця модель має розв'язок тільки за умов однорідності проекцій вектора швидкості по просторових координатах.

У загальному вигляді розв'язок рівняння турбулентної дифузії визначає закономірності розсіювання домішки у необмеженому просторі, коли коефіцієнти дифузії (турбулентності) $D_x(t)$, $D_y(t)$, $D_z(t)$ і швидкість стоку домішки $\lambda(t)$ є відомими функціями часу, а швидкість переміщення центру ваги хмари домішки у напрямку відповідних осей визначається складовими вектора вітру $u(t)$, $v(t)$ та $w(t)$. Для спрощення задачі, як правило, застосовують комплекс граничних умов, показаних у роботі [18].

Моделювання і встановлення особливостей розсіювання забруднювачів набуває особливого значення за умови знаходження біля джерела викиду (автомагістралі) водних об'єктів. Потрапляючи до водного середовища, деякі політанти здатні до трансформації, у тому числі й за участю живих організмів, у ще більш небезпечні сполуки, які отруюють живі істоти та погіршують екологічний стан рекреаційних і паркових зон. Для столиці України ця проблема є особливо актуальною, оскільки саме водні об'єкти в місті є місцями активного відпочинку дітей і дорослих (рис. 1).

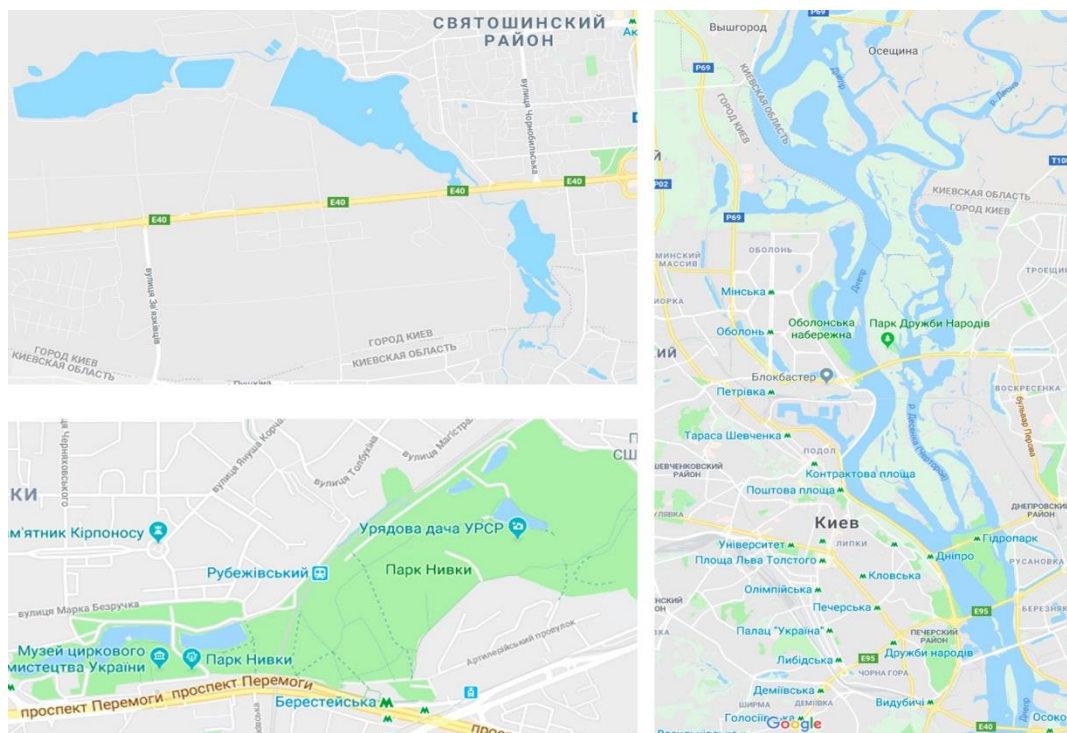
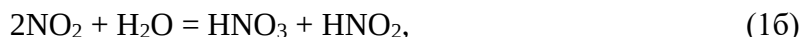
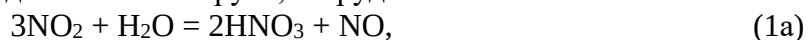


Рисунок 1 – Розташування водних об'єктів у м. Києві.

Нижче наведені рівняння реакцій перетворення оксидів Нітрогену та Сульфуру відповідно на нітратну (нітритну) й сульфатну (сульфітну) кислоти, які здатні сорбуватися на поверхні озер, річок тощо, особливо при небезпечних для них напрямках і швидкостях вітру, та змінювати рН середовища на сильно кисле. Аналогічні процеси можуть відбуватися і під час інтенсивних рідких опадів. І хоча при цьому міське повітря значно очищується, розчинені

токсиканти легко потрапляють у водні об'єкти та ґрунт, забруднюючи їх.



Таким чином, встановлено, що вулично-дорожня мережа м. Києва є потужною техногенною системою, що чинить значний вплив на всі компоненти довкілля, особливо на водні об'єкти та ґрунт і ґрунтові води. Під впливом забруднень на прилеглих до автодоріг територіях змінюються фізико-хімічні властивості ґрунтів, їх структура та екологічні показники. Утворюються та накопичуються небезпечні хімічні сполуки, відбувається їх міграція у ґрунтові та поверхневі води. У зв'язку з цим, дослідження кислотно-основного балансу, сольового забруднення, а також моделювання екологічного стану придорожного атмосферного повітря дає змогу оцінити й попередити негативний вплив з боку рухомого автотранспорту на зазначені об'єкти.

Список використаних джерел:

1. Степаненко С. Н. Масштабы приземного и пограничного слоя атмосферы / С. Н. Степаненко, В. Г. Волошин, В. Ю. Курышина // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – № 14. – С. 23–39.
2. Хргиан А. Х. Физика атмосферы / А. Х. Хргиан. – Л. : Гидрометеиздат, 1978. – 156 с.
3. Степаненко С. Н. Расчет скорости ветра в нижнем 300-метровом слое атмосферы по данным метеорологических наблюдений / С. Н. Степаненко, В. Г. Волошин, В. Ю. Курышина // Український гідрометеорологічний журнал. – 2016. – № 17. – С. 23–30.
4. Учет метеорологических факторов при расчетах многолетних полей концентраций загрязняющих веществ для оценки экологических рисков здоровью населения / [С. Н. Степаненко, В. Г. Волошин, В. Ю. Курышина, Н. Д. Головатюк] // Геофизический журнал. – 2012. – № 1, т. 34. – С. 105–114.
5. Степаненко С. Н. Профили скорости ветра в слое проникаемой шероховатости / С. Н. Степаненко, В. Г. Волошин // Український гідрометеорологічний журнал. – 2010. – № 6. – С. 24–34.
6. Cionco R. A wind-profile index for canopy flow / Cionco R. // Boundary-Layer Meteo. – 1972. – v. 3. – P. 255–263.
7. Shaw R. Wind movement within canopies // In Biometeorology in Integrated Pest Management / Shaw R.; ed. J. Hatfield. Academic Press. – 1982. – v. 5. – P. 17–41.
8. Дубов А. С. Турбулентность в растительном покрове / Дубов А. С., Быкова Л. П., Марунич С. В. – Л. : Гидрометеиздат, 1978. – 184 с.
9. Орленко Л. Р. Строение планетарного пограничного слоя / Орленко Л. Р. – Л. Гидрометеиздат, 1979. – 270 с.
10. Wieringa J. Estimation of mesoscale and local-scale roughness for atmospheric transport modeling / Wieringa J. // Air Pollut. model and Appl. 1. Proc. 11th Int. Techn. Meet. – Amsterdam, 1980. – P. 279–295.
11. AERMIC Formulation of the AERMIC MODEL (AERMOD) (Draft), Regulatory Docket AQM-95-01, AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee (AERMIC), , 1995.
12. Berkowicz R. The Danish Gaussian air pollution model (OLM): Description, test and sensitivity analysis, in view of regulatory applications / Berkowicz R., J. R. Olesen, and U. Torp //

Air Pollution Modeling and Its Application; [V. C. De Wispelaire, F. A. Schiermeier, and N. V. Gillani, Eds. Plenum], New York, 1986. – P. 453–481.

13. U.S. EPA, 1995b: User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models, v. II – description of model algorithms. – U.S. EPA, Research Triangle Park, N.C., 1995.

14. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / Берлянд М. Е. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 439 с.

15. Бызова Н. Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примесей / Бызова Н. Л., Гаргер Е. Г., Иванов В. Н. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 273 с.

16. Степаненко С. Н. Динамика турбулентно-циркуляционных и диффузионных процессов в нижнем слое атмосферы / Степаненко С. Н. – Одесса, 1998. – 280 с.

17. Степаненко С. Н. Роль моделирования загрязнения атмосферы при организации мониторинга качества атмосферного воздуха в районах с высокой антропогенной нагрузкой / С. Н.Степаненко, В. Г.Волошин // Сб. статей к 75-летию ОДЭКУ, 2008. – С. 14–23.

18. Степаненко С. Н. Решение уравнения турбулентной диффузии для стационарного точечного источника / С. Н.Степаненко, В. Г.Волошин, С. В. Типцов // Український гідрометеорологічний журнал. – 2008. – № 3. – С. 13–24.

УДК 672.1

Савченко А.Е., студент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУНУ ТА СТАЛІ

У статті розглядається проблема забруднення атмосферного повітря під час виробництва чавуну та сталі. Аналізуються можливі методи вирішення цієї проблеми в контексті найкращих доступних технологій.

Ключові слова: найкращі доступні технології, кокс, забруднення атмосфери, металургійні технології.

The article deals with the problem of atmospheric air pollution during the production of cast iron and steel. Possible ways of solving this problem in the context of the best available technologies are analyzed.

Key words: best available technologies, coke, atmospheric pollution, metallurgical technologies.

Вступ. Важливим кроком на шляху до сталого розвитку є формування у майбутнього покоління сучасного еколого-економічного мислення та озброєння новітніми світовими підходами та принципами для прийняття необхідних рішень задля ефективного розвитку підприємств та підвищення їхньої конкурентоспроможності [1]. При детальному розгляді терміну, «найкраща доступна технологія» (*Best Available Techniques* — ІРРСВАТЕУ) означає технологію, яка є найбільш ефективною при виробництві продукції з дотриманням вимог захисту довкілля.

Аналіз стану питання. Чавуноплавильні агрегати є одним з основних джерел забруднення атмосфери. В ливарному виробництві повітря забруднюється, головним чином, пилом, окисом вуглецю та сірчаним ангідридом [2]. Джерелами інтенсивного пилоутворення є обладнання: решітки, барабани, дробилки, сита. Встановлено, що ливарний цех з річною

програмою 100 тис. т литва, обладнаний пилоуловлювачами з ефективністю очистки 70-80 %, викидає в навколишній повітряний басейн до 1000 т пилу щорічно. При утворенні коксу побічним продуктом є коксовий газ, який потрібно попередньо очистити. Джерелом надходження пилу в навколишнє середовище є вентиляційні гази підбункерних приміщень доменних цехів [3].

Мета статті полягає у необхідності розробки нових технологічних процесів та електротехнологічного обладнання для їх плавки, позапічної обробки, розливання і кристалізації [4].

Виклад основного матеріалу. Пріоритетним напрямком у вирішенні цих проблем у промислово розвинених країнах світу є використання в металургійних технологіях засобів магнітної гідродинаміки. Накладення електромагнітних полів на затверджуючий метал дозволяє кардинально впливати на характер процесів кристалізації. Газорізальне обладнання: заміна застарілих газорізальних приладів ітербієво-волоконним лазерним обладнанням. Це дозволить скоротити додаткові витрати праці, пов'язані з підгонкою, на 30-35%, а також зменшити відходи та заощадити час. Встановлення нового обладнання дозволить скоротити викиди CO_2 приблизно на 70 т CO_2 /рік [5].

Для деяких коксових установок з різних причин доцільно відхилитися від звичайного використання коксового газу (КГ). Альтернативні можливості використання вимагають різних методів та етапів обробки попередньої обробки КГ. Розглянуті варіанти для утилізації COG зосереджені на відновленні водню, синтезі метанолу, виробництві пари для виробництва електричної енергії та використанню як відновного агента в експлуатації в доменній печі або безпосередньому скороченні. Ці альтернативні потенціали для когенерації газу підлягають загальній оцінці з урахуванням відповідної інфраструктури сталеливарного виробництва. Вигоди прямих та непрямих продуктів коксової печі залежать від конкретних вимог місцевих та експлуатаційних робіт. Для енергетичного використання коксового газу альтернативним варіантом класичного рекуперації тепла є скидання приблизно 800 °C гарячого сирого газу з коксової печі без охолодження і безпосереднє введення в систему згоряння або часткової окислення.

Концепція верхньої доменної печі для переробки газу (TGR-BF) базується на розділенні відхідних газів таким чином, щоб корисні компоненти можна було знову переробляти в печі та використовувати як відновлювач. Це дозволило б скоротити кількість коксу, необхідного в печі. Крім того, концепція введення кисню (O_2) у печі замість попередньо нагрітого повітря базується на видаленні небажаного азоту (N_2) з газу, що полегшує захоплення та зберігання двоокису вуглецю (CO_2). Щоб експериментально перевірити це поняття, поряд з експериментальною доменною піччю в дослідницькому інституті МЕФОС у Швеції було побудовано завод з відділення газу. На експериментальній доменній печі було встановлено обладнання для роботи з чистим киснем (O_2) і з повторною закиданням окису вуглецю (CO). Комбінація модифікованої доменної печі та газорозподільної установки була успішно випробувана в 2007 році. Навіть без CCS концепція TGR-BF веде до суттєвого зменшення викидів CO_2 , в основному пов'язаних зі зниженням споживання коксу (приблизно на 25% знижено на тонну з гарячого металу). Оскільки переробка вторинного газу знижує надлишок верхнього газу, який доступний для виробництва енергії, і, таким чином, ця кількість енергії повинна бути вироблена з інших джерел, загальна економія CO_2 менше 25%, але вона все ще знаходиться в діапазоні від 10% - 20% (в залежності від використовуваної суміші палива). На другому етапі захоплений CO_2 буде стиснутий і транспортуватися для зберігання в геологічних формаціях, таких як нафтові та газові родовища, немінучі вугільні пласта та глибокі солончаки (CO_2 -секвестрація), у мінеральних карбонатах або для використання в промислових процесах [6].

Впровадження модернізованої установки сухого гасіння коксу: сенс модернізованої установки в тому, щоб вловлювати, очищати і використовувати як паливо надлишкові гази, які утворюються в ході технологічного процесу [7].

Висновки. Таким, чином, застосування описаних підходів надасть можливість:

- підвищити ефективність виробництва в сучасних ринкових умовах в Україні;
- скоротити споживання енергоресурсів та використання сировини;
- знизити вплив на навколишнє природне середовище та ризики для здоров'я людини;
- покращити свій імідж серед споживачів;
- сприяти покращенню добробуту людей та сталому розвитку національної економіки.

Список використаної літератури:

ЄС. Найкращі доступні технології (НДТ) [Електронний ресурс] / ЄС – Режим доступу до ресурсу: <http://ecozahist.com.ua/tehnologiyi/>.

Деркач Ф. А. Хімія / Ф. А. Деркач., 1968.

Зворыкин А. А. История техники / А. А. Зворыкин., 1962. – 772 с.

Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / В. Попович, Е. Кондир, Плешаков., 2009. – 552 с.

Мовчан В. П., Бережний М. М. Основи металургії. — Дніпропетровськ: Пороги, 2001. — 336 с.

Remu R. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production [Електронний ресурс] / Rainer Remu. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf.

Чернега Д. Ф. Основи металургійного виробництва металів і сплавів / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський., 2006. – 503 с. – (ISBN 966-642-310-3).

УДК 628:33

A.O. Dychko, Dr.Sci, Eng., prof.

A.M. Scherbak, st.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

PARAMETERS OF BIOCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT PROCESS

Визначені основні параметри процесу біотрансформації полутантів стічних вод і фактори, що впливають на якість очищення стоків у біореакторі: концентрації субстрату, швидкість росту і кількість утвореної біомаси, навантаження на активний мул, окисну здатність споруд, потребу у нітрогені та фосфорі.

The developed methodology of determining oxidation capacity of bioreactor includes counting of substrate concentration, amount of biomass formed, loading on active sludge, rate of biomass increase, oxidation capacity of treatment plants, demand for nitrogen and phosphorus and amount of oxygen required.

Introduction. The ecological safety insurance is impossible without sufficient management of quality of wastewater treatment. Biotransformation of organic pollutants, present in wastewater, is effective method for its treatment, but the main agent of the process – active sludge – is a biological system, which is very sensual for any changes of concentration and values of chemical matters in wastewater, and also for external parameters.

The use of mathematical models describing the process of biochemical treatment considerably facilitates and improves operation of treatment plants. This is because they enable to select the optimum conditions of the functioning of microorganisms in facilities, assess the behavior of treatment plants in response to a certain scenario of the development (characteristics of wastewater fed for treatment, active sludge, loading on the treatment plants, etc.), predict possible consequences after certain changes during the treatment process, increase the efficiency of the removal of pollutants, reduce the consumption of energy, chemical reagents and funds for servicing treatment plants, etc.

When the introduction of biological wastewater treatment technologies only started in our country, it was necessary, first of all, to ensure the efficient removal of organic and suspended matters from effluents.

The purpose of the research is to choose the parameters for new mathematical models describing the process of biochemical treatment of municipal wastewater. This was caused, on the one part, by the necessity for optimization of operation of treatment plants and, on the other part, by the necessity for their reconstruction by means of the development of the nitrification/denitrification and biological phosphorus removal technologies in Ukraine.

Biochemical waste water treatment modeling. For facilitating the description of the processes taking place in bioreactors, one can also use the model on the basis of the Monod-Iyerusalymsky model with the help of which the oxidation capacity of the bioreactor can be determined depending on the parameters of wastewaters such as temperature, pH , total nitrogen, oxygen concentration in the bioreactor, concentrations of NH_4^+ and PO_4^{3-} (as one of the most significant pollutants in wastewater, that influence on the process of biochemical treatment).

As a result of the analysis of experimental data obtained and existing research methods, the method of carrying out analysis with and without the time factor allowed to investigate the correlation dependences between the efficiency of wastewater biochemical treatment and values of the relevant indicators of wastewaters: temperature, pH , chemical oxygen demand (COD) value at the inlet in the bioreactor, concentration of oxygen, nitrogen and phosphorus in the bioreactor. As a result of the dynamical analysis of experimental data obtained, it was determined that the concentrations of phosphorus and nitrogen had a considerable impact on the biomass increase in the bioreactor. The statistical analysis showed that in the starting period there was a shortage of organic substrate (which resulted in the insufficient concentration of active sludge). The analysis of correlation dependencies shows that the second by value is the factor of temperature.

To increase the effectiveness of pollutants removal authors propose the use of methods of biochemical process intensification: increase fermentation temperature, two- and several stages fermentation, in which the second and subsequent stages are used for the separation of excess water and reduction the volume of the fermented substrate, increase the concentration of biomass of microorganisms in bioreactors, and technologies of prior mechanical, chemical and thermal processing of biomass. The last methods allow not only to increase effectiveness of treatment process, but also to decrease biomass amount and energy need for bioreactors.

Kinetics of oxidation of organic pollutants of wastewaters estimated by BOD, as well as oxidation of specific ingredients and oxidation of ammonium nitrogen (nitrification) are considered by many authors similarly to kinetics of the enzymic analysis and described by the Michaelis-Menten equation. The complex structure of organic matters in the wastewater in this case is approximated by a simple source of carbon nutrition.

In order to describe more complex enzyme reactions a great number of relevant modifications of this equation was developed which reflect the mechanisms of the interaction of the enzyme, substrate, inhibitors and other components of the reaction.

The use equations of enzymatic reactions and the Michaelis-Menten equation is convenient in processing of experimental data for the purpose of determining the kinetic constants in order to assess and compare the biological oxidation capacity and calculate the processes of treatment of different organic matters and types of wastewaters.

The selected model of biochemical wastewater treatment meets the above requirements. The model adapted for the bioreactor contains 4 constants and 4 parameters versus 8 ones in the models developed by IAWPRC. At the same time the detection of these constants is carried out in the model not by means of additional laboratory experiments, but through the use of operational data of the object. All processes in the model are described on the basis of manageable parameters.

The developed methodology of determining oxidation capacity of bioreactor depending on effect of main parameters of the biochemical process and calculation of required content of nitrogen, phosphorus and oxygen includes counting of substrate concentration, amount of biomass formed, loading on active sludge, rate of biomass increase, oxidation capacity of treatment plants, demand for nitrogen and phosphorus and amount of oxygen required.

Conclusions. As a result of the analysis of scientific and technical literature and patents a conclusion was drawn on the necessity to use the mathematical model for determining the efficiency of treatment of wastewaters in the membrane bioreactor. The model recommended for the use to calculate the oxidation capacity is a hybrid model created on the basis of the Monod-Iyerusalymsky model, Mozer equation of pressure selection and active sludge model ASM3. The selected model will make it possible to avoid the changes unforeseen by the project in activity of active sludge and correspondingly in the efficiency of purification of wastewater from organic pollutants. The model includes the parameters which can be controlled, requires no additional experiments, describes with a reasonable degree of accuracy the oxidation capacity of treatment plants from which a conclusion can be drawn that the model meets the requirements set forth in scientific and technical literature.

УДК 622.241

Л. І. Євтеєва, к.т.н., асистент

Н. С. Малахова, студент

НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ОПЦІЇ ЩОДО СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У АТМОСФЕРУ В НАСЛІДОК ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА/БІОРІДИН

Зроблено аналіз визначення доцільності та можливості впровадження опцій, а також їх потенційного впливу на суб'єктів економічної діяльності, був проведений аналіз можливості досягнення ними критеріїв щодо скорочення викидів парникових газів у атмосферу у порівнянні з викопним паливом для традиційних видів біопалив та біорідин.

Ключові слова: біопаливо, біорідина, ДСТУ по біопаливу, парникові гази, скорочення викидів парникових газів, викопне паливо забруднення атмосфери.

ОПЦИИ ПО СОКРАЩЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА/БИОЖИДКОСТЕЙ

Сделан анализ определения целесообразности и возможности внедрения опции, а также их потенциального воздействия на субъектов экономической деятельности, был проведен анализ возможности достижения ими критериев по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу по сравнению с ископаемым топливом для традиционных видов биотоплива и биожидкостей.

Ключевые слова: биотопливо, биожидкостей, ДСТУ по биотопливу, парниковые газы, сокращение выбросов парниковых газов, ископаемое топливо загрязнения атмосферы.

OPTIONS TO REDUCE EMISSIONS OF GREENHOUSE GASES IN THE ATMOSPHERE AS A RESULT OF PRODUCTION AND USE OF BIOFUEL / BIODIVERSITY

An analysis was made of the feasibility and feasibility of options implementation, as well as its potential impact on economic entities, an analysis was made of the possibility of achieving criteria for reducing greenhouse gas emissions in the atmosphere compared to fossil fuels for traditional biofuels and biofluids.

Ключові слова: biofuel, biofluids, DSTU for biofuels, greenhouse gases, reduction of greenhouse gas emissions, fossil fuels, atmospheric pollution.

Вступ. При вирощуванні, транспортуванні, виготовленні та використанні біопалива та біопаливних рідин, спостерігається великий викид парникових газів, на сьогоднішній момент жоден виробник традиційного виду біопалива та біорідин при застосовуванні технологій виробництва та практик вирощування енергетичних культур не зможе витримати критерію щодо скорочення викидів парникових газів (ПГ) у атмосферу у порівнянні з викопним паливом. Більше того, виробництво окремих видів біопалива та біорідин буде навіть призводити до збільшення викидів парникових газів [1].

Аналіз стану питання. Аналіз результатів досліджень вказує на те що біопаливо/біорідини з крохмалевих культур мають незначний потенціал до скорочення викидів у порівнянні з викопним паливом за дотримання сьогоднішнього рівня виробництва та переробки, а також умов порівняння. Біопалива та біорідини з олійневих культур взагалі призведуть до збільшення викидів парникових газів у атмосферу і для ринку біопалива це є одним з ключових викликів. Найкращою є ситуація для біопалива та біорідин, що виробляються з відходів, проте це має іншу проблему – технологічну складову.

Загалом, ситуація, що назріває є критичною і вимагає продуманих та швидких дій з боку Уряду України, що насамперед має бути направлено на те, аби вже сьогодні на державному рівні були сформовані чіткі та прозорі умови як в Україні буде адмініструватись ринок біопалива/біорідин і у виробництво яких видів біопалива/біорідин в Україні можна інвестувати та за яких умов можливе дотримання критеріїв стабільності. На жаль на сьогодні, навіть експерти на ринку не можуть сказати з впевненістю щодо того куди слід інвестувати кошти на ринку біопалива для гарантованого дотримання критеріїв стабільності. Невизначеність щодо цього означає підвищені ризики для інвесторів і в нинішніх умовах означає неможливість здійснення інвестування.

Тому нижче розглядається кожна окрема опція, яка дозволить суб'єктам економічної діяльності України зменшити викиди парникових газів у атмосферу при виробництві та використанні біопалива і, таким чином, наблизитись до виконання критеріїв стабільності та вимог ДСТУ або їх повністю дотриматись

Метою роботи є розглядання можливих опцій щодо скорочення викидів парникових газів на всіх стадіях вирощування, транспортування, виготовлення, та споживання біопалива та біопаливних рідин.

Методики, матеріали і результати досліджень. Були досліджені можливі шляхи (опції), таблиця 1, досягнення встановленого рівня скорочень викидів для виробництва біопалива та біопаливних культур, враховуючи існуючі технологічні рішення щодо покращення процесу виробництва. Також було розглянуто варіанти зменшення тиску на історично встановлені землі природних луків та лісових масивів внаслідок розширення площ для вирощування енергетичних культур, що попереджує викиди від змін у землекористуванні.

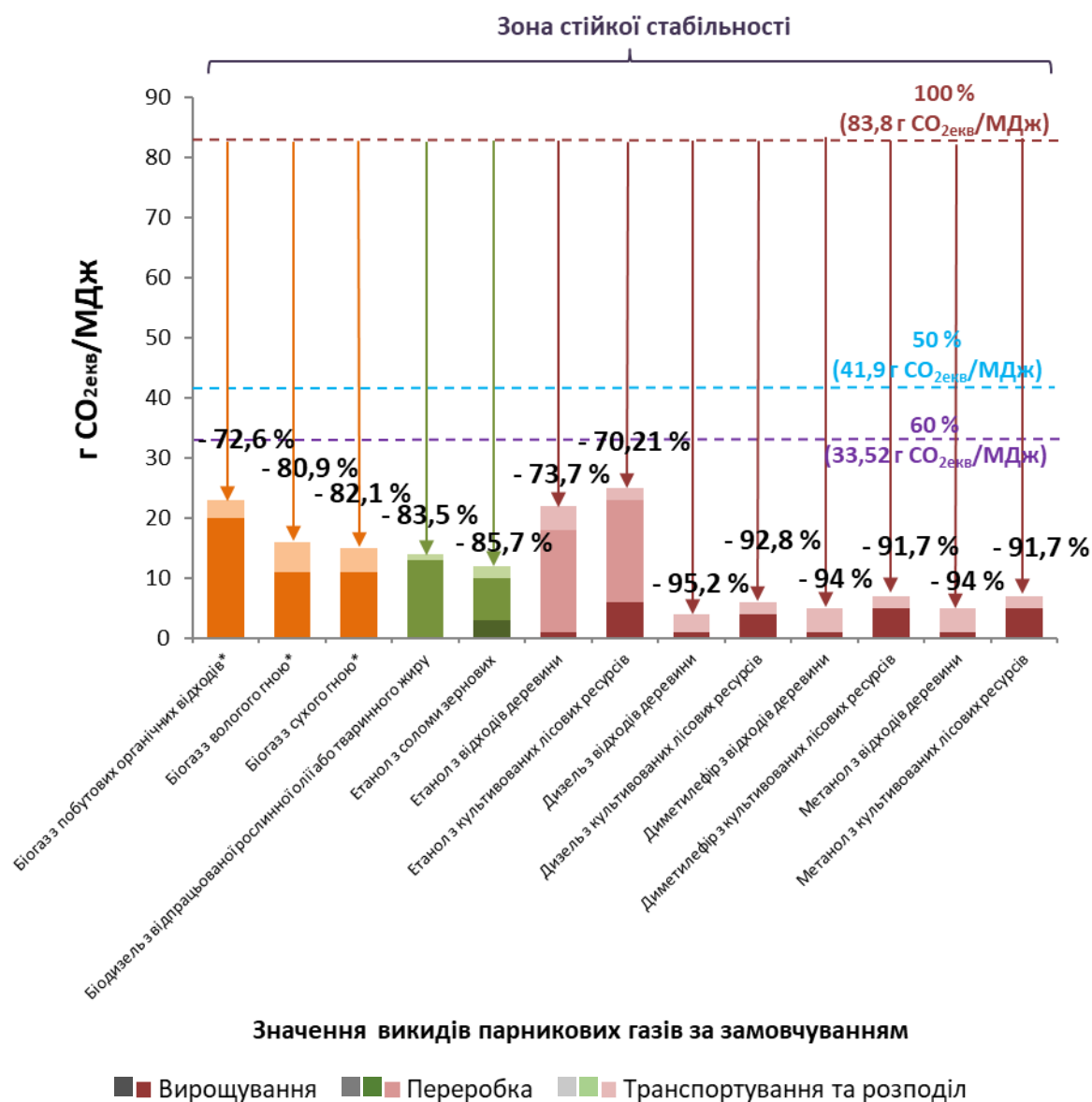
Таблиця 1 – Можливі опції для досягнення скорочення викидів парникових газів

№	Назва
Опція 1	Використання відходів та залишків у якості сировини для виробництва біопалива та біорідин
Опція 2	Змішування біопалива
Опція 3	Поступове підвищення урожайності вирощування українських культур

Ці опції можуть бути рекомендовані суб'єктам економічної діяльності на всіх етапах виробництва біопалива та біорідин, а також на етапах проектування, прийняття рішень та прогнозування. Очікується, що ці документи набудуть офіційних рекомендацій з боку відповідального державного органу.

1-ша опція: Використання відходів та залишків у якості сировини для виробництва біопалива та біорідин

Ця опція є найкращою, оскільки гарантовано забезпечує дотримання критеріїв стабільності з низькими викидами парникових газів у атмосферу (рисунок 1). Проблема полягає в тому, що на ринку поки що обмаль комерційно виправданих технологічних та логістичних рішень для використання відходів та залишків для виробництва біопалива та біорідин [2].



* Біогаз, що використовується як природний стиснений газ

Рисунок 1. – Потенційне скорочення парникових газів для виробництва біопалива та біорідин з відходів за замовчуванням для основних видів сировини в Україні

Окрім цього, Україна не має значних лісових масивів і це також з логістичної точки зору обмежує можливості для використання відходів деревини для виробництва біопалива та біорідин, залишаючи лише можливість у якості сировини використовувати інші, менш придатні для виробництва біопалива, відходи – такі як солома тощо. Окрім цього, відходи деревини та лісництва є дуже конкурентними на інших ринках і це обмежує їх потенційне використання на ринку біопалива. Аналіз можливостей з технологічної точки зору використання притаманних для України відходів та залишків виробництва потребує окремого детального дослідження.

Виробництво біопалива та біорідин з органічних відходів та гною має свої складнощі та може задовольнити лише локальні ринки, не претендуючи на широкомасштабне

виробництво у національному масштабі. Тому для України найбільш перспективними видами відходів залишається солома та рослинні відходи, які можуть бути рекомендовані для крупномасштабного виробництва біопалива та біорідин.

Висновки та рекомендації:

1. Україні слід орієнтуватись на виробництво біопалива та біорідин другого та третього поколінь, оскільки вони гарантовано забезпечать дотримання критеріїв стабільності та скорочення викидів парникових газів у атмосферу навіть до рівня 60%.
2. Для залучення інвестицій у цей сектор Україна потребуватиме різноманітних стимулів та державної підтримки.
3. Україна має обмежені лісові ресурси, а тому практично не може розраховувати на промислове використання відходів лісництва та деревини, оскільки вони, окрім цього конкурують на ринку опалення, і логістично ускладнюють своє потрапляння на ринок біопалива/біорідин.
4. Перспективи України з виробництва біопалива наступних поколінь насамперед пов'язані з використання рослинної олії, соломи, а також органічних відходів фермерських господарств чи домогосподарств. Проте ці можливості суттєво обмежені доступними на сьогодні технологіями на ринку та їх комерційною спроможністю. Окрім цього, для України притаманна низька культура збору відходів, що збільшує ризики для цього сектору.
5. Використання відходів та залишків для виробництва біопалива вимагає додаткових досліджень з точки зору маркетингу ринку та технологій, що можуть бути запропоновані в близькій перспективі.
6. Виробництво біопалива з відходів відкриває також ширші можливості для виробництва традиційного біопалива. Зокрема мова йде про змішування різних видів біопалива з відходів з традиційним біопаливом.

2-га опція: Змішування біопалива

Як видно з Рисунків вище традиційні види біопалива мають вищі рівні викидів парникових газів у порівнянні з біопаливом, що вироблене з відходів та залишків. Для прикладу, біоетанол з соломи забезпечує скорочення викидів на рівні 85,7 відсотків від компаратору викопного палива на рівні 83,8 г $\text{CO}_{2\text{екв}}/\text{МДж}$. Водночас, біоетанол з кукурудзи по замовчуванню з урахуванням непрямого землекористування забезпечує 34,4 відсотка скорочень викидів. Змішуючи ці види біопалива у різній пропорції можливо досягати скорочення викидів навіть на рівні 60% в порівнянні з викопним паливом і, таким чином, дотриматись критеріїв стабільності [3].

Ця опція, як і попередня, вимагає детальнішого технічного дослідження на предмет можливості такого змішування з урахуванням дотримання також стандартів щодо якості палива не завдаючи при цьому шкоди автомобілям.

Висновки та рекомендації:

1. Змішування біопалива з відходів з традиційним біопаливом є інструментом досягнення жорстких вимог щодо скорочення викидів парникових газів у атмосферу.
2. Доцільно замовити дослідження українському спеціалізованому інституту на предмет вивчення можливостей технічного забезпечення такої опції, у тому числі розробки спеціального стандарту щодо якості змішаного палива.
3. Також ця опція вимагає пошуку прийнятних інструментів підтримки зацікавленим інвесторам та суб'єктам економічної діяльності.

3-тя опція: Поступове підвищення урожайності вирощування українських культур

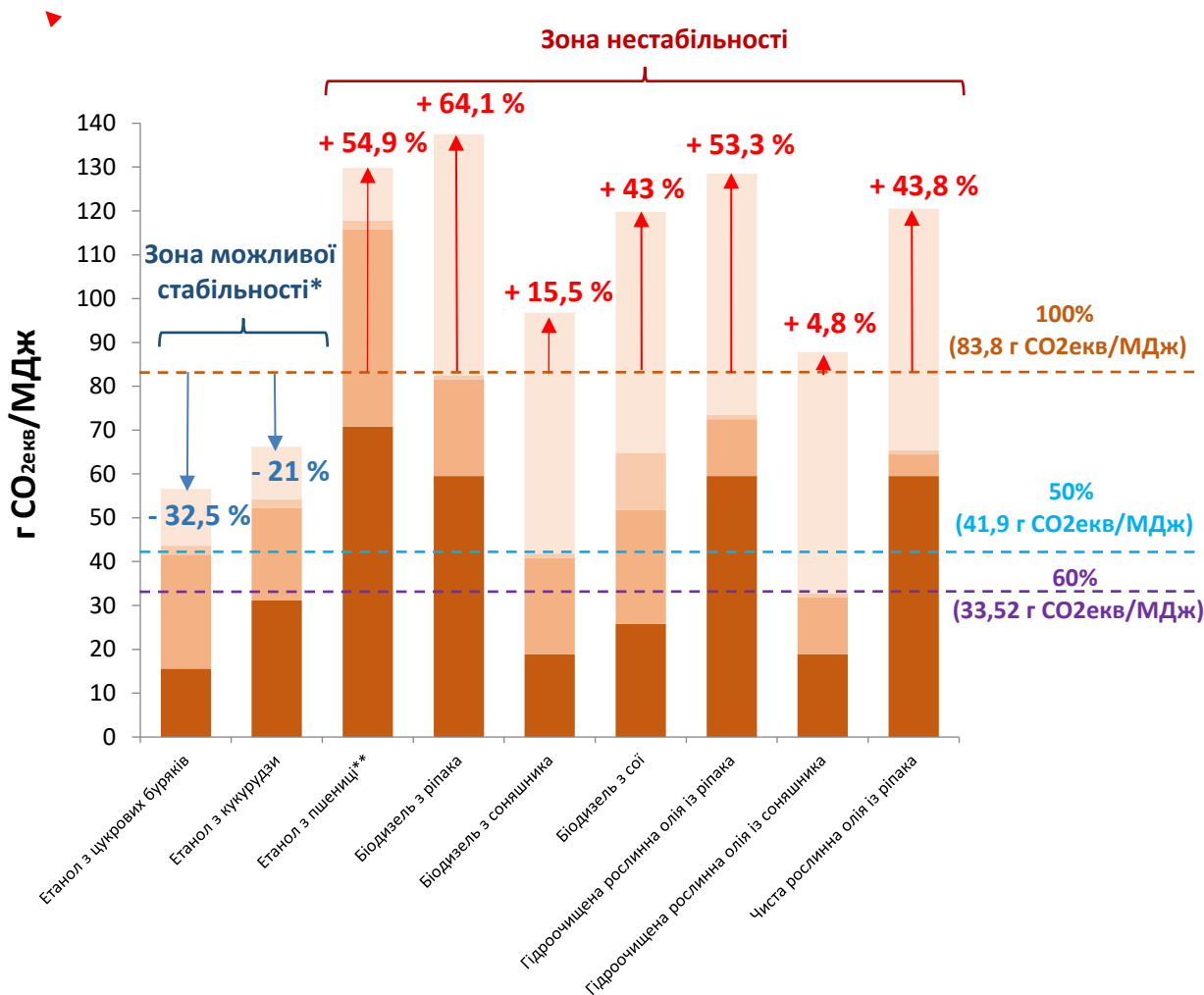
Директива 2009/28/ЄС надає значення за замовчуванням для вирощування енергетичних культур, які характерні для країн ЄС. Проте ситуація щодо викидів ПГ значно погіршується, з врахуванням фактичної урожайності енергетичних культур в Україні, як це можна побачити на Рисунку 3, де зображені викиди ПГ від виробництва біопалива/біорідини з енергетичних культур (окрім біосировини, що отримана з пальмової олії та цукрової тростини, оскільки ці культури не вирощуються в Україні).

Як видно з Рисунку 2 нижче лише два види традиційного біопалива теоретично можуть забезпечити скорочення викидів парникових газів у атмосферу – це виробництво біоетанолу з кукурудзи та цукрового буряку. Решта ж видів біопалива, у разі їх виробництва та використання, призводитиме до збільшення викидів парникових газів у атмосферу. Така різниця відмінності обумовлена тим, що фактор непрямого землекористування є в приблизно в 4 рази вищим для олійних культур, аніж для крохмалевих культур. Проте і для олійних культур в Україні характерна нижча урожайність у порівнянні з європейськими показниками, що також погіршує для України позиції щодо дотримання критерію стабільності зі скорочення викидів парникових газів у атмосферу.

Низька урожайність українських культур є однією з головних причин екстенсивного використання українських земель, що часто веде до порушення критеріїв стабільності у вигляді втручання в навколишнє природне середовище, надмірного осушення та збіднення земель, використання паркових та лісових зон, торф'яників тощо, практичної неможливості досягти запланованих скорочень викидів, якщо сировина використовується для виробництва біопалива та біорідин.

Підвищення урожайності при вирощуванні енергетичних культур в Україні є не тільки важливим завданням аграрної політики, але і елементом енергетичної безпеки та боротьби зі зміною клімату.

Викиди CO₂ в результаті вирощування сировини в Україні для більшості аграрних підприємств є вищими, аніж дані по замовчуванню, що використовуються в Додатку V Директиви 2009/28/ЄС, як зазначалось раніше.



Значення викидів парникових газів за замовчуванням

- Вирощування***
- Переробка
- Транспортування та розподіл
- Непряма зміна землекористування

* Вимагає використання певних інструментів підтримки

** Технологічне паливо при переробці не зазначене (в залежності від використаного палива змінюється значення викидів парникових газів для переробки)

*** З врахуванням українських значень врожайності енергетичних культур

Рисунок 2. Потенційне скорочення парникових газів для біопалива та біорідин за замовчуванням з урахуванням непрямих земельних аспектів та українських значень урожайності для основних видів енергетичних культур в Україні

Лише передові аграрні підприємства мають можливість дотриматись критеріїв стабільності за рівних однакових умов (внесення однакової кількості добрив, пестицидів тощо). Проте для більшості українських фермерських господарств підвищення урожайності є не тільки завданням, що потребує правильного формування політики та впливає на конкурентоздатність, але і можливість вийти на нові ринки, у тому числі ринки біопалива. Проте вирішення цього завдання потребуватиме часу, який може затягнутися на десятки років

(в залежності від того, коли в Україні з'явиться повноцінний ринок землі, відбудеться укрупнення підприємств, буде забезпечене доступне фінансування, підвищиться культура аграрного виробництва тощо) [4].

Слід враховувати, що частина цих підприємств буде зорієнтована на експортні ринки, а тому не зможуть брати участь у вітчизняному ринку біопалива. Слід детальніше оцінити потенційні торговельні потоки енергетичними культурами для біопалива для того, аби можна було спрогнозувати потенційні наявні в Україні обсяги сировини для переробки, оскільки відсутність такої інформації може відлякувати інвесторів від участі на ринку біопалива України.

Висновки та рекомендації:

1. У середньостроковій та короткостроковій перспективі лише передові аграрні підприємства України мають шанси бути кваліфікованими згідно критерію стабільності щодо скорочення викидів парникових газів для виробництва біопалива.
2. Низька урожайність українських культур створює основний ризик для формування ринку біопалива в Україні.
3. Конкуренція з експортними позиціями може обмежити сировинну пропозицію для біопалива в Україні до дефіцитних показників, що може зашкодити залученню інвестицій. Для пом'якшення цього ризику необхідна всестороння аналітика та надання інформацію щодо поточного та перспективного стану справ.
4. Поступове підвищення урожайності українських культур є не тільки питанням покращення конкурентоспроможності аграрного сектору України, але і елементом покращення енергобезпеки країни, а тому вимагає проведення адекватної державної політики та підтримки.

Список використаної літератури

1. Директива 2009/28/ЄС європейського парламенту та ради «про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел та якою вносяться зміни до, а в подальшому скасовуються Директиви 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС» від 23 квітня 2009 року // L 140/60 УА Офіційний вісник Європейського Союзу 5.6.2009
2. АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ [Електронний ресурс] / Гелетуха Г.Г., Железна Т.А, Трибой О.В, Баштовий А.І. // Аналітична записка БАУ №17. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-17-ua.pdf>.
3. Вплив законодавчих змін на виконання Україною зобов'язань щодо використання ВДЕ на транспорті [Електронний ресурс] / Кобець М.І // Семінар-тренінг проекту ЮНІДО/ГЕФ «Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлювальної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах (МСП) України». – 5. – Режим доступу до ресурсу: http://www.reee.org.ua/download/trainings/presentations/Training_050816_Kobets_UNIDO.pdf.
4. Аналітичний звіт та рекомендації щодо вирощування енергетичних культур в Україні [Електронний ресурс] // Проект «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні». – 2012. – Режим доступу до ресурсу: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/58/b4/58b45b61-d09d-43bf-bcb7-47e0235d39e0/otchet_po_verbe.pdf.

УДК 622.241

Н.І. Жукова, к.т.н., ст. викладач

Б.В. Захарченко, студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ З ДОДАВАННЯМ МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ

Розроблені склади керамічних мас для виробництва керамічної цегли на основі бентонітової глини із застосуванням в якості обезвожування і інтенсифікатора спікання відходів виробництва мінеральної вати.

Ключові слова: цегла, глина, виробництво, кераміка, мінеральна вата, родовище, сировина, будівництво, ресурсозбереження, бентоніт.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА С ДОБАВЛЕНИЕМ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Разработаны составы керамических масс для производства керамического кирпича на основе бентонитовой глины с применением в качестве обезвоживания и интенсификатора спекания отходов производства минеральной ваты.

Ключевые слова: кирпич, глина, производство, керамика, минеральная вата, месторождение, сырье, строительство, ресурсосбережения, бентонит.

RESOURCE SAVING TECHNOLOGY OF CERAMIC STEEL PRODUCTION WITH ADDITION OF MINERAL WATER

Developed warehouses of ceramic masses for the production of ceramic bricks on the basis of bentonite clay with the use of dewatering and intensifying the sintering of wastes produced by mineral wool.

Key words: brick, clay, production, ceramics, mineral wool, deposit, raw materials, construction, resource saving, bentonite.

Вступ. Літературні джерела показали, що чітко простежується тенденція використання відходів виробництв в технології керамічних матеріалів. Багато вчених для виробництва керамічної цегли пропонують застосовувати в складах традиційних природних матеріалів в якості основного компонента золи ТЕС, відходи металургії і гірничо-збагачувальних фабрик, які вивчалися як обезвожуючі і вигоряючі добавки. Найбільш перспективним вважається використання великотонажних промислових відходів.

Аналіз стану питання дозволив висунути наступну робочу гіпотезу: для отримання керамічної цегли з поліпшеними фізико-механічними характеристиками і низькою собівартістю необхідно максимально використовувати відходи виробництва мінеральної вати.

Метою роботи є: розробка теоретичних і практичних основ технології високоефективної цегли з бентонітової глини із застосуванням відходів мінераловатного виробництва, які забезпечують утилізацію техногенної сировини і підвищення фізико-механічних показників керамічної цегли.

Методики, матеріали і результати досліджень

Оптимізація складів керамічних мас для виробництва цегли за фізико-механічними показниками із застосуванням «Королька»

При виробництві мінеральної вати з базальтової шихти утворюються відходи під назвою «корольок» (на деяких підприємствах цей відхід називають – мінеральна вата з «корольком») [1].

Для виявлення впливу вмісту «Королька» на фізико-механічні показники керамічної цегли були досліджені склади, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Склади керамічних мас

Компоненти	Вміст компонентів, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Бентонітова глина	100	85	80	75	70	65	60	55
«Корольок»	0	20	25	30	35	40	45	50

Склади керамічних матеріалів готувалися пластичним способом при вологості шихти 20-25%. Сформовані зразки, висушені до залишкової вологості не більше 7-8%, обпікалися при температурі 1050 ° С. «Корольок» має підвищений вміст оксиду кальцію ($\text{CaO} = 23,6\%$). CaO , незважаючи на високу температуру плавлення, є сильним плавнем внаслідок утворення з Al_2O_3 і SiO_2 порівняно легкоплавких з'єднань, але при температурі вище 1000°C [2]. При дослідженні залежності між вмістом «Королька» і основними механічними характеристиками (морозостійкість і механічна міцність) цегли використовується досить поширений метод лінійної регресії.

Визначальним фактором якості цегли є єдиний показник – відсотковий вміст «Королька» керамічної маси. Експеримент складався з 8 дослідів. У першому досліді незалежна змінна X приймала мінімальне значення, рівне 0%. В кожному наступному досліді вміст «Королька» збільшували, а в останньому досліді X прийняла максимальне значення, рівне 50% (таблиця 1). Залежність морозостійкості і механічної міцності керамічної цегли від вмісту «Королька» представлена в таблиці 2.

Таблиця 2 - Залежність морозостійкості і механічної міцності керамічної цегли від вмісту «Королька»

Компоненти	Вміст компонентів, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вміст «королька»	0	20	25	30	35	40	45	50
Морозостійкість, цикли (Y_1)	67	85	91	103	105	108	98	82
Механічна міцність на стиск, МПа (Y_2)	17,3	19,3	20,9	22,7	23,8	24,8	21,4	18,9

Висновок: в результаті проведених досліджень було встановлено, що морозостійкість і механічна міцність керамічної цегли не лінійно залежать від вмісту в складі керамічної маси «Королька», обидві залежності мають якісно подібний характер. Експериментальні дані досить добре описуються поліномом другого ступеня. Для опису залежностей морозостійкості і механічної міцності на стиск використовувалася модель $Y(X) = \frac{a+cX+eX^2}{1+bX+dX^2}$ знайдена в результаті додаткового дослідження, дуже добре описує експеримент і має досить простий вигляд.

Список використаної літератури

1. Абдрахімов В. З. Екологічні, теоретичні та технологічні принципи використання фосфорного шлаку і золашлакового матеріалу у виробництві високомарочного цегли / В. З. 1. Абдрахімов. – Самара: ТОВ «Центр перспективного розвитку», 2009. – 156 с.
2. Фізична і колоїдна хімія самарських легкоплавких глин різного хіміко-мінералогічного складу / [В. З. Абдрахімов, Е. С. Абдрахімова, І. В. Ковков та ін.]. – Самара: ТОВ «Центр перспективного розвитку», 2007. – 134 с.

УДК 622.278

Жукова Н.І., к.т.н., ст. викладач

Яворський В.Є., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ ВУГІЛЛЯ НА ПРОЦЕС ШАРОВОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ БУРОГО ВУГІЛЛЯ ІЗ ЗВОРОТНІМ ДУТТЯМ

Виробництво синтез газу постійно удосконалюється оскільки росте потреба у вуглеводневій сировині. Для удосконалення виробництва синтез газу досліджується вплив вологості вугілля як одного з основних його параметрів.

Ключові слова: газифікація, вугілля, вологість вугілля, параметри вугілля, шарова газифікація, буре вугілля, газифікація із зворотнім дуттям.

Производство синтез-газа постоянно совершенствуется, поскольку растет потребность в углеводородном сырье. Для усовершенствования его производства исследуется влияние влажности угля как одного из основных его параметров.

Ключевые слова: газификация, уголь, влажность угля, параметры угля, шаровая газификация, бурый уголь, газификация с обратным дутьем.

Production of synthesis-gas is constantly improved as the demand for hydrocarbon raw materials is growing. To improve its production, we explore the influence of humidity as a one of the most important coal quality.

Key words: gasification, coal, humidity of coal, parameters of coal, layer gasification, brown coal, gasification with back blasting.

Вступ. Для дослідження впливу вологості вугілля на показники процесу газифікації розглядалися дві партії вугілля. Одна партія вихідного вугілля протягом декількох годин витримувалась при температурі 378 К (далі - підсушене вугілля) [1], над іншою партією ніяких дій не проводилось (далі - рядове вугілля). Елементний та технічний аналіз вихідного вугілля представлений в таблиці 1.

Таблиця 1 - Елементний та технічний аналіз вихідного вугілля

W^r	A^d	V^{daf}	C^{daf}	O^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	S_t^d	Q_i^r
%								МДж/кг
27,0	5,5	47,0	73,0	20,9	4,9	0,9	0,2	18,2

Газифікація двох партій вугілля проводилася в експериментальному стенді з кварцовим реактором. Експерименти проводилися в зменшеному реакторі з шахтою з кварцового скла (рис.1). Основні технологічні параметри процесу шарової газифікації вугілля із зворотнім дуттям при використанні підсушеного (вологість приблизно 10%) та рядового (вологість приблизно 27%) вугілля наведені в таблиці 2.

З таблиці 2 видно, що видалення вологи з вугілля призводить до збільшення швидкості процесу газифікації та виходу горючого газу при однаковій витраті повітря для дуття.

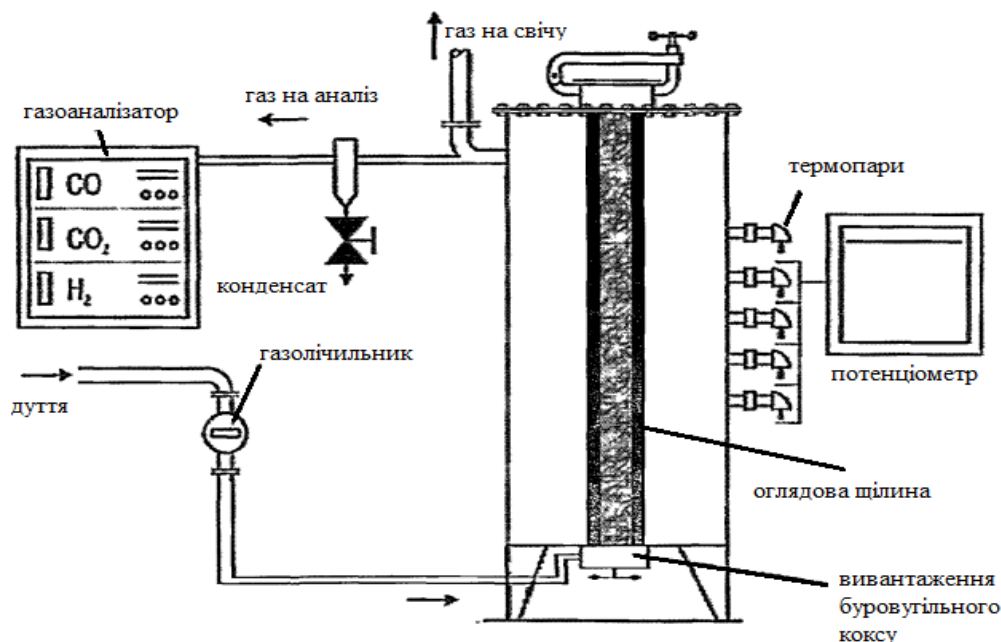


Рисунок 1 - Схема експериментального стенду з кварцовим реактором для дослідження тепло-технологічного процесу шарової газифікації вугілля із зворотнім дуттям

Вимірний приріст концентрації CO у вологому продуктовому газі становить всього 0,2 об. % (табл. 2), що укладається в погрішність вимірів і разом із супутнім зменшенням вмісту водню в отриманому газі на 2,4 об. %, що не призводить до підвищення питомої теплоти згорання газу. Збільшення швидкості процесу газифікації в разі використання підсушеного вугілля порівняно невелика (22 %), а питомий вихід горючого газу, $\text{нм}^3/\text{кг}$ вугілля, збільшується в 1,7 рази [2].

Таблиця 2 - Основні показники тепло-технологічного процесу шарової газифікації вугілля із зворотнім дуттям в залежності від вологості вугілля при однаковій витраті повітря.

Параметр	Рядове вугілля	Підсушене вугілля
Питома витрата дуття, $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{с})$	0,118(0,110)	
Максимальна температура, К	1266	1252
Швидкість втрати маси, $\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$	0,046	0,056
Швидкість теплової хвилі, $\text{см}/\text{год}$	29,4	48,3
Питомий вихід вологого газу на поперечний переріз апарату, $\text{нм}^3/(\text{м}^2\text{с})$	0,166	0,183
Питомий вихід вологого газу, $\text{нм}^3/\text{кг}$ вугілля	1,80	3,10
Вихід твердого залишку газифікації, $\text{кг}/\text{кг}$ вугілля	0,14	0,44
Склад вологого газу, об. %		
H_2	14,4	11,9
CO	10,5	10,7
CO_2	12,3	8,4
CH_4	0	0
H_2O	8,9	20,2
N_2	53,9	48,8
Питома теплота згорання вологого газу, $\text{МДж}/\text{нм}^3$	2,87	2,63

У розглянутому режимі роботи газифікатора на підсушеному вугіллі виробляється значна кількість середньотемпературного коксу. Виконано порівняння показників процесу газифікації підсушеного вугілля з показниками при використанні рядового вугілля в режимі виробництва коксу тієї ж зольності [3]. Результати порівняння показників процесу газифікації наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Основні показники процесу виробництва середньотемпературного коксу при використанні рядового та підсушеного вугілля.

Параметр	Рядове вугілля	Підсушене вугілля
Питома витрата дуття, $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{с})$	0,031(0,029)	0,118(0,110)
Максимальна температура, $^{\circ}\text{C}$	680	979
Швидкість втрати маси, $\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$	0,020	0,056
Швидкість теплової хвилі, $\text{см}/\text{год}$	18,6	48,3
Питомий вихід вологого газу на поперечний переріз апарату, $\text{нм}^3/(\text{м}^2\text{с})$	0,053	0,183
Питомий вихід вологого газу, $\text{нм}^3/\text{кг}$ вугілля	1,77	1,80
Вихід твердого залишку газифікації, $\text{кг}/\text{кг}$ вугілля	0,33	0,44
Склад вологого газу, об. %		
H_2	14,2	11,9
CO	3,0	10,7
CO_2	15,1	8,4
CH_4	0,8	0
H_2O	22,2	20,2
N_2	44,7	48,8
Питома теплота згоряння вологого газу, $\text{МДж}/\text{нм}^3$	2,19	2,63

Таким чином, використання підсушеного вугілля в процесі шарової газифікації із зворотнім дуттям призводить до:

- збільшення швидкості процесу газифікації до 22 %;
- збільшення питомого виходу горючого газу в 1,7 рази;
- збільшення виходу коксу в 1,3 рази;
- підвищення питомої теплоти згоряння пального газу на 20 %.

Література:

1. Михалев, И.О. Влияние влажности сырья на показатели процесса слоевой газификации угля с обращенным дутьем / И.О. Михалев // VI Всерос. теплофизический семинар вузов по теплофизике и энергетике: тез. доп. - Красноярск, 2009. - С. 73.
2. Донский И. Г. Математическое моделирование процесса слоевой газификации твердых топлив с использованием вторичного дутья / И. Г. Донский. // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. – 2015. – С. 46.
3. Саїк П. Розвиток та впровадження технології підземної газифікації вугілля / П. Саїк, В. Лозинський // Школа підземної розробки / П. Саїк, В. Лозинський. – Бердянськ, 2016. – С. 63-64.

УДК 67.08

Сокур В.Г., студент,

Роїк І.В., асистент кафедри інженерної екології,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Кожного року населення планети утворює більше 2 млрд. т твердих побутових відходів (ТПВ), якщо суспільство утворюватиме ТПВ такими ж темпами, як найбагатші міста країн з високим рівнем доходу, то до 2025 року щорічно утворюватиметься 7 млрд. т відходів [1].

Постійне зростання кількості твердих побутових відходів підвищує актуальність вирішення задач їх промислової переробки. Саме промислова переробка вирішує питання знешкодження, ліквідації та утилізації відходів та представляє собою кардинальний шлях вирішення зазначеної проблеми.

Відповідно до даних Держкомстату України, в 2016 році в Україні було утворено близько 11623,1 тис. тонн відходів різних класів небезпечності [2].

Типовий морфологічний склад міських ТПВ наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Типовий склад твердих міських побутових відходів.

Енергія з відходів може бути безпосередньо отримана шляхом перетворення відходів у біогаз, синтез газу або тепло. Технологічний спосіб перетворення енергії з відходів включає три основні методи (рис.2).

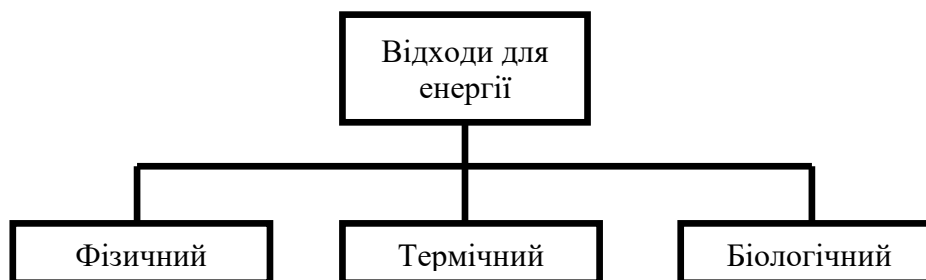


Рисунок 2 – Методи переробки відходів для отримання енергії

Фізичний метод. Фізична переробка – це механічний процес, завдяки якому отримують більш привабливу, з довгим терміном зберігання і зручну для використання форму, яку в подальшому можна використовувати у вигляді палива. Прикладами механічної переробки відходів є гранули, деревні стружки та деревні брикети.

Термічний метод. У цьому процесі відходи обробляються таким чином, щоб генерувати тепло, яке використовується в різних процесах (рис. 3).

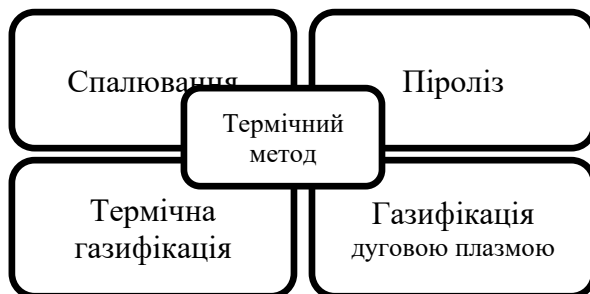


Рисунок 3 – Термічна обробка відходів

Біологічний метод. Біологічний метод – це технологія, яка використовує мікроби для виробництва палива з відходів. У цьому способі відходи обробляються мікроорганізмами, що здатні розщеплювати матеріал за відсутності кисню.

Цей метод включає два етапи – бродіння та утворення біогазу. Цей процес використовується для поводження з промисловими і побутовими відходами для одержання палива з цих відходів. Метод ферментації використовується в галузях виробництва продуктів харчування та напоїв. Під ферментацією слід розуміти процес метаболізму, у ході якого відбувається перетворення цукру на кислоти, гази та алкоголь у присутності дріжджів та бактерій. У процесі бродіння твердих побутових відходів діють дріжджі та бактерії за відсутності кисню, вони утворюють етанол, кислоти та сліди газів, що є потужним паливом. Цей біогаз може використовуватися безпосередньо як паливо в комбінованих теплових та енергетичних газорозподільних двигунах. При утворенні біогазу виникає анаеробне травлення, в якому мікроорганізм розщеплює біодеградуєчий матеріал за відсутності кисню. Анаеробне травлення широко використовується як джерело відновлюваної енергії. У ході цього процесу утворюється газ, що містить, в основному, метан та діоксид вуглецю, що надалі може бути використаний для прямого спалювання в котлах [3].

В даний час інтенсивно розвиваються два основних напрямки енергетичної утилізації твердих побутових відходів – спалювання і захоронення з отриманням біогазу. Спалювання відходів потребує дорогих систем очистки, тому більш широко поширене в усьому світі полігонне захоронення твердих побутових відходів. Зокрема, в Україні захороненню на полігонах підпадає 94% усіх ТПВ. Основна перевага технології поховання – простота, порівняно малі капітальні та експлуатаційні витрати, відносна безпека.

З нових термічних процесів необхідно відзначити піролізні процеси. Термічна переробка, на відміну від інших методів, дозволяє найбільш повно знешкодити відходи, перетворити їх у сухий нешкідливий залишок (шлак чи пил); значно скоротити масу (у 3-6 разів) і об'єм (у 10-15 разів) залишку в порівнянні з вихідним матеріалом, використовувати відходи як джерело матеріальних ресурсів і енергії. Наразі, лише у двох містах України, Києві і Дніпрі, таким способом утилізується частина відходів [4].

Поводження з відходами в Україні регламентується низкою законодавчих та нормативних документів. Законодавство України про відходи складається із законів “Про відходи”, “Про охорону навколишнього природного середовища”, “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення”, “Про поведження з радіоактивними відходами”, “Про металобрухт”, Кодексу України «Про надра» та інших нормативно-правових актів [5]. Закон “Про охорону навколишнього природного середовища” містить загальні положення щодо охорони навколишнього середовища від забруднення відходами (стаття 55). Відповідно до Закону на діяльність з розміщення відходів необхідний дозвіл, повторному використанню та утилізації надається пріоритет над розміщенням та передбачається розміщення відходів, яке забезпечує безпеку для здоров’я людини та навколишнього середовища. Закон “Про відходи” (№ 187/98) вперше прийнятий у 1998 р., після чого у 2002 р. до нього було внесено поправки, якими, зокрема, було зроблено наголос на положеннях щодо поведження з небезпечними відходами.

Програма поведження з ТПВ була затверджена урядом у 2004 р. Її метою є створення умов, що сприятимуть забезпеченню повного збирання, перевезення, утилізації, знешкодження та захоронення побутових відходів і обмеження їх шкідливого впливу на навколишнє природне середовище та здоров’я людини. Для досягнення цієї мети передбачено вирішення таких основних завдань:

- зменшення обсягів захоронення ТПВ, впроваджуючи нові сучасні вискоєфективні методи їхнього збирання, перевезення, зберігання, переробки, утилізації та знешкодження;
- розроблення та впровадження нового обладнання у сфері поведження з побутовими відходами;
- реформування систему санітарного очищення;
- забезпечення організації контролю за діючими та закритими полігонами ТПВ для запобігання шкідливому впливу на довкілля та здоров’я людини, рекультивацію земельних ділянок після закриття полігонів.
- створення умов для ефективного використання ТПВ як енергоресурсу та дослідно-промислового впровадження комплексної переробки і утилізації їхніх ресурсоцінних компонентів [6].

Таким чином, розроблення ідей та впровадження нових технологічних рішень у сфері поведження з ТПВ в Україні є актуальним та перспективним завданням, що потребує реалізації. Одним із важливих елементів інтеграції України до Європейського Союзу є приведення у відповідність законодавства України до стандартів ЄС, не лише на папері, але й на практиці.

Література:

1. «Краці з доступних технологій для житлово-комунального господарства України». Керівництво з відбору технологій/Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 134 с.: іл.
2. Утворення та поведження з відходами у 2016 році [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://kiev.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=3153&lang=1> (дата звернення: 20.12.2017р).
3. Municipal solid waste to energy conversion methodology as physical, thermal, and biological methods [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://bosajournals.com/csp/images/pdf/files/22CSP.pdf> (дата звернення: 20.12.2017р).
4. Ходарев О.В. Переробка твердих побутових відходів як фактор економічного розвитку в Україні [Електронний ресурс]/ Ходарев О.В.// Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка" включено до переліку наукових фахових видань України з питань

економіки (Наказ Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 № 1528) – режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1353> (дата звернення: 20.12.2017р).

5. Закон України „Про відходи” № 187/98-ВР від 05.03.1998.

6. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 р. № 265. Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами // Урядовий кур’єр від 24.03.2004. – № 55.

UDC: 502/504

Faraon M.V., student

Bronytskyi V.O., Ass.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, IEE

Department of Engineering Ecology

PRAT "ROSAVA" WITH MODIFICATION OF WASTEWATER CLEANING SYSTEM

The paper analyzes the impact of sewage waters of the Belotserkivskiy District Heating Plant "Rosava" on the Ros River and its state. The method of sewage treatment with the installation of a filter system, with the help of which it is possible to reduce the harmful effect, is considered.

У роботі проводиться аналіз впливу стічних вод Білоцерківського ППат “Росава” у річку Рось та її стану. Розглянуто метод очистки стічних вод з установкою фільтрувальної системи, за допомогою якої можливо зменшити шкідливий вплив.

Introduction. In the modern world there is a large number of global problems, and one of the most important is the ecological state of the Earth. It is influenced by both natural and anthropogenic factors. One can say that recently human activity and its consequences on the biosphere have increased significantly. Humanity can hardly influence the natural pollution factors, but we can reduce our impact and help restore ecologically clean environments.

One can, for example, consider the impact of one plant and how to clean its discharges for re-use, in order to reduce its impact on the environment.

Analysis of the question. Let's look at the company for the production and sale of tire products of PJSC "ROSAVA", located in the city of Bila Tserkva. It is well shown here that the tire industry is capable of harming the environment, since in the process of manufacture a large number of substances can be used, which, when exposed to the surrounding ecosystem, only have negative consequences. Tire manufacturing is a multi-operational process that consists of the manufacture, processing and preparation of rubber mixtures (containing rubber, fillers, vulcanizing agents, modifiers, etc.), the manufacture of camcorders, vulcanization of tire covers, cameras, diaphragms.

It is precisely the fact that many processes occur in the manufacture of products, which is the most dangerous for the environment, because in such specific and mixed methods, the atmosphere and the hydrosphere can be contaminated equally, but take a different effect. Therefore, it is very important to prevent pollution of air and water objects. After all, cleanliness of the environment is an indicator of health and good development of both plant and animal worlds.

The purpose of this work is to analyze the pollution of the river Ros with sewage and reduce

their impact through treatment systems.

Methodology and research materials. The greatest impact of emissions and discharges manifests itself in the adjacent areas, but it can be an impetus for environmental change in more remote areas. So, when disposing of harmful substances into a water object, for example a river, they can spread for tens of kilometers. So let's consider the discharges from the plant and handling them. The largest amount of water in the plant is used during the production of the material for tires and during their testing. It is also known that the company is engaged in chemical products, research and development in the field of natural and technical sciences. This part also consumes a large amount of liquid.

Enterprises have a limited amount of substances that can be discharged into water, it is determined by the MAD (maximum allowable discharges). If the amount of these substances exceeds the norm, then there is a negative impact on the environment. According to the Rosava, it can be noted that there is an excess of waste in sewage at about 15%. In tabl. 1 shows the indicators of substances that are overtime in the enterprise and their concentration limits.

Table 1 - Allowable concentrates (AC) pollutants in sewage.

Acceptable concentrations (AC) of pollutants in sewage Indicators normalized to the MAD	
Suspended matter	221.4 mg/cubic decimeter
Nitrite	0.7 mg/cubic decimeter
Petroleum products	10 mg/cubic decimeter
Ether-soluble (fats, oils)	20 mg/cubic decimeter

For sewage treatment at enterprises, many methods are often used, from simple defenses, to the installation of special equipment such as industrial filters. It is best for the environment to combine these techniques and not to throw water into bids or rivers, and reuse them. In this way, the plant remains a win, because it is not necessary to spend money on the permission to use water and the delivery of clean liquid to the process, and the environment is less harmful, because there is less change in its condition and in quantity.

The most effective way to clean sewage extraction method. Used when concentrations of organic substances in wastewater exceed 2 g / l. When feeding the extractant, it dissolves organic compounds contained in sewage. After the dissolution of organic compounds, their concentration in the extractant significantly exceeds the concentration in the waste water. The extractant is further isolated from the sewage, regenerated, removed from the organic compounds and used again for purification.

The extractant used for sewage treatment has the following requirements: it must dissolve the organic matter that is removed and not dissolve in water; the density of the extractant should be greater than the density of water for their relatively simple separation. In addition, it is desirable that the regeneration of the solvent is carried out by readily accessible methods without losses of the extractant. When purifying sewage as extragens used chloroform, diisopropyl and dibutyl ethers, butyl acetate, benzene, toluene, and others.

The technology of sewage treatment consists of the following successive stages: mixing of sewage with extractant, maximum possible extraction of the extractant after dissolution of organic compounds, removal of the extractant and its regeneration.

In order to mix the extractant with water in industrial conditions, a method of countercurrent extraction is used in which the extractant and water move towards each other. In doing so, sewage, as a lighter phase, move from the bottom up, and the extractor - from top to bottom. The extractor is distributed over the volume of the extraction column (Fig. 1) using nozzles, plates or mechanical

stirring.

For extraction it is possible to use columns with perforated mesh nozzles, columns with mobile mesh nozzles, centrifugal extractors and extractors of mixing-separating type.

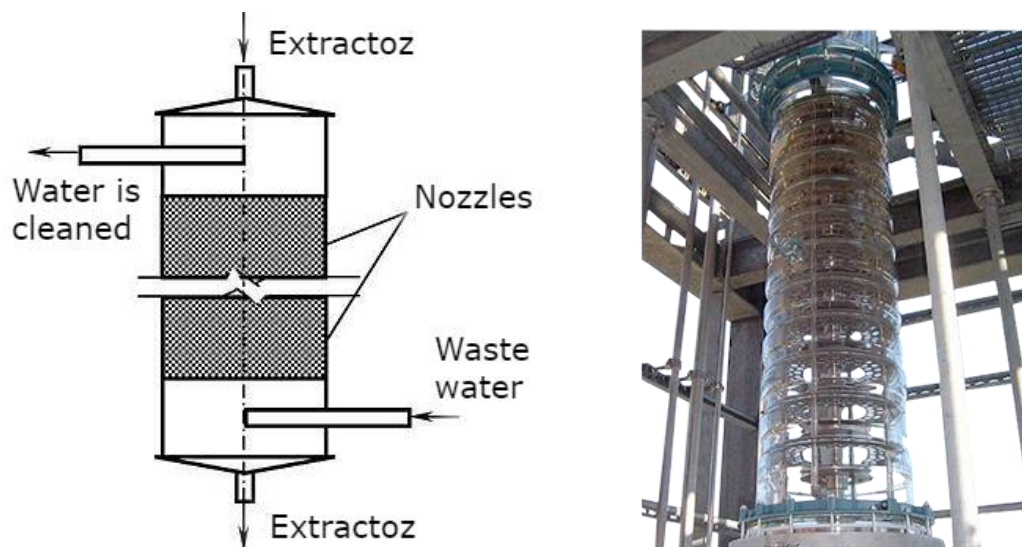


Figure 1 - The operating principle of the BÜCHIGLASUSTER DN400liquid

Conclusions. The level of pollution of water facilities on the adjoining territories of the enterprise in the residential areas of Bila Tserkva as a result of the operation of the ROSAT "ROSAVA" will decrease on the basis of calculations and factual data.

It would be advisable to use purified water again. This will result in less contamination of the Ros River, which in turn is profitable for the enterprise, because when using a large amount of natural water and discharging them after processing, the company has to pay fines, but with clearing and reuse of water it is not required. For the environment, this is a smaller discharges to stop the collection of large quantities, they can positively affect the entire ecosystem.

УДК 628.2

Роїк І.В., асистент

Литвиненко А.В., студент

Назарова В.С., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського

СТАНЦІЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД КОМПЛЕКСУ КПІ 1906 РОКУ. ІСТОРИЧНИЙ АСПЕКТ

У статті вперше надається огляд про локальне очищення стічних вод комплексу Київського політехнічного інституту в інженерному та історичному аспекті. Наведено викопіювання з плану міста Києва з зображенням місця розташування біологічної станції на теренах ферм та асенізаційних полів КПІ. Представлено креслення доволі сучасних на той час очисних споруд: камер загнивання та біофільтрів. Надано результати аналізу якості очищення стічних вод за спостереженнями Ф.Ф. Кіркора.

Ключові слова: каналізація, біологічне очищення стічних вод, біофільтри, камери загнивання, коксовий фільтр, асенізаційні поля, комплекс Київського політехнічного інституту.

В статье впервые предоставляется обзор о локальной очистке сточных вод комплекса Киевского политехнического института в инженерном и историческом аспекте. Приведены копии из плана города Киева с изображением местоположения биологической станции на территории ферм и ассенизационных полей КПИ. Представлены чертежи довольно современных на то время очистных сооружений: камер загнивания и биофильтров. Представлены результаты анализа качества очистки сточных вод по наблюдениям Ф.Ф. Киркора.

This article first provides an overview of the local sewage treatment complex Kiev Polytechnic Institute in engineering and historical perspective. Shows the copy of the plan of Kyiv depicting the location of the biological station on the territory of farms and fields dung KPI. Presented drawings of rather modern at that time treatment facilities: decay chambers and biofilters. The results of analysis as sewage from observations F. Kirkor

Централізована каналізаційна система міста Київ розпочала свою роботу 21 грудня 1894 року, але її робота на перших етапах розвитку не охоплювала все місто. Комплекс Київського політехнічного інституту був підключеним до централізованого водогону, але з централізованою системою каналізування сполучення не мав. Тому в 1906 році на території комплексу Київського політехнічного інституту було побудовано локальні очисні споруди, які забезпечували біологічне очищення води [1].

Найдетальнішим та найповнішим описом біологічної станції очищення стічних вод комплексу КПІ є опис магістра фармації Ф.Ф. Кіркора, який проводив дослідження якості очищення стічних вод.

Очисні споруди були розраховані для очищення стічних вод для КПІ, в якому станом на 1906-1907 рр навчалися 2000 студентів, а також для очищення стічних вод хімічних лабораторій КПІ [2].

Дана біологічна станція очищення стічних вод представляла собою три камери для попереднього відстоювання і загнивання стічних вод, біологічного та коксового фільтру.

Камери відстоювання та гниття були закопаними в землю таким чином, щоб їх стеля знаходилася на глибині 1 метра від поверхні землі. Стіни камер були споруджені із бетону. Стічні води поступово проходили всі три камери за допомогою системи переливів. Ця система переливів представляла собою дві вертикальні відкриті труби, що знаходилися в сусідніх камерах, які з'єднувалися між собою третьою горизонтальною трубою, що проходила через бетонну стіну, яка розділяла сусідні камери. Переливи були облаштовані таким чином, щоб із камери в камеру переливався лише середній шар рідини. Для цього труби були розташовані так, щоб нижні їх кінці не доходили до дна камер, верхні закінчувалися вище середнього рівня води, а горизонтальні труби, що з'єднували сусідні камери були розміщені нижче середнього рівня води. Рух стічних вод із однієї камери до іншої забезпечувався тиском води, що надходила до камер гниття. Час, на протязі якого стічні води знаходилися в камерах гниття залежав від розподілу занять в КПІ. Коли заняття були відсутні, до очисних споруд надходило 30 кубічних метрів стічних вод на добу, при цьому вода залишалася в камерах гниття протягом

240 годин. Коли ж були наявні заняття, об'єм стічних вод збільшувався до 100-120 кубічних метрів на добу, а вода залишалася в камерах гниття на протязі 60 годин.

З камер гниття вода потрапляла на окиснювальну башту. Окиснювальна башта мала циліндричну форму та була побудована із залізо-бетону. Всередині башти знаходився циліндр, що був сполучений з зовнішнім повітрям. Окиснювальна башта на 75% заповнювалася коксом. В нижній частині знаходилися більш крупні зерна коксу, у верхній більш дрібні. Для провітрювання коксу використовувалися дренажні труби, що були з'єднані одним кінцем з вищевказаним циліндром, а другим з отворами в стінках башти. Крім цього в стелі башти була розміщена вентиляційна труба. В окиснювальній башті вода проходить всю товщу коксу піддаючись аеробним процесам.

Далі стічні води надходили до так званої установки кінцевого очищення, яка складалася із шару коксу товщиною в 0,8 метра. Вода по коксу розподілялася за рахунок 11 дренажних жолобів, які були зацементовані з одного боку, а з другого з'єднувалися з трубою в яку потрапляла вода після окиснювальної башти [2].

З установки кінцевого очищення вода потрапляла в контрольний колодезь, а звідти — в річку Либідь [3].

Завдяки місцевим умовам, можна було використовувати природній нахил місцевості так, що вода проходила всі етапи очищення самоплинно без допомоги насосів [2].

Ф.Ф. Кіркоп проводив моніторинг якості очищення стічних вод комплексу КПП. Ефективність очищення стічних вод змінювалася з часом — на початку роботи була нижчою, але на протязі 2-3 місяців стала вищою.

Зміна якості очищення води за дослідженнями Ф.Ф Кіркопа наведена в таблиці 1

Таблиця 1

Речовини	Вміст у воді 31.08.1906	Вміст у воді 8.02.1907
Щільний залишок	710 мг/л	506 мг/л
Хлор	105 мг/л	54 мг/л
Нітритна кислота	0,55 мг/л	0,37 мг/л
Нітратна кислота	8,64 мг/л	2,07 мг/л
Аміак	36,4 мг/л	28 мг/л

На основі даних дослідження біологічного очищення стічних вод при комплексі Київського політехнічного інституту Ф.Ф. Кіркоп зробив висновки, що біологічне очищення стічних вод заслуговує на увагу, адже на той момент вона ще не була вдосконалена настільки, щоб очищена вода не ставила під сумнів її безпечність для людини. Також Ф.Ф. Кіркоп зауважив, що хоча вода й не є “гігієнічно чистою”, але за фізичними властивостями та хімічним складом біологічно очищену воду можна допускати до скиду в проточні водойми без шкоди для життя риб [2].

Отже, можна зробити висновок, що будівництво станції біологічного очищення стічних вод при Київському політехнічному інституті було важливим кроком у розвитку очищення стічних вод. Комплекс очисних споруд забезпечував не лише очищення води, а й утилізацію осадів, які використовувалися на власних асенізаційних полях та фермах КПП як добрива.

Література

1. Канализация Киева, 1894-1994/Н.Ф. Царик, П.Л.Кисленко, В.В.Кобзарь, под руков. П.И. Петимко. - К.: ООО "Хагар" - 96 с.
- 2.Киркорь Ф. Ф. О способах очистки сточных вод вообще и в частности о биологической очистке сточных вод при Киевском Политехническом Институте / Ф. Ф. Киркорь. – К.. – 47 с.
3. Иллюстрированный сборник материалов к истории возникновения Киевского политехнического института — К. 116 с.

УДК 628.2

Роїк І.В., асистент

Литвиненко А.В., студент

Назарова В.С., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВОДОВІДЛИВНОЇ СИСТЕМИ ШАХТИ № 10 «НОВОВОЛИНСЬКА»

Основні проблеми, які виникають при закритті вугільних підприємств це: ускладнення ситуації з гідрологічного захисту суміжних діючих шахт, підтоплення прилеглих територій, проникнення на земну поверхню і накопичення в об'єктах, розташованих в зоні впливу гірничих робіт газу-метану. Внаслідок несвоєчасного виконання робіт щодо організованого пропуску води, повільних темпів будівництва (реконструкції) водовідливів, збільшуються терміни ліквідації шахт, в результаті чого роками ведеться відкачка води.

Аналізуючи дані шахти № 10 «Нововолинська», отримання додаткового прибутку можливо як за рахунок додаткової переробки основного продукту - вугілля, так і налагодження виробництва і продажів газоподібних, рідких і твердих речовин, а також утилізуючи теплоту.

В процесі видобутку вугілля з шахт на поверхню відкачуються значні об'єми підземних (шахтних) вод, які характеризуються підвищеною природною мінералізацією, бактеріальним забрудненням, значним вмістом зважених часток, наявністю нафтопродуктів і мікрокомпонентів важких металів, небезпечних і токсичних хімічних елементів і сполук.

З усіх існуючих методів дезінфекції води УФ випромінювання вважається одним з найбільш ефективних, економічних, швидких і безпечних, саме тому і пропонується впровадити установку УФ-знезараження в технологію гарячого водопостачання за допомогою теплового насоса, який використовує низько потенційну енергію шахтних вод.

Рівень температури шахтних вод і можливість вилучення низько потенційного тепла з цих вод, визначається глибиною шахт особливостями геологічної будови, пори року (зима, літо), конструкцією водовідливних систем та іншими факторами. Так температура води з шахти № 10 «Нововолинська» з глибиною 627 м складає 16-18 ° С.

У процесі виходу на остаточну технологічну схему утилізації було розглянуто 3 різні схеми. З екологічної та економічної точки зору, третя - найкраща для гарячого водопостачання шахти № 10 «Нововолинська»

Вартість реалізації проекту теплонасосної системи гарячого водопостачання, включаючи розробку проектно-технічної документації, в цілому складе 178 174 грн. Очікувані

терміни окупності введення в експлуатацію теплонасосної системи гарячого водопостачання становлять 11 місяців.

Технічне обслуговування та контроль за роботою обладнання теплонасосної станції, яка працює в автоматичному режимі, здійснюється персоналом, який пройшов навчання за спеціально розробленою програмою і склав іспити в установленому порядку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соммер Р.А. Оцінка ефективності УФ випромінювання для дезінфекції питної води / Р.А. Соммер - 1993. - С. 357-362.
2. Семенов А.А. Ультрафіолетове знезараження води / А.А. Семенов, Г.М. Кожушко, І.В. Шурдук – С. 311-319.

СЕКЦІЯ 6.
ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА ТА
ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

УДК 621.791.75

О.Г. Левченко, докт. техн. наук, професор,

КПІ ім. Ігоря Сікорського

О.М. Безушко, канд. техн. наук, м.н.с.,

Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України

МІНІМІЗАЦІЯ ВИДІЛЕНЬ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ПОВІТРЯ ПРИ РУЧНОМУ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ЛЕГОВАНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Наведено результати досліджень способів мінімізації виділень шкідливих речовин у повітря виробничих приміщень при ручному дуговому зварюванні покритими електродами високолегованих сталей. Виконано дослідження впливу виду електродного покриття, способу розкислення-легування металу шва, типу основного металу та складу силікатних зв'язуючих в електродному покритті на виділення зварювального аерозолю.

Ключові слова: зварювальні електроди, покриття, зварювальний аерозоль, хімічний склад, шкідливі речовини, професійні захворювання.

Приведены результаты исследований способов минимизации выделений вредных веществ в воздух производственных помещений при ручной дуговой сварке покрытыми электродами высоколегированных сталей. Выполнено исследование влияния вида электродного покрытия, способа раскисления-легирования металла шва, типа основного металла и состава силикатных связующих в электродном покрытии на выделение сварочного аэрозоля.

Ключевые слова: сварочные электроды, покрытие, сварочный аэрозоль, химический состав, вредные вещества, профессиональные заболевания.

MINIMIZATION OF HUMIDIFIED SUBSTANCES IN AIR BY MANUAL ARC WELDING BY FILMED ELECTRODES

There are presented results of studying the methods for minimizing the emission of harmful substances into the air of industrial premises during manual arc welding with electrodes coated with high-alloy steels. The research of influence of electrode coating type, weld deoxidation-alloying method, base metal type and silicate binders composition in electrode coating for welding aerosol is done.

Keywords: welding electrodes, coatings, welding aerosol, chemical composition prediction, harmful substances, occupational diseases.

Вступ. Зварювання є основним промисловим процесом, який використовують для з'єднання металів. У промислово розвинених країнах 0,2...2 % від загального обсягу робочої сили складають зварники. Дугове зварювання залишається одним із основних використовуваних видів зварювання у світі й в Україні.

Проте з гігієнічних позицій дугове зварювання характеризується наявністю шкідливого та небезпечного для зварників виробничого фактора – зварювального аерозолю (ЗА). Так, результати медичних обстежень показують, що серед професійних захворювань зварників України 80 % складають бронхо-легеневі захворювання – це пневмоконіоз та хронічний бронхіт. Мають місце хронічна інтоксикація марганцем та іншими токсичними компонентами ЗА, а також ризик виникнення онкологічних захворювань внаслідок дії шестивалентного хрому на організм людини [1]. Очевидно, що робота зварника сьогодні є однією з найбільш

професійно шкідливих та поступово втрачає соціальний престиж. Тому створення нових марок зварювальних електродів, які б задовольняли не тільки їх зварювально-технологічні, а й санітарно-гігієнічні характеристики, залишається актуальним.

Аналіз стану питання. У розвинених країнах санітарними службами постійно підвищуються нормативні вимоги до граничного навантаження на органи дихання шкідливих речовин у повітрі робочої зони виробничих приміщень. У відповідності до міжнародного стандарту ISO 14000 до зварювальних матеріалів ставляться все нові вимоги постійного їх удосконалення з метою мінімізації шкідливої дії на організм людини, а згідно зі стандартами ДСТУ ISO 15011 зварювальні матеріали постійно повинні контролюватися за показниками безпеки праці (хімічний склад, рівень виділень, токсичність і гігієнічний клас зварювальних аерозолів). Зазначені стандарти [2, 3] нарешті введено в дію в Україні, що відкриває можливості до виконання нових науково-дослідних робіт за єдиною системою оцінки гігієнічних характеристик зварювальних матеріалів з метою вибору кращих за показниками безпеки праці.

Асортимент вітчизняних та зарубіжних електродів постійно поповнюється, а лабораторне дослідження їх гігієнічних характеристик економічно затратне, тому актуальним науковим завданням, окрім експериментальних досліджень хімічного складу та інтенсивності виділень ЗА, є розроблення відповідної математичної моделі, що дасть можливість прогнозувати ці показники розрахунковим шляхом.

Зварювальний аерозоль впливає на організм зварників. Тому дуже часті професійні захворювання зварників та робочих суміжних професій. До найбільш шкідливих виділень при ручному дуговому зварюванні високолегованими покритими електродами належать сполуки хрому, нікелю, оксиди марганцю [1]. Вони накопичуються в організмі, викликаючи головні болі, захворювання травних органів, недокрів'я, викликають захворювання нервової системи, легень і печінки. Гранично допустима концентрація (ГДК) хроматів, біхроматів в перерахунку на CrO_3 (Cr^{6+}) складає $0,01 \text{ мг/м}^3$, нікелю, оксидів нікелю і суміші сполук нікелю $0,05 \text{ мг/м}^3$, що належить до 1 класу небезпеки (надзвичайно небезпечні речовини, що мають ГДК менше $0,1 \text{ мг/м}^3$ у повітрі).

Зниження шкідливого впливу зварювального аерозолу на організм досягається застосуванням технологічних та санітарно-технічних заходів, а також застосуванням засобів індивідуального захисту. Найбільш перспективні технологічні заходи, які полягають у використанні більш досконалих в гігієнічному відношенні зварювальних технологій і матеріалів. До санітарно-технічних заходів належить організація місцевої і загально обмінної вентиляції. Застосування засобів індивідуального та колективного захисту є однією з найбільш поширених заходів попередження несприятливого впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, але ці заходи мають певні недоліки: не завжди зручні у користуванні та доволі дорогі. Тому способи мінімізації виділень шкідливих речовин залишаються актуальними.

Мета роботи – на основі досліджень рівнів виділень та умов утворення шкідливих речовин під час дугового зварювання легованих сталей покритими електродами розробити методи мінімізації їх емісії в повітря робочої зони.

Методика дослідження

Відбирання проб ЗА для визначення рівнів їх виділень здійснювалось у відповідності зі стандартом [2] методом повного уловлювання аерозолу, що утворюється під час зварювання за допомогою спеціального стенду з фільтром ФПП, встановленого на шляху руху ЗА з укриття зони зварювання. Визначали наступні показники утворення ЗА [3]: інтенсивність виділення V_a , г/хв; питома виділення (маса ЗА, що утворюється при розплавленні кілограма зварювальних електродів) G_a , г/кг; хімічний склад ЗА, % мас.).

Результати досліджень. Для аналізу складу зварювального аерозолі, зокрема виду сполук хрому як найнебезпечнішої речовини, яка може утворюватись під час зварювання високолегованих хромонікелевих сталей, було розглянуто наступні хімічні реакції:

1. $4\text{Cr} + 3\text{O}_2 = 2\text{Cr}_2\text{O}_3$
2. $2\text{Cr} + 3\text{O}_2 = 2\text{CrO}_3$
3. $4\text{CrO}_3 = 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{O}_2$
4. $2\text{CrO}_3 + 3\text{Mn} = 3\text{MnO} + \text{Cr}_2\text{O}_3$
5. $4\text{CrO}_3 + 3\text{Mn} = 3\text{MnO}_2 + 2\text{Cr}_2\text{O}_3$
6. $4\text{CrO}_3 + 3\text{Si} = 3\text{SiO}_2 + 2\text{Cr}_2\text{O}_3$
7. $4\text{CrO}_3 + 3\text{Ti} = 3\text{TiO}_2 + 2\text{Cr}_2\text{O}_3$
8. $2\text{CrO}_3 + 2\text{Al} = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$

Для умов дугового зварювання (при постійному тиску $P = \text{const}$) виділення (передавання) теплоти (самочинно від нагрітого тіла до холодного) можливе за рахунок зміни ентальпії системи $Q = \Delta H$. При цьому слід пам'ятати, що ентальпія та ентропія мають екстенсивні властивості, що залежить від кількості речовини.

Зміна ентропії є критерієм для оцінки рівноважного стану тільки ізольованих від навколишнього середовища термодинамічних систем. Але забезпечити повну відсутність теплового контакту між системою і навколишнім середовищем при зварюванні неможливо. Тому для визначення ймовірності та умов рівноваги реакції (в даному випадку при $P = \text{const}$) введено таку термодинамічну функцію, як функція Гіббса. Для зазначених реакцій було отримано графічні залежності (рис. 1) $\Delta G_T = f(T)$.

Зауважимо, що переломні крайні точки на графіках функції Гіббса (рис. 1) є зміною агрегатного стану кінцевого компонента хімічної реакції. Зміна ізобарного потенціалу ймовірності хімічних реакцій при 3000 К наведена на рис. 2. Реакція $2\text{Cr} + 3\text{O}_2 = 2\text{CrO}_3$ має додатне значення енергії Гіббса при температурі 3000 К (рис. 2), яке означає, що реакція йде у зворотному напрямку $2\text{CrO}_3 = 2\text{Cr} + 3\text{O}_2$. Тобто, незважаючи на те, що реакція окиснення елементарного хрому згідно з його хімічними властивостями повинна відбуватись, у даному випадку в зоні зварювальної дуги створюються температурні умови, несприятливі для утворення канцерогенного шестивалентного хрому.

З даних рисунку 2 видно, що хімічні реакції 1 та 3-8 мають від'ємний ізобарний потенціал. Це означає, що вони йдуть у прямому напрямку. При температурі 3000 К найінтенсивніше протікають реакції 7 та 6, як і раніше зазначалось. Реакція 2 не протікає у прямому напрямку, вона можлива лише у такому вигляді: $2\text{CrO}_3 = 2\text{Cr} + 3\text{O}_2$.

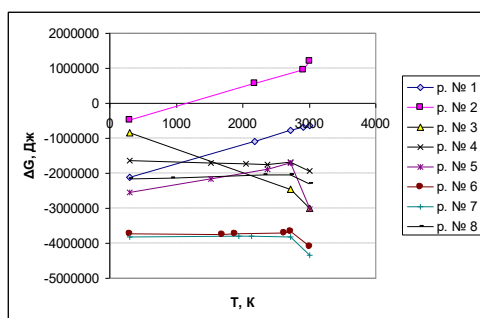


Рис. 1. Графічне зображення ймовірності хімічних реакцій

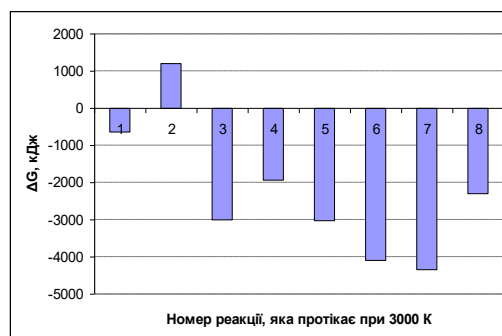


Рис. 2. Зміна ізобарного потенціалу ймовірності хімічних реакцій при 3000 К

Розрахунками термодинамічних характеристик [4] підтверджено, що введення у склад зварювальних електродів титану, кремнію, марганцю та алюмінію сприяє відновленню

шестивалентного оксиду хрому як надзвичайно небезпечної речовини, що може бути у складі зварювального аерозолі, до помірковано небезпечного тривалентного оксиду. При температурі 3000 К здатність даних металів відновлювати шестивалентний хром збільшується у такому порядку: Ti, Si, Mn, Al.

Другим етапом роботи було дослідження рівнів виділень шкідливих речовин від виду покриття електродів [5-8]. Вони показали, що при збільшенні співвідношення $\text{CaCO}_3/\text{CaF}_2$ в основному покритті високолегованих зварювальних електродів у межах від 0,5 до 2,0, вміст сполук шестивалентного хрому в зварювальному аерозолі зменшується приблизно в 2 рази. Електроди з покриттям рутил-основного виду з системою розкислення Cr-Mn-Si забезпечує менші значення шестивалентного хрому в ЗА, ніж система розкислення Cr-Mn-Ti та Cr-Mn-Al того ж виду покриття. При зварюванні високолегованими електродами з рутил-силікатним видом покриття та при збільшенні значення співвідношення $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ від 2 до 4, токсичність ЗА зменшується приблизно в 3 рази. Для порівняння проілюстровано (рис. 3.) показники рівнів виділень найбільш токсичних сполук шестивалентного хрому кращих варіантів експериментальних електродів з покриттями зазначених трьох систем.

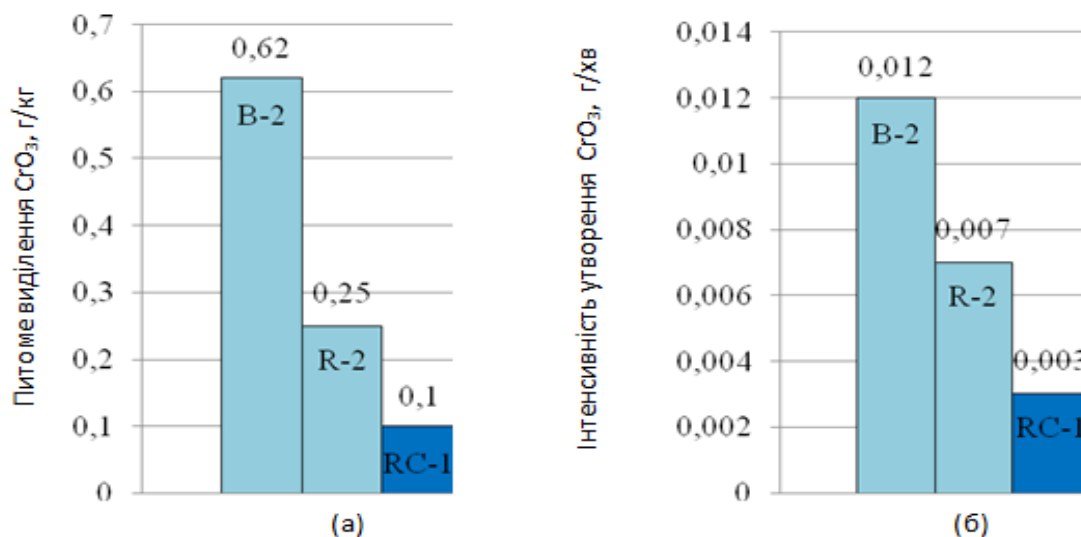


Рис. 3. Вплив виду покриття експериментальних електродів на показники рівня виділень у складі ЗА шестивалентного хрому (в розрахунку на CrO_3): питоме виділення, г/кг (а); інтенсивність утворення, г/хв (б)

З наведених результатів видно, що за інших однакових умов заміна електродів основного виду рутил-основними і далі рутил-силікатними дозволяє знизити рівні виділення шестивалентного хрому відповідно в 2 і 4 рази. Такий ефект обумовлено зниженням напруги (потужності) зварювальної дуги, меншим надходженням у дуговий проміжок вуглекислого газу (через низький вміст в електродному покритті мармуру), а також зниженням окислювального потенціалу покриття й активності оксидів хрому в шлаковій основі на стадії краплі розплавленого металу [5].

При проведенні дослідження впливу типу основного металу на виділення ЗА змінювали зразки листової сталі з різним вмістом хрому та марганцю. У серії експериментів з електродами АНВ-70Б (типу Э-10Х25Н13Г2) було встановлено, що при збільшенні в основному металі вмісту хрому від 0,3% (Ст3сп) до 24,5% (сталь 10Х25Н13) концентрація хрому в ЗА практично не змінюється (рис. 4). При цьому, при зниженні напруги (потужності) зварювальної дуги зменшуються як рівень виділення ЗА, так і парціальні виділення його

складових на 20% (рис. 5). Такі особливості можна пояснити високою температурою кипіння хрому в зварювальній ванні, а також зниженням напруги (потужності) зварювальної дуги [6].

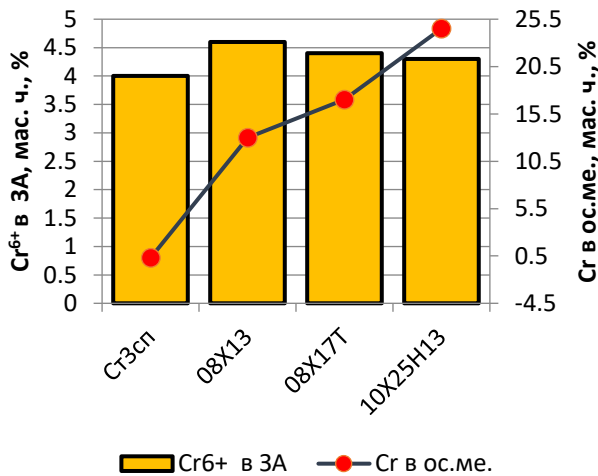


Рис. 4. Вміст Cr^{6+} (в розрахунку на CrO_3) в ЗА при змінному вмісту хрому в основному металі

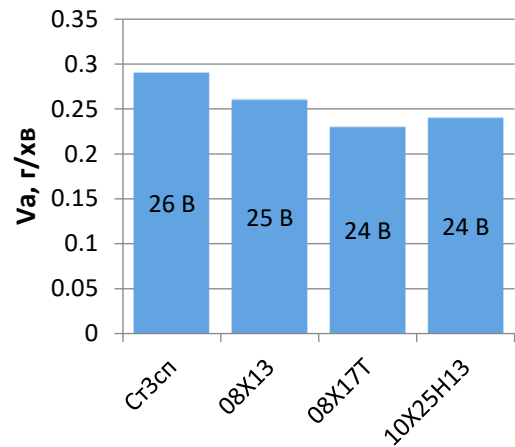


Рис. 5. Інтенсивність утворення ЗА при змінному вмісту хрому в основному металі

Інша закономірність відбувається в серії експериментів з електродами АНВ-66 (типу Э-10Х20Н9Г6С): зі збільшенням в основному металі вмісту марганцю від 0,6% (Ст3сп) до 34% (03Х10Г35) у складі ЗА зростає частка сполук марганцю приблизно на 10...15% (рис. 6). При цьому на фоні зниження напруги (потужності) дуги приблизно в 1,5 рази підвищується інтенсивність утворення ЗА (рис. 7).

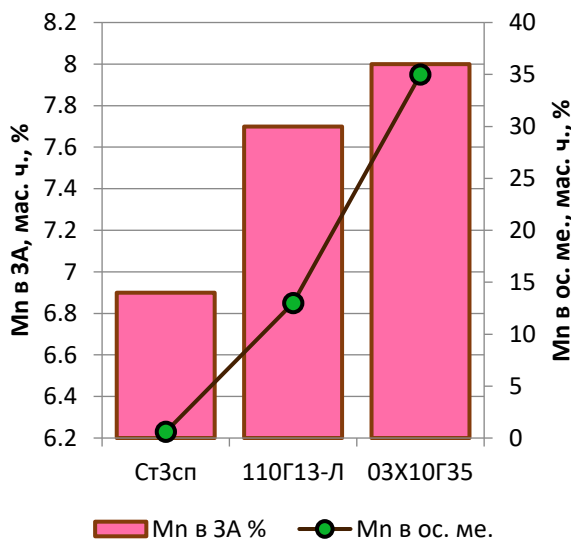


Рис. 6. Масова частка Mn в ЗА при зміні його вмісту в основному металі

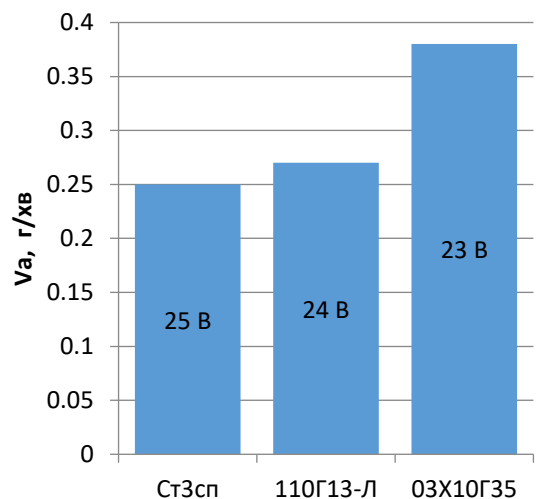


Рис. 7. Інтенсивність утворення ЗА при зміні вмісту марганцю в основному металі

Провідний вплив складу електродного металу на виділення хрому й марганцю проглядається при порівнянні складів ЗА електродів АНВ-70Б та АНВ-66, отриманих при

зварюванні однієї й тієї ж марки сталі СтЗсп: більшому вмісту хрому й марганцю в електродному матеріалі відповідають більші концентрації цих елементів у ЗА (рис. 8, 9).

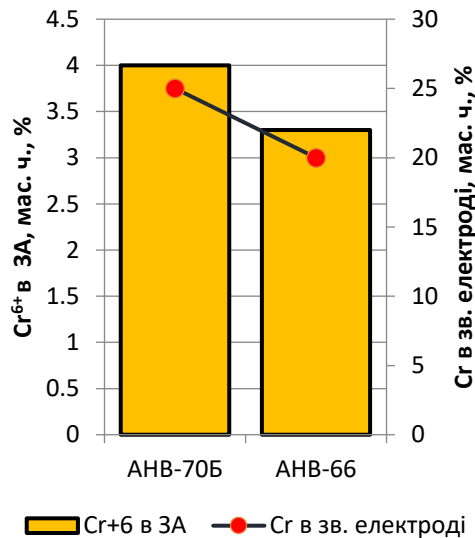


Рис. 8. Вміст Cr^{6+} в ЗА різних типів електродів

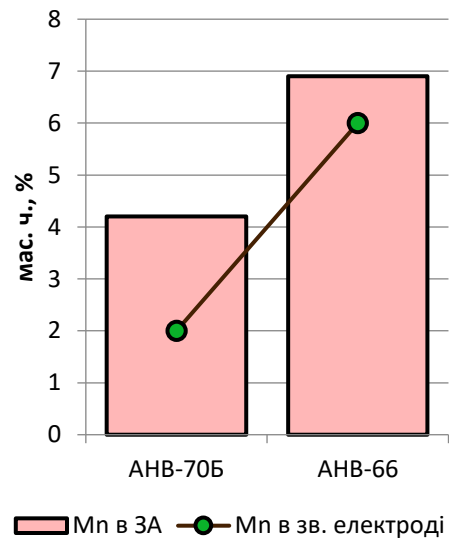
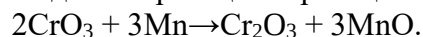


Рис. 9. Вміст Mn в ЗА різних типів електродів

Концентрація марганцю, хрому й нікелю в складі ЗА визначається, головним чином, вмістом цих елементів в електродному металі, а також пружністю їх пари при температурах, характерних для стадії краплі розплавленого металу. Рівень виділень ЗА залежить не тільки від потужності (напруги) зварювальної дуги, але й від вмісту в основному металі марганцю, що має найбільш високу пружність пари при температурах зварювальної ванни. При цьому, пара марганцю над зварювальною ванною створює розсіювальну дію на продукти плавлення й випаровування електродного матеріалу [5].

Для дослідження впливу способу розкислення-легування металу шва на виділення ЗА використовувалися електроди різних типів та марок, з різним видом електродного покриття та способом розкислення-легування металу шва. Відбирання проб ЗА здійснювали в процесі наплавлення валиків досліджуваними електродами на пластини зі сталі Х13Н10Т. Як джерело живлення зварювальної дуги використовували випрямляч ВДУ-504. Наплавлення виконували при постійному струмі зворотної полярності на оптимальних режимах. Для визначення гігієнічних показників електродів відбирали не менш 5 проб ЗА. Результати досліджень показали, що чим більше в наплавленому металі і, відповідно, в ЗА вміст марганцю, тим менше в складі ЗА концентрація канцерогенного шестивалентного хрому (рис. 10). Цю поведінку можна пояснити відновлювальною дією марганцю за реакцією:



Результати порівняння електродів з основним та рутил-основним видом електродного покриття показали, що найкращими гігієнічними характеристиками володіють електроди з рутил-основним видом покриття, при легуванні металу шва через стрижень (рис.11). У випадку електродів однієї марки, але різних діаметрів (АНВ-70Б діаметром 3 та 4, АНВ-66 діаметром 3 та 4) зі збільшенням діаметра електродів і відповідно величини зварювального струму інтенсивність утворення зварювального аерозолі підвищується [7].

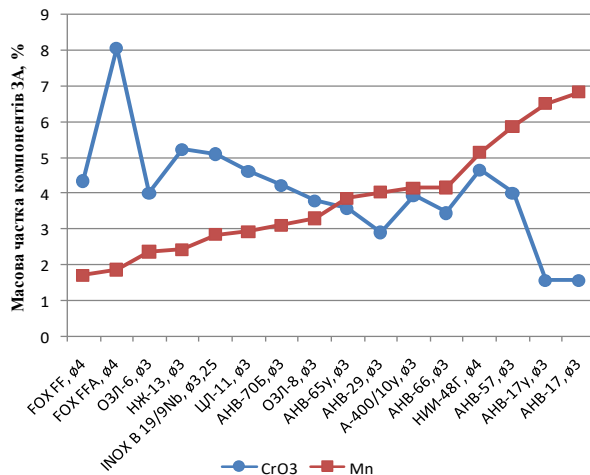


Рис. 10. Залежність вмісту хрому від вмісту марганцю в ЗА

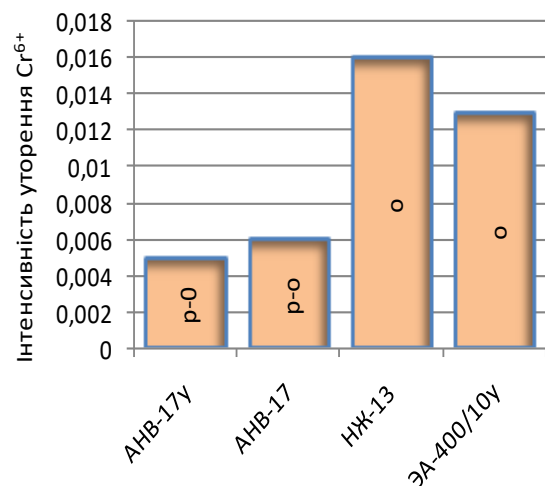


Рис. 11. Інтенсивність утворення Cr^{6+} в ЗА в залежності від виду покриття: р-о – рутил-основний; о – основний.

Дослідження впливу літійвміщуючих силікатних зв'язуючих на гігієнічні характеристики покритих зварювальних електродів здійснювалися з використанням дослідних марок зварювальних електродів, виготовлених із застосуванням літійвміщуючих силікатів [8].

Питомі виділення та інтенсивність утворення зварювального аерозолі зменшується в 1,5-2,0 рази при використанні електродів, виготовлених із застосуванням літійвміщуючих зв'язуючих замість традиційних. Значний ефект від використання літійвміщуючих зв'язуючих досягається на зменшенні емісії сполук канцерогенного шестивалентного хрому. Питомі виділення та інтенсивність утворення даної речовини у цьому випадку в 2,7-3,0 рази менші в порівнянні з калієвим силікатом і в 1,9-2,1 рази – в порівнянні з натрієвим зв'язуючим. Найбільш вираженим при зварюванні електродами з літійвміщуючими зв'язуючими в покритті є зниження питомих виділень та інтенсивності утворення високотоксичних розчинних сполук фтору. Їх виділення при використанні літійових та літійово-натрієвих зв'язуючих в 1,8-2,0 рази менші, ніж при використанні калієвих і натрієвих зв'язуючих.

Висновки

1. Термодинамічними розрахунками можливих хімічних реакцій шкідливих речовин, що утворюються під час зварювання, встановлено, що введення в склад зварювальних електродів титану, кремнію, марганцю та алюмінію сприяє відновленню шестивалентного оксиду хрому як надзвичайно небезпечної речовини, яка може бути у складі ЗА, до помірковано небезпечного тривалентного оксиду.

2. Результати досліджень впливу виду покриття зварювальних електродів на рівень виділень шкідливих речовин дозволили встановити такі закономірності:

- при збільшенні співвідношення $\text{CaCO}_3/\text{CaF}_2$ в покритті високолегованих зварювальних електродів від 0,5 до 2,0 вміст сполук шестивалентного хрому в зварювальному аерозолі зменшується приблизно в 2 рази;
- при зварюванні високолегованих хромонікелевих сталей найкращі гігієнічні характеристики забезпечують рутил-силікатні електродні покриття, за ними йдуть рутил-основні і на останньому місці – основні;

- зварювання електродами з покриттям рутил-основного виду з системою розкислення Cr-Mn-Si забезпечує зниження шестивалентного хрому в ЗА у порівнянні з системами Cr-Mn-Ti та Cr-Mn-Al;

- при зварюванні високолегованими електродами з рутил-силікатним видом покриття та при збільшенні в останньому співвідношення TiO_2/SiO_2 від 2 до 4 токсичність ЗА зменшується приблизно в 3 рази.

3. Результати досліджень впливу типу основного металу на виділення ЗА показали, що концентрація сполук хрому у складі ЗА не залежить від вмісту хрому в основному металі, а концентрація марганцю – залежить і зростає на 10...15 % при збільшенні його вмісту в наплавленому металі від 0,6 до 34 %. При цьому збільшення в основному металі вмісту хрому приводить до зменшення рівня виділень ЗА приблизно на 20 %.

4. Результати досліджень впливу способу розкислення-легування металу шва на виділення ЗА показали, що чим більший вміст легуючих елементів у зварювальних електродах, тим більша їх кількість у зварювальному аерозолі.

5. Встановлено, що зі збільшенням діаметра електродів і відповідно величини зварювального струму інтенсивність утворення зварювального аерозолу підвищується.

6. Результати досліджень впливу літійвміщуючих силікатних зв'язуючих покриття електродів на їх гігієнічні характеристики показали, що заміна стандартних зв'язуючих на основі калію й натрію на літєві та літєво-натрієві в електродах з рутиловим і основним покриттям дозволяє в 1,5...3,0 рази знизити виділення шкідливих речовин ЗА.

Література

1. Левченко О. Г. Сварочные аэрозоли и газы: процессы образования, методы нейтрализации и средства защиты. – Киев: Наукова думка, 2015. – 248 с.
2. ДСТУ ISO 15011-1:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворюваних під час дугового зварювання. Частина 1. Визначення рівня виділень і відбір проб для аналізу мікрочастинок аерозолів. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 8 с.
3. ДСТУ ISO 15011-4:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів. Частина 4. Форма для запису даних про аерозолі. – К.: Держспоживстандарт України. – 2011. – 20 с.
4. Levchenko O.G. Thermodynamics of formation of chromium compounds in welding aerosols/ O.G. Levchenko and O.N. Bezushko // The Paton Welding Journal. – 2015. – № 7. – P. 22-25.
5. Левченко О. Г. Вплив виду електродного покриття на гігієнічні характеристики аерозолів, що утворюються при зварюванні високолегованих сталей / О. Г. Левченко, А. В. Булат, О. М. Безушко // Вісник НТУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: 36. наук. пр. – 2010. – Вип. 19. – С. 168-175.
6. Левченко О. Г. Вплив складу основного металу на гігієнічні характеристики аерозолів, що утворюються при зварюванні високолегованих сталей покритими електродами / О. Г. Левченко, А. В. Булат, О. М. Безушко // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ННДІПБОП, 2009. – Вип. 17. – С. 95-101.
7. Yushchenko K. A. Sanitary and hygienic characteristics of covered electrodes for welding high-alloy steels/ K. A. Yushchenko, O. G. Levchenko, A.V. Bulat, O. N. Bezushko [and etc.] // The Paton Welding Journal. – 2007. – № 12. – P. 34-36.
8. Yushchenko K. A. Effect of composition of base metal and electrode covering on hygienic properties of welding fumes / K. A. Yushchenko, A. V. Bulat, O. G. Levchenko, O. N. Bezushko [and etc.] // The Paton Welding Journal. – 2009. – № 7. – P. 44-49.

УДК 331.45

О. І. Полукаров, канд. техн. наук, доцент (КПІ ім. Ігоря Сікорського),

Ю. О. Полукаров, канд. техн. наук, доцент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПРАЦІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Проведено аналіз існуючих алгоритмів прогнозування показників безпеки. Запропоновано технологію управління безпекою праці на основі прогнозування результатів реалізації прийнятих управлінських рішень.

Ключові слова: оперативне управління, безпека праці, управлінське рішення.

The analysis of existing security indicators forecasting algorithms is carried out. The technology of safety management is proposed based on the forecasting of the results of the implementation of the adopted management decisions.

Key words: operational management, labor safety, management decision.

Вступ. Як свідчать результати проведеного аналізу, ефективне управління безпекою праці в сучасних умовах вимагає застосування методів наукового обґрунтування оперативних управлінських рішень [1 - 3]. В умовах реформування економіки проблема розробки і практичного застосування новітніх методів наукової підтримки, які були б прийнятними на всіх рівнях вертикалі управління від верхнього державного рівня до підприємства залишається актуальною.

Аналіз стану питання. За результатами проведеного аналізу слід зазначити основні недоліки існуючої технології управління безпекою праці:

- недостатня оперативність збору, аналізу і передачі даних ускладнює здійснення оперативного управління;
- значні обсяги інформації про об'єкт управління і відсутність уніфікованих форм звітності ускладнюють адекватне відображення реального стану безпеки праці для сприйняття її керівниками та спеціалістами;
- неможливість оперативно налаштувати інформаційне забезпечення відповідно до змін нормативно-правової бази та особливостей здійснення державного нагляду в сфері безпеки праці не дозволяє адекватно здійснювати безперервний контроль стану об'єкта управління;
- недосконалість існуючих алгоритмів моделювання і прогнозування показників безпеки праці не дозволяє обґрунтовано вибирати з можливих варіантів управлінського рішення найкращий;
- відсутність або недостатня функціональність існуючих автоматизованих систем не забезпечує належний рівень інформаційно-аналітичної підтримки управлінської діяльності;
- невирішеність питань інтеграції різних інформаційних систем в сфері безпеки праці, призначених для вирішення завдань управління, не дозволяє формувати узагальнені інформаційні бази, проводити порівняльний аналіз, стає джерелом неузгодженої звітності;
- в умовах, коли ситуація прийняття рішення вимагає залучення експертів, відсутність програмно реалізованих методів експертних оцінок і актуалізованих баз даних, що містять відомості про експертів, перешкоджає раціональному використанню знань експертів при виробленні управлінських рішень.

Таким чином, існуюча технологія оперативного управління безпекою праці базується на результатах обробки статистичних даних, без використання спеціалізованих методів, що дозволяють прогнозувати результати прийнятих управлінських рішень. Відсутність

прогнозних оцінок при здійсненні управлінської діяльності можна порівняти з ситуацією, коли водій, керуючи автомобілем, має можливість дивитися тільки в дзеркало заднього виду.

Мета роботи: розроблення методики управління безпекою праці на основі прогнозування результатів реалізації прийнятих управлінських рішень.

Методики, матеріали і результати досліджень. Оперативне управління безпекою праці має базуватися на таких принципах:

- принцип цілеспрямованості, який передбачає постановку задачі оперативного управління з обов'язковим визначенням тактичних, а в окремих випадках - стратегічних цілей;
- принцип плановості, який вимагає чіткого планування всіх етапів виконання поставленого завдання управління з урахуванням особливостей ситуації прийняття рішення, обмежень за часом, ресурсами і т.п.;
- принцип науковості, який передбачає вибір обґрунтованого варіанту управлінського рішення на основі використання актуалізованих даних про об'єкт управління, новітніх методів, методик, алгоритмів обробки даних;
- принцип об'єктивності, який передбачає наявність об'єктивних даних про стан об'єкта управління і об'єктивну оцінку результатів реалізації управлінського рішення;
- принцип поєднання колегіальності з персональною відповідальністю, суть якого полягає в тому, що керівник несе повну відповідальність за результати реалізації прийнятого управлінського рішення, але під час його прийняття він може враховувати думки фахівців, залучених до вирішення поставленого завдання як експерти;
- принцип оптимізації формування інформаційних масивів, який передбачає одноразове введення інформації про об'єкт управління, багатоцільове і багаторазове використання інформації в процесі здійснення оперативного управління.

Застосування математичних моделей, які дозволять прогнозувати стан показників безпеки праці, забезпечать наукову підтримку оперативного управління. Побудова зазначених математичних моделей має проводитися з використанням спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи [4].

Ситуація прийняття оперативних управлінських рішень, спрямованих на поліпшення стану безпеки праці, визначатися множинами факторів, між якими існують аналітичні залежності:

$$\{P, X, Y, Q, R, Z, T\} \quad (1)$$

де P - множина типів завдань прийняття рішень; X - множина інформаційних даних, що використовуються при прийнятті рішень; Y - множина показників, за якими оцінюється стан безпеки праці (рівень виробничого травматизму, професійної захворюваності, збитки та ін.); Q - множина оперативних управлінських рішень, допустимих в рамках певного типу завдання; R - формалізоване правило (критерій) вибору управлінського рішення з множини можливих; Z - множина обмежень, визначених відповідно до умов конкретного завдання; T - фактор часу.

Результат виконання оперативного управлінського рішення q_j в момент часу t обумовлює стан множини показників q_j ($q_j \in Q$, $j=1, \dots, n$) обумовлює стан множини показників Y_i ($Y_i \in Y$, $i=1, \dots, m$). При цьому зроблено припущення про те, що для кожного показника множини на основі обробки статистичних даних можна отримати математичну модель прогнозу, яка має вигляд:

$$Y^{t+1} = F(X^t(Z), Q). \quad (2)$$

Якщо в момент часу було прийнято і реалізовано оперативне управлінське рішення, для наступного моменту часу можна отримати розрахункове значення показника:

$$y_{ij}^{t+1} = Y_i^t(F(X^t(Z), q_j)). \quad (3)$$

Управління безпекою праці направлено на мінімізацію основних показників. Вибір оперативного вирішення з множини наявних здійснюється наступним чином:

$$q_{opt} = q_j : y_{ij}^{t+1} = \min_j (y_{1j}^{t+1}, \dots, y_{mj}^{t+1}), y_{ij}^{t+1} \leq y_{\Gamma}^{t+1}, \quad (4)$$

де q_{opt} - оптимальне управлінське рішення; y_{ij}^{t+1} , y_{Γ}^{t+1} - відповідно розрахункове і граничне (планове) значення показника, що характеризує стан безпеки праці в даний момент $t + 1$.

Обране оперативне рішення є оптимальним на підставі певного критерію прийняття рішень. Тобто, прогнозне значення показника, що характеризує стан безпеки праці, в наступний момент часу буде найменшим. Основні вимоги, які дозволяють реалізувати теоретичні основи оперативного управління для забезпечення оперативного реагування на стан виробничого травматизму:

- інформаційні бази даних про стан виробничого травматизму та наглядової діяльності повинні містити повну та актуалізовану інформацію в обсягах, необхідних для підтримки прийняття управлінських рішень;

- збір, передача і зберігання даних повинні здійснюватися за встановленими формами і у встановлені терміни;

- інформаційні системи, призначені для занесення, обробки і передачі даних про стан виробничого травматизму та наглядової діяльності повинні бути встановлені на всіх рівнях ієрархічної системи управління безпекою праці;

- планування оперативних заходів має здійснюватися з використанням методів математичного моделювання і прогнозування.

Практична реалізація запропонованих наукових основ стає можливою в умовах активного розвитку інформаційних технологій в останні роки, в результаті чого кошти комп'ютерної та комунікаційної техніки, а також програмне забезпечення набули широкого поширення у всіх без винятку виробничих, наукових та інших областях діяльності суспільства. Такий стан справ зумовило: по-перше, можливість накопичення даних про будь-який предметної області (на сьогоднішній день ці дані використовуються переважно для формування звітності), по-друге, можливість застосування нетривіальних алгоритмів обробки даних, що вимагають виконання великої кількості математичних та логічних операцій, в по-третє, істотне підвищення (у порівнянні навіть з минулим десятиліттям) рівню комп'ютерної обізнаності фахівців і керівників.

Висновки

З огляду на необхідність зберігання великих обсягів даних, виконання великої кількості математичних та логічних операцій, існує нагальна потреба у створенні інформаційно-аналітичної системи, яка забезпечить автоматизацію збору, аналізу і обробки даних, що використовуються в процесі вироблення управлінських рішень.

Таким чином, теоретично обґрунтована можливість переходу до нової технології управління безпекою праці на основі прогнозування результатів реалізації прийнятих управлінських рішень. Для впровадження нової технології управління повинна бути розроблена спеціалізована інформаційно-аналітична система (заснована на методах математичного моделювання і прогнозування) та зібрані необхідні дані про стан основних показників безпеки праці.

Література

1. Ткачук К. Н. Аналіз стану наукової підтримки управління державним наглядом за охороною праці. / Ткачук К. Н., Романенко Н. В. // Зб. наук. праць «Проблеми охорони праці в Україні». – 2007. – Вип. 14. – С. 3-8.
2. Лисюк М.О. Проблеми впровадження результатів наукових досліджень і розробок у сфері охорони праці / Лисюк М.О., Рєпін В.М. // Проблеми охорони праці в Україні. – 2009. – Вип. 16. – С. 3-8.
3. Водяник А. О. Метод оцінювання впливу державного нагляду за охороною праці на стан виробничого травматизму / А. О. Водяник // Проблеми охорони праці в Україні: Збірник наукових праць. – 2007. – Вип. 13. – С.3-7.
4. Ткачук К. Н. Теоретичні основи створення інформаційно-аналітичної системи підтримки рішень з управління охороною праці / К. Н. Ткачук, О. Є. Кружилко // Зб. наук. праць «Проблеми охорони праці в Україні». – 2002. – Вип. 6.– С. 3-8.

УДК 621.3.078.3

Прядко С.Л., старший викладач

Закладний О.О., канд. техн. наук, доцент

Деренговська Ю.С., студент

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ БУРОШНЕКОВИХ КОМПЛЕКСІВ

Проведено аналіз методів зниження енергоспоживання шахтних бурошнекових комплексів, запропонована система регулювання швидкості обертання робочого органу бурошнекового комплексу на базі системи регульованого електропривода за схемою вентильного двигуна.

Ключові слова: Енергозбереження, бурошнековий комплекс, регулювання частоти, вентильний двигун, система керування.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОШНЕКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Проведен анализ методов снижения энергопотребления шахтных бурошнековых комплексов, предложена система регулирования скорости вращения рабочего органа бурошнекового комплекса на базе системы регулируемого электропривода по схеме вентильный двигатель.

Ключевые слова: Энергосбережение, бурошнековый комплекс, регулирование частоты, вентильный двигатель, система управления.

ENERGY-SAVING ELECTRIC DRIVE SYSTEM DRILLING COMPLEXES

The analysis of methods to reduce energy consumption of mine drilling and mining complexes, proposed a system of speed control of the working body of the drilling complex on the basis of a system of regulated electric drive on the scheme of the valve engine.

Key words: energy Saving, boring complex, frequency control, valve engine, control system.

Вступ

Понад 70% запасів вугілля в Україні зосереджені на пластах потужністю до 1 м. Загальні запаси, зосереджені переважно в Донецькому басейні (96%), оцінюються в 110 млрд. тонн. Тому обґрунтування структури гірничої машини для інтенсивної виїмки тонких пластів є актуальною науковою і практичною задачею. [1,2,3]. Відмова від експлуатації малопотужних родовищ буде у все більшій мірі негативно позначатися на техніко-економічних показниках роботи шахт і соціальної обстановки в шахтарських регіонах. Характерною особливістю сучасного стану гірничих робіт на шахтах України є складні гірничо-геологічні та технологічні умови розробки вугільних родовищ, які істотно впливають на економічну ефективність виїмки пластів і зростання витрат в технологічних ланках шахти. Запаси вугілля в основному зосереджені в тонких і вельми тонких пластах потужністю до 1 м, які становлять, за різними джерелами, понад 80%. Розробка таких пластів у багатьох країнах не проводиться. Механізовані комплекси нового технічного рівня в більшості випадків не вписуються в потужність виїмкового пласта. Шахти змушені видобувати вугілля з присічками вмісних порід і видавати на-гора не вугілля, а так звану «гірську масу» зольністю 50 – 60%. Тому питання ефективного відпрацювання тонких і вельми тонких вугільних пластів на

сьогодні є, по суті, відкритим, а його рішення, на нашу думку, має будуватися на впровадженні у виробництво безвідходної та ресурсозберігаючої технології. Тому створення нової техніки і технологій для ефективного відпрацювання пластів потужністю 0,4-1,5 м в яких залягають основні запаси вугілля, що коксується, та енергетичного вугілля, стає дуже гострою проблемою. До одного з таких напрямів розвитку і впровадження нової техніки належить бурошнековий спосіб виймання вугілля, який є одним з небагатьох промислово освоєних способів виймання вугілля без постійної присутності людей у вибої. До переваг бурошнекового способу видобутку вугілля можна віднести можливість відпрацювання тонких пластів на діючих шахтах, що не потребує додаткових затрат на капітальні споруди[4].

Основні завдання

Визначення основних причин низької ефективності бурильного устаткування;
аналіз методів підвищення енергоефективності бурошнекових комплексів;
вибір способу регулювання обертання та осьового зусилля;
розроблення модернізованої структурної схеми шахтного бурошнекового комплексу;

Мета і постановка задачі

Дане дослідження присвячене питанням підвищення рівня енергоефективності буріння шляхом впровадження раціональної системи електроприводу бурошнекових комплексів (БШК). Одним з основних параметрів обертального способу буріння, що впливає на продуктивність і економічну доцільність бурильних робіт, є швидкість буріння. Вона, в свою чергу, може значною мірою змінюватися залежно від величини осьового зусилля притиснення (подання) робочого органу до вибою, числа обертів бурового інструменту за одиницю часу, фізико-механічних властивостей буримих гірських порід, діаметру і геометрії бурового інструмента, потужності двигуна бурильного комплексу, способу видалення із забою копалини [5,6]. Вплив цих факторів на швидкість буріння досліджувалась в основному експериментально. Кожне із зазначених досліджень, як правило, охоплює досить вузький діапазон можливих умов, обмежений або можливостями певної бурильної машини, або заздалегідь заданої геометрії ріжучого інструменту, або певними фізико-механічними властивостями гірських порід. Значний вплив на процес обертального буріння мають фізико-механічні властивості копалини[4]. Для оцінки їх впливу запроваджено такі поняття, як крихкість, пластичність, твердість, контактна міцність, абразивність, вологість і т.ін. У більшості випадків дослідники характеризують опір руйнування гірських порід при бурінні або міцністю на стискання, або твердістю (міцністю на вдавлювання) і абразивністю. Між величиною кута α ріжучого інструменту і твердістю гірської породи або коефіцієнтом міцності за шкалою проф. М. М. Протод'яконова існує залежність виду

$$k = b * \operatorname{tg} \alpha = \frac{a_1}{p_{\text{вд}}}$$

або

$$\kappa = b \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{a_2}{f},$$

де a_1 і a_2 — коефіцієнти, що залежать від числа обертів бура і ступеня зношеності різця; f — твердість гірської породи; $p_{\text{вд}}$ — тиск подаючого органу. Максимальне значення a_1 і a_2 відповідає оптимальному числу обертів робочого органу БШК $n_{\text{опт}}$, тобто такого, при якому досягається максимальна швидкість буріння і мінімальна енергоємність процесу руйнування $A_{\text{об}}$. У

першому наближенні залежність середньої величини є оптимальною. Потужності машин, необхідні для буріння гірських порід різної міцності, можна визначити, якщо відомі величини енергоємності процесу руйнування. При постійному зусиллі подачі швидкість буріння гірської породи зростає зі збільшенням числа обертів інструменту за хвилину. Встановлено, що значне зростання швидкості буріння спостерігається лише до деякого граничного значення кількості обертів, після чого швидкість буріння починає збільшуватися повільніше, досягає максимуму, а при подальшому збільшенні числа обертів навіть зменшується. Мінімальна питома об'ємна робота $A_{об}$ руйнування для всіх випадків може бути підрахована за формулою:

$$A = 6,12 \frac{N}{V * S_{ш}}, \text{ кгм/см}^3$$

де N — потужність, яка витрачається на буріння, Вт;

$S_{ш}$ — площа перерізу свердловини см^2 ;

V — швидкість буріння, см/хв .

Потужності машин, необхідні для буріння гірських порід різної міцності, можна визначити за формулою, якщо відомі величини енергоємності процесу руйнування:

$$2,8f = 6,12 \frac{N}{S_{ш} * V}$$

або

$$N = 0,465 \cdot S_{ш} \cdot V \cdot f.$$

При визначенні потужності двигуна свердла $N_{дв}$ необхідно враховувати коефіцієнт його корисної дії η тоді

$$N_{дв} = \frac{0,465 \cdot S_{ш} \cdot V \cdot f}{\eta}.$$

Переваги обертального буріння: безперервність процесу, що забезпечує високу продуктивність; руйнування породи великим зрізом, яке зменшує пилоутворення та питомі енерговитрати; відсутність вібрації машин під час роботи. До недоліків слід віднести обмежену область застосування по міцності гірських порід. Однак ступінчасте регулювання частоти обертання робочого органу механічним переключенням, яке є основним на цей час, не дозволяє повною мірою вирішити завдання вибору раціональних режимних параметрів, особливо по породах підвищеної міцності й абразивності. Так, із дослідження [7] видно, що при ступінчастому регулюванні (рис. 1) витрати потужності на буріння будуть вище на 20кВт. На даний час досягнення в галузі керованого привода і мікропроцесорної техніки дозволяють на якісно новому рівні підійти до вирішення поставленого завдання і створювати гірниче обладнання нового технологічного рівня, що підвищить продуктивність праці в гірничовидобувній промисловості.

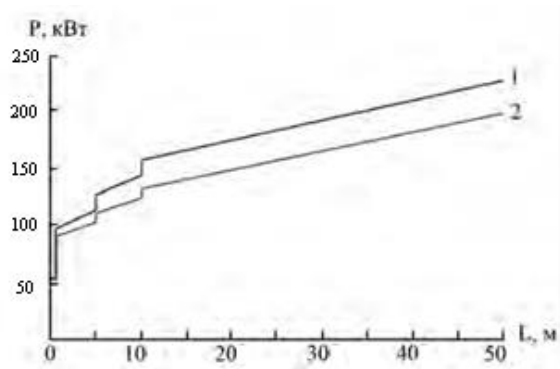


Рисунок 1. Графіки витрат потужності двигуна на буріння 1- при ступінчастому регулюванні, 2- при плавному регулюванні

Дослідження електроприводу БШК за допомогою математичної моделі

При складанні моделі вентильного двигуна [8] скористаємося системою нелінійних диференціальних рівнянь Парка-Горева для ідеалізованої явнополюсної синхронної машини :

$$\left. \begin{aligned} U_d &= \frac{d\psi_d}{dt} + i_d r - \psi_q \omega_p; \\ U_q &= \frac{d\psi_q}{dt} + i_q r - \psi_d \omega_p; \\ U_f &= \frac{d\psi_f}{dt} + i_f r_f; \\ U_{kd} &= \frac{d\psi_{kd}}{dt} + i_{kd} r_{kd}; \\ U_{kq} &= \frac{d\psi_{kq}}{dt} + i_{kq} r_{kq}; \\ \frac{d\omega_p}{dt} &= \frac{1}{H_J} (m_s - m_c); \\ m &= \psi_d i_q - \psi_q i_d; \\ \frac{d\psi_p}{dt} &= \omega_p, \end{aligned} \right\}$$

де $\psi_d, \psi_q, U_d, U_q, i_d, i_q$ – відповідно потокозчеплення, напруга і струми обмоток статора по осях d і q;

r - активний опір фази статора;

ψ_f, U_f, i_f - відповідно потокозчеплення, напруга і струм обмотки збудження;

r_f - активний опір обмотки збудження;

$\psi_{kd}, \psi_{kq}, U_{kd}, U_{kq}, i_{kd}, i_{kq}$ - відповідно потокозчеплення, напруга і струми компенсаційних обмоток ротора СМ по осях d і q ($U_{kd} = U_{kq} = 0$);

r_{kd}, r_{kq} - активні опори компенсаційних обмоток ротора по осях d і q;

H_J - інерційна стала.

Потокозчеплення визначаються таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_d &= x_d i_d + x_{ad} (i_f + i_{kd}); \\ \Psi_q &= x_q i_q + x_{aq} i_q; \\ \Psi_f &= x_f i_f + x_{ad} (i_d + i_{kd}); \\ \Psi_{kd} &= x_{kd} i_{kd} + x_{ad} (i_d + i_f); \\ \Psi_{kq} &= x_{kq} i_{kq} + x_{aq} i_q, \end{aligned} \right\}$$

де x_d, x_q, x_{kd}, x_{kq} - індуктивності обмоток статора і ротора по осях d і q;

χ_f - індуктивність обмотки збудження;

χ_{ad}, χ_{aq} - взаємодуктивності по поздовжній і поперечній осях.

При записі рівнянь враховувалися допущення:

- магнітне коло машини не насичене;
- фазні обмотки симетричні;
- просторові гармоніки сил ротора и статора, що намагнічують, відсутні;
- демпферні обмотки ротора можуть бути замінені двома еквівалентними контурами;
- відсутні втрати в сталі;
- вентилями комутатора є ідеальні ключі;
- джерелом живлення служить генератор трифазної системи синусоїдальних ЕРС.

Для дослідження динаміки системи в додатку Simulink розроблена модель бурового агрегату, що дозволяє проводити моделювання з урахуванням і без урахування обмежень регулятора осьового зусилля та з можливістю подачі на вхід системи задання різного виду [9,10]. Проектована система являє собою одноконтурну систему керування, з одним зовнішнім контуром осьового зусилля. Структурна схема системи представлена на рис. 2

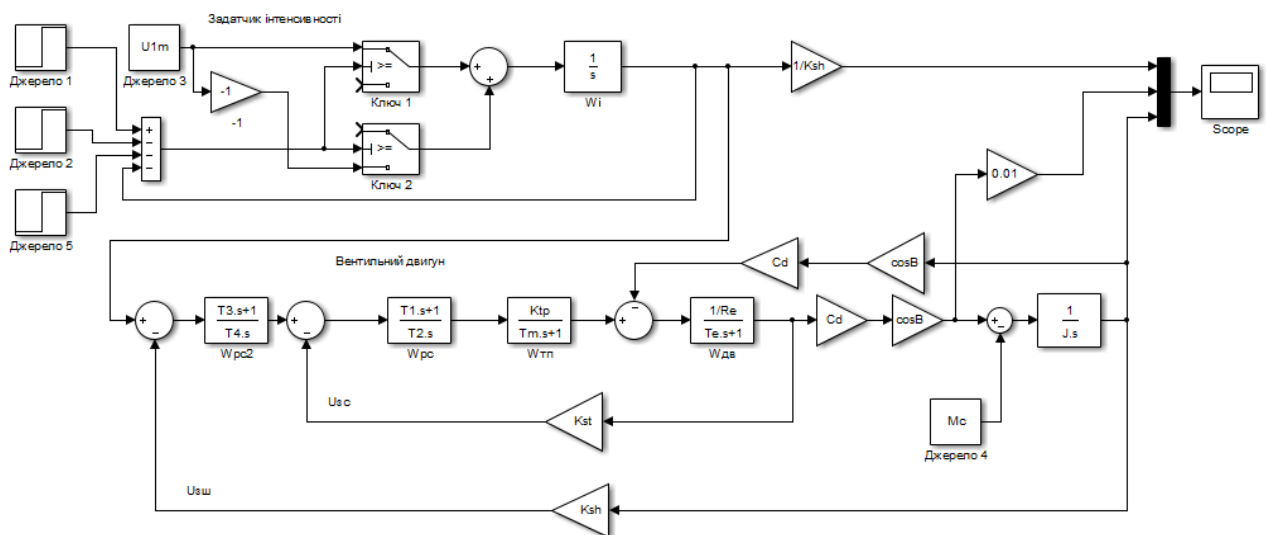


Рисунок 2 – Структурна схема електромеханічної системи.

Розрахунок параметрів моделі регульованого електроприводу було проведено на характеристиках синхронного двигуна СД2-74/25-6У3, наведених у таблиці 1

Таблиця 1 Технічні характеристики СД2-74/25-6УЗ

U, В	P, кВт	n, об/хв	I _c , А	ККД, %	cosφ	f _c , Гц	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{вх}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	GD ² , т*м ²
380	250	1000	451	93.7	0.9	50	5.5	1.1	1.1	1.7	17

Результати моделювання наведено на рис.3. Представлені діаграми заданої й дійсної швидкості та моменту ВД відповідно: а) $M_c=0$; б) $M_c=0,5 \cdot M_n$; в) $M_c=M_{nn}$ при $\beta=0^\circ$ і $U_3=100\%$; г) $M_c=0,5 \cdot M_n$ при $\beta=30^\circ$ і $U_3=100\%$; д) $M_c=0,5 \cdot M_n$ при $\beta=60^\circ$ і $U_3=100\%$; е) $M_c=0,5 \cdot M_n$ і $\beta=30^\circ$ і $U_3=50\%$;

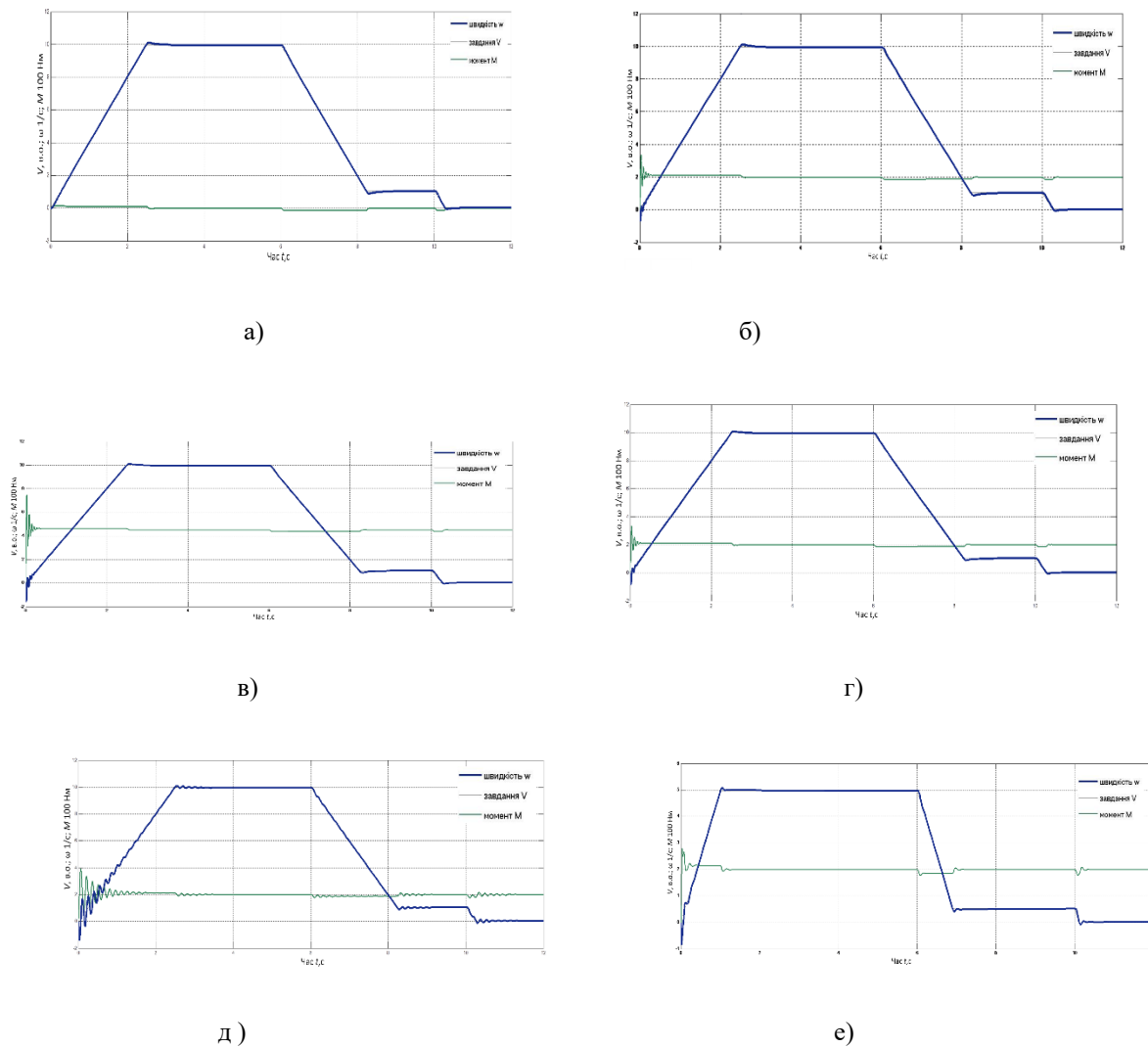


Рисунок 3.11 Результати комп'ютерного моделювання режимів вентильного двигуна

Висновки

Збільшення продуктивності бурошнекових комплексів може бути досягнуто застосуванням раціональних режимів роботи регульованого електроприводу, удосконаленням бурового інструменту і конструкції самого комплексу. Виходячи з результатів аналізу методів зниження енергоспоживання, вибрано метод регулювання частоти обертання робочого органу бурошнекового комплексу. Наведена система з підпорядкованим регулюванням є достатньо ефективною та забезпечує необхідну якість регулювання. Застосування регульованого електропривода за схемою «вентильний двигун» дозволяє значно підвищити енергоефективність роботи бурошнекового агрегату, зменшити витрати бурового інструменту та поліпшити умови праці гірників.

Література

1. Потураев В.Н. Основные научно-технические проблемы разработки тонких крутопадающих пластов Донбасса // Безлюдная выемка угля. - К.: Наукова думка, 1980. - С.184.
2. В.Тіщенко Безлюдна технологія виймання вугілля на тонких пластах Уголь України №6, 2005 р.
3. Полтавец В.И. и др. Бурошнековые комплексы нового технического уровня – ключ к решению проблем разработки маломощных пластов.- Донецк: Издательство Донбасс, 2008 .-108с.
4. Технологические схемы выемки весьма тонких и тонких пологих угольных пластов с применением бурошнековых машин и комплексов. ДонУГИ, МакНИИ,ГХК "Донуголь". – Донецк, 1997.-46с
5. Алимов, О.Д. Бурильные машины / О.Д.Алимов, Л.Т. Дворников. - М.: Машиностроение, 1976. – 295 с.
6. Алимов, О.Д., Дворников Л.Т. Бурение шпуров вращательным способом . Известия Томского одена трудового красного знамени политехнического института, том 129 стр.134-160; 1965.
7. Справочник по бурению / Под ред. Е.А. Козловского. – СПб.: Недра, 2000. – 712 с.
8. Закладной А.Н Энергоэффективный электропривод с вентильными двигателями /Закладной А.Н., Закладной О.А. [Електронний ресурс]. Монография. – К.: «Либра», 2012. -185 с.
9. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М., Высшая школа, 1987. 248 с.
10. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Mathlab 6.0. М., Коронапринт, 2001. 320 с.

УДК 621.3.078.3

Прядко С.Л., старший викладач

Блоха Ю.В., студент

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ СПРЯМОВАНИМ РУХОМ БУРОШНЕКОВОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ БЕЗЛЮДНОЇ ВИЙМКИ ВУГІЛЛЯ

Проведено аналіз методів контролю межі «вугілля-порода», зниження енергоспоживання шахтних ручних бурильних машин, запропонована багатосенсорна система автоматичної орієнтації спрямованим рухом бурошнекового агрегату для безлюдної виймки вугілля.

Ключові слова: Енергозбереження, бурошнековий комплекс, давачі межі «вугілля-порода», система керування.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ НАПРАВЛЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ БУРОШНЕКОВОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ БЕЗЛЮДНОЙ ВЫЕМКИ УГЛЯ

Проведен анализ методов контроля границы «уголь-порода», снижения энергопотребления шахтных ручных бурильных машин, предложена многосенсорная система автоматической ориентации направленным движением бурошнекового агрегата для безлюдной выемки угля.

Ключевые слова: Энергосбережение, бурошнековый комплекс, датчики границы «уголь-порода», система управления

. THE SYSTEM OF AUTOMATIC ORIENTATION OF THE DIRECTION BOROSHNEK-NEW COMPLEX FOR UNMANNED COAL MINING

The analysis of methods of border control, "coal-rock", reducing energy consumption mine hand drill machines offered bakatonosama system of automatic orientation of the direction burashnikova unit for unmanned coal mining

Key words: energy Saving, burashnikov complex, sensors the border "coal-rock" control system.

Вступ

Розробка вельми тонких і тонких пластів, запаси вугілля в яких складають 5, 8 млрд. т, – одна з найважливіших проблем шахт України. В більшості випадків (близько 60 %) це вугілля придатне до коксування, має природну зольність 13 %, залягає пластами товщиною 0,6 ÷ 0,7 м. Але видобуток вугілля із вказаних пластів не перевищує 15 % загального обсягу видобутку вугілля шахтами України. Відпрацювання таких пластів існуючими засобами механізації пов'язане зі значними матеріальними затратами та складними умовами праці робітників очисних вибоїв[1,2,3,4]. Відсутність у достатній кількості необхідної техніки для тонких пластів призводить до присічки бічних порід, що суттєво знижує якість видобутого вугілля. Щорічно з вугіллям видається понад 20 % породи, яка викидається у відвали у вигляді відходів збагачення і золи електростанцій. Це негативно впливає на довкілля. Експлуатація серійних комбайнових комплексів обмежується по нижній межі пластами 0,85÷0,9 м, що вимагає присічки бічних порід. У зв'язку з цим створення нової техніки і технології для ефективного відпрацювання пластів потужністю 0,4÷0,9 м, у яких залягають основні запаси коксованого та енергетичного вугілля, постає дуже гострою проблемою.

Досвід створення засобів комплексної механізації виїмки вугільних пластів різної потужності та виконані у цій галузі дослідження показали, що засоби, які базуються на використанні механізованих кріплень можуть бути ефективно застосовані лише на пластах потужності понад 0,8 м. У зв'язку з цим рекомендовано розробку технології та створення засобів виїмки для пластів потужністю менше 0,8 м, проводити орієнтацію на безлюдні способи. Найефективнішою технологією видобутку вугілля з тонких пластів є бурошнековий, що дозволяє вести видобуток вугілля без присутності людей у робочому вибої. Технологія конструювання та виготовлення бурошнекових комплексів (БШК) нескладна і може бути запроваджена на підприємствах не гірничого профілю, які в основному знаходяться на окупованих територіях Донбасу. Основні серйозні недоліки, властиві бурошнековій технології попередніх років, – мала глибина, незадовільна спрямованість буріння свердловин та значні втрати (до 40%) вугілля в міжсвердловинних ціликах. Оскільки робота БШК є циклічною, великий обсяг допоміжних операцій (нарощування шнеків і т. ін.) не дозволили бурошнековій технології отримати заслужене широке розповсюдження на пологих пластах. У вітчизняній практиці вперше бурошнековий спосіб випробуваний в 1958 р. при виїмці вельми тонкого (0,58–0,63 м) пологого (1–2°) пласта шахти №7 «Нововолинська» в Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні. Використовувалася установка КСВ-50 фірми «Корфман» (ФРН). На даний час випробування нових бурошнекових комплексів проведені на 15 шахтах Донбасу. ДОНВУГІ спільно, конструкторським бюро ХБКМ в/о «Завод ім. Малишева» та рядом інших організацій розроблена машина БЗМ-1м і спільно з АТ «Буран» (м. Донецьк) розроблені дослідні зразки бурошнекового комплексу БШК-2Д. Комплекс БШК-2Д і машина БЗМ-1м пройшли тривалі випробування на шахті «Моспинська» ХК «Донецьквугілля». Економічна служба шахти дала порівняльну техніко-економічну оцінку роботи трьох дільниць, що були оснащені машиною БЗМ-1м, комплексом БШК-2 і комбайном 1К101. З таблиці 1 видно, що застосування комбайна 1К101 забезпечує вищий рівень добового видобутку, але комбайн здійснює виїмку з присічкою породи, що суттєво знижує якість вугілля, і, як наслідок, впливає ціну його реалізації (в 1,48 р. нижче ціни вугілля, що видобуте машиною БЗМ-1м та комплексом БШК-2д). У зв'язку з цим одержаний шахтою прибуток від реалізації вугілля, видобутого БЗМ-1м в 1,78, а комплексом БШК-2д на 79 % вище прибутку від реалізації вугілля, видобутого комбайном 1К101. Продуктивність праці робітників по дільниці при використанні машини БЗМ-1м в 1,78, а комплексу БШК-2д в 2,25 разів вища ніж при застосуванні комбайну (табл. 1).

Таблиця 1 Порівняльний аналіз бурошнекової та комбайнової виїмки вугілля

Виїмна техніка	Видобу- ток	Розраху- нок вартість 1 т.	Сума реалізації грн.	Витрати на прибуток грн.	Прибуток грн.	Продуктивність праці робітника по видобутку т/міс.
БЗМ-1м	1404	46,7	65567	21640	43927	41,4
БШК-2д	2205	46,7	102974	31662	71312	52,5
1К101	2850	31,5	89860	53540	36320	23,3

Крім того, однією з безперечних переваг бурошнекової технології є низька вартість бурошнекового комплексу у порівнянні з механізованими комплексами з видобутку вугілля, яка

становить близько 500 тис. у.о. Застосування БШК на антрацитових пластах стримується неможливістю продуктивного спрямованого вибурювання таких пластів свердловинами великої довжини, яка обумовлена перш за все високою міцністю вугілля. Великим кроком у вирішенні названої вище проблеми стало створення БШК (КБВ) «Вектор» (рис. 1), технічні можливості якого, перш за все енергоозброєність, дозволяють ефективно руйнувати вугілля з опірністю різанню до 350 кН / м [5,6].

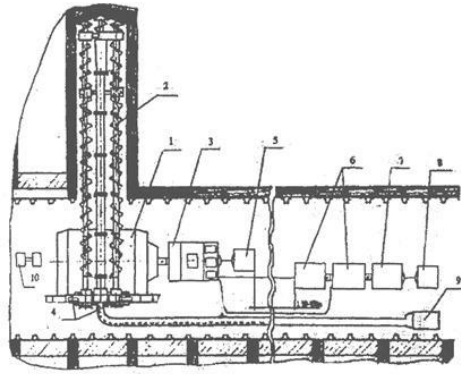


Рисунок 1 - Комплекс безлюдної виїмки «Вектор» де 1 – буровий комплекс; 2 - бур шнековий; 3 - пульти управління; 4 - виносні пульти; 5 - пристрої переміщення комплексу; 6 - енергоустановки; 7 - насосна установка; 8 - пристрій переміщення енергоустановки; 9 - система вентиляції; 10 - обладнання для доставки і нарошування шнеків.

Основні завдання:

Для економічно виправданого відпрацювання пластів потужністю менше 0,8 м необхідно:

- створити робочі органи, які забезпечують найменші витрати вугілля;
- використовувати енергозберігаючі регульовані електроприводи, що забезпечують оптимальне різання вугілля;
- розробити системи орієнтації робочого органу в площині пласту з метою запобігання присічки бічних порід.

Мета та постановка задачі

Мета дослідження: створення високоефективної, енергозберігаючої системи автоматизованого керування буровими комплексами в площині вугільного пласту з мінімальною присічкою бічних порід а також підвищення ресурсу експлуатованої техніки [7,8,9]. Керування робочим органом БШК по гіпсометрії пласта (автоматизоване водіння по гіпсометрії пласту і т.ін.), передбачає застосування таких автоматизованих систем:

- стеження за старою машинною дорогою;
- зберігання пам'яті про гіпсометрію пласту в функції шляху;
- давачів прихованої або відкритої межі «вугілля-порода».

Дві перших системи не отримали поширення, оскільки гіпсометрія пласту може змінюватись як по довжині, так і в напрямку просування вибою, що вимагає постійного коректування пам'яті. В іншому випадку не виключена присічка породи. Практично придатними для експлуатації виявились лише системи з контактними давачами «вугілля-порода». Системи визначення межі «вугілля-порода» можна розділити на дві основних групи: система, оснащена давачами, що визначають товщину пачки вугілля, що її залишають біля покрівлі або підгрунтя та система, оснащена давачами, які виявляють положення породи. Системи для вимірювання товщини

вугільної пачки включають ядерний, радіохвильовий або електромагнітний давачі, для яких потрібне проникнення хвиль через задану товщину вугільної пачки. . Всі ці системи використовують широко розповсюджені давачі природного γ -випромінювання. До недоліків цих давачів слід віднести необхідність лишати вугільну пачку біля покрівлі і підгрунтя, неможливість використання на пластах з нестійким підгрунтям і покрівлею та самозапалювальним вугіллям. Більшість сланцевих порід (наприклад, сланці, сланцева «присуха» біля покрівлі, вогнестійка глина, прошарки) мають таку саму хвилинну інтенсивність, як калій (К-40), уран і торій. Звичайно рівень γ -випромінювання глинистих сланців знаходиться в межах 10-40 пікоКюрі/г, а вугілля - 2 пікоКюрі/г. Таким чином вугілля є середовищем, що ослаблює інтенсивність проникнення γ -радіації. Тому товщина шару вугілля, що знаходиться поміж сланцем і детектором γ -радіації, може бути визначена на основі випромінювань інтенсивності проникнення радіації від сланцю до детектора. Факторами, що визначають інтенсивність γ -випромінювання є : склад і питома енергія радіоактивних елементів, що містяться в породі; - густина і товщина шару вугілля. Одна з основних характеристик лічильника – ефективність реєстрації частинок. Вона визначається як відношення

$$\delta = N_p / N$$

де N_p – кількість зареєстрованих частинок (квантів); N – число частинок (квантів), які потрапили за цей же час в робочий об'єм детектора . Наприклад, система 5ЕІ створює до 200 імпульсів за секунду при відсутності вугілля та 30 імпульсів, якщо під сланцевою породою покрівлі лишається вугільна пачка товщиною 45 мм.

Системи для вимірювання межі «вугілля-порода» включають вібраційний, інфрачервоний оптичний давачі, що потребують безпосереднього контакту з контрольованою поверхнею.

Зараз жоден з існуючих способів контролю межі вугілля-порода і товщини цілика не дає достовірної оцінки.

В основу створення систем і засобів автоматизованого керування БШК по гіпсометрії вугільного пласта покладено концепцію багатопараметричного (багатосенсорного) контролю різних фізичних процесів і явищ, які супроводжують роботу виконавчого органу бурової установки при вийманні вугілля у вибої [10]. Система автоматизованого контролю і орієнтації є сукупністю технічних засобів, об'єднаних в автономні та вмонтовані, функціонально закінчені підсистеми, які спроможні функціонувати як в незалежному, так і у взаємозв'язаному режимах роботи. При синтезі системи керування БШК, враховуючи виняткову складність практичного розв'язання розглянутої проблеми, прийнято: циклічне і безперервне автоматичне вимірювання товщини вугільної пачки в підгрунті та покрівлі пласта за різницею в природній радіоактивності вугілля та вміщуючих порід; контроль у динаміці змін сигналу від датчиків вугілля-порода, вмонтованих у гідродомкрати робочого органу БШК; аналіз сейсмоакустичних явищ (полів), які супроводжують роботу виконавчих органів при руйнуванні гірського масиву і безперервно реєструються за допомогою сеймоприймачів (геодинамометрів); контроль електричного струму, який споживають електродвигуни БШК. Це дозволяє підвищити надійність і достовірність ідентифікації вимірюваних параметрів і сигналів відповідно до трьох основних режимів роботи (робота під навантаженням, робота на холостому ходу, нарощування шнеків

Узагальнену структурну схему максимальної конфігурації багато- параметричної системи автоматичного контролю, орієнтації та керування бу рошнековим комплексом наведено на рис. 3

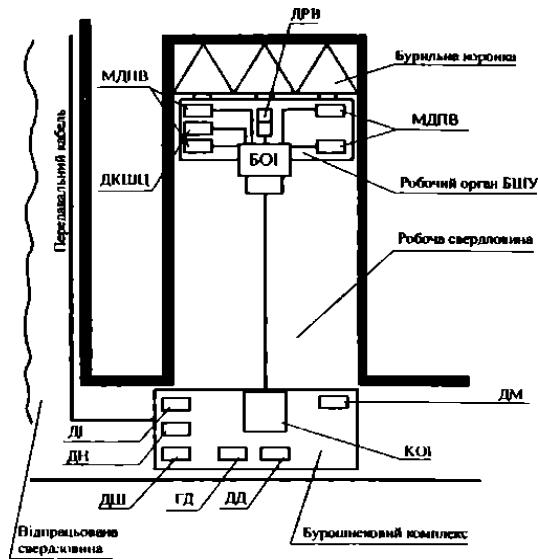


Рисунок 3 Автоматизована система керування БШК

До складу занурюваної підсистеми, розташованої на виконавчому органі, входять приймачі інформації - чотири датчики межі вугілля-порода механічного типу циклічної дії (МДПВ), два датчики контролю природної радіації вугілля (ДПР), датчик контролю ширини цілика (ДКШЦ), блоки інформації (БОІ). В нього входять іскробезпечні джерела живлення, мікроконтролер первинної обробки інформації та передавачі сигналів.

Незанурювана підсистема, яка знаходиться безпосередньо на буровому комплексі, розташованому у відкаточному штреку, складається з приймачів інформації непрямого контролю: датчиків струму (ДС) і напруги (ДН) в силових колах електроприводів, датчиків моменту (ДМ), датчиків швидкості обертання лівого та правого шнеків (ДШ), геодинамічних (ГД), датчиків тиску рідини в гідросистемі (ДТ). Крім того, до складу незанурюваної підсистеми входить мікроконтролер обробки інформації (КОІ), силові ключі перемикання електромагнітних клапанів подачі рідини в циліндри гідродомкратів і електроклапанів дроселюючих пристроїв системи керування електроприводами. Алгоритм циклу вимірювання виконується таким чином. Оскільки робота бурового комплексу має циклічний характер (нарощування шнеків, переміщення робочого органа, орієнтація бурових головок відносно вміщуючих порід, забурювання), вимірювання пачки вугілля здійснюється в момент нарощування шнеків, коли немає, пересування робочого органа БШК. Включаючи по черзі циліндри виконавчого пристрою з інденторами за допомогою датчиків тиску, заміряють "полички" коливань сколів і за допомогою мікроконтролера первинної обробки інформації визначають товщину пачки вугілля під кожним з чотирьох гідродомкратів підйому-о пускання. Після цього отримана інформація порівнюється з попередньою, що зберігається в пам'яті мікроконтролера, та інформацією, отриманою від датчиків природної радіоактивності вугілля. Одержана і опрацьована інформація передається в центральний процесор, розташований на БШК. Після порівняння даних, одержаних при попередніх вимірах, та аналізу сигналів датчиків непрямого контролю на рідкокристалічний дисплей виводиться інформація про положення робочого органа у вибої і рекомендації щодо установки кожної з опор та швидкості буріння. Оператор може вручну задати параметри режиму буріння наступного відрізка свердловини.

Висновки

Аналіз систем автоматичного управління бурошнековими комплексами в профільній площині вугільного пласта дозволяє зробити наступні допущення щодо створення систем керування:

Найбільш ефективними для реалізації в системах автоматичного управління БШК є засоби контролю прихованої або відкритої межі «вугілля-порода», створені на основі радіаційних методів контролю товщини вугільної пачки.

Для досягнення високої якості управління в профілі пласта система автоматичного контролю БШК повинна бути багатопараметричною (багатосенсорною).

Література

1. Ширнин И.Г., Палкин В.А., Дубницкий В.И. Состояние угольной и сланцевой отраслей ЕС и Украины// Уголь Украины.- 2007. - № 8 .- С. 8-10.
2. Курченко Э.П., Манжула И.Т., Сушко И.Л. Технология и средства механизации для эффективной и безопасной выемки весьма тонких и тонких пластов// Технология очистных работ на угольных шахтах: Сб. науч. тр. ДоНУГИ. - Донецк. - С. 88-101
3. Ходырев Е.Д.,Филатов В.Ф.,Анциферов В.А. Механизированная выемка тонких пластов (УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина// Наукові праці УкрНДМІ НАН України, № 2, 2008
4. Кодунов Б.О. Бурошнековый способ добытки угля та його перспективи для впровадження на шахтах Донбасу // Збірник матеріалів регіональної науково-практичної конференції “Проблеми гірничої технології”, Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ, 26 листопада 2010 р. - Донецьк: Цифрова типографія, 2010. - С. 149-155.
5. Комплекс Безлюдной выемки КБВ «Вектор». Руководство по эксплуатации. КБВ.00.00.000 РЭ. г. Шахты, 2003.- 65 с.
6. Протокол приёмочных испытаний опытного образца комплекса безлюдной выемки КБВ «Вектор». ООО «Уголь-ЗУМК», г. Шахты, 2005.- 64 с.
7. Чермалих В.М., Закладний О. М., Прядко С.Л. та ін. Звіт про науково – дослідну роботу № 2669 “Розробка автоматизованої системи керування бурошнековим агрегатом для виїмки вугілля з тонких пластів ” // №01943600117 МОН України, НТУУ “КПІ”, 1995. С.
8. Чермалих В.М., Закладной А. Н., Прядко С.Л., Смоляр В.Г. Система автоматической ориентации направленным движением бурошнекового агрегата для безлюдной выемки угля из тонких пластов // Третья Украинская конференция по автоматическому управлению, Севастополь, 1996. С.
9. Чермалих В.М., Закладний О. М., Прядко С.Л. та ін. Звіт про науково – дослідну роботу № 2064 “Наукові основи побудови системи автоматичної орієнтації направленим рухом бурошнекового агрегату для безлюдної виїмки вугілля з тонких пластів ” // № 01964001541 МО України, НТУУ “КПІ”, 1997. С.
10. Закладний О.М., Прядко С.Л., Смоляр В.Г., Оборонов Т.Ю. Система дистанційного моніторингу та управління бурошнековим комплексом // Науково-технічна конференція Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ» «Енергетика: економіка, технології, екологія» - К.: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2010. – 316 с.