



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



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

ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

7-8 травня 2020 року

Київ 2020

Енергетика. Екологія. Людина. Зб. наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2020. – 388 с.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на XII 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 комітету – Денисюк С. П., д.т.н., професор, директор ІЕЕ.

Заступник голови – Дичко А. О., д.т.н., проф., заст. директора ІЕЕ з наукової роботи.

Члени оргкомітету:

Дешко В. І. – д.т.н., проф., завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження;
Розен В. П. – д.т.н., проф., завідувач кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами;
Попов В. А. – д.т.н., проф., завідувач кафедри електропостачання;
Шевчук С. П. – д.т.н., проф., завідувач кафедри електромеханічного обладнання енергоємних виробництв;
Крючков А.І. – к.т.н., доц., в.о. завідувача кафедри геоінженерії;
Лебедєв Л. М. – к.т.н., доц. каф. автоматизації управління електротехнічними комплексами;
Лістовщик Л. К. – к.т.н., доц. каф. електромеханічного обладнання енергоємних виробництв;
Студенець В. П. – к.т.н., доц. каф. теплотехніки та енергозбереження; **Закладний О. О.** – к.т.н., доц. каф. електропостачання; **Броницький В. О.** – ас. каф. геоінженерії.

Адреса організаційного комітету:

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Сайт конференції: 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.

ISSN 2307-7239

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

ЗМІСТ

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

Оптимізація енергоспоживання шляхом використання Системи накопичення рекуперативної енергії. <i>Федоренко Д.С., Замулко А.І.</i>	9
Побудова комплексної енергосистеми за допомогою відновлюваних джерел енергії. <i>Василенко К. А.</i>	15
Інформаційна модель кількісних параметрів режиму електроспоживання – графіку електричного навантаження (ГЕН). <i>Ковалішин А.Р.</i>	19
Роль концепції Smart Grid в енергетичному секторі України. <i>Боровець М.Ф.</i>	26
Оцінювання потенціалу регіону щодо розвитку ВДЕ. <i>Лило І.В., Замулко А.І.</i>	30
Застосування засобів R для прогнозування цін на електричну енергію. <i>Іщенко О.С.</i> ...	35
Роль та місце Smart Home систем в системі енергоменеджменту житлових багатоквартирних будинків. <i>Іванченко Р.П., Чернявський А.В.</i>	40
Механізм управління генерацією сонячних електростанцій. <i>Лунін М.М.</i>	47
Особливості і відмінності в розрахунку витрат і втрат теплової енергії в будівлях за ДСТУ Б А.2.2-12:2015 . <i>Панадій М.В., Бориченко О.В.</i>	50
Ймовірно-статистичний метод побудови для оперативних балансів споживання електроенергії. <i>Олійник В.В.</i>	56
Режимні особливості вузла електромережі з приєднанням малої вітроелектростанції й засоби підвищення показників якості електропостачання. <i>Костюк В.О., Назарук В.М.</i>	58
Організація контрактних систем на європейських ринках електричної енергії за наявності генерації з відновлюваних джерел енергії. <i>Стрелков М.Т., Стрелкова Г.Г., Романченко О.С.</i>	64
Інформаційна модель прогнозування часових рядів за допомогою попередньої їх сегментації на основі аналізу скалограми. <i>Гнатюк І.А., Волошко А.В.</i>	69
Огляд і аналіз систем обліку та контролю електроспоживання. <i>Тисячний С. Г.</i>	76
Форми організації конкурентної торгівлі на оптовому ринку електричної енергії на добу наперед. <i>Стрелкова Г.Г., Стрелков М.Т., Батюта К.В.</i>	81
Етапи реформування локальних енергетичних ринків України та особливості їх функціонування. <i>Мельник М.Л.</i>	87

Особливості формування системи обліку для активного споживача на ринку електричної енергії. <i>Галушко Г.О., Замулко А.І.</i>	90
Математична модель вибору місць оптимального розміщення джерел живлення в розподільних мережах. <i>Добровенко Д.Ю.</i>	93
Дослідження модифікацій для сонячних електростанцій. <i>Іващенко Т.С.</i>	99
Системи моніторингу електричних мереж 110 КВ та вище і їх програмування. <i>Лисий В. В.</i>	105
Динаміка цін на роздрібному ринку електричної енергії в умовах функціонування нової моделі ринку електроенергії України. <i>Стрелкова Г.Г., Стрелков М.Т., Людмирська В.В.</i>	110
Застосування нейронних мереж для планування електроспоживання. <i>Калінчик В.П., Мельник Д.О.</i>	116
Оцінювання доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності будівель комунальної сфери. <i>Овчаренко Е.О., Дерев'янка Д.Г.</i>	121
Просюмери у соціально-технічній сфері Smart Grid. <i>Рибій М.В.</i>	127
Прогнозування електронавантаження з використанням методів машинного навчання. <i>Яценко О.В.</i>	134
Підвищення енергоефективності інженерних систем спорткомплексу. <i>Підгурський І.П.</i>	141
Експериментальне дослідження ефективності генерації дахової СЕС корпусу №22. <i>Степаненко В.А., Веремійчук Ю.А.</i>	144
Енергоефективність в лікарнях. <i>Слюсарь К.В.</i>	150
Розробка способу класифікації інформаційних сигналів шляхом побудови оптимального дерева рішень. <i>Гавор М.І.</i>	153
Застосування ймовірнісно-статистичного методу для побудова електричних балансів як інструмент для зменшення собівартості виготовленої продукції. <i>Голуб В.Д.</i>	157
Дослідження алгоритмів оптимізації встановлення захисного обладнання в повітряних лініях 6-20 кВ з метою підвищення надійності електропостачання. <i>Фролов І.В., Попов В.А.</i>	161
Моніторинг ефективності впровадження енергозберігаючих заходів. <i>Карнажук Т.Р., Бориченко О.В.</i>	167
Особливості формування схем гарантованого живлення для мереж з відновлюваними джерелами енергії. <i>Лавринович П.В.</i>	172

Використання накопичувального електроводонагрівача для зменшення пікового денного електроспоживання та усунення провалу нічного енергопостачання.

Бойчук О.І.175

Використання методу статистичних випробувань для аналізу впливу невизначеності вихідної інформації на оцінку якості напруги в розподільних мережах.

Федосенко М.М., Довгаль М.О.180

Dynamics of access to electricity and expected demand in electricity under full electrification in Senegal. H. Strelkova, M. Strelkov, I. Dango188

The study of monthly time series of power consumption of an industrial enterprise with a continuous cycle of work. Rashed Almagbrok193

Technical and economic stochastic modeling of new generating facilities to mitigate uncertainty impacting the feasibility study projections. Abdessamad Mesbahi.....198

Preconditions analysis of smart metering systems deployment in Libya. Bader Faraj204

СЕКЦІЯ 2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

Проблематика використання гід-інфраструктури для оптимізації енергоспоживання багатоквартирного будинку. Гнилокурченко М.С.212

Особливості будови і функціонування кожухопластинчастих теплообмінних апаратів. Олійник Б.В., Гавриш А.С.221

Аналіз систем зеленої сертифікації будівлі з точки зору оцінки енергетичної ефективності Суходуб І.О., Сердечний П.Ю.226

Building rating systems in Ukraine – a comparative analysis between leed and energy certification in Ukraine. Deshko V., Kuzmyna Y.235

Про високошвидкісні теплообмінні апарати. Клочко Д.С., Гавриш А.С.241

Порівняльний аналіз акумуляторів сонячної теплової енергії для двигуна Стірлінга на базі різних матеріалів з фазовим переходом. Бондаренко В.В., Студенець В.П.245

Підвищення енергоефективності будівлі. Закревський М.А., Шкляр В.І., Дубровська В.В.251

Моделювання потоку плівки рідини гладкою поверхнею на базі експериментальних досліджень. Лептюхов І.І.255

Експериментальні дослідження температурного стану приміщення при різних варіантах термоізоляційних фасадних матеріалів. Мороз М.В., Басок Б.І.261

Особливості техніко-економічної оцінки споживання енергії будівлями. Наумчук О.С., Яценко О.І., Дешко В.І.269

Comparison of building energy performance norms in Turkey and Ukraine. <i>Zekeriya Gumus</i>	273
СЕКЦІЯ 3. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ	
Квазіоптимальне керування електромехаічною системою позиціонування «летючої» пили. <i>Набок С.С, Торопов А.В.</i>	278
Альтернативне управління індукційним нагрівачем за допомогою перетворювача частоти з резонансним інвертором струму. <i>Чевельча О.В., Босак А.В.</i>	284
Покращення показників якості управління синхронним двигуном з постійними магнітами. <i>Матушкін Д. С., Босак А. В.</i>	287
Енергетичні режими асинхронного електроприводу з перетворювачем частоти. <i>Майстренко Л.Ю., Дубовик В.Г.</i>	290
Бенчмаркінг енергоефективності регіонів України. <i>Докишина С.Д., Розен В. П., Сторожилова Г. І.</i>	297
Керування електричним навантаженням з використанням кінетичних накопичувачів енергії. <i>Кальницький О.П., Розен В.П.</i>	302
Система регулювання повітрообміну в громадських приміщеннях за рахунок підтримання температурного режиму. <i>Бровко В., Чермалих О.В.</i>	306
Підвищення рівня енергоефективності водовідливної установки кар'єру. <i>Харкевич Р.В., Прядко С.Л.</i>	310
СЕКЦІЯ 4. МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ	
Аналіз методів боротьби з парафіновими відкладеннями при видобутку вуглеводнів та запобігання подальшого їх утворення на стінках нафтової свердловини. <i>Лотонова О. В., Лістовицький Л. К.</i>	317
Створення дворежимного струминного насосу для підвищення продуктивності нафтової свердловини. <i>Лістовицький Л.К., Мельничук Р.І.</i>	326
Pig technology for oil pipeline service. <i>Oduware Senseman Nosa-Doe</i>	330
Enhanced control of autonomous power supply process for internal combustion engine. <i>Aissa Halem</i>	333
СЕКЦІЯ 5. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ	
Безпека територій підприємств гальванічного виробництва. <i>Придолоба А.В., Несстер А.А.</i>	340
Дослідження впливу <i>Trapa natans</i> на стан водного середовища річки Ірша. <i>Науменко Д. П., Гребенюк Т.В.</i>	347

Обґрунтування підходу щодо вторинного використання відходів виробництва щебеню. <i>Білоус А. Я., Тверда О. Я.</i>	350
Розроблення кругового циклу функціонування гірничих підприємств. <i>Горбачова К. Ю., Тверда О. Я.</i>	353
Удосконалення методу очищення води як один із критеріїв покращення житлово-комунальних послуг в межах міста. <i>Каліхман О.В., Гребенюк Т. В.</i>	356
Оцінка впливу деформаційних характеристик фундаменту на спектральну складову сейсмічних коливань. <i>Бахтин А.І., Крючков А.І.</i>	358
Вдосконалення системи очистки стічних вод на гірничодобувних підприємствах України. <i>Черненко Т.В., Ремез Н.С.</i>	364
Застосування установки мікробіологічного очищення стічних вод, які містять гексаметилендіамін. <i>Литвиненко В. А., Дичко А. О.</i>	368
Запобігання забрудненню довкілля важкими металами при утилізації акумуляторів. <i>Педаш К.О., Жукова Н.І.</i>	372
Цілеспрямована зміна властивостей палива з метою зменшення техногенного навантаження на урбоєкосистеми та здоров'я населення. <i>Руренко О. А., Кофанов О. Є.</i>	376
Забруднення дворових територій через «колодязну» міську забудову. <i>Крушевський Є. А, Кофанова О.В.</i>	379
Research of the impact of coastal pollution and degradation in West Africa. <i>Andrew Kojo Amegbey.</i>	382
Increasing the level of environmental safety during the blasting operations forming the resource-saving charge. <i>Clement Elozonam Mobuogwu</i>	385

СЕКЦІЯ 1.

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

УДК 621

Федоренко Д.С.

Науковий керівник: **Замулко А.І.** к.т.н., доцент
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім.Ігоря Сікорського

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ РЕКУПЕРАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація - В статті розглядається концепція використання системи накопичення рекуперативної енергії. Розглядається та описується основні сфери застосування даної концепції та принцип роботи. Основна увага сконцентрована на вирішенні проблеми використання рекуперативної енергії та повернення її в мережу енергопостачання. За результатами аналізу встановлено, що використання рекуперативної енергії є досить перспективним напрямом дослідження, а також проаналізовано переваги та недоліки даної системи. Подальші дослідження необхідно направити на обґрунтування раціонального типу накопичувача.

Ключові слова: частотний перетворювач, рекуперація, рекуперативна енергія, аналіз, живлення, накопичувач електричної енергії, генераторний режим, режим двигуна, електродвигун, рекуперативне гальмування.

Abstract - The article considers the problem of using the recuperative energy storage system. The main areas of application of this concept and the principle of work are considered and described. The main focus is on solving the problem of using regenerative energy and returning it to the energy supply network. According to the results of the analysis it is established that the use of recuperative energy is a very promising area of research, as well as analyzed the advantages and disadvantages of this system. Further research should be directed to substantiate the rational type of drive.

Keywords: frequency converter, recuperation, recuperative energy, analysis, power supply, electric energy storage, generator mode, motor mode, electric motor, recuperative braking.

Вступ. Традиційним способом позбавлення від зайвої енергії, що виділяється, в перетворювачах частоти під час гальмування керованих ними асинхронних двигунів, було розсіювання в формі тепла на резисторах. Гальмівні резистори застосовувалися всюди, де мала місце висока інерція навантаження, наприклад в центрифугах, на електротранспорті, на навантажувальних стендах і т. д.

Таке рішення було необхідністю, щоб обмежити максимальну напругу на затискачах перетворювачів в режимі гальмування. Інакше б частотні перетворювачі виходили з ладу, адже було б неможливо контролювати параметри розгону і гальмування.

Гальмівні резистори не обтяжували економічно обладнання, але деякі незручності за собою незмінно тягли. Резистори – габаритні, сильно розігріваються, потрібен захист від вологи і пилу. І все це пов'язано лише з тим, що потрібно розв'язати енергію впусту, за яку підприємство платить гроші, і гроші не малі, якщо тим більше мова про велике виробництво.

Влітку особливо небажаний додатковий нагрів навколишнього повітря, адже технологічне обладнання і так нагріте теплим повітрям, а тут ще й резистори, прогріті до 100 градусів і вище. Потрібна додаткова вентиляція - знову витрати.

Мета та завдання дослідження. Ознайомитись з концепцією повторного використання енергії рекуперації, яка утворюється в системі електропостачання, з метою

економії як ресурсів, так і коштів підприємства. Виконати аналіз принципів роботи системи рекуперативної енергії і як вона утворюється, а також принцип роботи явища рекуперативного гальмування.

Постановка завдання. Але є й інший шлях. Навіщо розсіювати енергію даремно? Можна повернути її в мережу назад, і таким чином заощадити енерговитрати. Ось тут і приходять на допомогу системи рекуперації електроенергії.

Безумовно, частотні перетворювачі сьогоdnішнього дня сильно скорочують споживання електрики обладнанням, завдяки оптимізації способу живлення двигунів різного технологічного устаткування, і це економить ресурси. Але застосування рекуперації ще більш збільшує економію. Енергія може не розсіюватися на резисторах при гальмуванні, а повертатися в мережу з урахуванням поточних параметрів мережі.

На сьогоднішній день провідні виробники промислових механізмів і обладнання вже впроваджують такі системи на електротранспорті: для тролейбусів, електропоїздів, ескалаторів, трамваїв, нарешті - для електрокарів[1].

Принцип роботи. Джерело змінного струму, що живить двигун або іншу установку, повинен прийняти енергію назад. Для цього замість звичайного випрямляча застосовується перетворювач з широтно-імпульсною модуляцією. Такий перетворювач в змозі направляти потоки потужності як від джерела до споживача, так і від споживача до джерела. Даний шлях дозволяє довести коефіцієнт потужності до одиниці.

Типовий IGBT-каскад частотного перетворювача, що працює в режимі рекуперації, спочатку представляється як випрямляч синусоїдального струму, однак при гальмуванні він генерує сигнал з широтно-імпульсною модуляцією, при якому напрямок струму, при напрузі на затискачах вище певного рівня, виявляється спрямованим не від мережі, а до мережі з ланцюга споживача.

Різниця напруг мережі живлення і ланцюга навантаження прикладається до рекуперації індуктора. Індуктивність блокує високочастотні гармоніки, і виходить майже чистий синусоїдальний струм, тут не потрібно синхронізуючого обладнання, достатньо подати три тестових імпульсів від ШІМ-модулятора в мережу, щоб визначити частоту і фазу напруги в поточний момент.

Прикладом можуть служити частотні перетворювачі з системою рекуперації фірми Control Techniques, які служать зокрема на заводах Lamborghini і Nissan для живлення стендів динамічних випробувань, а також на ескалаторах і в різних металургійних рішеннях.

Суть всюди одна і та ж - створюється двонаправлений потік енергії як до споживача з мережі, від джерела, так і з споживача до мережу. При проектуванні рекуперативних систем враховують ряд факторів: діапазон напруги, номінал обладнання і коефіцієнт потужності, максимальна потужність з урахуванням перевантаження, рівень втрат[2].

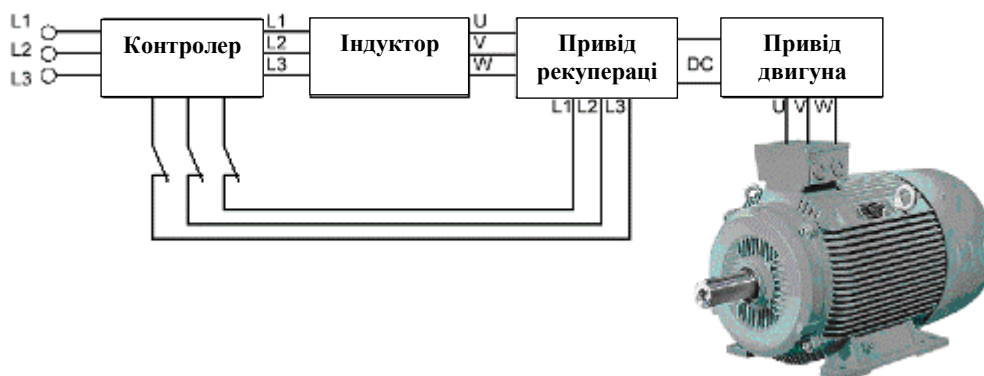


Рисунок 1 – Одномоторна схема підключення до мережі електропостачання

Схема, наведена на малюнку(рис. 1), демонструє одномоторне рішення, де привід двигуна і привід рекуперації представлені кожен в одному екземплярі, їх номінали рівні. Але часом трапляються перевантаження двигуна, і тоді потрібно більш потужний привід рекуперації, щоб покрити нижню межу по напрузі і втрати в двигуні.

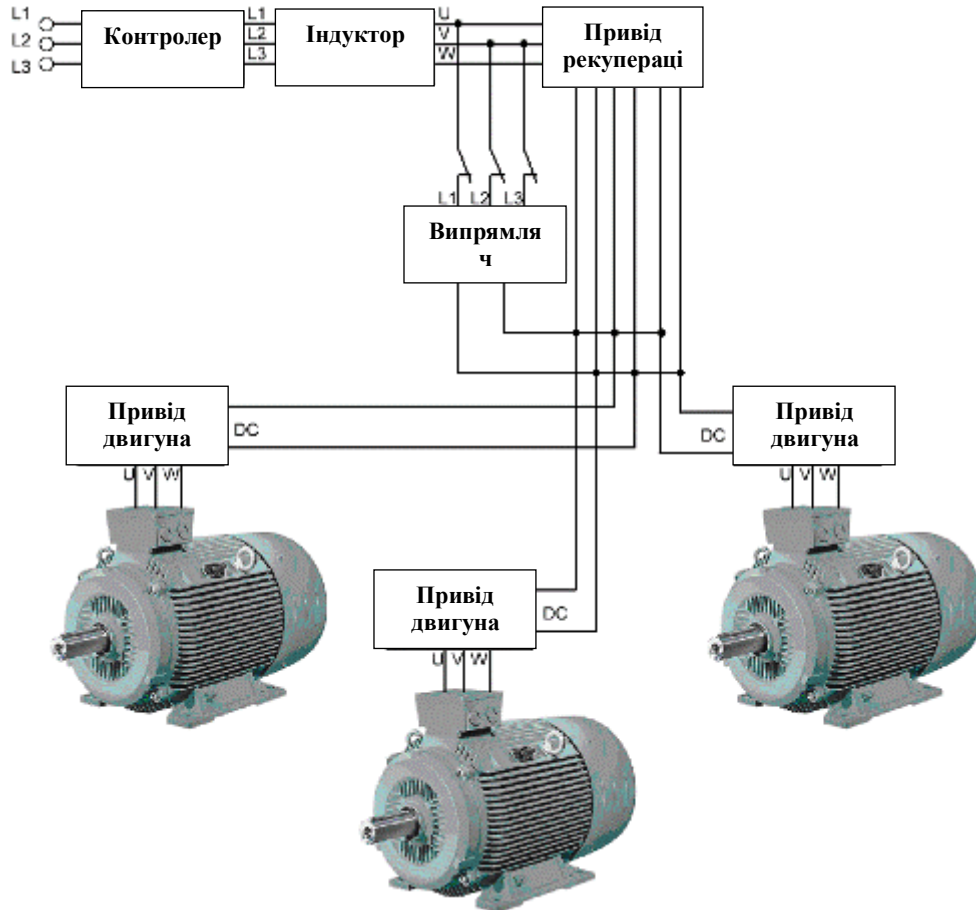


Рисунок 2 – Багатомоторне підключення до мережі електропостачання

За таким же принципом забезпечується робота декількох двигунів з декількома моторними приводами, при цьому ставиться один потужний привід рекуперації, здатний пропустити через себе сумарну потужність для всіх двигунів системи з урахуванням можливості одночасного гальмування всіх двигунів(рис. 2).

Для обмеження пускового струму в системах з декількома двигунами, коли шини постійного струму об'єднані, застосовують тиристорні модулі, що підключаються за допомогою контакторів до зарядженого постійним струмом конденсаторів перетворювача. Після заряду конденсаторів тиристорний модуль відключається. Очевидно, системи рекуперації конфігуруються по різному, і проектується індивідуально[3].

Застосування в електрокарах. Розглянемо приклад електрокарів, а саме рекупепативне гальмування. Воно застосовуються в сучасних гібридних двигунах автомобілів, де основою служить шлях електричної рекуперації кінетичної енергії.

Завжди, коли автомобіль рухається, з'являється кінетична енергія. Але при гальмуванні в традиційному вигляді, надлишок енергії просто втрачається у формі тепла, гальмівні колодки труться об гальмівні диски, витрачаючи кінетичну енергію даремно, нагріваючи фрикційний матеріал і метал, віддаючи тепло в кінцевому підсумку навколишньому повітрю. Це дуже марнотратний підхід.

Система рекуперативного гальмування не витрачає кінетичну енергію просто на тертя, щоб загальмувати. Замість цього використовується включений в трансмісію електродвигун, який починає при гальмуванні працювати як генератор, перетворюючи момент на валу в електроенергію, що заряджає акумуляторну батарею, а гальмуючий момент ротора, що виникає в генераторному режимі, як раз і дає автомобілю бажане гальмування. Запасена в акумуляторі, таким чином енергія через деякий час знову служить для руху автомобіля, тобто використовується повторно.

Рекуперативне гальмування дозволяє по максимуму використовувати доступний ресурс кожного заряду акумулятора, що дає змогу економити. Оскільки при гальмуванні 70% кінетичної енергії припадає на передню вісь, то і систему рекуперації монтують саме на передній осі, щоб більш ефективно зберігати енергію.

Найбільша ефективність рекуперативного гальмування досягається на високих швидкостях руху, а при низьких швидкостях ефективність системи падає. З цієї причини поряд з рекупераційним гальмуванням так чи інакше фрикційна гальмівна система присутня. Спільна робота двох систем забезпечується електронним контролером.

Контролер реалізує ряд функцій: контролює швидкість обертання коліс, підтримує правильний гальмуючий момент, розподіляє гальмівне зусилля між рекупераційним і фрикційним гальмом, підтримує прийнятний для оптимального заряду батареї крутний момент.

Зрозуміло, прямого механічного зв'язку між педаллю гальма і фрикційними колодками в таких автомобілях немає. Електронний блок забезпечує правильне взаємодія ABS, системи курсової стійкості, системи розподілу гальмівних зусиль і підсилювача екстреного гальмування між собою[4].

Застосування в метрополітені. На разі однією з ключових вимог при модернізації існуючого або створенні нового рухомого складу є впровадження на ньому енергоефективних та енергозберігаючих систем з метою заощадження енергоресурсів. Сказане особливо гостро відноситься до метрополітену, що пояснюється характером експлуатації його складу. Необхідність та актуальність впровадження енергозберігаючих систем також диктується постійним подорожчанням вартості енергоресурсів протягом останніх років.

В останні роки метрополітенами України з метою скорочення витрат електричної енергії на тягу поїздів поступово вводиться в експлуатацію модернізований та новостворений рухомий склад. Головними відмінностями даного рухомого складу є використання асинхронного електроприводу змінного струму, мікропроцесорної системи управління, а також впровадження іншого енергозберігаючого обладнання та технологій, насамперед систем рекуперацій. За результатами досліджень відомо, що модернізація існуючого рухомого складу у відношенні до п'ятивагонного зчепу дозволяє скоротити споживання електроенергії на тягу на 35–40 %. Таким чином, на даний час у українських метрополітенах виконуються заходи з енергозбереження та підвищення енергоефективності рухомого складу.

При цьому особливої актуальності набувають питання визначення раціональних параметрів ємнісного накопичувача енергії (структурну схему підключення бортового ЄНЕ до тягового електроприводу (рис. 3, а) та зовнішній вигляд бортового ЄНЕ (рис. 3, б), зображено рис. 3) для рухомого складу метрополітену.

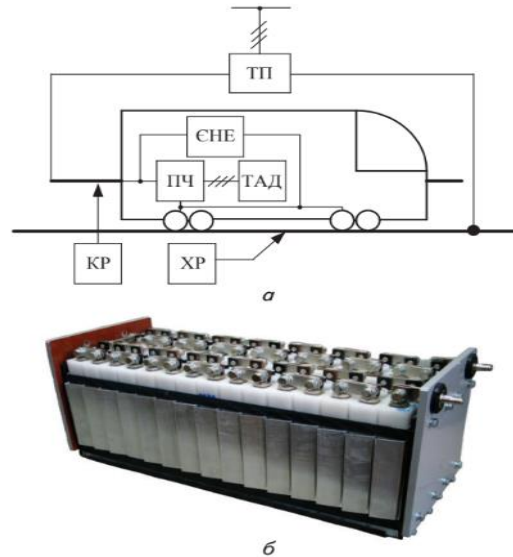


Рисунок 3 – Структурна схема підключення бортового ЄНЕ до тягового електроприводу (а) та зовнішній вигляд бортового ЄНЕ (б): ТП – тягова підстанція; ПЧ – перетворювач частоти; ТАД – тяговий асинхронний двигун; КР – контактна рейка; ХР – ходові рейки

Вищесказане пояснюється необхідністю визначення економічного оптимуму між витратами на накопичувачі та наступної енерговіддачі від них. Також про актуальність напрямку енергозбереження на транспорті шляхом впровадження накопичувачів енергії свідчать світові тренди з впровадження відповідних засобів[5].

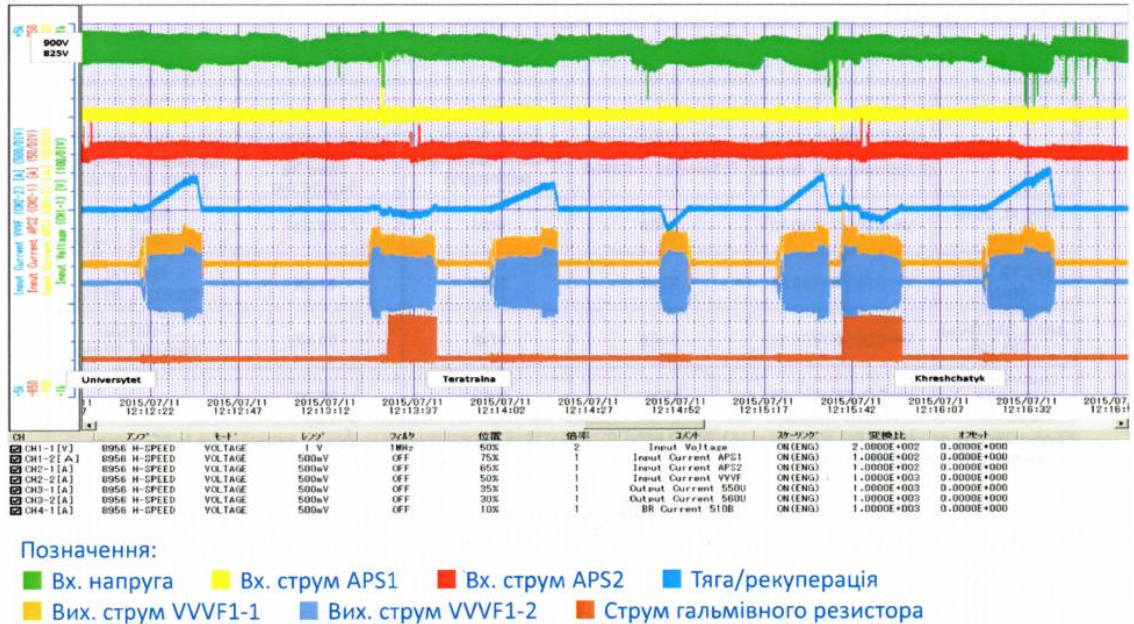


Рисунок 4 – Осцилограма вимірювань на поїзді струму і напруги на станціях Київського метрополітену

На даній осцилограмі вимірювань (рис. 4) маємо змогу побачити, що досить довгий гальмівний шлях при русі рухомого складу метрополітену, дозволяє отримати достатню кількість енергії рекуперації для того, щоб акумулювати її на накопичувачі електричної енергії. В подальшому таку енергію можна використовувати на власні потреби рухомого

складу, або віддавати цю енергію назад в мережу. Це показує, що дана технологія являється досить перспективною для технологій майбутнього, і має місце при виробництві рухомих складів метрополітенів.

Висновок. На основі запропонованого підходу виконано дослідження, за результатами яких встановлено, що рекуперативну енергію в системах з електродвигунами можливо використовувати задля повторного живлення електромережі, з якої живиться дана система. Показано, що концепція використання рекуперативної енергії є досить перспективною і досить потрібною технологією, з метою заощадження коштів підприємства, яке використовує дану технологію. Виявлено, що необхідною умовою ефективної роботи даної системи є правильний та раціональний підбір апаратури(перетворювачів, контролерів, акумуляторних накопичувачів).

Список використаних джерел

1. Астахов, Ю. Н. Накопители энергии в электрических системах [Текст]: учеб.пособие для электроэнерг. спец. вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – М.:Высш. школа, 1989. – 159 с.
2. Колб, А. А. Аккумуляирование энергии рекуперации электрифицированного транспорта с помощью емкостных энергонакопителей [Текст] / А.А. Колб // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. –Вип. 31. – С. 89-94.
3. Родькин, Д. И. Особенности осуществления электропривода с накопителями энергии [Текст] / Д.И. Родькин, Т.В. Величко // Наукові праці Кременчуцького держ.політехн. ун-ту. – Кременчук: КДПУ, 2000. – Вип. 2/2000 (9). – С. 124-132.
4. Костин, Н. А. Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока [Текст] / Н.А. Костин, А.В. Никитенко // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 3. – С. 15–23.
5. Фомін О. В. Визначення раціональних параметрів ємнісного накопичувача енергії для рухомого складу метрополітену [Електронний ресурс] / О. В. Фомін, А. О. Сулим, П. О. Хозя // Восточно-Европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://media.neliti.com/media/publications/307564-determining-rational-parameters-of-the-c-be59a91a.pdf>.

УДК 621.316.14

Василенко К. А.
кафедра електропостачання

ПОБУДОВА КОМПЛЕКСНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Основою електроенергетики України є об'єднана електроенергетична система (ОЕС), яка здійснює централізоване енергопостачання власних споживачів і взаємодіє з енергосистемами сусідніх країн, забезпечуючи експорт та імпорт електроенергії. В даній темі описується та детально розглядається сучасний стан нетрадиційних джерел електроенергії, а також можливість України розширити їх використання для побудови комплексних енергосистем, які вважаються майбутнім для сучасних енергосистем.

Ключові слова: комплексна енергосистема, відновлювані джерела енергії, нетрадиційні джерела енергії

Abstract. The basis of Ukraine's electricity is the unified electricity system (UES), which provides centralized energy supply to its own consumers and interacts with the energy systems of neighboring countries, providing exports and imports of electricity. This topic describes and discusses in detail the current state of non-traditional sources of electricity, as well as the possibility of Ukraine to expand their use to build integrated power systems, which are considered the future of modern power systems.

Вступ. Сучасна промисловість в основному забезпечується централізованим електропостачанням від електричних мереж напругою 10- 110 кВ. Національною енергетичною програмою (НЕП) України намічене широке використання не тільки традиційних, а й нетрадиційних джерел у тому числі вітрових електростанцій, сонячних електричних установок, гідроелектростанцій, використання альтернативних (місцевих) видів палива. Проаналізуємо склад джерел енергії для побудови комплексної енергосистеми [1-4].

Мета та завдання. Основною метою дослідження стане дослідити поточний стан електричних установок в Україні, а основним завданням - проаналізувати склад джерел енергії для побудови комплексної енергосистеми, які можна використати на Україні та побудувати загальний вигляд майбутньої комплексної енергосистеми.

Матеріал і результати досліджень.

Системи централізованого електропостачання. Системи електропостачання формуються на основі мереж високої, середньої і низької напруги. Електричні мережі складаються із ліній електропередачі 110; 35; 10; 0,38 кВ.

Добовий графік навантаження об'єднаної енергосистеми (ЕЕС) України має яскраво виражені ранкові і вечірні максимуми, зону зниження навантаження на 2-3 години в середині дня і глибокий провал навантаження на про-тязі 6-7 годин уночі. Навантаження уночі складають лише 50-60% від максимального значення. Щодо надійності електропостачання споживачі електричної енергії діляться на три категорії:

- електроспоживачі I категорії — перерва в електропостачанні яких може призвести до небезпеки для життя людей, значні матеріальні втрати, пошкодження вартісного обладнання, масовий брак продукції, збій складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства. Із складу I категорії виділяють особливу групу споживачів, безперебійна робота яких необхідна для попередження загрози для життя людей, вибухів та пожеж, пошкодження дорогоцінного обладнання.

- електроспоживачі II категорії — перерва в електропостачанні яких призводить до масового недовипуску продукції, масовим простоєм робочих, механізмів та промислового транспорту, порушення життєдіяльності значної кількості міських та сільських жителів.
- електроспоживачі III категорії — всі інші споживачі електроенергії, які не підпадають під визначення I та II категорій. Електропостачання приймачів III категорії надійності електропостачання може здійснюватися від одного джерела живлення за умови, що перерва в електропостачанні, яка необхідна для ремонту і заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, не перевищує однієї доби.

Дизельні електричні станції. У дизельних електричних станціях (ДЕС) використовують переважно чотиритактні дизелі із числом циліндрів від 2 до 3. Зазвичай, такі електростанції поєднують у собі генератор змінного струму та ДВЗ (двигун внутрішнього згоряння), які встановлено на сталевій рамі, а також систему контролю та керування установкою. ДВЗ приводить до руху синхронний або асинхронний електричний генератор. Двигун та електричний генератор з'єднуються або напряму фланцем, або через демпферну муфту. У першому випадку, використовується двоопорний генератор, тобто генератор, який має два опорних підшипники, а у другому — з одним опорним підшипником.

Дані установки розрізняють за: вихідною потужністю; видом струму (змінний 3-фазний / однофазний, постійний); вихідною напругою та за частотою струму (наприклад 50, 60, 400 Гц). Також, дизельні електростанції поділяються за видом охолодження: повітряне або рідинне. Електростанції повітряного типу, можуть працювати безперервно не більше 10 годин, після цього їм треба охолоджуватися 1-2 години. Зазвичай, це невеликі електростанції малої потужності, їх ще називають портативними (переносними). Електростанції рідинного способу охолодження можуть працювати без зупинки цілодобово і порівняно з переносними, такі агрегати мають більші розміри і відповідно більшу потужність.

Сонячні електростанції (СЕС). Перетворення сонячної енергії в електричну енергію здійснюється за допомогою фотоелектричних перетворювачів, які є пріоритетними з наступних причин: екологічна чистота перетворення енергії; безшумна робота; відсутність рухомих частин; безпека для навколишнього середовища; фотоелектричні перетворювачі мають високі експлуатаційні якості (термін служби 25 - 30 років).

При всіх перевагах фотоелектричних перетворювачів у них є значний недолік - висока вартість. Цей недолік згодом нівелюється. За 50 років помітно знизилася питома вартість фотоелектричних модулів. Очевидним недоліком сонячного випромінювання, як джерела енергії, є нерівномірність його надходження на земну поверхню, яка визначається добовою і сезонною циклічністю, а також погодними умовами. Вартість одержуваної таким чином електроенергії значно перевершує вартість електроенергії, що виробляється традиційними методами. Ця одна з основних причин, яка стримує розвиток великомасштабної сонячної електроенергетики.

Вітроелектрогенеруючі установки Вітроенергетичні установки (ВЕУ) досягли сьогодні рівня комерційної зрілості й у місцях зі сприятливими швидкостями вітру можуть конкурувати з традиційними джерелами електропостачання.

Існуючі на сьогоднішній день в Україні потужності вітрових електростанцій перевищують 51 МВт, а з моменту, коли запрацювала перша вітчизняна вітрова електростанція, вироблено понад 80 млн кВт·год. електроенергії. За оцінками фахівців, загальна потенційна потужність української вітроенергетики становить 5000 МВт. Узбережжя Чорного та Азовського морів, гористі райони Кримського півострова (особливо північно-східне узбережжя) і Карпат, Одеська, Херсонська, Запорізька, Донецька, Луганська і Миколаївська області найбільш підходять для будівництва вітрових електростанцій. Тільки потенціал Криму достатній для виробництва більш ніж 40 млрд кВт·год. електроенергії щороку.

Електричні установки на біогазі. Однією з основних шляхів скорочення споживання природного газу в Україні може стати широке вживання технологій виробництва енергії з місцевих видів палива, таких як біомаса і торф, а також використання біогазових технологій. Щоб запустити біогазову станцію, потрібен інокулят (свіжий гній або субстрат з працюючої біогазової установки). Переробка біогазу – складний технологічний процес і вихід на робочі характеристики також має ряд технологічних складнощів і вимагає відповідної підготовки та знань.

Звичайно, можна побудувати якийсь резервуар з системою підігріву, перемішування та ручним завантаженням/вивантаженням субстрату, під'єднати якийсь примітивний газгольдер-мішок, але в даному випадку не може бути й мови про стабільний процес отримання біогазу. Так наприклад, зміна температури на 1 градус за Цельсієм в реакторі може повністю зупинити виробництво. А обладнання всіх необхідних систем для підтримки процесу (насоси, мішалки, компресори, датчики рівня, датчики об'єму, а особливо газоаналізатори) тягне за собою великі капітальні вкладення. Вартість капітальних витрат на 1 кВт електроенергії, виробленого біогазової установкою для об'єктів малої потужності дуже велика. У більшості випадків це економічно не вигідно.

Приклад побудови комплексної електроенергетичної системи. Комплексний підхід до використання поновлюваних джерел забезпечує найбільш повну реалізацію забезпечення виробництва електричною і тепловою енергією. Комплексна електроенергетична система (рис. 1) розроблена на основі СЕС, ВЕУ, біогазової установки і централізованого електропостачання (можливі інші комбінації розосереджених джерел енергії).

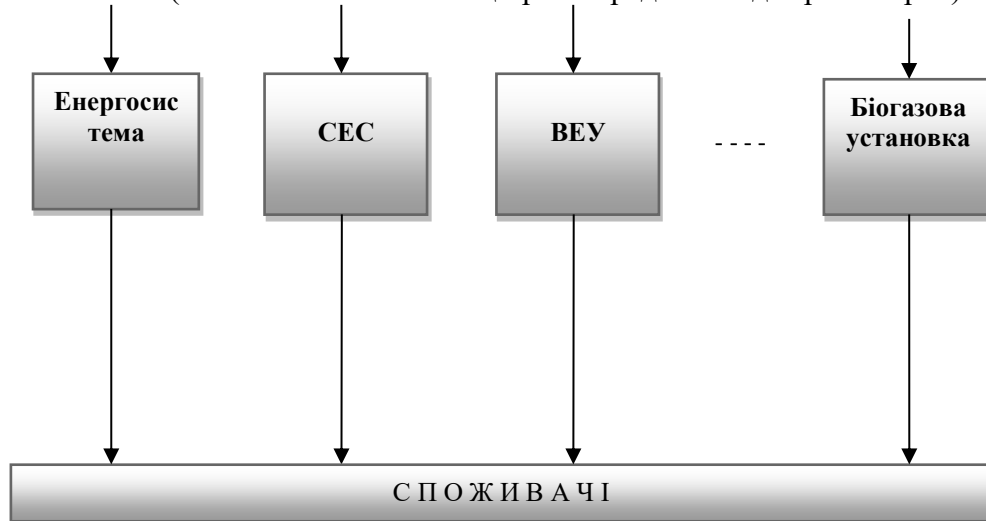


Рис.1. Приклад побудови комплексної енергосистеми

Умови оптимального використання різних джерел енергії визначається сукупністю критеріїв оптимальності та системи обмежень (низька якість електроенергії, собівартість електроенергії та інших).

Схема передбачає отримання електричної енергії протягом доби від різних джерел живлення (ВЕУ, КЕУ, ДЕС та енергосистема).

Висновки. Найбільша частка електроенергії надходить від електросистеми. Але СЕС, ВЕУ та біогазові установки забезпечують значну частку електроенергії в піковій та полу піковій зонах з високим тарифним коефіцієнтом, що значною мірою зменшує величину оплати за спожиту електроенергію. Вартість електроенергії, виробленою ДЕС коштує дорожче ніж від інших джерел живлення, тому використовуються лише в аварійних ситуаціях.

Список використаної літератури.

1.С. М. Бевз. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / С. М. Бевз [та ін.]; під заг. ред. А. К. Шидловського: - НАН України, Підприємство "Укренергозбереження". - К. :

Українські енциклопедичні знання, 2007. - 560 с. - ISBN 978-8578-08-3

2.Директива 2001/77/ЄС Європейського Парламенту та Ради "Про створення сприятливих умов продажу електроенергії, виробленої з відновлюваних енергоджерел, на внутрішньому ринку електричної енергії" від 27.01.2001 р.

3.Денисюк С.П. Принципи побудови автономних систем енергопостачання на базі нетрадиційних джерел енергії / Денисюк С.П. - Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, №2. - К.:Державний комітет з енергозбереження України, НАН України, АТ "Укренергозбереження", - 1999. - С.39-42.

4.К. Лі. Диверсифікація та локалізація енергетичних систем для стало-го розвитку та енергетичної безпеки. - Energy Policy, т.3, № 17, -2005. С. 2237-2243.

Ковалішин А.Р.

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ КІЛЬКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ – ГРАФІКУ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ (ГЕН).

Анотація. В статті досліджуються сучасні системи моніторингу для ефективного управління режимами електроспоживання на промисловому підприємстві та формування інформаційного потоку для забезпечення необхідної точності вирішення режимних задач.

Keywords. Loads, load graphs, power supply modes, information model.

Abstract. The article examines modern monitoring systems for effective management of power consumption modes at an industrial enterprise and the formation of information flow to ensure the necessary accuracy of solving regime tasks.

Ключові слова. Навантаження, графіки навантаження, режими електропостачання, інформаційна модель.

Вступ.

Ефективність управління режимами електроспоживання на промисловому підприємстві в значній мірі залежить від наявності сучасної системи їх моніторингу. Створення системи моніторингу у реальному часі потребує наявності широкого набору визначених інформаційних технологій, налаштованих на параметри реальної системи електропостачання. Основою проведення всього процесу моніторингу є формування інформаційного потоку (вектору режимних параметрів) необхідного об'єму та якості.

Під інформаційним потоком розуміється сукупність вимірних режимних змінних у визначений інтервал часу. При цьому існує необхідність обробки у реальному часі великих об'ємів інформації різної якості і формування таких інформаційних потоків, котрі забезпечували б необхідну точність вирішення режимних задач.

Аналітичний огляд наукових публікацій по темі дослідження.

Для проведення аналізу інформаційних потоків виникає задача створення їх моделі. Вихідними даними для побудови інформаційної моделі є результати вимірювань кількісних та якісних характеристик режиму електропостачання. Як тільки модель ідентифікована і формально описана, за її допомоги можна інтерпретувати представлені дані.

Як показує аналіз наукових публікацій, недоліки, які притаманні формуванню моделі інформаційного потоку за допомогою перетворення Фур'є властиві також у тій чи іншій мірі ортогональним перетворенням Уолша-Адамара, за допомогою функцій Радемахера, Хаара, Уолша [1], Вінерівській фільтрації та перетворенню Гільберта [2]. Основними ж недоліками відомих методів обробки сигналів, які формують обмеження моделі представлення сигналу, є наступні:

1. Оскільки інформаційний сигнал складається із різномасштабних компонент (локальних особливостей із різними відносними величинами та часовою тривалістю), найбільш ефективним способом їх представлення на даний час є застосування методів апроксимації, які засновані на розкладанні сигналу за тим, чи іншим базисом: $f(t) = X_1 f_1(t) + X_2 f_2(t) + \dots + X_n f_n(t)$. При цьому, якщо коефіцієнти X_i корелюють між собою, висновок про те, які апроксимуючі функції необхідно використовувати (Уолша-Адамара, Радемахера, Хаара, Уолша, Вінерівську фільтрацію, перетворення Гільберта) зробити достатньо важко. Тому одним із обмежень апроксимуючих функцій f_i , $i = \overline{1, r}$ є необхідність їх ортогональності відносно проміжку часу t_i .

2. Представлення сигналів із наявними особливостями на основі їх

апроксимації лінійними фільтрами також є неефективним у випадку, коли завади у сигналі не завжди мають гаусів закон розподілення, а також піки, злами інформаційної складової «згладжуються» у випадку повторної обробки лінійним фільтром.

3. Усунення даного недоліку застосування лінійних фільтрів

проводиться побудуванням нелінійних адаптивних апроксимуючих схем на основі екстраполюючих фільтрів.

Аналіз властивостей найбільш застосовуваних методів обробки (представлення) моделі сигналу і наведених обмежень дозволив синтезувати узагальнені вимоги до методу представлення сигналу (його моделі), які повинні бути враховані при подальшій розробці моделі інформаційного потоку:

- обраний базис апроксимації сигналу повинен бути адаптивним до властивостей сигналу і мати можливість адаптуватись до нього у реальному часі;
- мати хорошу роздільність за частотою (збільшення масштабу повинно приводити до звуження Фур'є-спектру базисної функції);
- мати хорошу роздільність у часі (зміщення базисної функції у часі повинно забезпечувати можливість аналізу властивостей сигналу у різних точках по всьому досліджуваному інтервалі);
- базисні функції повинні бути ортонормовані, а перетворення – ортогональним;
- побудована модель повинна ув'язати в єдиний інформаційний простір всі етапи представлення інформації (збір, обробку, зберігання та передачу), що в значній мірі сприяло б побудові ефективної багаторівневої системи управління режимами системи електропостачання.

Формування моделі інформаційного потоку.

Враховуючи аналіз наукових публікацій і синтез на їх основі обмежень до моделі інформаційного сигналу у роботі пропонується застосування методів ортогональних перетворень, які найбільш динамічно розвиваються у теперішній час. На початку дев'яностих років минулого століття швидкого розвитку одержує новий розділ математики, так зване адаптивне ортогональне перетворення - вейвлет-аналіз. Теорії вейвлет-перетворення базуються на роботах [3, 4]. В основу покладено метод аналізу сигналу з різноманітним розділенням, який має назву кратно-масштабний аналіз (multiresolution analysis) і забезпечує представлення сигналу $f(t)$ в базисі $\left\{ \psi_{a,b} = |a|^{-1/2} \psi((t-b)/a) \right\}_{a,b}$ з коефіцієнтами розкладання

$v(a,b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle$, де $\langle f, \psi_{a,b} \rangle \equiv \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{a,b}(t) dt \equiv \langle f, \psi_{a,b} \rangle$. У [3, 4] наведені основні формули та співвідношення, які використовуються для проведення вейвлет-аналізу.

Результат проведення вейвлет-аналізу іще в науковій літературі називається кратно-масштабним аналізом (КМА), це послідовність замкнених підпросторів $\{V_j\}_{j \in \mathbb{Z}}$ із $L^2(\mathbb{R})$, які утворюють кратно-масштабну апроксимацію, якщо задовольняються наступні шість властивостей [5]:

$$\forall (j,k) \in \mathbb{Z}^2, \quad f(t) \in V_j \Leftrightarrow f(t - 2^j k) \in V_j, \quad (1)$$

$$\forall j \in \mathbb{Z}, \quad V_{j+1} \subset V_j, \quad (2)$$

$$\forall j \in \mathbb{Z} \quad f(t) \in V_j \Leftrightarrow f\left(\frac{t}{2}\right) \in V_{j+1}, \quad (3)$$

$$\lim_{j \rightarrow +\infty} V_j = \bigcap_{j=-\infty}^{+\infty} V_j = \{0\}, \quad (4)$$

$$\lim_{j \rightarrow -\infty} V_j = \text{Замикання} \left(\bigcup_{j=-\infty}^{+\infty} V_j \right) = L^2(R). \quad (5)$$

Існує масштабна функція $\phi(t) \in V_0$ така, що множина її зрушень $\{\phi(t-k), k \text{ — ціле}\}$ складає базис V_0 (6)

Аналіз даних властивостей показує наступне. Властивість (1) означає, що V_j інваріантне відносно зсуву, пропорційного масштабу 2^j . Цей простір являє собою рівномірну решітку з кроками 2^j , яка характеризує наближення сигналу з роздільністю 2^{-j} . Включення (2) – причинна властивість, згідно якої наближення з роздільністю 2^{-j} містить всю необхідну інформацію для обчислення з грубою роздільністю 2^{-j-1} . Розтягнення функцій із V_j в два рази збільшує у два рази роздільність, і (3) гарантує, що це визначає апроксимацію з більш грубою роздільністю 2^{-j-1} .

Коли роздільність 2^{-j} прямує до 0, то властивість (4) вказує, що усі деталі сигналу $f(t)$ загублені і його енергетична компактність $\lim_{j \rightarrow +\infty} \|P_{V_j} f\| = 0$. З іншого боку, коли роздільність 2^{-j} прямує до $+\infty$, властивість (5) відповідає тому, що апроксимація сигналу збігається до початкового вигляду сигналу, тобто $\lim_{j \rightarrow -\infty} \|f - P_{V_j} f\| = 0$. Коли роздільність 2^{-j} зростає, швидкість убуття похибки апроксимації $\|f - P_{V_j} f\|$ залежить від гладкості сигналу $f(t)$ (дана похибка пов'язана з рівномірною гладкістю Ліпшиця f [6]).

Наближення f з роздільністю 2^{-j} визначається як ортогональна проекція $P_{V_j} f$ на V_j . Для того, щоб обчислити дану проекцію необхідно віднайти ортонормований базис V_j . Побудова ортогонального базису кожного простору V_j проводиться за допомогою розтягнення і зсуву однієї функції ϕ , яка називається масштабуючою функцією. Масштабуюча функція задовольняє ряду властивостей, які лежать в основі схем смугової фільтрації, стискання сигналів і зображень [115]:

$$\phi(t) = 2 \sum_k h_k \phi(2t-k), \quad \sum_k h_k = 1. \quad (7)$$

Співвідношення (7) представляє рівняння розтягування. Набір

$$\left\{ \phi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \phi(2^j t - k) \right\}_{k=1,2,\dots} \quad (8)$$

являється базисом для множини V_j .

Крім масштабної функції в алгоритмах розкладання та реконструкції бере участь вейвлет-функція $\psi(t)$ та базис $\{\psi_{j,k}(t)\}$ для W_j на її основі. Має місце також ортогональне розкладання (2.9), (2.10). Функції $\{\psi(t-k)\}_{k=1,2,\dots}$ являються базисом в W_0 , а $\{\psi_{j,k}(t), j, k \text{ — цілі}\}$ базисом в L^2 [48, 49]:

$$V_{j+1} = V_j \oplus W_j, \quad (9)$$

$$\bigcup \oplus W_j = L^2. \quad (10)$$

Вейвлет-функція $\psi(t)$ задовольняє співвідношенню (11), за структурою аналогічному (7):

$$\psi(t) = 2 \sum_k g_k \varphi(2t - k). \quad (11)$$

Підсумовуючи наведене вище, основні властивості вейвлет-аналізу можна сформулювати наступним чином. Вейвлет-перетворення має розвинену структуру математичної формалізації і різноманітні форми вираження двох основних функцій (масштабної, або скейлінг-функції, та вейвлет-функції), які визначають базис вейвлет-перетворення (ВП) і його види.

Побудова моделі інформаційного потоку системи електропостачання базується на таких основних властивостях вейвлет-перетворення. Ортогональність відповідає за зручність обчислень вейвлет-коефіцієнтів розкладання, і мінімальні розбіжності фільтрів аналізу та синтезу, що значно зменшує об'єми обчислень. Нулеві моменти базисних функцій сприяють стисканню інформації при ВП [6]. Гладкість гарантує відсутність спотворень при ВП гладких сигналів, компактність забезпечує невелику довжину фільтрів, а симетрія забезпечує зберігання фазових співвідношень при реконструкції сигналу [6 - 8].

Поєднання всіх властивостей в одному ВП не можливе, тому особливості і структура аналізованого сигналу потребує вибору між адекватністю базису та його властивостями. В [9] проведено систематизацію характеристик базисів ВП в плані класифікації типів базисів за 8-ма ознаками, які включають ортогональність, компактність носія, наявність симетрії, можливість задання бажаної кількості нульових моментів, повноту відновлення сигналу при зворотному ВП, регулярність, наявність КІХ – фільтрів в алгоритмах аналізу та синтезу, а також наявність явних виразів функцій $\varphi(t)$ та $\psi(t)$, які утворюють базис.

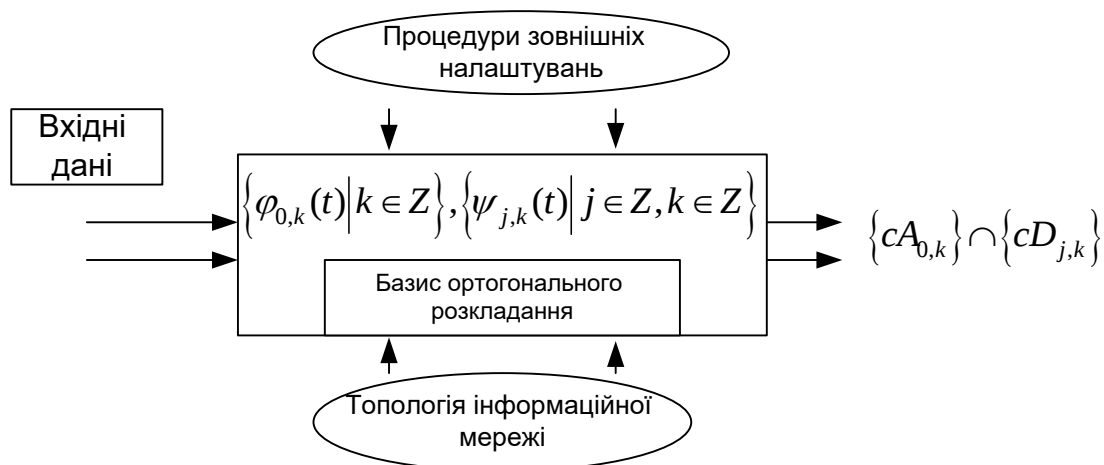


Рисунок 1 – Ортогонально-просторова та частотно-впорядкована модель інформаційного потоку

Вихідні значення (коефіцієнти) моделі $\{cA_{0,k}\} \cap \{cD_{j,k}\}$ - коефіцієнти ортогонального розкладання вхідних даних по базисам $\{\varphi_{0,k}(t) | k \in Z\}, \{\psi_{j,k}(t) | j \in Z, k \in Z\}$, причому $\{\psi_{j,k}(t) | j \in Z, k \in Z\}$ є базисом простору W_j , за допомогою якого задається рівень ортогонального розкладу інформаційного потоку

Коефіцієнти моделі $\{cA_{0,k}\} \cap \{cD_{j,k}\}$ відображають інформацію на площині, розміщуючи її частотні компоненти на різних рівнях розподілення і одночасно показуючи час появи сингулярності у інформаційного потоку. Наближення інформаційного потоку

$$f(t) = \sum_k cA_{0,k} \varphi_{0,k}(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_k cD_{j,k} \psi_{j,k}(t), \quad (12)$$

відзначається властивостями часової та частотної локалізації:

- підсумовування членів розкладу по змінній k відповідає локалізації сингулярності у часовій області, оскільки припускає транслявання базисних функцій $\varphi_{0,0}(t)$ та $\psi_{j,0}(t)$ уздовж осі абсцис;

- підсумовування членів ряду розкладу по j припускає визначити спектральний склад інформаційного потоку, а також (12) представляє собою ортогональний розклад інформаційного потоку, характер якого визначається вибором базисних функцій $\varphi_{0,k}(t)$ та $\psi_{j,k}(t)$. При цьому, основною відмінністю даної моделі від моделі на базі Фур'є-перетворення є те, що побудова спектру Фур'є вхідної функції $f(t)$ припускає розклад даної функції у ряд на єдиному рівні, в той час як число рівнів розкладу по (12) визначається числом просторів W_j .

Застосування даної моделі для формування узагальненого (єдиного) інформаційного простору включає деякі обмеження:

- формування того чи іншого параметру інформаційного потоку залежить від частоти дискретизації вхідних даних, і, як наслідок, від рівня ортогонального розкладу;

- в залежності від структури вхідного сигналу (частотний спектр, несинусоїдальність, наявність шумових компонент, спотворень його номінальних параметрів необхідно вибирати найкращий базис, адаптований до структури сигналу шляхом мінімізації похибки апроксимації в ньому;

- виходячи із властивостей ортогонального вейвлет-перетворення число просторів розкладу (значення j) повинно вибиратися виходячи із формули $j = \log_2 N$, де N – число дискретних значень вхідного сигналу;

- якщо кількість вхідних значень N не відповідає числу 2^J , то недостатня кількість значень сигналу добавляється нулями.

Відносно формування моделі ГЕН то необхідно відмітити наступне. Ортогональне перетворення проводиться до рівня $J = 5$. Це обумовлено властивістю вейвлет-перетворення. Роздільність 2^J повинна бути кратною 2. А оскільки почасовий ГЕН має 24 значення, для проведення вейвлет-аналізу дані значення доповнюються вісьмома нульовими значеннями. У кінцевому результаті маємо число значень ГЕН $N = 32$ і так як, $2^J = 32$, то із цього слідує $J = 5$. На рис. 2 представлено структурно-функціональну модель ГЕН, яка представляє собою ієрархічну структуру порівневих частотно-впорядкованих та взаємо-пов'язаних вейвлет-коефіцієнтів.

Дана модель описується наступним чином

$$\{P[k]\}_{k=0}^{31} = \sum_{k=0}^{31} cA_5(k) + \sum_{j=1}^5 \sum_{k=0}^{31} cD_j(k), \quad (13)$$

де $\{P[k]\}_{k=0}^{31}$ – вихідні дані ГЕН (нульовий рівень вейвлет-декомпозиції), $\sum_{k=0}^{31} cA_5(k)$ –

апроксимуючі вейвлет-коефіцієнти останнього, п'ятого рівня вейвлет-декомпозиції,

$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=0}^{31} cD_j(k)$ – деталізуючі вейвлет-коефіцієнти з першого по п'ятий рівень вейвлет-декомпозиції. Аналізуючи рис. 2 та вираз (12) можна зазначити, що дана модель будується

розкладанням сигналу на апроксимуючу частину $\{cA_j(k)\}$ та деталізуючі рівні $\sum_{j=1}^5 \sum_{k=0}^{31} cD_j(k)$,

а відновлення вихідного сигналу може проводитись із необхідною для аналізу моделі точністю.

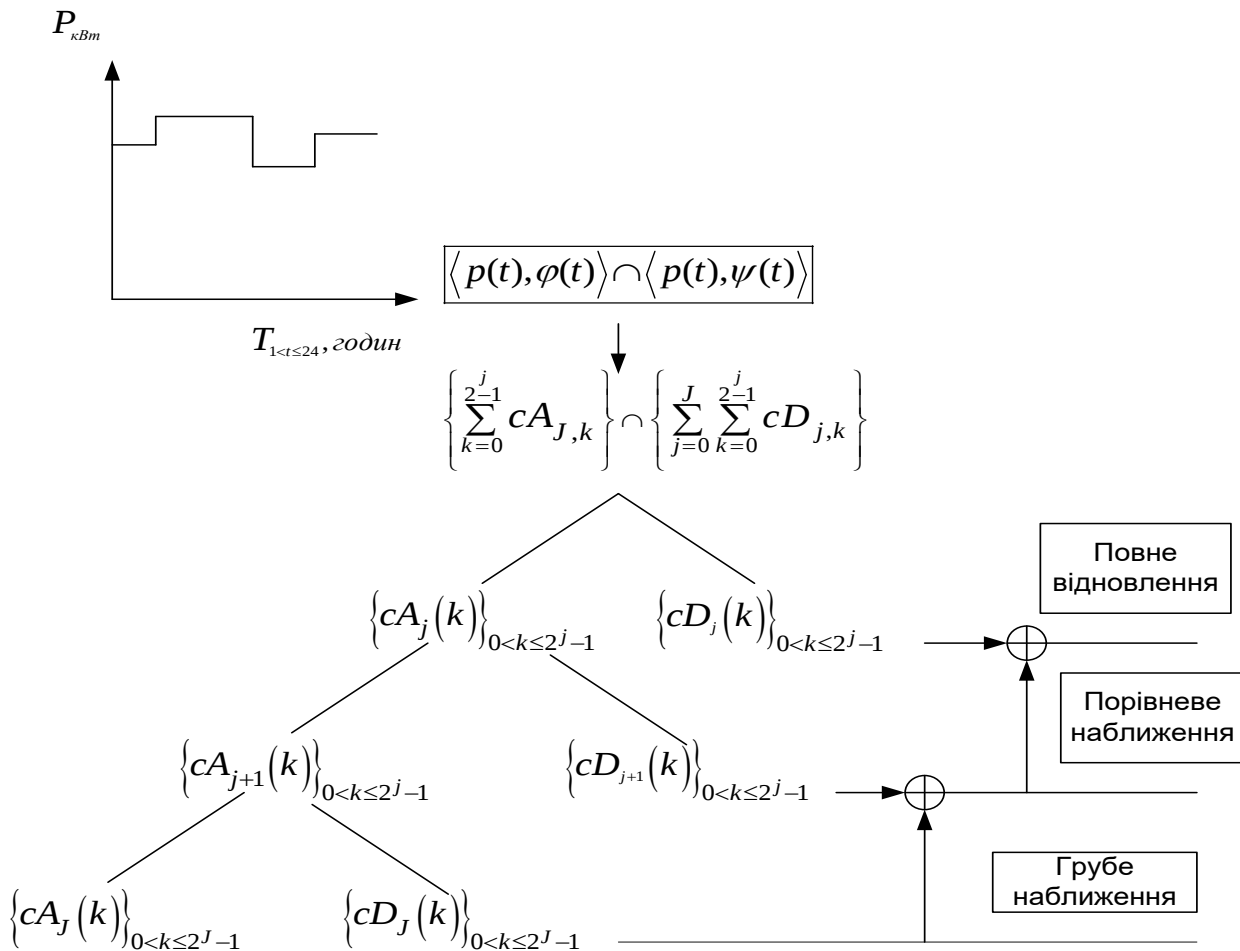


Рисунок 2 – Структурно-функціональна модель ГЕН J – останній рівень вейвлет-декомпозиції ($J = 5$)

Найбільш груба апроксимація ГЕН приходить на п'ятий рівень моделі $\{P_5(k)\} = \{cA_5(k)\} + \{cD_5(k)\}$. Підняття на один рівень моделі вгору приводить до уточнення вихідного сигналу і на останньому рівні – першому, повністю відновлюється вихідний сигнал $\{P(k)\} = \{cA_5(k)\} + \{cD_5(k)\} + \dots + \{cD_1(k)\}$.

Розроблена модель дозволяє однозначно представляти ГЕН, і в залежності від поставленої задачі відновлювати його з необхідною точністю (від 50 % до 100 %). Тобто, реалізується можливість з необхідною точністю наближувати найбільш важливі ділянки ГЕН (ділянки максимумів навантаження та його спаду, окремі ділянки ГЕН промислового підприємства для більш детального їх аналізу і т. і.). Також, така побудова інформаційної моделі ГЕН дозволяє суттєво, у десятки разів, стискати інформаційні потоки про електроспоживання.

Література

1. Залмазон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука. Гл. ред. физ.- мат. лит., 1989. – 496 с.

2. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов/Л. Рабинер, Б. Гоулд. М.: Мир. – 1978. – 848 с.
3. Праховник А.В. О построении информационной модели электропотребления/Вестник Киевск. Политехн. Ин – та. Горная электромеханика и автоматика. – 1976. – вып. 7. – С. 44 – 46.
4. Chow C.K. An Optimum Character Recognition System using Decision Functions/IRE Trans. On Electr. Comp. – EC-6. – 1957. – P. 247 – 254.
5. Akansu A. Multiresolution Signal Decomposition/A/ Akansu, R. Haddad//Academic Press. 1993. – 499 p.
6. Meyer Y. Wavelet and Operators/Cambridge Studies in Advanced Mathematics, 37. – 1992. – 240 p.
7. Coifman R.R. In Wavelets and their Applications/ R.R. Coifman, Y. Meyer//Digital and Signal Processing. 1992, V. 7, P. 153 – 178.
8. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
9. Davis G.M. Adaptive time-frequency decompositions/G.M. Davis, S. Mallat, Z. Zhang//SPIE J. of Opt. Engin. – 1994. - Vol. 33(7). – P. 2183 – 2191.
10. Aldroubi A. Families of multiresolution and wavelets spaces with optimal properties/A. Aldroubi, M. Unser//Numer. Functional Anal. and Optimization, 1993. V. 14. – P. 417 – 446.
11. Меркушева А.В. Классы преобразований нестационарного сигнала в информационно-измерительных системах. II. Время-частотные преобразования/Научное приборостроение, - 2002, - том 12, - №2, - С. 59 -70.

УДК 621.316.1

Боровець М.ФІнститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім.Ігоря Сікорського**РОЛЬ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ**

У статті розглянуто питання стану енергетичного сектору України та можливі шляхи його покращення. Запропоновано ідею впровадження концепції Smart Grid в Україні та можливість поєднання традиційних технологій з інноваційною концепцією.

На основі узагальнення науково-літературних джерел та європейського досвіду було сформовано SWOT-аналіз концепції Smart Grid. У ході співставлення переваг, недоліків та досвіду країн було сформовано висновок, що енергетичний сектор потребує модернізації та оновлення.

Ключові слова: енергетика, інновації, розумна мережа, Smart Grid, «інтелектуальна» енергосистема.

THE ROLE OF THE SMART GRID CONCEPT IN THE UKRAINIAN ENERGY SECTOR

The article considers the state of the energy sector of Ukraine and possible ways to improve it. The idea of implementing the Smart Grid concept in Ukraine and the possibility of combining traditional technologies with an innovative concept is proposed.

Based on the generalization of scientific and literary sources and European experience, a SWOT-analysis of the Smart Grid concept was formed. Comparing the strengths, weaknesses and experiences of the countries, it was concluded that the energy sector needs to be modernized and renewed.

Key words: energy, innovation, Smart Grid, «intelligent» power system,

Вступ

На сьогодні екологічний стан є однією з найбільших проблем не лише України, але і світу. Застосування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) забезпечить зменшення викидів в атмосферу, але на жаль Україна поки що не готова до такого переходу. Однією з причин є зношення електроенергетичного обладнання, недосконалість нормативно-правової бази та низка інших факторів, тому енергетичний сектор України потребує інноваційних змін. Однією з найбільш вдалих ідей для вирішення вищезазначених проблем є запровадження концепції Smart Grid. США, країни Європейського союзу та Китай є активними учасниками даної інноваційної програми, адже застосування цієї технології має досить багато переваг.

Розумна мережа дає можливість споживачу контролювати свої витрати на електроенергію, а постачальнику легко та коректно фіксувати кількість спожитої енергії, для подальшого складання рахунку за сплату. Технологія Smart Grid дасть змогу правильно розподілити вироблену енергію між всіма учасниками енергетичної системи та забезпечує якісне і безперебійне електропостачання.

Потреба у впровадженні інтелектуальних мереж в енергетичний сектор України представлена у працях багатьох дослідників і вчених, зокрема І.М.Сотник, Б.Б.Кобець, І.О.Волкова, С.Ю.Коротунов.

Мета та завдання

Метою даної статті є аналіз можливостей енергетичного сектору, побудови єдиної енергетичної платформи, яка об'єднає в собі різні види технологій, що у подальшому призведе

до зросту економіки та покращення енергетичної галузі України.

Відповідно до зазначеної мети завданням виступає визначення ефективності впровадження концепції Smart Grid користуючись досвідом країн ЄС.

Матеріал і результати досліджень

У зв'язку зі стрімким розвитком техніки, збільшився попит на електроенергію і як результат виникла необхідність у збільшенні генеруючих потужностей. Одним із найперспективніших вирішень даної проблеми є запровадження використання ВДЕ. Проте, виникає і інша проблема, як об'єднати в одній системі альтернативні (сонце, вітер, воду) та традиційні (нафта, газ, вугілля) джерела енергії. Так виникла ідея створити одну «розумну» мережу, завдяки якій можна об'єднати різні галузі генерації електричної енергії (рис.1). Так як генерація енергії ВДЕ залежить від погодних умов, то дана концепція дає можливість вирішувати проблему шляхом автоматичного підключення іншого джерела енергії, що забезпечить безперебійність в електропостачанні [1].

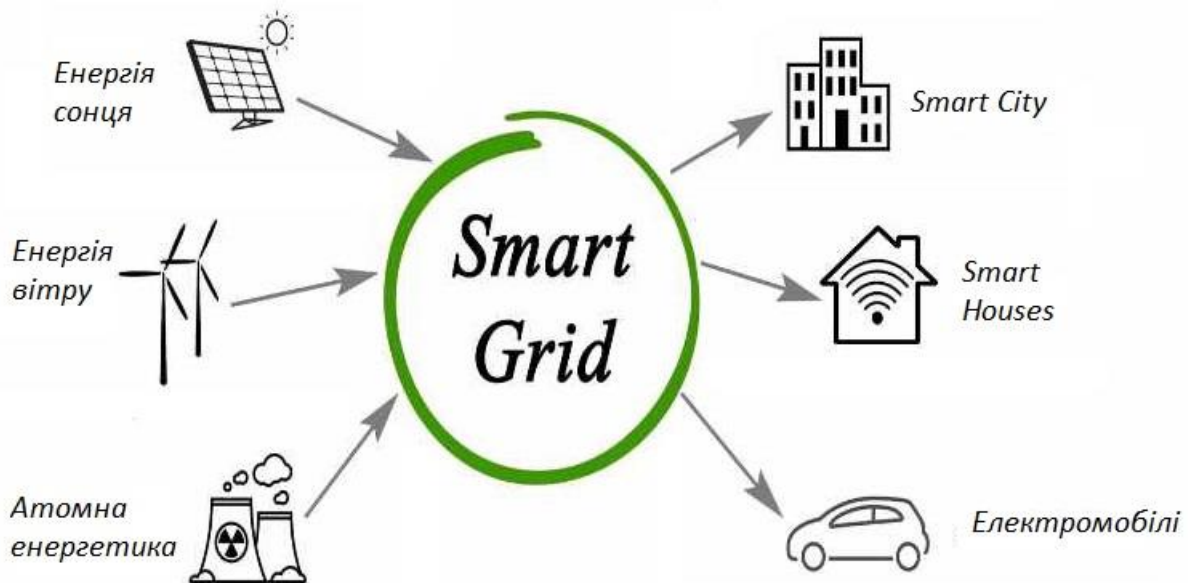


Рисунок 1

Головною перевагою такої мережі є постійний контроль якості електричної енергії. Впродовж останніх років у США й Європейських країнах впроваджується перебудова енергетичної системи фундаментом якої є Smart Grid, або ж інша назва «розумна мережа». На сьогодні багато країн зацікавлені у впровадженні концепції Smart Grid, так як електроенергія виробляється переважно з альтернативних джерел енергії, які між собою зібрані у великі енергетичні вузли, які в подальшому підключаються до загальної мережі.

Smart Grid являє собою автоматизовану, саморегульовану енергосистему, яка забезпечить надійність та безперебійність в електропостачанні [2]. Така мережа має можливість отримувати інформацію від постачальника про кількість згенерованої енергії, а від споживача кількість спожитої електроенергії. Отримання цих даних дає змогу системі автоматично керувати як виробленням так і споживанням електроенергії, а також уникнути можливих аварій та поломок на лініях або попередити їх виникнення. Все це має відбуватись в режимі реального часу, щоб забезпечити максимальну ефективність роботи кожної ланки енергосистеми. Контроль споживання електроенергії забезпечує точний облік над великими об'єктами та дасть можливість уникнути перевантаження мережі.

Щодо рівня безпеки, то при аварії або ж обриві лінії інтелектуальна енергосистема має змогу перерозподілити потужності сусідніх станцій та направити їх на необхідну ділянку. Концепція Smart Grid має здатність до самовідновлення від зовнішніх загроз, без втручання людини. «Розумна мережа» також контролює стан обладнання (температуру трансформаторів) та виявляє можливі проблеми на початкових стадіях їх розвитку. З розвитком «інтелектуальних мереж» виникне необхідність створення сучасного програмного забезпечення яке в подальшому можна буде встановити на гаджети споживачів електричної енергії. Наприклад, тариф на електроенергію вночі є значно меншим, тому заряд електромобіля матиме відносно не високу вартість, програмне забезпечення дозволить користувачу контролювати період часу в який поставити транспортний засіб на зарядку. Зробивши відповідні операції у налаштуванні таймінгу на гаджеті електромобіль автоматично почне заряджатись у встановлений час.

Запровадження концепції Smart Grid потребує великих капіталовкладень, що нажалі і є найбільшим недоліком. Економісти не можуть дати точний час окупності такої системи. Так як Smart Grid технологія тісно пов'язана з ІТ-сферою, то виникає проблема нестійкості системи до кібератак, що призводить до витоку інформації. У Таблиці 1 наведено SWOT-аналіз «розумної мережі» [2-5].

Таблиця 1 – SWOT-аналіз Smart Grid

Переваги	Недоліки
– підвищення рівня безпеки; – здатність до самовідновлення; – забезпечення якості електричної енергії;	– потребує значних капіталовкладень; – відсутність нормативно-правової бази; – складність об'єднання обладнання різних виробників в загальну систему; – недостатньо кваліфікований персонал;
Можливості	Загрози
– впровадження «розумних лічильників», що забезпечить оперативний облік електричної енергії в реальному часі; – підвищення рівня соціо-еколого-економічного розвитку; – створення умов для розвитку електротранспорту в Україні	– нестійкість до кібератак;

Щодо розвитку «розумної мережі» закордоном, то експерти компанії Zpryme Research&Consulting стверджують, що в деяких *штатах США* завдяки впровадженню Smart Grid знизилися пікові навантаження на електромережу та в середньому на 10% зменшилися рахунки за електроенергію. У *Німеччині* Smart Grid впровадили в систему електричні лічильники, які консолідує інформацію про витрату енергії та користування комунальними послугами в окремих будинкових господарствах з подальшою передачею її комунальним компаніям. *Ірландія* поставила план, що до 2035р. країна стане світовим лідером у сфері енергоефективності. Головні завдання полягають в тому щоб повністю замінити централізовану енергосистему на «розумну мережу» та перейти на альтернативні джерела енергії. Щодо *Китаю*, то потреба в Smart Grid системах полягає в тому, щоб побудувати якомога більше станцій зарядки для електромобілів [6].

Висновки

Аналізуючи науково-літературні джерела можна зробити висновок, що енергетичний сектор України потребує модернізації й оновлення. Як показує досвід країн ЄС, то однією із найперспективніших напрямів подальшого розвитку є впровадження концепції Smart Grid. Цифрові технології виробництва та сучасні автоматизовані робочі машини дають можливість покращити не лише енергетичний стан країни, а і екологічний. Тому впровадження «розумних технологій» має великий потенціал.

Список використаної літератури

1. «Умные» сети - инструмент развития неуглеродной, децентрализованной энергетики [Электронный ресурс]. – URL: https://elektrovesti.net/343_umnye-seti-instrument-razvitiyaneuglerodnoy-detsentralizovannoy-energetiki
2. Еволюція інтелектуальних мереж та їхні перспективи в Україні / Б. С.Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник, С. П. Денисюк., 2012. – 52 с. – (ISSN 1607-7970 Технічна електродинаміка).
3. Використання технологій smart grid для підвищення ефективності електропостачання споживачів / Мороз О. М., Черемісін М. М., Попадченко С. А., Савченко О. А., Дюбко С. В. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2017. № 3 (49) С.45-50.
4. Оптимізація енергоефективності економіки за допомогою технологічної концепції Smart Grid/ О. А. Шевчук, Л. С. Борданова, Т. А. Наухацька. // Економічний вісник НТУУ «КПІ». – 2019. – С. 400–414.
5. Підвищення ефективності технологій SMART GRID на основі моніторингу параметрів електричної мережі [Електронний ресурс] / С. А. Попадченко, О. А. Савченко, М. А. Абрамов. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.khntusg.com.ua/bitstream/123456789/10301/1/10.pdf>. (дата звернення 01.05.2020р)
6. Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці [Електронний ресурс] / УКРЕНЕРГО – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/3.-Smart-Grid.pdf> . (дата звернення 01.05.2020р)

УДК 621.311.161

Лило І.В.

Науковий керівник: Замулко А.І. к.т.н., доцент
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім.Ігоря Сікорського

ОЦІНЮВАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНУ ЩОДО РОЗВИТКУ ВДЕ

Анотація: В роботі розглянуто спосіб застосування методики рейтингового оцінювання для раціоналізації розміщення ВДЕ в регіонах України. Встановлено, що застосування методики рейтингового оцінювання, для аналізу регіонів України, за умови наявності широкої критеріальної бази, надає можливість раціонально встановити доцільність розміщення установок ВДЕ. Створення широкого списку критеріїв, надає можливість глибше оцінювати готовність енергетичної мережі до роботи з ВДЕ які характеризуються стохастичністю генерації та відсутністю керування.

Ключові слова: раціоналізація, ВДЕ, рейтингове оцінювання, багатокритеріальна оцінка, аналіз потенціалу.

Abstract: The paper considers the method of application of rating assessment methodology for rationalization of RES placement in the regions of Ukraine. It is established that the application of the rating assessment methodology for the analysis of the regions of Ukraine, provided that there is a wide criterion base, provides an opportunity to rationally establish the feasibility of placing RES installations. Creating a wide list of criteria provides an opportunity to more deeply assess the readiness of the energy network to work with RES, which are characterized by stochastic generation and lack of control.

Key words: rationalization, RES, rating assessment, multicriteria assessment, potential analysis.

Вступ

Для забезпечення ефективної роботи енергосистеми України, а також для підтримки тенденцій розвитку ВДЕ в структурі генеруючих потужностей, слід раціоналізувати розподіл установок генерації з альтернативних джерел на території України [1]. Раціональний розподіл установок ВДЕ по території України призведе до зниження сукупного негативного впливу на ОЕС України, а в окремих випадках може покращити деякі параметри.

У відповідності до того що, регіони України відрізняються показниками сонячної інсоляції та вітрової активності, розміщення установок СЕС та ВЕС в різних областях України має дискримінований характер. Проте, врахування лише одного показника при виборі територій для розміщення ВДЕ не надає повного уявлення про особливості регіону.

Застосування багатокритеріального аналізу, для оцінки готовності регіональних електричних мереж до впровадження в їх мережі установок ВДЕ, створює більш широку картину для формування енергетичних стратегій розвитку відновлювальної енергетики України. Вибір критеріїв для аналізу повинен бути заснований на оцінці впливу джерел ВДЕ на роботу локальних енергетичних систем, оскільки основний вплив ВДЕ несуть на мережі до яких вони підключені [2-4]. Споживачі які приєднані до ЛЕС в яких працюють некеровані ВДЕ з стохастичним характером генерації, сильніше інших відчувають їх вплив на якість електроенергії.

Мета та завдання

Формування списку критеріїв, на основі яких проводиться оцінка доцільності розміщення установок ВДЕ в регіоні є основною ціллю даного дослідження. Створення рейтингу регіонів України на основі оцінки географічних особливостей, стану електричних

мереж, якості роботи електророзподільних компаній та інш. Основні завдання які ставляться в даному дослідженні:

- формування переліку критеріїв для оцінки;
- визначення методології для оцінювання місця регіону;
- здійснення розрахунків з використання актуальних статистичних даних.

Матеріал і результати досліджень

Визначено основні негативні впливи неконтрольованого розвитку ВДЕ, розділено їх на дві основні групи, технічного характеру: ускладнення розрахунку балансу потужностей; необхідність збільшення резерву потужності; погіршення показників якості електроенергії; погіршення показників надійності електропостачання; збільшення частоти відключень генераторів ТЕС, та економічного характеру: зростання витрат на забезпечення балансової надійності; зростання фінансового навантаження на ринок електроенергії; витрати на створення нових маневрових потужностей [5-8].

На основі проаналізованих даних, створено список основних особливостей, які повинні бути враховані при приєднанні ВДЕ до мережі. Характерні особливості генерації на які слід спиратися при плануванні нових СЕС та ВЕС: тип джерела; графік генерації; потужність генерації; здатність змінювати склад потужності; займана територія при тій же встановленій потужності; форма вихідного струму; здатність працювати не змінюючи частотний режим мережі; здатність бути приєднаними до мережі в позаштатних ситуаціях. Характеристик мережі на які слід в першу чергу звертати увагу при плануванні підключення ВДЕ: рівень підпорядкування мережі; клас напруги мережі; наявність вже існуючих СЕС та ВЕС які уже працюють в мережі; кількість та тип трансформаторних підстанцій; відсоток зносу мережі; наявність компенсуючого обладнання. Характеристики споживачів під'єднаних до мережі в залежності від їх розміщені: тип споживача; категорія споживача за надійність електропостачання; графік споживання електричної енергії; графік перетоків для споживача з локальною генерацією (СЕС 30 кВт під «зелений тариф») наявність в споживача обладнання яке генерує або споживає реактивне енергію; здатність споживача зменшувати/збільшувати споживання за потреби або переміщувати його в часі.

Відповідно до особливостей роботи ВДЕ в мережі з різним характером споживання електричної енергії сформовано перелік критеріїв для оцінки регіонів:

- показниками сонячної інсоляції та вітрової активності;
- вартість земельних ділянок, для розміщення установок ВДЕ;
- наявність вільних територій виділених під ВДЕ;
- вартість підключення до мережі;
- густина підстанцій відповідного класу напруги на квадратний кілометр;
- середня потужність підстанцій на квадратний кілометр;
- стан обладнання мережі;
- подібність графіку споживання до графіку генерації ВДЕ (лише для СЕС);
- структура споживання електричної енергії;
- склад генеруючих потужностей електричної енергії (співвідношення відновлювальних джерел енергії до теоретично маневрових потужностей в мережі);
- показники надійності (безперервності) електропостачання;
- показники комерційної якості пов'язані з технічним станом ел. мер;
- показник якості електричної енергії (за умови наявності статистики).

З розглянутих математичних апаратів [9-11], для налізу наведених критерії обрано методику рейтингового оцінювання [12].

Здійснюємо вибір регіонів України, які будуть оцінені. Визначаємо числові значення обраних критеріїв рейтингового оцінювання для кожного об'єкта оцінювання, згідно наявних у відкритому доступі даних ОСР за 2018-2019 рр. [12-16], та звітної документації статистичних організацій. Формуємо зведену матрицю показників в табличній формі (таб.1).

Проводимо нормалізацію значень критеріїв оцінювання (таб.2). Проводим ранжування об'єктів за 3 методами:

- за формулою середньоквадратичного відхилення (1):

$$R_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n (\rho_k \cdot A_{ik})^2}, i = \overline{1, m}. \quad (1)$$

де $\rho_k = 1$ - ступінь важливості критерію

- за допомогою бальної оцінки (2):

$$R_i = \sum_{k=1}^n \rho_k \cdot r_{ik}, i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

- за правилом Кондорсе.

Таблиця 1 – Зведені показники для виконання рейтингового оцінювання

№ Регіону	№ параметру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Назва критерію по якому проводиться оцінка	Технічно-дослідний потенціал енергії сонця	Технічно-дослідний потенціал енергії вітру	Вартість землі	Кількість земельних ділянок виданих під навігацію ВДЕ	Густина підстанцій на квадратний кілометр	Потужність підстанцій на квадратний кілометр	Показник енергоємності обслуговування	Коефі. Поглибленості графіка споживання	Вартість підключення до мережі	Частка промисловості в структурі споживання регіону	Співвідношення генерації СЕС до генерації маневрених електростанцій	Показник SAIDI	Якість надання послуг	Показник якості електричної енергії
	Регіони що оцінюються	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MIN	MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX
1	Вінницька область	0,509	0,000	1,000	0,172	0,535	0,100	0,901	0,000	0,563	0,160	0,793	0,967	0,997	0,228
2	Волинська область	0,356	0,000	0,483	0,172	0,337	0,032	0,579	0,761	0,576	0,259	0,995	0,470	0,976	0,010
3	Дніпропетровська область	0,798	0,889	0,155	0,203	0,531	0,458	0,000	1,000	0,998	1,000	0,920	0,753	0,448	1,000
4	Донецька область	0,663	0,945	0,237	0,922	0,720	0,644	0,471	0,096	1,000	0,903	0,000	0,000	0,968	0,450
5	Житомирська область	0,650	0,000	0,603	0,453	0,349	0,049	0,968	0,737	0,639	0,436	0,989	0,890	0,998	0,127
6	Закарпатська область	0,098	0,734	0,371	0,000	0,551	0,242	0,944	0,818	0,435	0,061	0,872	0,700	0,978	0,238
7	Запорізька область	0,736	0,978	0,448	0,922	1,000	1,000	0,154	0,643	0,608	0,739	0,856	0,868	0,540	0,451
8	Івано-Франківська область	0,147	0,944	0,590	0,266	0,000	0,299	0,995	0,109	0,630	0,603	0,905	0,876	0,165	0,271
10	Київська область	0,607	0,000	0,461	0,375	0,245	0,060	0,974	0,973	0,508	0,231	0,855	0,499	0,997	0,192
11	Кіровоградська область	0,491	0,000	0,108	1,000	0,449	0,475	0,546	0,574	0,855	0,541	0,762	0,162	1,000	0,000
12	Луганська область	0,675	0,932	0,168	0,391	0,413	0,184	0,482	0,084	0,995	0,460	0,000	0,290	0,574	0,625
13	Львівська область	0,405	0,676	0,539	0,516	0,285	0,109	0,731	0,768	0,000	0,240	0,912	0,738	0,971	0,265
14	Миколаївська область	0,650	0,926	0,168	0,766	0,494	0,296	1,000	0,862	0,948	0,294	0,276	0,427	0,862	0,648
15	Одеська область	1,000	0,957	0,000	0,156	0,353	0,052	0,865	0,839	0,637	0,083	0,461	0,577	0,721	0,234
16	Полтавська область	0,638	0,000	0,543	0,000	0,189	0,020	0,803	0,651	0,642	0,768	1,000	0,659	0,962	0,349
17	Рівненська область	0,307	0,000	0,638	0,244	0,347	0,038	0,767	0,438	0,656	0,380	0,996	1,000	0,969	0,302
18	Сумська область	0,460	0,000	0,422	0,984	0,374	0,081	0,677	0,816	0,988	0,440	0,998	0,673	0,871	0,053
19	Тернопільська область	0,215	0,000	0,357	0,000	0,626	0,104	0,809	0,396	0,487	0,085	0,989	0,747	0,938	0,066
20	Харківська область	0,712	0,000	0,288	0,000	0,462	0,294	0,774	0,853	0,772	0,274	1,000	0,673	0,000	0,046
21	Херсонська область	0,847	1,000	0,564	0,875	0,059	0,063	0,742	0,514	0,839	0,014	0,275	0,634	0,882	0,587
22	Хмельницька область	0,380	0,000	0,349	0,359	0,481	0,115	0,660	0,227	0,061	0,303	0,783	0,461	1,000	0,158
23	Черкаська область	0,577	0,000	0,164	0,391	0,623	0,172	0,930	0,681	0,874	0,552	0,989	0,790	0,764	0,104
24	Чернівецька область	0,000	0,741	0,474	0,406	0,701	0,190	0,794	0,716	0,000	0,000	0,987	0,902	1,000	0,119
25	Чернігівська область	0,699	0,000	0,195	0,406	0,288	0,000	0,612	0,545	0,639	0,257	0,983	0,962	0,926	0,040

Таблиця 3 – Місце регіону в рейтингу відповідно обраного способу розрахунку

№ Регіону	Спосіб оцінки	За узагальненими нормалізованими показниками		За бальною оцінкою		За правилом Кондорсе	
		Середньоквадратичне відхилення	Місце в рейтингу	Сума балів за усіма критеріями	Місце в рейтингу	Ступінь переваги	Місце в рейтингу
1	Вінницька область	0,64142364	8	165	10	6	7
2	Волинська область	0,55335867	21	124	21	1	11
3	Дніпропетровська область	0,72337327	2	200	1	16	2
4	Донецька область	0,64835582	7	180,5	5	9	5
5	Житомирська область	0,67808393	4	199	2	15	3
6	Закарпатська область	0,5900175	16	154,5	15	4	9
7	Запорізька область	0,72992388	1	200	1	16	2
8	Івано-Франківська область	0,55326773	22	160	12	8	6
10	Київська область	0,62047984	11	155	14	5	8
11	Кіровоградська область	0,61625231	12	154	16	4	9
12	Луганська область	0,48732912	23	141,5	17	0	12
13	Львівська область	0,58068655	17	155,5	13	5	8
14	Миколаївська область	0,65153802	6	192	3	19	1
15	Одеська область	0,56401206	19	130	20	1	11
16	Полтавська область	0,63774592	9	167,5	9	6	7
17	Рівненська область	0,62745762	10	175	7	8	6
18	Сумська область	0,68003193	3	177	6	6	7
19	Тернопільська область	0,55839397	20	133,5	19	0	12
20	Харківська область	0,57801261	18	164,5	11	6	7
21	Херсонська область	0,61578301	13	154	16	3	10
22	Хмельницька область	0,48630832	24	130	20	1	11
23	Черкаська область	0,65177165	5	182	4	11	4
24	Чернівецька область	0,61156908	14	169,5	8	5	8
25	Чернігівська область	0,59937272	15	136	18	2	11

Найбільш коректний результат для створення рейтингу регіону доцільно отримано способом узагальнення нормалізованих показників. Тому що всі критерії по яких проводилась оцінка мають кількісний показник, тобто описані конкретними числовими значеннями. У випадку, якщо до наявних кількісних показників додати також якісні критерії оцінювання, доцільнішим стануть результати за бальною оцінкою та правилом Конденсе.

Висновки

Збільшення сукупної кількості критеріїв для оцінки регіонів України з точки зору доцільності розвитку на їх територіях ВДЕ, надає більш широкий спектр можливостей для реалізації енергетичної стратегії України.

Регіони України з високими показниками інсоляції (для СЕС) та високими показниками вітрової активності (для ВЕС), мають гірші показники по критеріях вартості землі, густині трансформаторних підстанцій, якості електричної енергії та інш.

Застосування більшої критеріальної бази, надає можливість впливати на вибір місця розміщення ВДЕ, потенціальними інвесторами, за умови мінімізації впливу на нормальний режим функціонування енергосистеми.

Список літератури

1. План розвитку системи передачі на 2020-2029 роки. // НЕК "Укренерго". – 2019. – С. 28–51.
2. El-Khattam, W. Optimal Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market [Text] / W. El-Khattam, K. Bhattacharya, Y. Hegazy, M. M. A. Salama // IEEE Trans. Power Syst. – 2004. - Vol. 19. - P. 1674-1684.
3. Alinejad-Beromi, Y. A Particle Swarm Optimization for Siting and Sizing of Distributed Generation in Distribution Network to Improve Voltage Profile and Reduce THD and Losses [Text] / Alinejad-Beromi Y., Sedighizadeh M., Sadighi M. // Universities Power Engineering Conference. - 2008. – P. 1-5.
4. Liu, Zifa Optimal Configuration for Capacity of Distributed Generation Interconnected to Distribution Network Based on Improved [Text] / Liu Zifa, Wu Ziping, Xue Xiaoqiang, Zhang Jianhua // Sustainable Power Generation and Supply. - 2009. - P. 1-5.
5. Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Гончаренко І.С., Захаров А.М. Обмеження потужності відновлюваних джерел енергії за умовами приєднання до електричної мережі // енергетичні системи та комплекси: збірник наукових праць. Вип. 43, 2016 рік Інститут електродинаміки НАН України, 2016. С 18-23
6. Киреленко О. В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими / Т. М. Базюк, І. В. Блінов, С. П. Денисюк та ін// Інститут електродинаміки НАН України.– Київ, 2016. – 400 с.
7. Кузнєцов М. П. Забезпечення енергобалансу в комбінованих енергосистемах з відновлюваними джерелами енергії // Відновлювальна енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті : матеріали ХХ Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 15-16 травня 2019 р. : тези доповідей. – К.: Інтерсервіс, 2019. С 48-52.
8. Мірошник Ю. В., Казанський С. В. Моделювання режимів роботи електричної мережі з відновлюваними джерелами енергії // Відновлювальна енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті : матеріали ХХ Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 15-16 травня 2019 р. : тези доповідей. – К.: Інтерсервіс, 2019. С 113-116.
9. Opricovic S. Multi-criteria optimization of civil engineering systems / S. Opricovic-Belgrade: Faculty of Civil Engineering, 1998. - 56 p.
10. Yu P.L. A Class of Solutions for Group Decision Problems / P.L. Yu // Management Science.- 1973. – Vol. 19, N 8. – P. 936-946 p. 184 с. 1977. – Vol. 13, N 1. - P. 47-58. Vol. 3, N1. P. 327-348. М.: Наука, 1981. - 208 с.

11. Hwang C.L. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. A State of Art Surwey / C.L. Hwang, K. Yoon.
12. Гинявичюс Р. Влияние весов частных критериев на результаты многокритериальной оценки / Р. Гинявичюс, В. Подвезько // Вісник НАУ.-2004.-N 3.-С. 37-41.
13. Звіт про результати діяльності НКРЕКП у 2018 р.: Постанова НКРЕКП від 29.03.2019 № 440. 314 с. URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=39676> (дата звернення: 27.01.2020).
14. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. // НЕК "Укренерго". – 2018. – С. 13–16, 20–26, 69–71, 118–119.

УДК 620.91+ 621.31

Іщенко О.С., аспірантка
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ R ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ

Анотація. При створенні моделей прогнозування існують суперечки пов'язані з особливостями баз даних. Це призводить до складності прийняття рішень, що обумовлено різними чинниками які впливають на збір та оброблення інформації. Існує багато інструментів для підвищення якості обробки баз даних, і наступною проблемою є пошук оптимального вибору одного з запропонованих інструментів, який би максимально задовольнив усі нагальні потреби для побудови моделі прогнозу цін на ринках електричної енергії. В роботі проаналізовані основні переваги мови програмування R, розглянуті можливості сфери застосування, проведений порівняльний аналіз з іншими мовами програмування. R Studio є інтегрованим середовищем розробки і дозволяє користувачам розробляти та редагувати програми на R, підтримуючи велику кількість статистичних пакетів, більш високу якість графіки та можливість керувати робочим простором. Зручність інтерфейсу, можливість конвертування коду для подальшого його використання у іншій мові програмування, а також безкоштовність використання R Studio робить це інтегроване середовище розробки унікальним варіантом для побудови моделі прогнозування ціни на ринку електричної енергії України.

Ключові слова: прогнозування цін, ринок електроенергії, R, R Studio, Python, обробка баз даних.

Abstract. Creating forecasting models, there are disputes related to different database features. This leads to the complexity of decision making, which is due to various factors that affect the collection and processing of information. There are many tools for improving the quality of information processing, and the next problem is to find the optimal choice of one of the proposed tools that would maximally satisfy all urgent needs to build a model of pricing in the electricity markets. The main advantages of R programming language are analyzed in the paper, the scope of application is considered, comparative analysis with other programming languages is made. R Studio is an integrated development environment that allows users to develop and edit applications on R, supporting a large number of statistical packages, higher quality graphics and the ability to manage the workspace. The convenience of the interface, the ability to convert the code for further use in another programming language, as well as the free use of R Studio make this integrated development environment a unique option for building a model for predicting the price of the electricity market in Ukraine.

Key words: price forecasting, electricity market, R, R Studio, Python, database processing.

Вступ.

При виборі методів і побудові моделей прогнозування ціни на електричну енергію виникають складності, ті схеми і принципи побудови які припустимі для звичайних товарів не можуть бути застосовані в умовах обмежень ринку електроенергії [1-4]. Якісний аналіз даних при обмежених умовах є першочерговим завданням при моделюванні.

Аналіз даних - складова частина будь-якого дослідження, так як саме на етапі аналізу даних відбувається перехід від отриманих результатів до розуміння наявної в них інформації і далі до нового наукового знання. Практично жодне дослідження в енергетиці не може бути розглянуто якщо воно не має наукову доказовість, якщо висновки за підсумками проведеного

дослідження не підтверджені результатами статистичної обробки даних [5]. Широке впровадження комп'ютерних програм дозволило істотно прискорити процес аналізу даних, а також виконати ряд інших функцій. Зокрема, спеціалізоване програмне забезпечення допомагає підготувати дані для аналізу і здійснити його.

На практиці найбільш часто для статистичного аналізу даних використовуються такі програми, як Python, SAS, SPSS та ін. Повноцінною безкоштовною альтернативою цим комерційним продуктам є безкоштовне програмне середовище R, яке по суті є мовою програмування. Створена більше 20 років тому, ця мова успішно розвивається і підтримується науковим співтовариством у всіх областях наукового пошуку. Мова R добре документована, і для навчання користувачів існують інтернет-ресурси [6-10]. Про зростання популярності мови R свідчить той факт, що в рейтингу мов програмування TIOBE, який складається на основі частоти пошукових запитів, на травень 2020 року мова R знаходиться на 10-му місці, причому рейтинг виріс за рік на 11 позицій [11]. У цьому рейтингу з числа мов програмування, зазвичай використовуваних при аналізі даних, R випереджає тільки Python, але цей факт пояснюється тим, що сфера застосування Python істотно ширше сфери застосування R. В даній роботі розглянуто систему статистичного аналізу R та її інтегроване середовище розробки R Studio як найоптимальнішу з існуючих мов програмування саме для прогнозування цін на електричну енергію в умовах обмежень притаманних ринку електричної енергії України.

Мета та завдання.

Метою роботи є визначення можливостей мови програмування R та прикладних програм на її основі для моделей та методів прогнозування цін на електричну енергію.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання.

I Огляд мови програмування R та прикладних програм на її основі.

II Порівняльний аналіз R з альтернативними мовами програмування та програмним забезпеченням.

III Визначення можливостей застосування R для моделей та методів прогнозування цін на електричну енергію.

Матеріал і результати досліджень.

I Огляд мови програмування R та прикладної програми на її основі

R - система статистичного аналізу, створена Россом Іхакою та Робертом Джентльменом [12]. R - це не лише мова, а й програмне забезпечення, найважливіші особливості наведені нижче:

- ефективна обробка даних та простий інструмент для зберігання результатів;
- набір операторів для обробки масивів, матриць та інших складних конструкцій;
- великі, послідовні, інтегровані інструменти збору для статистичного аналізу;
- численні графічні інструменти;
- проста і ефективна мова програмування, яка включає в себе безліч можливостей.

R - це мова з безліччю функцій, які виконують аналіз статистики та показують графічне відображення результатів, які візуалізуються у її вікні та дають можливість зберігати дані у різних форматах (jpg, png, bmp, eps або wmf у Windows, ps, bmp, pictex на Unix). R - мова, яка дозволяє користувачеві використовувати циклічні оператори, послідовно аналізувати кілька наборів даних. Також можна комбінувати різні статистичні функції для більш складного аналізу. Інтегроване середовище розробки, R Studio використовує мову R для розробки статистичних програм. У R можна написати програму та запустити код незалежно від будь-якої іншої комп'ютерної програми. R Studio, однак, для належного функціонування слід використовувати поряд з R. R може використовуватися без R Studio, але R Studio не може використовуватися без R [13-14].

- R - абсолютно безкоштовна програма. Програма R безкоштовна і, крім того,

ліцензується згідно з умовами ліцензії GNU General Public. Також велика кількість пакетів R може використовуватися за однією ліцензією в комерційних програмах.

- R популярний. IEEE публікує список найпопулярніших мов програмування щороку. Для мови, орієнтованої на домени, наприклад R, популярність важливіша, ніж для мови загального призначення, наприклад, C#. Це показує не тільки зростаючий інтерес до R як мови програмування, але й зростаючу популярність у таких сферах, як наука про дані та машинне навчання, де R зазвичай використовується.

- R працює на всіх платформах. Можна знайти пакети для установки R для всіх популярних платформ - Windows, Linux та Mac. Код R, який пишеться на одній платформі, без проблем можна перенести на іншу. Міжплатформна взаємодія є важливою особливістю сучасного комп'ютерного світу.

II Порівняльний аналіз R з альтернативними мовами програмування.

Як вже було сказано, R - не єдина мова, яку можна використовувати для статистичних обчислень та графіків. Нижче наведено порівняння трьох мов програмування за такими критеріями:

1. Доступність / вартість
2. Простота навчання
3. Можливості обробки даних
4. Графічні можливості
5. Інструментарій
6. Наявність обслуговування клієнтів

Порівняльний аналіз R, SAS, Python представлений у Табл.1.

Таблиця 1 – Порівняння з іншими мовами програмування

Мова	Вартість	Простота навчання	Можливості обробки даних	Графічні можливості	Інструментарій	Наявність обслуговування клієнтів
R	+	+/-	+	+	+	-
SAS	-	+/-	+	-	+	+
Python	+	+/-	+	+	+	-

1. SAS - комерційне програмне забезпечення. Поширене в приватних організаціях. Тоді як R і Python - абсолютно безкоштовні.

2. Всі порівнювані мови вимагають мінімального знання кодування. Звичайно існують ресурси для навчання, на веб-сайтах університетів є навчальні посібники і т.д.

3. Усі три мови мають можливості обробки даних та варіанти для проведення паралельних обчислень.

4. SAS має функціональні графічні можливості. Однак побудова графіків є складною і вимагає зрозуміти тонкощі використання пакету SAS Graph. R і Python мають розвинені графічні можливості. Існують численні пакети, які надають передові графічні можливості.

5. Усі три мови мають основні функції.

6. R та Python мають найбільші інтернет-спільноти, але не підтримують обслуговування клієнтів. Тож якщо виникають проблеми, то вирішувати їх треба самостійно. SAS підтримує функцію обслуговування клієнтів.

III Визначення можливостей застосування R для моделей та методів прогнозування цін на електричну енергію.

Найчастіше використовувані для побудови прогнозів на ринку електричної енергії моделі прогнозування: ARIMA (інтегрована модель авторегресії ковзкого середнього), SARIMA (сезонна інтегрована модель авторегресії ковзкого середнього), ARMAX (авторегресійна модель ковзкого середнього з екзогенними змінними), експоненційний метод

згладжування та його різновиди, баєсовські методи і т.д.

Серед основних можливостей R саме для прогнозування ціни на ринку електроенергії слід зазначити що це мова з відкритим кодом, багатофункціональна, сучасна за рахунок підтримки широкого штату розробників, які постійно вдосконалюють та оновлюють коди та пакети для обробки баз даних. R володіє безліччю статистичних функцій, які виконують аналіз даних за методиками всіх зазначених вище моделей, а також мають змогу графічно відображати результати [15-16], що безперечно є одним із найважливіших критеріїв для вибору саме цього інструменту при прогнозуванні цін на ринку електричної енергії. Також, безперечно, дуже важливим фактором для вибору цієї мови програмування є можливість роботи програми на всіх платформах, зберігання даних у різних форматах, відкриті енергетичні бази даних інших користувачів, це важливо для порівняльного аналізу.

Висновки

Після проведення порівняльного аналізу трьох мов програмування можна зробити висновок що R і Python, за обраними критеріями, мають однакові показники оцінки. Враховуючи відкритість коду обох мов, слід зазначити що саме R була розроблена для обробки статистичної інформації і саме R широко використовується для аналізу статистичних баз даних науковцями. Інтегроване середовище розробки R Studio має різні пакети для обробки баз даних, які корисні при прогнозуванні цін на ринку електроенергії: класифікація, регресія та оцінка розподілу, обчислення помилок моделей класифікації та регресії, оцінки втрат, оцінка та ефективність класифікаційних та регресійних моделей, обчислення точності, автокореляція та кореляція тощо.

Таким чином, представлені в даному матеріалі можливості програмного середовища R, незважаючи на їх стислість дозволяють показати, наскільки корисним буде для користувача їх застосування для прогнозування цін на електричну енергію на ринку електроенергії України.

References

1. Hyndman, R., Athanasopoulos, G., 2013. Forecasting: principles and practice. OTexts.
2. Forecasting: Principles and practice. 2016. Available from: Crossref
3. Kolassa, S., 2016. Evaluating predictive count data distributions in retail sales forecasting. International Journal of Forecasting 32 (3), 788–803.
4. Nikolaos Kourentzes, Fotios Petropoulos, 2016. Forecasting with R. [Online]. Available: <https://kourentzes.com/forecasting/wp-content/uploads/2017/06/Forecasting-with-R-notes.pdf>
5. Kholmatova K. K., Kharkova O. A., Grjibovski A. M. Types of Research in Health Sciences. *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. 2016, 1, pp. 57-64.
6. Buhovec A. G., Moskalev P. V., Bogatova V. P., Biryuchinskaya T. Y. *Statisticheskii analiz dannyh v sisteme R: uchebnoe posobie [Statistical data analysis using R: the textbook]*. Voronezh, 2010, 124 p.
7. Kabakov R. I. *R v deystvii. Analiz i vizualizatsiya dannykh v programme R [R in action: data analysis and visualization using R software]*, per. s angl. P. A. Volkov. Moscow, 2014, 588 p.
8. Mastickiy S. E., Shitikov V. K. *Statisticheskii analiz i vizualizatsiya dannykh s pomoshch'yu R [Data statistical analysis using R]*. Moscow, 2015, 496 p.
9. Crawley M. J. *The R Book*. 2nd ed. Wiley, 2013.
10. R: анализ и визуализация данных. Available from: <http://r-analytics.blogspot.ru> (accessed: 06.05.2020).
11. TIOBE Index for May 2020. Available from: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (accessed: 06.05.2020).
12. Learn R Programming. The Definitive Guide, September [Online]. Available: <https://www.datamentor.io/r-programming/>; 2019.

13. R Core Team: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (2017). URL <https://www.R-project.org/>
14. Official website, May [Online]. Available: <https://rstudio.com/>; 2020.
15. Nicholas J. Horton, Using R and R Studio for Data Management, Statistical Analysis, and Graphics. Second edition: book/ Nicholas J. Horton, [Online]. Available: <https://englianhui.files.wordpress.com/2016/01/using-r-and-rstudio-for-data-management-statistical-analysis-and-graphics-2nd-edit.pdf>
16. I. Setiawan, 2019. Time series air quality forecasting with R Language and R Studio. [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1450/1/012064/pdf>

УДК 332.83

Іванченко Р.П.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Чернявський А.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кафедра електропостачання

РОЛЬ ТА МІСЦЕ SMART HOME СИСТЕМ В СИСТЕМІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ЖИТЛОВИХ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ

Анотація – В даній статті розглянуто питання застосування системи Smart Home в системі енергоменеджменту житлових багатоквартирних будинків. Концепція домашньої автоматизації існує з кінця 1970-х років, хоча з розвитком технологій і послуг очікування людей щодо того, яким повинен бути будинок або яким чином слід надавати послуги і отримувати до них доступ вдома, продовжують змінюватися. Але паралельно також постало питання зменшення загального впливу на довкілля та енергозбереження. На даному етапі розвитку система «розумний будинок» (Smart Home) може вирішувати низку питань, зокрема як задоволення широкого спектру потреб мешканців так і контроль та ефективне енерговикористання. Оскільки будівлі споживають близько 35% загальної енергії і в передових країнах і в Україні також, потреба в активному та систематичному управлінні енергією за допомогою технологій системи «розумний будинок» зростає в довгостроковій перспективі.

Ключові слова – енергоефективність, енергозбереження, енергоспоживання, житлова будівля, розумна будівля.

Abstract – This article considers the application of the Smart Home system in the energy management system of residential apartment buildings. The concept of home automation has been around since the late 1970s, although with the development of technology and services, people's expectations of what a home should be like or how services should be provided and accessed at home continue to change. But at the same time, there is also the issue of reducing the overall impact on the environment and energy saving. At this stage of development, the Smart Home system can address a number of issues, including meeting a wide range of residents' needs and controlling and efficient energy use. As buildings consume about 35% of the total energy in advanced countries and in Ukraine as well, the need for active and systematic energy management through smart home technologies is growing in the long run.

Keywords - energy efficiency, energy saving, energy consumption, residential building, smart building.

Вступ

Енергозбереження є актуальною темою через поширення кліматичних змін і енергетичних проблем в усьому світі. На ряду з цим також не менш важливим є питання зростання кількості електроприладів а з ними й енерговикористання загалом. Однак сприйняття людьми використання інтелектуальних технологій для енергозбереження все ще перебуває в стадії розробки. Це означає, що люди з готовністю говорять про екологічний свідомості, але в дійсності вони погоджуються оплатити даний рахунок за енергію. Через наявність електроенергії і його невід'ємною ролі, ставлення споживачів до економії енергії може бути проблемою. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми може бути системи «Розумний будинок» (Smart Home), яка надає можливість підключення системи моніторингу за всією будівлею та контролю використання енергії [1] або умов проживання.

Мета та завдання

Метою цієї роботи було підвищити ефективність системи енергоменеджменту житлових багатоквартирних будинків та загального рівня комфорту мешканців шляхом впровадження в будинках системи Smart Home.

Основними завданнями цієї роботи були:

- 1) проаналізувати роль системи Smart Home в системі енергоменеджменту житлових багатоквартирних будинків;
- 2) провести аналіз існуючих типових конфігурацій системи Smart Home, що застосовуються в житлових багатоквартирних будинках у світі;
- 3) оцінити можливість інтеграція системи в існуючі будинки на рівні прийняття мешканцями та можливості використання даної системи за для отримання певної користі такої як енергозбереження, контроль використання енергії чи підвищення загального рівня безпеки;
- 4) оцінити ефективність застосування системи Smart Home в системі енергоменеджменту житлових багатоквартирних будинків;
- 5) Зробити висновки щодо доцільності застосування системи Smart Home в системі енергоменеджменту житлових багатоквартирних будинків.

Роль системи Smart Home в керуванні енергоспоживанням житлової будівлі

У декількох визначеннях терміну «Розумних будинків» підкреслюється, що його концепція полягає в підключенні датчиків, приладів і пристроїв через мережу зв'язку для віддаленого моніторингу, доступу або управління житловим середовищем і її споживанням.. Більш того, критично важливим моментом системи «Розумний будинок» є надання послуг, що відповідають потребам користувачів. Тільки останнім часом термін «розумний» або відноситься до енергоефективності будівель.

Таким чином, його часто називають домашньою системою управління енергією, яка управляє споживанням енергії в будинках . Зокрема, ці системи націлені на максимальне підвищення ефективності використання електроенергії в будинках і оптимальне управління домашнім обладнанням для скорочення і оптимізації використання енергії, а також для створення та зберігання енергії. Хоча може бути самоочевидним, що сучасні будівлі з високим рівнем обслуговування вимагають вдосконаленої системи управління, слід розуміти, що більш прості будівлі, що використовують опалювальний котел і природну вентиляцію, можуть як і раніше користуватися перевагами сучасної системи управління енергоспоживанням будинку. Зростаючий акцент на енергозбереженні та скорочення викидів парникових газів сприяє підвищенню важливості ефективного контролю.

Однак такий підхід не є єдиним способом зниження споживання. Краще, більш ефективне використання традиційних приладів і компонентів може бути однаково ефективним. Таким чином, поряд з просуванням енергоефективного обладнання, розробники політики в галузі енергоефективності пропонують ще один спосіб скорочення споживання, тим самим підвищуючи ефективність системи. За фактом, підвищення ефективності системи є єдиним підходом, доступним для багатьох існуючих будівель, які з культурних та історичних причин не можуть бути адаптовані до сучасних технологій будівництва.

Підвищення ефективності системи вимагає централізованого контролю всіх компонентів, пов'язаних з енерговикористанням та енергоспоживанням в житлових багатоквартирних будинках, щоб гарантувати, що вся система може працювати з максимальною ефективністю [1]. Крім того, комунікаційна мережа має вирішальне значення для збору даних зі всіх компонентів «розумного будинку» і їх розробки для індивідуального підходу до відповідних стратегій для збільшення енергозбереження. На

ефективність також впливає здатність системи повідомляти користувачам про їх використання енергії і змінювати їх звички, тому основним є те, яким чином зв'язок використовується для інформування їх.

Безперервний моніторинг компонентів явно вважається корисним для зниження загального енергоспоживання в будівлях. Значна економія електроенергії, в середньому від 5% до 15%, може бути досягнута за рахунок розуміння деталей використання енергії на рівні окремих пристроїв в будівлях шляхом надання користувачам інформації про зв'язок між енергією і виконаними діями на пристроях.

Мета та задачі системи Smart Home

Сама концепція поняття розумний дім - це технологія, яка може підключити все до мереж для моніторингу та управління ними в різних областях, таких як побутова техніка, енергоємні пристрої та захисні пристрої, а також пристрої контролю за рівнем здоров'я. Споживачі можуть перевіряти та контролювати поточний стан у своїх будинках незалежно від часу та місця за допомогою служби розумного дому. Служба створює середовище, коли цифрові інформаційні термінали можуть перевіряти та контролювати внутрішні пристрої через однакові інтерфейси.

Основна мета системи це підвищення взаємозв'язку між користувачем та цого домівною, шляхом створення мережі до якої підключена низка приладів що знаходяться як в середині оселі так і зовні [2]. Кожна окремо взята система може виконувати конкретні задачі для свого користувача, зокрема це може бути концентрація на підвищенні рівня здоров'я, економії витрат на енергоресурси, забезпечення більш високого рівня безпеки, енергозбереження, зменшення втрати часу на речі, які можуть бути автоматизовані, та ін. Все це може сприяти кращій якості життя та економії витрат.

Функції системи

Системи Smart Home пропонують переваги в багатьох областях, включаючи обмеження впливу на навколишнє середовище, економію витрат на електроенергію і підвищення безпеки та надійності будівлі. Системи не тільки регулюють функції будівлі, але і перетворюють дані, щоб допомогти користувачам визначити способи подальшого зниження витрат і підвищення ефективності та комфорту їх будинків.

Системи Smart Home повинні не тільки інформувати користувачів про їх середовищі, а й забезпечувати певний контроль над нею в разі потреби. Інтелектуальне управління дозволяє мешканцям будинку регулювати споживання енергії. Енергії у вигляді опалення, охолодження, кондиціонування повітря та освітлення повинна надаватися тільки тоді, коли є потреба на стороні користувача. Користувачі повинні регулювати, коли і скільки енергії має споживатися. Після завершення будівництва або реконструкції, поведінка коригується для досягнення очікуваних кінцевих функцій будівель, наприклад, включення опалення / термостата в холодну пору, відкриття вікон для вентиляції, включення кондиціонера, якщо занадто тепло, включення освітлення тощо [3]. Поведінка мешканців призводить до великого розбіжності між розрахунковою кінцевої потребою в енергії (тобто, оболонкою будівлі і установками) і реальної вимірної кінцевої потребою в енергії. Рішенням можуть стати самонавчальні системи автоматизації, що регулюють алгоритм управління відповідно до бажаними настройками користувачів. На рисунку 1 представлені основні функції системи.

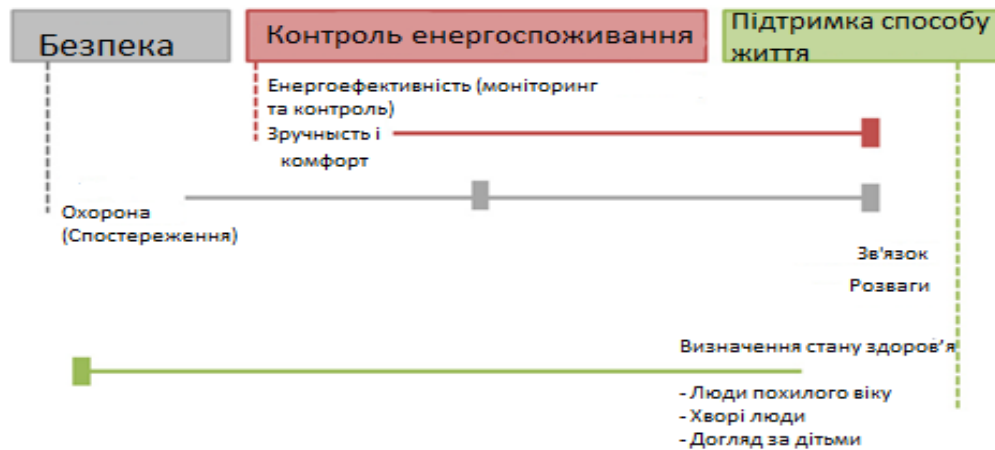


Рисунок 1. Основні функції системи

При моніторингу «Розумного будинку» (в сенсі контролю за загальним станом будинку через програмне забезпечення), в цьому сенсі в останні роки зростає інтерес до області зворотного зв'язку в реальному часі як в житлових, так і в офісних будівлях. Повторюваним відкриттям в літературі і його зростаючим застосуванням в інтелектуальних будівлях є зворотний зв'язок в режимі реального часу для інформування жителів про їхні умови навколишнього середовища і використання енергії [4]. Дослідження [4] показали, що швидка зворотний зв'язок для інформування мешканців покращує умови комфорту, але правильне функціонування системи має вирішальне значення для сприйманого комфорту і задоволеності системами. Інтуїтивно зрозумілий і безпосередній характер діючих вікон для поліпшення комфорту призводить до значно більш широкому діапазону прийнятних умов, ніж в кондиціонованих будівлях. Дослідження виявили, що швидко реагуючі оператори будівель також важливі для сприйманого комфорту. Зворотний зв'язок з мешканцями для підтвердження того, що система функціонує, особливо важлива для теплових систем, які зазвичай відчувають розрив між входом управління і зміною внутрішнього середовища [5]. Спосіб, яким інформація передається користувачам, має фундаментальне значення для того, щоб вони знали і вносили зміни в свою поведінку, пов'язане з енергією. Зокрема, необхідно враховувати два питання. По-перше, інструмент, який використовується для збору і передачі інформації. По-друге, як інформація виражається для того, щоб її могли зрозуміти користувачі, які зазвичай відчувають затримку між входом управління і зміною внутрішнього середовища. Спосіб, яким інформація передається користувачам, має фундаментальне значення для того, щоб вони знали і вносили зміни в свою поведінку, пов'язане з енергією.

Структура та топологія системи

Система Smart Home дає можливість використовувати побутові пристрої більше зручніше, швидше, та що на сам перед важливо, з меншою кількістю використаної енергії. Завдяки концепції енергозбереження ,автоматизована домашня система дає відчуття не тільки комфорту але й заощадження, енергії а отже і грошей.

Ця система в основному реалізована за допомогою датчиків, керуючих пристроїв і виконавчих механізмів. Датчики виявляють світло, рух, температуру та інші чутливі елементи, а потім відправляють ці дані на основні пристрої управління. Цими датчиками можуть бути термопари або термістори, фотодетектори, датчики рівня, датчики тиску, трансформатори струму, ІК-датчики і т.п. [6]. Яким потрібно додаткове обладнання для формування сигналу для зв'язку з головним контролером.

Контролерами можуть бути персональні комп'ютери / ноутбуки, сенсорні панелі, смартфони і т. п., Підключення до керуючих пристроїв, таким як програмовані логічні

контролери, які отримують інформацію від датчиків і на основі програми управляють виконавчими механізмами. Ця програма може бути змінена в залежності від операцій завантаження. Програмований контролер дозволяє підключати різні датчики і виконавчі механізми через різні модулі введення і виведення, будь то аналогові або цифрові.

Приводи є кінцевими керуючими пристроями, такими як кінцеві вимикачі, реле, двигуни та інші механізми управління, які в кінцевому підсумку керують домашнім обладнанням. Зв'язок відіграє важливу роль в цій системі домашньої автоматизації для віддаленого доступу до цих операцій. Ця система розумного будинку також забезпечує безперервний моніторинг за допомогою відеоспостереження за допомогою камер, планування та енергозбереження. Це найкраще рішення навіть для літніх людей і людей з обмеженими можливостями для експлуатації обладнання.

Взаємодія між давачами, керуючими пристроями і виконавчими механізмами відбувається завдяки системі що об'єднує їх. Це може бути дротова (така як Power Line) або бездротова система (такі як ZigBee, Wi-Fi , GSM, Bluetooth и т. п.), яку і пропонуємо розглянути як приклад.

У мережах ZigBee надійність зв'язку підвищується за рахунок наявності надлишкових зв'язків між пристроями. Всі пристрої, які не йдуть в сплячий режим, виконують роль роутерів, які відповідальні за маршрутизацію мережевого трафіку, вибору оптимального маршруту слідування та інше. Навіть якщо з ладу вийде пристрій, яке виступало в якості організатора мережі, ZigBee-мережа продовжить функціонувати далі. Виникнення перешкоди або вихід будь-якого з роутерів з ладу не є критичним за рахунок наявності надлишкових зв'язків. Тому зведенням додаткових вузлів, які мають стаціонарне живлення і можуть виконувати завдання роутера, мережа стає надійнішою [7].

Топологія ZigBee дає можливість підключати маршрутизатори один до одного, щоб підвищити надійність системи. У разі непередбаченого відмови будь-якого маршрутизатора, пакети даних автоматично перенаправляються через інші доступні маршрутизатори, зберігаючи цілісність інформаційного потоку [8]. На рисунку 2 зображена структура мережі ZigBee.

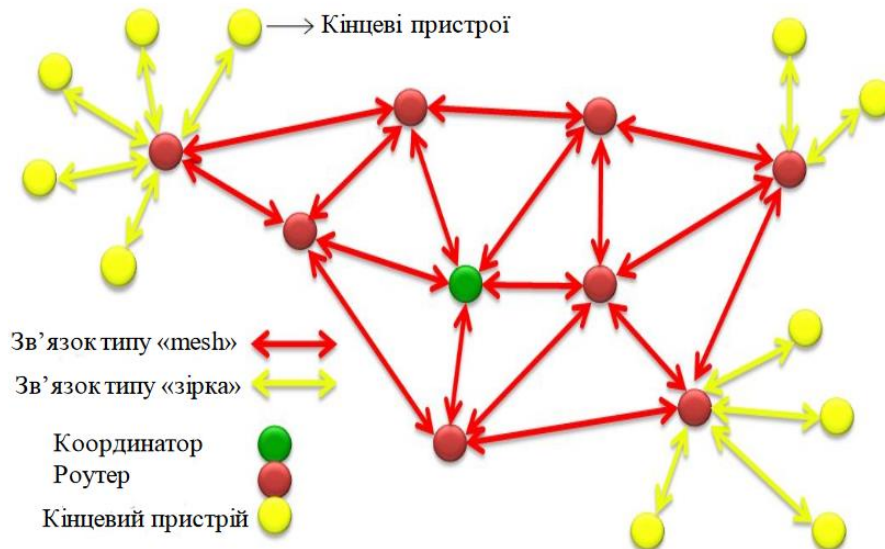


Рисунок 2. Структура мережі ZigBee [9]

Приклад інтеграції системи в існуючу систему управління та диспетчеризації житлової будівлі

За планом нового енергоефективного будинку необхідно забезпечити будівлю

перетворювачами природної енергії: сонячними панелями, колекторами та вітрогенераторами (рис.3).



Рисунок 3. Функціональна схема енергоефективної автоматизованої системи керування багатоквартирним будинком [10]

Їх розміщення можна організувати як на даху будинку, так і створити так звані «ферми» для розміщення достатньої кількості панелей і вітряних млинів, які можуть забезпечити кілька будинків або площ. У даній статті пропонується автоматизована система планування для багатоквартирних будинків, яка дозволить раціонально використовувати як природні, так і традиційні джерела енергії, що значно скоротить витрати на комунальні послуги, тим самим підвищивши рівень безпеки, стабільності і добробуту жителів і вдома як вдома. Функціональна схема, що відображає суть пропонованої системи, показана на рис. 3. Така система полегшує облік енергоспоживання, регулює розподіл ресурсів, сигналізує про необхідність професійного втручання в разі несправностей і аварій в результаті. Завдяки чому ця система дозволяє значно знизити витрати на технічне обслуговування, забезпечити підвищену безпеку жителів.

Використання такої автоматизованої системи дозволяє реалізувати велику кількість завдань, що відповідають інтересам не тільки всіх жителів, а й інтересів міста і країни [11]. У таких системах важливий контроль безпеки: контролер використовує датчики в квартирах і на вході на основі технології віддаленого доступу, контролює пожежну та охоронну сигналізацію, мінімізуючи таким чином пожежа, кримінальні ситуації і випадки несанкціонованого доступу до приватних приміщень і приміщення, де Устаткування розташоване, а модуль електромагнітного реле регулює освітлення в під'їзді в залежності від погодних умов, часу доби і сезону.

Пропонована система є прикладом сучасних інформаційних технологій - Інтернет речей - новий етап у розвитку Інтернету, який значно розширює можливості обліку, аналізу і регулювання процесів в багатоквартирних будинках. Використання таких автоматизованих систем планування має багато переваг, але через високу вартість впровадження не кожен домовласник може дозволити собі це задоволення. Тому інтерес міської влади і уряду, які будуть надавати фінансову допомогу, має велике значення. У свою чергу, інтерес ради країни може бути виправданий за рахунок скорочення або скасування виплати субсидій населенню, використання природної енергії для заміни вичерпної традиційної, а для жителів - можливості моніторингу, контролю та регулювання споживання енергії. Основним елементом цієї системи є мережа мікроконтролерів, побудована на основі технології Інтернет-речей (IoT), яка забезпечує бездротове управління як одним контролером, так і централізоване управління мережею мікроконтролерів по всьому будинку.

Висновки

Проблема енергоефективності жилих будинків - одне з найголовніших питань на сьогоднішній день як для українців, так і для людей у всьому світі загалом. Шалений ріст цін на комунальні послуги значно спустошує сімейний бюджет та водночас наголошує на важливості енергозбереження. Також не слід забувати про поширення кліматичних змін у всьому світі.

Тому актуальними є методи збільшення енергоефективності будинків, використовуючи нетрадиційні джерела енергії. Важливим питанням є способи управління ними, а саме управління на базі логічних контролерів, або бездротових систем що і було запропоновано у роботі. Використовуючи інноваційну технологію Інтернет речей, значно спрощується не лише керування системою у житловому будинку, а також і значно зменшуються витрати енергії завдяки логічним способам її розподілення. Віддалене керування та візуалізація процесів облегчить ведення обліку енергоспоживання, регулювання розподілу ресурсів, сигналізуватиме про необхідність професійного втручання у разі несправностей та аварій тощо. Проаналізувавши користь від загальної концепції Smart Home системи можемо дати висновок що дана система має місце буду особливо у теперішній екологічній ситуації.

Хоча ця технологія і є дуже ефективною, проте дозволити собі її встановлення може не кожен будинок. Тому дуже важливим у цьому питанні є підтримка держави, адже саме такі системи зможуть значно покращити як економічний стан країни, так і благополуччя населення.

Список використаних джерел

1. Design and Implementation of Smart Home System [Електронний ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/331634868_Design_and_Implementation_of_Smart_Home_System_Using_Internet_of_Things
2. Internet of Things For Energy [Електронний ресурс]: <http://news.sap.com/internet-things-energy-efficiency/>, free (date of appeal 12.03.2017) – Language: eng.
3. Using smart hardware to improve IoT energy efficiency [Електронний ресурс]: <https://electronicsnews.com.au/using-smart-hardware-to-improve-iot-energy-efficiency/>, free (date of appeal 10.03.2017) – Language: eng
4. Концепція автоматизованої системи аудиту та моніторингу енергоефективності будівель / Вовк А.І. [та ін.] // VII Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційно-комп'ютерні технології»: Тез.доп. – Житомир, 2014.
5. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 9, 2016, no. 1, 21 - 28 HIKARI Ltd, [Електронний ресурс]: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2016.512316>
6. Insights on Smart Home concept and occupants' interaction with building controls. 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September 2016, Turin, ITALY [Електронний ресурс]: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
7. Комеліна О.В., Щербініна С.А. Сучасні проблеми забезпечення енергоефективності житлового будівництва в Україні 2014 с.111
8. Актуальні питання реалізації державної стратегії застосування ринкових механізмів стимулювання заходів з підвищення енергетичної ефективності будівель. [Електронний ресурс] <http://www.kbuara.kharkov.ua/e-book/db/2016-1/doc/2/07.pdf> 2016р.
9. Дослідження протоколів бездротової передачі даних котрі використовуються в системі «Розумний будинок» URL <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/sequence=1>
10. Енергоефективна автоматизація багатоквартирних будинків на основі технології IoT URL : <https://www.researchgate.net/publication/331634868>
11. Енергоефективність будівель як важливий фактор сучасного будівництва [Електронний ресурс] <https://www.sworld.com.ua/konfer42/108.pdf> 2016р.

Лунін М.М.
кафедра електропостачання

МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ ГЕНЕРАЦІЄЮ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

***Анотація.** На даний час існує проблема нерегульованого використання СЕС, і, як наслідок, зниження ефективності використання традиційних генеруючих потужностей. Це несе в собі додаткові фінансові затрати, а в середньостроковій перспективі – зношеності блоків, аварій, і як наслідок, ще більші затрати. У даній статті, розглянуто питання та проблеми, пов'язані з нерегульованим використанням генерації електроенергії сонячними електростанціями та їх можливе вирішення.*

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, ОЕС УКРАЇНИ, НЕРЕГУЛЬОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ, СПОЖИВАННЯ, МЕХАНІЗМ, УПРАВЛІННЯ, ЗЕЛЕНИЙ ТАРИФ, РЕЖИМ ВИРОБНИЦТВА, ВИТРАТИ НА ВИРОБНИЦТВО, МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ, ОЦІНКА, ОЦІНКА ВИТРАТ, ЕНЕРГОСИСТЕМА.

Вступ.

1. Постановка проблеми в загальному вигляді її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями:

Енергетична галузь України в даний час має низку проблем, переважно пов'язаних з використанням застарілого обладнання, зношеністю генеруючих потужностей, станом (недостатньою пропускну здатністю) електричних мереж низької напруги, тощо. Тому, для ефективного розвитку галузі, необхідно проводити модернізацію обладнання, та встановлення нових генеруючих потужностей. В світі та Україні стрімко розвивається відновлювана енергетика, саме це є пріоритетним напрямком розвитку енергетики в довгостроковій перспективі. Однак, з цим пов'язано декілька питань. Як відомо, використання відновлюваних джерел енергії, зокрема СЕС, про які йтиметься далі, є вигідним тільки в разі приєднання їх до ОЕС України. Враховуючи специфіку генерації, вони будуть впливати на режими роботи ОЕС. Це загострює одну з основних проблем енергетики нашої держави: недостатню кількість маневрених потужностей, непристосованість блоків, які використовують як маневрені, та їх зношення і неефективна робота (наслідок непристосованості). Це несе додаткові фінансові затрати. Тому, ефективним вирішенням даної проблеми є включення в енергосистему потужностей СЕС контролювано, коли це потрібно системі.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій в яких започатковано розв'язання даної проблеми:

Розв'язку цього, та супутніх питань були присвячені роботи В. Ф. Находова, А. В. Праховника, А. І. Замулка, Маляренка В.А, Лазуренка А. П.

3. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, на яких ґрунтується стаття:

На даний час існує проблема нерегульованого використання СЕС, і, як наслідок, зниження ефективності використання традиційних генеруючих потужностей. Це несе в собі додаткові фінансові затрати, а в середньостроковій перспективі – зношеності блоків, аварій, і як наслідок, ще більшим затратам. Тому, необхідно запропонувати механізм управління генерацією СЕС, причому без використання «зеленого» тарифу. Причини переходу на інший механізм фінансової стимуляції розвитку будуть вказані в магістерській дисертації.

Мета:(цілі статті) Стимулювання розвитку та інтегрування до ОЕС об'єктів сонячної енергетики без використання «зеленого» тарифу.

Завдання: Розробка методологічних основ функціонування механізму управління генерацією сонячних електростанцій

Основна частина:

Розробка методологічних основ неможлива без детального вивчення впливу СЕС на режим виробництва електроенергії. На сьогоднішній день підтримання необхідного балансу виробництва і споживання електричної потужності в об'єднаній енергосистемі України здійснюється головним чином за рахунок використання маневрених можливостей енергоблоків теплових електростанцій генеруючих компаній (ТЕС ГК), а також шляхом зміни кількості цих енергоблоків, які знаходяться в роботі протягом доби. Необхідність компенсування надлишку нерегульованої електричної потужності, що генеруватиметься сонячними електростанціями, шляхом суттєвої зміни у денний період режимів роботи ТЕС ГК викликає появу значних додаткових витрат на виробництво електричної енергії тепловими енергоблоками, що стане ще однією вагомою причиною для подальшого підвищення оптових цін та роздрібних тарифів на електроенергію. З цього виходить, що неконтрольований стрімкий розвиток СЕС збільшуватиме потребу в маневрених потужностях, а отже і ускладнить диспетчерське управління. Варто зазначити, при контрольованій генерації СЕС дана проблема певним чином вирішується, звільнюються кошти, які були задіяні на пуски блоків, їх аварійні ремонти та наладки. В магістерській роботі необхідно запропонувати методичні основи оцінки додаткових витрат на виробництво електроенергії, що виникають при нерегульованому використанні СЕС. Розрахувавши додаткові витрати, буде зрозумілий масштаб проблеми та сума коштів, яка може бути задіяна в механізмі управління генерацією СЕС. Як зазначалось вище, стимулювання генерації СЕС в Україні відбувається з використанням «зеленого» тарифу. За генерацію в ОЕС України власник електростанції отримує кошти. На даний час, цей тариф досить високий, значно вище ніж вартість традиційної енергії. Виплати по зеленому тарифу закладені в вартість електроенергії, тому, відмовившись від нього, і перейшовши на інший механізм стимуляції, вартість електроенергії знизиться. Однак, при цьому постає проблема фінансової допомоги та виплат власникам СЕС. На даний час, генерація електроенергії сонячними станціями – вигідний бізнес, з малими строками окупності та можливістю подальшого розвитку. Пропонується інакший метод заохочення. Генерація СЕС буде відбуватись в той період часу, коли це необхідно для вирівнювання графіку навантаження. Враховуючи специфіку генерації СЕС, для цього необхідно встановлення акумуляторних батарей, що несе в собі додаткові витрати. Тому, необхідно розрахувати вплив окремих СЕС на режим виробництва електроенергії. Це необхідно для визначення додаткових витрат на виробництво, та, в загальному, визначення кількості коштів, які буде заощаджувати дана СЕС для традиційної генерації. Згідно впливу кожної СЕС, власник даної електростанції отримає кошти, які він заробив, допомагаючи своєю генерацією вирівняти графік навантажень ОЕС України. В магістерській роботі має бути доведена доцільність даного способу, як фінансова, так і технічна.

Висновки:

Розробка даного методу – один із варіантів заощадження коштів для енергетичної галузі України. Економія полягає в зменшенні споживання паливно – енергетичних ресурсів, виведенням блоків на плановий (а отже і ефективніший) режим роботи, зменшенням кількості циклів зупинки – пуску даних блоків, а отже і більшої надійності системи, та, в перспективі, зростанням долі відновлюваних джерел енергії в загальній частці генерації електроенергії.

Список джерел.

1. Находов В.Ф., Замулко А.И., Аль Шарари М., Мединцева Д.А. Дополнительные затраты энергосистемы на покрытие неравномерных графиков электрической нагрузки. VIII міжнародна науково-технічна конференція молодих дослідників, аспірантів та студентів *Енергетика. Екологія. Людина*. Київ, 1–3 червня 2016. С. 265–269.

2. Находов В.Ф. Управління режимами споживання та ефективністю використання електричної енергії в енергетичних системах: дис. ... докт. техн. наук: 05.14.01 / Київ, 2018. 375 с.

3. Праховник А.В. Актуальні питання управління попитом на електричну енергію та потужність / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, А.І. Замулко. // Проблеми розвитку енергетики. Погляд громадськості. –2010. –№7. – С. 191–193.

УДК 621.311.003.13

Панадій М.В.
наук. керівник Бориченко О.В.

ОСОБЛИВОСТІ І ВІДМІННОСТІ В РОЗРАХУНКУ ВИТРАТ І ВТРАТ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В БУДІВЛЯХ ЗА ДСТУ Б А.2.2-12:2015

Анотація. У даній статті наведено та прораховано алгоритм розрахунку енергоспоживання за ДСТУ Б А.2.2-12:2015 та ДБН В.2.6-31:2016. Прораховано характеристики теплопередач трансмісією, вентиляцією, проведено розрахунок внутрішніх теплонадходжень і сонячних теплонадходжень, наведено розрахунок динамічних параметрів. Враховані всі підсистеми енергоспоживання при опаленні (підсистема тепловіддачі/виділення, підсистема розподілення, підсистема виробництва/генерування теплоти), енергоспоживання системи вентиляції, енергопотреби та енергоспоживання гарячого водопостачання, а також враховане енергоспоживання при освітленні. Визначено базове споживання енергії будівлі та побудовано енергетичний баланс. Визначено клас енергоефективності житлової будівлі.

Ключові слова: Теплопередача, теплонадходження, втрати, витрати, енергопотреба, енергоспоживання.

FEATURES AND DIFFERENCES IN THE CALCULATION OF COSTS AND LOSSES OF THERMAL ENERGY IN BUILDINGS PER DSTU B A.2.2-12:2015

Abstract. This article presents and calculates the algorithm for calculating energy consumption according to DSTU B A.2.2-12: 2015 and DBN B.2.6-31: 2016. The characteristics of heat transfer by transmission and ventilation are calculated, the calculation of internal heat inputs and solar heat inputs is performed, the calculation of dynamic parameters is given. All subsystems of energy consumption during heating (subsystem of heat transfer / allocation, subsystem of distribution, subsystem of production / heat generation), energy consumption of ventilation system, energy needs and energy consumption of hot water supply, as well as energy consumption during lighting are taken into account. The basic energy consumption of the building is determined and the energy balance is built. The energy efficiency class of a residential building is determined.

Keywords: Heat transfer, heat input, losses, costs, energy need, energy consumption.

Вступ. На даний час енергоспоживання, енергоефективність та енергетичний баланс будинку є актуальними темами як для старих будівель, так і для новобудов. Тому, якщо рівень цих показників буде тільки зростати це призведе до корисного та ефективного споживання енергії. Тому для країни це є економія ресурсів, підвищення конкурентоздатності і продуктивності промисловості, для енергетичних компаній це є зниження витрат на паливо і необґрунтованих витрат на будівництво, для людей це є значне скорочення комунальних витрат, а для екології це є обмеження викиду шкідливих речовин у атмосферу.

Для подальших розрахунків втрат і витрат потрібно виконати збір необхідних даних. Спочатку складається структура споживання і оплати енергоносіїв, розраховуються характеристики трансмісії, вентиляції, внутрішні та сонячні теплонадходження, визначається енергопотреба та енергоспоживання будинку та встановлюється клас енергетичної ефективності.

Мета та завдання. Завданням та метою дослідження є визначення особливостей та відмінностей у розрахунку втрат і витрат теплової енергії, аналіз алгоритму розрахунку енергоспоживання за ДСТУ Б.А.2.2-12:2015 та ДБН В.2.6-31:2016, а також визначення базового споживання енергії будівлі, побудова енергетичного балансу та класу

енергоефективності житлової будівлі.

Матеріал і результати досліджень. Об'єктом дослідження є житловий будинок за адресою місто Київ, вулиця Стадіонна 6. Будівля введена в експлуатацію в 1992 році за індивідуальною серією та налічує 234 квартири.

Огляд будинку виконувався за наступною схемою:

1. Проведення інтерв'ю з головою правління Керуючої компанії та головним інженером.
2. Проходження інструктажу з техніки безпеки.
3. Огляд електрощитової, насосної, теплового пункту.
4. Ознайомлення з технічним паспортом будинку.
5. Збір даних по складу огорожувальних конструкцій та по споживанню енергетичних ресурсів.
6. Складання висновку за результатами обстеження будівлі та консультація з головним інженером.

Надалі наведемо стислий опис розрахунку однієї з частин методики. Візьмемо за приклад розрахунок характеристик теплопередачі, теплонадходжень та динамічних параметрів розділ 8 [1] за січень місяць.

Сумарна теплопередача трансмісією для кожного місяця розраховується за формулою:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} (\Theta_{int,set,H} - \Theta_c) t, \quad (1)$$

Визначимо сумарну теплопередачу трансмісією для січня за формулою (1):

$$Q_{tr} = 16387,8 \cdot (22 - (-4,7)) \cdot 744 = 336489 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Сумарну теплопередачу вентиляцією для кожного місяця розраховуємо за формулою:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} (\Theta_{int,set,H,z} - \Theta_c) t, \quad (2)$$

У січні сумарна теплопередача вентиляцією за формулою (2) складала:

$$Q_{ve} = 16586,3 \cdot (20 - (-4,7)) \cdot 744 = 304803 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Внутрішні теплонадходження для кожного місяця окремо розраховуються:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \cdot A_f \right) t, \quad (3)$$

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел відповідно до формули (3) складають:

$$Q_{int} = (2 + 2 + 1,8) \cdot 36686,48 \cdot 744 = 158309 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для кожного місяця теплонадходження від сонця розраховуються:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) t, \quad (4)$$

Визначимо теплонадходження від сонця до будинку за формулою (4):

$$Q_{sol} = 31032 \cdot 744 = 23087555 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 23088 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для кожного місяця енергопотребу для опалення $Q_{H,nd,i}$, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,const} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}, \quad (5)$$

Сумарна теплопередача для кожного місяця, визначається за формулою:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve}, \quad (6)$$

де Q_{tr} - сумарна теплопередача трансмісією, кВт·год, визначена згідно з (1);

Q_{ve} - сумарна теплопередача вентиляцією, кВт·год, визначена згідно з (2).

Знайдемо енергопотребу для опалення для січня місяця:

$$Q_{H,ht} = 336489 + 304803 = 641292 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Сумарні теплові надходження для кожного місяця, визначаються за формулою:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol}, \quad (7)$$

де Q_{int} - сума внутрішніх теплонадходжень протягом даного періоду, кВт·год, визначена згідно з (3);

Q_{sol} - сума сонячних теплонадходжень протягом даного періоду, кВт·год, визначена згідно з (4).

$$Q_{H,gn} = 158309 + 23088 = 181397 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Знайдемо енергопотребу для опалення для січня за формулою (5):

$$Q_{H,nd} = 641293 - 0,9999 \cdot 181397 = 459899 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Загальна енергопотреба для опалення на рік склала 2026625 кВт·год, що становить 1743 Гкал.

Розраховані значення трансмісії, вентиляції, внутрішніх теплонадходжень, сонячних теплонадходжень, динамічних параметрів для інших місяців зведено до таблиці 1.

Таблиця 1 - Розрахунок енергопотреби для опалення

Місяць року	Параметр							
	$Q_{H,tr}$, кВт·год	$Q_{H,ve}$, кВт·год	$Q_{H,ht}$, кВт·год	Q_{sol} , кВт·год	$Q_{H,int}$, кВт·год	$Q_{H,gn}$, кВт·год	γ_H	$\eta_{H,gn}$
Січень	336489,8	304803,1	641293,0	23088,0	158309,5	181397,5	0,283	1,000
Лютий	291405,0	263045,4	554450,5	35426,0	142989,2	178415,2	0,322	1,000
Березень	264654,9	234463,9	499118,9	59803,0	158309,5	218112,5	0,437	0,999
Квітень	158549,0	131363,5	289912,5	68693,0	153202,7	221895,7	0,765	0,972
Травень	85697,8	59233,0	144930,8	93169,0	158309,5	251478,5	1,735	0,574
Червень	45125,5	20301,6	65427,1	95370,0	153202,7	248572,7	3,799	0,263
Липень	27725,8	2468,0	30193,8	96433,0	158309,5	254742,5	8,437	0,119
Серпень	37807,8	12340,2	50148,1	84221,0	158309,5	242530,5	4,836	0,207
Вересень	98788,2	72847,0	171635,3	64358,0	153202,7	217560,7	1,268	0,763
Жовтень	175176,4	146848,5	322024,8	39619,0	158309,5	197928,5	0,615	0,993
Листопад	245141,2	216152,7	461293,9	17068,0	153202,7	170270,7	0,369	1,000
Грудень	308764,1	277654,7	586418,8	14950,0	158309,5	173259,5	0,295	1,000
Всього за рік								

Значення, які були знайдені в розрахунках енергоспоживання при опаленні підсистеми тепловіддачі/виділення, розподілення, виробництва/генерування теплоти, загальне енергоспоживання при опаленні, енергоспоживання систем вентиляції, енергопотреби та енергоспоживання ГВП, енергоспоживання при освітленні, частково зведені до таблиці 2.

Таблиця 2 - Розрахунок енергопотреби при опаленні

Місяць року	Параметр					
	$Q_{H,nd}$, кВт·год	$Q_{H,em,ls}$, кВт·год	$Q_{H,em,in}$, кВт·год	$Q_{H,dis,in}$, кВт·год	$Q_{H,gen,ls}$, кВт·год	$Q_{H,use}$, кВт·год
Січень	459899,12	69412,68	529311,80	337376,31	106539,89	443916,19
Лютий	376045,13	56756,58	432801,71	266220,83	84092,00	350312,83
Березень	281133,83	42431,59	323565,42	169958,20	53826,00	223784,20
Квітень	74189,02	11197,37	85386,39	16634,79	5668,00	22302,79
Травень	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Червень	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Липень	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Серпень	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Вересень	5690,14	858,81	6548,96	0,00	0,00	0,00
Жовтень	125453,52	18934,73	144388,24	45643,00	14881,00	60524,00
Листопад	291050,58	43928,33	334978,91	189980,31	60048,00	250028,31
Грудень	413164,17	62358,96	475523,14	297405,35	93931,00	391336,35
Всього за рік						1742204,68

Далі, виходячи зі всіх раніше визначених даних, знаходимо клас енергетичної

ефективності будівлі за питомою енергопотребою. Основний показник енергоефективності будівлі EP повинен визначатися за умовою:

$$EP \leq EP_{\max},$$

де EP – розрахункова питома річна енергопотреба будівлі;

$EP_{\max}$ – максимально допустиме значення питомої річної енергопотреби будівлі;

$EP_{\max} = 77 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$, що обирається за додатками [2].

Розрахункове значення EP визначають за формулою:

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd}) / A_f, \quad (8)$$

де $Q_{H,nd}, Q_{C,nd}, Q_{DHW,nd}$ – річна енергопотреба будівлі для опалення, охолодження та гарячого водопостачання, $\text{кВт} \cdot \text{год}$;

A_f – опалювальна площа будівлі, м^2 .

Визначаємо показник енергоефективності за формулою (8):

$$EP = (2026625,5 + 0 + 733720) / 36686 = 75,24.$$

Для визначення класу енергетичної ефективності скористаємося формулою:

$$[(EP - EP_{\max}) / EP_{\max}] \cdot 100\% = (75,24 - 77) / 77 \cdot 100\% = -2,3\%.$$

Відповідно до додатку [2], клас енергоефективності становить C .

Далі визначаємо клас енергетичної ефективності будинку за питомим енергоспоживанням. Для визначення класу енергетичної ефективності житлового будинку необхідно визначити питоме енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води за формулою:

$$EP = EP_{H,use} + EP_{C,use} + EP_{DHW,use} \quad (9)$$

Питоме енергоспоживання при опаленні для житлових будівель:

$$EP_{H,use} = \frac{Q_{H,use}}{A_f} = \frac{1742205}{36686} = 47,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

Так як в будинку система охолодження відсутня, тому приймаємо питоме енергоспоживання при охолодженні $EP_{C,use} = 0 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$.

Питоме енергоспоживання при постачанні гарячої води:

$$EP_{DHW,use} = \frac{Q_{DHW,use}}{A_f} = \frac{1573711}{36686} = 42,9 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

Визначимо клас енергетичної ефективності будівлі за формулою (9):

$$EP = 47,5 + 0 + 42,9 = 90,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

Клас енергетичної ефективності житлової будівлі за адресою м. Київ, вул. Стадіонна 6 згідно з додатком 11 [2] складає D .

З наведених вище розрахунків можемо показати базове споживання енергії будівлі. Розрахункові обсяги споживання за рік наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Обсяг споживання об'єктом за рік

Вид	Розрахунковий обсяг споживання за рік	
	тис. $\text{кВт} \cdot \text{год}$	%
Енергоспоживання систем опалення	1742,2	40,70
Енергоспоживання систем вентиляції	142,22	3,32

Продовження таблиці 3

Енергоспоживання систем гарячого водопостачання	1591,8	37,19
Енергоспоживання систем охолодження	0	0,00
Енергоспоживання систем освітлення	804,3	18,79
УСЬОГО:	4280,52	100

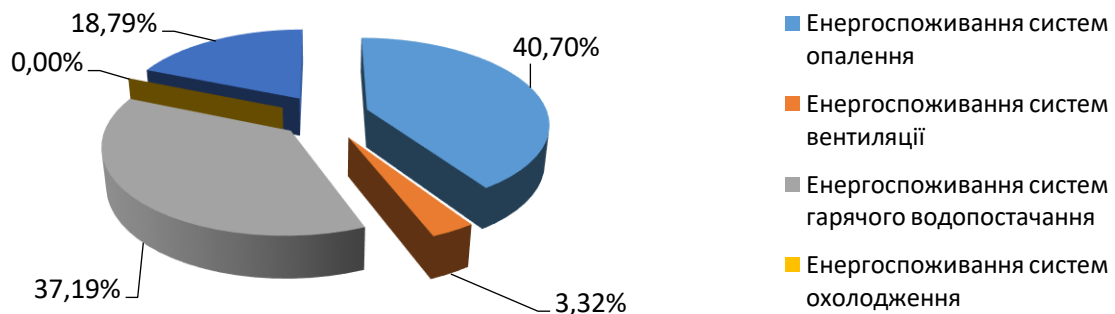


Рисунок 1 – Діаграма розрахункового обсягу споживання за рік

Розпишемо основні особливості та відмінності в розрахунку втрат і витрат. Для гарячого водопостачання за ДСТУ враховуються енергопотреби, річні тепловтрати циркуляційного контуру, річні тепловтрати підсистеми розподілення, ефективність підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти, тепловтрати використаної води. Тоді як за ДБН враховують тільки питомі енергопотреби на 1 м^2 кондиціонованого об'єму. Охолодження за ДСТУ поділяється одразу на три підсистеми: тепловіддачі, розподілення, виробництва/генерування. В першій враховують тепловтрати, додаткову енергію та енергію входу. В другій враховують тепловтрати, додаткову енергію та енергію входу. В третій враховують тепловтрати, енергію виходу та ефективність. Тоді як за ДБН враховують сумарну теплопередачу в режимі охолодження, сумарне теплонадходження в режимі охолодження та коефіцієнт використання втрат. Для опалення за ДСТУ враховуються тепловтрати системи (утилізаційні та утилізовані), додаткова енергія та утилізована додаткова енергія, а за ДБН – сумарна теплопередачу в режимі опалення, сумарні теплонадходження в режимі опалення та коефіцієнт використання втрат.

Висновки.

Виходячи з розрахунків та особливостей і відмінностей втрат і витрат бачимо, що механізм розв'язку за ДСТУ сильно відрізняється від ДБН. В першому наводяться більш точні розрахунки, враховуються всі нюанси та елементи гарячого водопостачання, опалення, охолодження характеристики трансмісії, вентиляції, внутрішні та сонячні теплонадходження з чого впливає розгорнутий та чіткий результат.

Список використаних джерел.

1. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2016-01-01]. Київ:Мінрегіон України, 2015. – 13с.
2. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. – 10,11с.
3. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель: наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11 липня 2018 р. №169.

Олійник В.В.
кафедра електропостачання

ЙМОВІРНО-СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ПОБУДОВИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНИХ БАЛАНСІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Анотація. У даній статті, розглянуто обґрунтування способу побудови балансів споживання електроенергії з використанням ймовірнісно-статистичного методу.

Ключові слова: ймовірність, статистика, метод, баланс, споживання, енергія, електроенергія, коефіцієнти, завантаження, моделювання, облік, потужність.

Annotation. In this article, the substantiation of the method of constructing electricity consumption balances using the probabilistic-statistical method is considered.

Key words: probability, statistics, method, balance, consumption, energy, electricity, coefficients, charge, modeling, accounting, power.

Вступ:

1. Постановка проблеми в загальному вигляді її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями:

Станом на сьогодні з'явилась необхідність у вирішенні значних проблем у енергетиці України, а саме зменшення використання паливно-енергетичних ресурсів і забезпечення енергетичної безпеки держави.

Щоб вирішити певні задачі в першу чергу необхідно визначити основні проблеми на підприємстві і впровадити доцільні заходи з енергозбереження, в цьому і полягає необхідність проведення енергоаудиту.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій в яких започатковано розв'язання даної проблеми:

Ймовірнісно-статистичний метод як інструмент побудови балансів споживання електричної енергії. Дослідження в напрямках даної сфери проводились і проводяться багатьма науковцями, а саме: В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько, А.В. Ройтер, Ю.В. Пахарєв

3. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, на яких ґрунтується стаття:

Ідея використання для побудови балансів споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів саме ймовірнісно-статистичних методів ґрунтується на тому, що традиційний розрахунково-аналітичний метод не враховує змінного характеру як вихідних даних, так і обсягів електроспоживання, а також випадкового характеру зміни цих величин. Цілком природно, що для отримання більш точних та достовірних електробалансів господарських об'єктів можна й доцільно застосовувати саме методи теорії ймовірності та математичної статистики.

Мета:(цілі статті) Метою даної роботи є розроблення методу побудування балансу електроенергії на основі ймовірнісно-статистичного підходу.

Завдання: Проаналізувати існуючі методи і способи побудови балансу споживання електроенергії та обґрунтування необхідності запропонованого методу .

Основна частина:

Основною проблемою побудови балансів споживання електричної енергії виробничих об'єктів є визначення структури їх витратної частини, тобто складу та величин корисної витрати та втрат електричної енергії.

Натепер більшість вітчизняних підприємств, організацій та установ не мають достатньо розгалужених систем технічного обліку споживання електричної енергії. Отже, єдиним достовірним джерелом інформації про електроспоживання на таких об'єктах є дані

комерційного обліку електроенергії. Ці дані можуть бути отримані за будь-які попередні періоди і являють собою досить точну та достовірну кількісну оцінку надходження електричної енергії на об'єкт. Таким чином, що ж до структури витратної частини електробалансу, то вона, як правило, є невідомою.

Однак для будь-якого господарського об'єкта завжди відомими є склад будівель та споруд, що належать до нього, виробнича структура об'єкта (тобто склад дільниць, цехів та інших підрозділів), а також схема електропостачання основних споживачів електричної енергії. Таким чином, можна вважати, що для будь-якого виробничо-господарського об'єкта завжди відомий детальний склад статей витратної частини електробалансу, тобто основні напрями корисного споживання та втрат електричної енергії. Таким чином, невідомою фактично залишається кількісна оцінка статей витратної частини електробалансу.

Очевидно, що споживання електричної енергії за кожним його напрямом здійснюється передусім для виробництва тієї чи іншої продукції, виконання певної роботи чи надання послуг. Причому на будь-якому господарському об'єкті завжди досить точно визначають і реєструють обсяги виробництва продукції чи виконання робіт всіма підрозділами і навіть окремими технологічними установками.

Отже, визначення досить обґрунтованих і точних балансів споживання електричної енергії на виробничих об'єктах доцільне і може базуватися на використанні зазначеної звітно-статистичної інформації.

Невідомі значення обсягів споживання електричної енергії у кожному з підрозділів, необхідні для побудови балансу споживання електричної енергії підприємства, є випадковими величинами, на які, крім кількості виробленої продукції, впливають численні інші чинники (технічний стан та режими роботи обладнання, параметри технологічних процесів, кліматичні умови виробництва тощо). Тому за умови використання ймовірно-статистичного підходу до побудови електробалансів виробничо-господарських об'єктів можна визначити лише максимальні й мінімальні значення обсягів споживання енергії кожним з підрозділів підприємства.

Висновки: Застосовуючи ймовірно-статистичний підхід, який пропонується використовувати в умовах невизначеності вихідних даних, можна будувати більш достовірні баланси споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів, ніж за допомогою розрахунково-аналітичного методу. Однак можливість застосування ймовірно-статистичного методу побудови електробалансів може виявитися суттєво ускладненою для виробництв, що мають широкий асортимент продукції, та складну, розгалужену схему технологічного процесу, коли у виготовленні окремих видів продукції беруть участь багато підрозділів.

УДК 621.311

Костюк В.О., канд. техн. наук, доцент
Назарук В.М., магістрант
Кафедра електропостачання
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РЕЖИМНІ ОСОБЛИВОСТІ ВУЗЛА ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ З ПРИЄДНАННЯМ МАЛОЇ ВІТРОЕЛЕКТРО-СТАНЦІЙ Й ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Анотація

В статті розглядається проблема регулювання вітроенергетичних установок. Розглядаються та описується темпи зростання частки вітрової енергетики в Україні. Основна увага сконцентрована на вирішенні проблеми підвищення якості функціонування мережі за умов приєднання нових генерувальних потужностей – вітроелектростанцій. Розглядаються деякі окремі технологічні питання запровадження конкурентного ринку двосторонніх договорів та балансуючого ринку електричної енергії.

Ключові слова: вітрові електростанції, електропостачання, активна потужність, генерувальна установка, відновлювані технології, надійність енергосистеми.

Abstract

The article deals with the problem of regulation of wind power plants. The growth rates of the share of wind energy in Ukraine are considered and described. The main focus is on solving the problem of network reliability when connecting new generating capacity - wind farms. Certain technological issues for the introduction of competitive market of bilateral agreements and a balancing electricity market is considered.

Keywords: wind power plants, power supply, active power, generating installation, renewable technologies, power system reliability.

Вступ. Вітрові електростанції набувають все більшої ваги у складі енергосистем багатьох країн, їх питома потужність досягає 10% і більше. Збільшення частки виробництва електроенергії вітровими електростанціями (ВЕС) в загальному споживанні супроводжується низкою проблем, зумовлених нестабільністю вітру та невизначеності миттєвих і усереднених значень (щогодинних, середньодобових тощо). Випадковий характер зміни потужності ВЕС у часі зумовлює необхідність розв'язання задач керування балансом потужності у вузлі енергосистеми вже за незначної частки вітрової енергетики в загальному енергоспоживанні, особливо з урахуванням зростання обсягів використання відновлюваних технологій (ТВЕ) у середньостроковій перспективі – енергії вітру, сонячної інсоляції насамперед. Моделі моніторингу та керування, що опираються на показники процесу електрогенерування з погодинною дискретизацією не задовольняють вимог щодо підтримання балансу вже на рівні електропостачальних систем [1].

Результати господарської діяльності у 2019-му році свідчать про високі темпи продемонстрував найвищі темпи зростання встановленої вітроенергетичної потужності починаючи з 2009 року, тобто з періоду дії «зеленого» тарифу в країні. Лише за минулий рік в Україні було споруджено 637,1 МВт потужностей, що означає майже 10-ти кратне зростання порівняно з показниками 2018 року – 67,8 МВт. Протягом 2019 року у шести областях України почали генерувати чисту електроенергію 166 нових вітрових турбін класу 3+ МВт, середня одинична потужність яких склала 3,8 МВт.

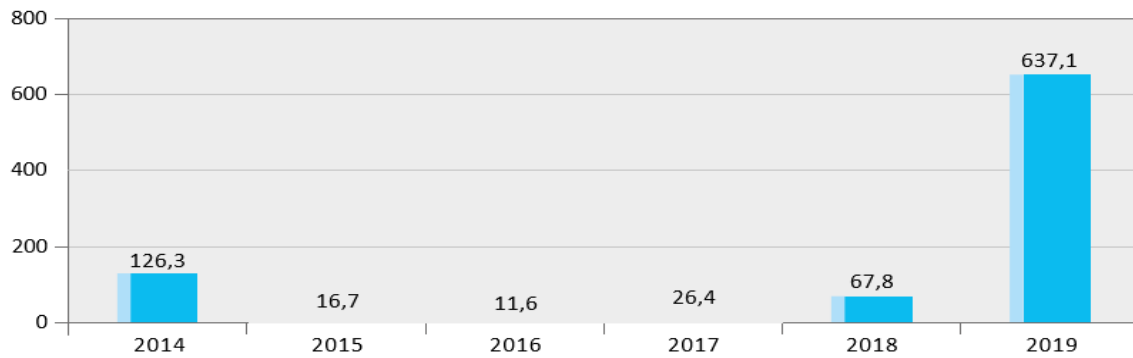


Рисунок 1. Щорічний приріст вітроенергетичних потужностей, 2014 – 2019, МВт



Рисунок 2. Загальна встановлена потужність вітроенергетичного сектору на материковій частині України за період з 2014 по 2019 роки, МВт

Джерело: Українська вітроенергетична асоціація (УВЕА), ©2019 [2]

Станом на кінець 2019 року встановлена потужність вітроенергетичного сектору України досягла 1 170 МВт. Таким чином, вітроенергетика залишається другою в країні за кількістю встановлених потужностей серед відновлюваних джерел енергії, після сонячної енергетики. Наразі, частка вітроенергетики від загальної встановленої потужності сектора ТВЕ становить 18,3 %, а від встановленої потужності енергетичного сектору країни – 2,15% [2].

Постановка завдання. Визначення стану вітрової енергетики в Україні. Впровадження конкурентної моделі ринку двосторонніх договорів. Розглянуто можливості регульованих вітроелектричних установок участі в процесах первинного регулювання частоти (ВЕУ).

Матеріал і результат дослідження.

Історично склалось так, що вітровим електростанціям було дозволено виробляти активну потужність, яка є змінною в залежності від швидкості вітру, і ВЕС перших поколінь не були зобов'язані брати участі у частотному регулюванні електроенергосистеми, регулюванні напруги, або управлінні перетоками енергії в лініях. Такі неконтрольовані зміни вихідної потужності ВЕС в дійсності мають вплив на процеси в електромережі (ЕМ), включно

коливання напруги, частоти і глибшого регулювання або вимог щодо швидкості запуску традиційних генерувальних установок.

Застосування сучасних інструментальних програмних засобів для розв’язування прикладних задач – пошуку раціональних проектних рішень енергопостачальних систем з використанням декількох технологій на основі енергії відновлюваних джерел та накопичувачів енергії, дають ефективний результат [3].

Складність вирішення задач масштабної інтеграції вітроелектричних установок (ВЕУ) до системної розподільної мережі зумовлена змінами параметрів потужності генерації у часі – компонент активної і реактивної потужності, вихідної напруги й частоти електричної енергії, температурозалежного коефіцієнта корисної дії тощо [4].

Так само вітровим електростанціям було дозволено споживати реактивну потужність з мереж, або в кращому випадку, підтримувати встановлене значення коефіцієнта потужності. І в цьому так само проглядається принципова відмінність від режимів, котрі є обов’язковими для звичайних генерувальних установок, що базуються на традиційних технологіях.

Розглянемо можливості регулювання ВЕУ, описаних вище, щодо впливу на процеси зміни і частоти у вузлі приєднання до ЕМ.

Додаткова кінетична енергія вітротурбіни, що може бути використана для передачі в ЕМ при зниженні швидкості від ω_0 до ω_1 , залежить від початкової швидкості ротора ω_0 :

$$\Delta E = \frac{1}{2} J (\omega_0^2 - \omega_1^2) = \frac{1}{2} J (2\omega_0 \Delta\omega + \Delta\omega^2) , \quad (1)$$

де J – інерція вітроколеса, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, а $\Delta\omega$ – зміна швидкості вітроколеса. Потужність, що вивільняється, записується в залежності від інтервалу часу Δt , сек:

$$\Delta P = \Delta E / \Delta t . \quad (2)$$

На відміну від звичайних СГ інерційна реакція ВЕУ на коливання частоти може бути налаштована для полегшення режиму ЕМ після початкового стрибка частоти або втрати генерації. Як показано на рис. 3, вітротурбіна потужністю 1,5 МВт, рухаючись за інерцією протягом перехідного процесу тривалістю 15 сек, віддає ~200 кВт потужності, при цьому обертова швидкість знижується на 5 об/хв.

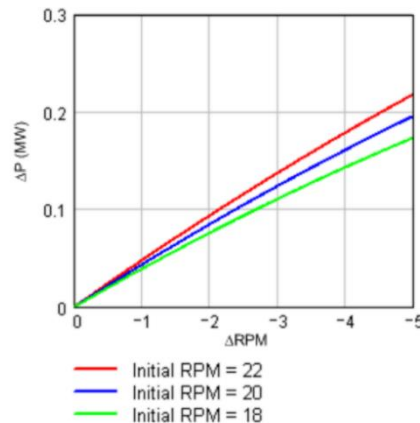


Рисунок 3 – Приклад залежності надлишкової механічної потужності, що вивільняється, для ВЕУ потужністю 1,5 МВт

Джерело: Understanding inertial and frequency response of wind power plants [5]

За умови оснащення відповідними засобами автоматики цей інерційний «надлишок» може бути безпосередньо переданий в мережу: налаштування засобів автоматичного керування мають забезпечити покращення поведінки системи в процесі початкового відхилення (зниження) частоти, яке може трапитися внаслідок відключення генератора в ЕЕС. Технічними обмеженнями тут є: додатковий нагрів та механічні зусилля на вітроколесо. Однак

тривалісь процесу є незначним, щоб викликати ризики пренагріву обмоток генератора, а інвертори зазвичай мають запас в межах своєї номінальної потужності, котра зазвичай перевищує потужність вітротурбіни.

У процесі змін швидкості вітру АГ забезпечує оптимальну електромагнітну потужність, підтримуючи оптимальне значення C_p вітроколеса шляхом регулювання кутової швидкості ротора вітротурбіни – на ділянці кривої між точками А і С. Тобто, відповідні швидкості ротора АГ відповідають оптимальним енергетичним режимам на різних швидкостях вітру. Нижче номінальної швидкості вітру кут атаки лопастей колеса встановлений номінальним (наприклад, дорівнює 0°). На вищих швидкостях вітру для обмеження швидкості обертання ротора вітротурбіни включається регулятор кута атаки – *pitch controller*.

Коли швидкість вітру досягає значення 9,2 м/сек (відповідні криві потужності зображені на діаграмі рис. 4) досягається номінальна швидкість ротора вітротурбіни 21 об/хв, в на ділянці між точками С і D генератор АГ налаштований на постійне значення швидкості (так функціонує контур І-АГ). У разі підвищення швидкості вітру регулятор кута атаки лопаті забезпечує рівень 21 об/хв.

Однак у разі провалу частоти, обумовленого втратою генератора, для полегшення реалізації принципу надійності «N-1» додаткова потужність ВЕУ може сприяти полегшенню коливанню частоти. Максимальне підвищення потужності в момент зниження частоти залежатиме від наявної потужності P_{aero} . Всі компоненти ВЕУ – інверторний модуль, АГ з трансформатором і механічні компоненти вітротурбіни мають бути сконструйованими із забезпеченням функціонування за умов виникнення таких перевантажень.

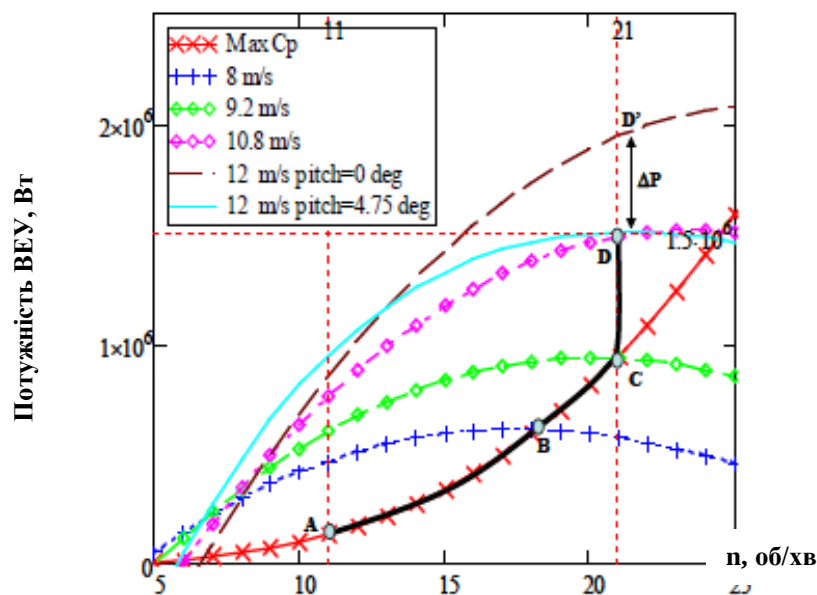


Рисунок 4 – Потужність регульованої ВЕУ: ілюстрація процесу вивільнення кінетичної енергії внаслідок стрибкоподібного зниження частоти в ЕЕС: n – швидкість обертання вітроколеса потужності

Джерело: Understanding inertial and frequency response of wind power plants [5]

Додаткові можливості регулювання частоти і потужності в ЕЕС з використанням ВЕУ пов'язані із можливостями формування електромеханічних характеристик відповідно до вимог «Правил приєднання...» (*Grid Codes*), які встановлюються кожним оператором ЕМ з урахуванням особливостей функціонування національної (або об'єднаної) ЕЕС. Такі характеристики передбачають використання ВЕУ у якості засобів первинного регулювання

частоти і потужності у межах запасу потужності (Reserve), що визначається свідомим обранням робочих режимних показників ВЕУ нижче номінальних (призводить до зниження ефективного значення КВВП ВЕС, зображено на рис. 5).

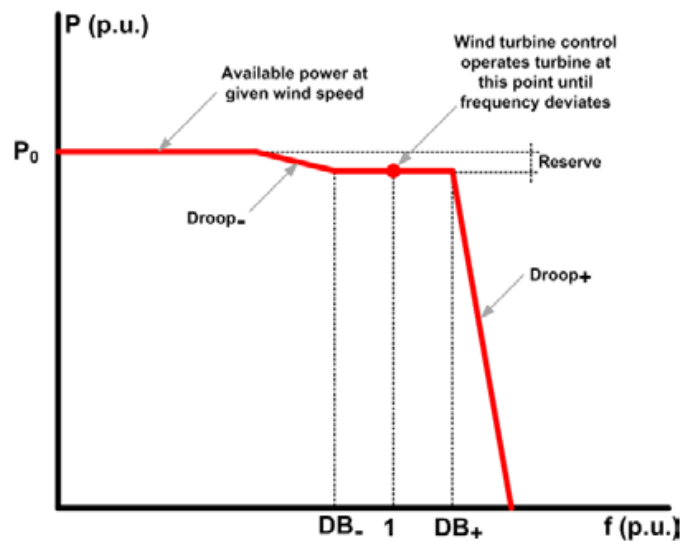


Рисунок 5 —Електромеханічні характеристики ВЕУ в залежності від робочої частоти ЕМ в точці приєднання

Джерело: Understanding inertial and frequency response of wind power plants [5]

Впровадження конкурентної моделі ринку двосторонніх договорів та балансуєного ринку електричної енергії (РДДБ) є запорукою успішного подальшого розвитку оптового ринку електроенергії України. Однією з невід’ємних компонент такого ринку є напрацювання пропозицій та створення умов надання допоміжних послуг. Програмами державної підтримки енергетичного сектору провідних країн світу на найближчі роки, зокрема США, передбачено фінансування досліджень в рамках проектів нових інтегрованих систем електропостачання на основі концепту електрогенерування *Smart Grid* втіленого на із залученням ідей *smart building* на основі широкого використання *smart appliances*, комунікаційних засобів та автоматичних систем управління (регулювання) [6].

Допоміжні послуги (ДП) – це послуги (з регулювання), які системний оператор зможе купувати у постачальників/виробників для забезпечення стійкої та надійної роботи ЕЕС (ОЕС України – в Україні) та підтримання якості електроенергії відповідно до вимог стандартів. До таких послуг стандартно відносять:

- первинне регулювання частоти і потужності (ПРЧП),
- вторинне регулювання частоти і потужності (ВРЧП),
- регулювання напруги та реактивної потужності (РНРП),
- автономний запуск резервних електроагрегатів у поєднанні у взаємодії з протиаварійною автоматикою (АЗРГА).

Перші два види послуг є вкрай необхідними не лише з технічної/технологічної точки зору, але становлять вагомому техніко-економічну проблему з огляду на зростання витрат на регулювання, адже вартісні показників систем, які доведеться задіяти на потребу задоволення ринкового попиту мають тенденцію до зростання у часі [7]. Третій вид регулювання може здійснюватись за допомогою трактів видового перетворення електроенергії з використанням інверторного обладнання сучасних СЕС та ВЕС.

Активний споживач — це такий споживач енергії, який є не тільки її пасивним покупцем, але й може деяким чином взаємодіяти з мережею енергопостачання, впливати на її стан та ціни на ринку, в основному через можливість самостійно генерувати та зберігати енергію [8].

Активний споживач — це споживач, який реагує та впливає на ринок енергії через систематичні дії і реакції, які націлені на мінімізацію витрат і збільшення власного та колективного прибутку. Пристосування до миттєвих цін на ринку та можливість керувати навантаженням для стабілізації графіка добового споживання є одними з найважливіших стимулів до розвитку активних споживачів та формування мікромереж. Критичним фактором перетворення звичайного споживача на активного є явні прибутки, що випливають з такого перетворення. Споживачі мають зрозуміти цінність нових технологій та захотіти змінити свою поведінку і платити за продукти та послуги, які нові учасники ринку можуть запропонувати в рамках інтелектуальних мереж. Вигода, яку отримують споживачі, не завжди може відобразитися у грошовому еквіваленті.

Висновки. Підсумовуючи, слід зазначити, що швидкий приріст парку регульованих вітроагрегатів, котрі функціонують у складі ВЕС, підключених до мереж ЕЕС, за умови їх оснащення засобами керування інерційним відгуком, є технологічною основою надання якісних допоміжних послуг енергосистемі в умовах функціонування двосторонніх ринкових стосунків в електроенергетиці (РДЦБ). Зокрема йдеться про принципову можливість використання інерційних властивостей ВЕС для пом'якшення процесів, що супроводжуються стрибкоподібними змінами системної частоти, та необхідністю регулювання напруги і реактивної потужності у вузлах приєднання генерувальних об'єктів на основі ТВЕ до локальної розподільної електромережі.

Вибір накопичувача за типом, стратегією керування та значенням його робочої ємності становлять основу задач багатокритеріальної оптимізації таких систем з урахуванням обмежень щодо надійності електропостачання.

Список використаних джерел

1. Perninge M. Modeling the uncertainties involved in net transmission capacity calculation. Licenciate Thesis, KTH School of Electrical Engineering, Stockholm, Sweden. – 2009. – 107p.
2. Вітроенергетичний сектор України 2019. Огляд ринку. [Електронний ресурс] // Українська вітроенергетична асоціація» (УВЕА). – 2019. – Режим доступу до ресурсу: http://uwea.com.ua/uploads/docs/uwea_2019_ua_preview.pdf.
3. Костюк В.О., Базюк Т.М. Прикладні задачі застосування гібридних моделей для оптимізації локальних електропостачальних систем з власною генерацією // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – №3. – С. 51-60.
4. Костюк В.О. Системний огляд методів дослідження енергоустановок з мінливими технологічними показниками й практичні аспекти моделювання /В.О. Костюк // Проблеми загальної енергетики. – 2015. – №2. – С.39–47.
5. E. Muljadi, V. Gevorgian, M. Singh and S. Santoso, "Understanding inertial and frequency response of wind power plants," [Електронний ресурс] // IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications, Denver, CO. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6316361&isnumber=6316351>.
6. Runyon J. Energy Storage Industry Off and Running in January 2016/ Renewable Energy World [Електронний ресурс] // Renewable Energy World. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/2016/01/energy-storage-set-for-record-year-in-2016.html>.
7. Блінов І.В. Методи дослідження вартісних показників надання допоміжних послуг з регулювання частоти в частині завантаження енергоблоків ОЕС України [Електронний ресурс] // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2013_1_8.
8. Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах С. П. Денисюк, Т. М. Базюк [Електронний ресурс] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/934>.

УДК 621.311

Стрелков М.Т., канд.техн.наук;
Стрелкова Г.Г., канд.фіз.-мат.наук;
Романченко О.С., магістр.

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

ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРАКТНИХ СИСТЕМ НА ЄВРОПЕЙСЬКИХ РИНКАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА НАЯВНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ¹

Анотація. У роботі розглянуто контрактну систему ринку електричної енергії як підсистему інтегрованої системи ринку електроенергії. На прикладі низки європейських ринків електроенергії проаналізовано існуючі підходи до організації контрактних систем за наявності генерації з відновлюваних джерел енергії у контексті зменшення ризику небалансу в енергетичній системі. Надана оцінка щодо стану впровадження в Україні конкурентних ринкових інструментів для ефективного залучення генерації з відновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: ринок електричної енергії, контрактна система, субринки товарного ринку електроенергії, генерація з відновлюваних джерел енергії, небаланс енергосистеми.

Abstract. The paper considers the contract system of the electricity market as a subsystem of the integrated electricity market system. On the example of a number of European electricity markets, the existing approaches to the organization of contract systems in the presence of generation from renewable energy sources in the context of reducing the risk of imbalance in the energy system are analyzed. An assessment of the state of implementation of competitive market instruments in Ukraine for the effective involvement of generation from renewable energy sources is given.

Key words: electricity market, contract system, submarkets of commodity electricity market, generation from renewable energy sources, energy system imbalance.

Вступ

За останні десятиліття у великій кількості країн відбувся динамічний розвиток переривчастих відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), серед яких вітер та сонце грають ключову роль [1]. Лише з 2005 по 2014 роки генерація за рахунок ВДЕ в країнах Європейського союзу зросла на 87,8%, з 495,7 ГВт-год. до 930,9 ГВт-год. У 2016 році вона склала 29,6% від загальної валової генерації електроенергії. Збільшення введених в роботу ВДЕ впливає як на ринок електроенергії, так і на систему розподілу електроенергії. З одного боку, це приводить до зменшення кількості викидів CO₂ та зниженню оптових цін на електроенергію. З іншого ж боку, поширення використання ВДЕ створює нові виклики для учасників ринку. Обсяги електроенергії, генеровані вітровими та фотоелектричними установками, сильно залежать від погодних умов, а отже, є мінливими і важко прогнозованими. У деяких країнах, таких як Німеччина, Іспанія, Італія, Польща, електроенергії, вироблених за рахунок відновлюваних джерел енергії, надається пріоритет під час розподілу, а також фіксований тариф на передачу. Як результат, ціни на ринку на добу наперед набувають більш непередбачуваної поведінки, такої як сплески або негативні значення. Генерація електроенергії з ВДЕ збільшує ризик небалансу в енергетичній системі, оскільки нееластичний попит має покриватися стохастичною пропозицією.

Мета та завдання

¹ Робота виконана в рамках Міжнародного проекту в сфері освіти «Підготовка та впровадження програми спільного навчання другого ступеня – Енергетика нового покоління» за програмою КАТАМАРАН Польського національного агентства академічних обмінів NAWA

Метою роботи є визначення підходів до організації контрактних систем європейських ринків електричної енергії за наявності генерації електроенергії з ВДЕ у контексті зменшення ризику небалансу в енергетичній системі.

Досягнення поставленої мета потребує вирішення наступних завдань.

1. Розглянути контрактну систему в складі інтегрованої системи ринку електричної енергії.
2. Проаналізувати існуючі підходи на європейських ринках електроенергії до організації контрактних систем за наявності генерації з відновлюваних джерел енергії.
3. Оцінити стан впровадження в Україні інструментів контрактної системи для залучення генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії.

Матеріал і результати досліджень

Контрактна система як складова інтегрованої системи ринку електричної енергії.

Ринок електроенергії разом із його внутрішнім та зовнішнім середовищем утворює складну адаптивну соціально-технічну систему, яка складається з великої кількості різномірних за своєю природою елементів. Як наслідок, система ринку електроенергії є штучно створеною інтегрованою системою, яка складається з ринкових, інфраструктурних та інституційних компонент [2].

В інтегрованій системі ринку електроенергії існують товарний ринок електроенергії, ринок транспортних послуг та ринок допоміжних послуг. Ці ринки взаємозалежні та взаємопов'язані між собою, утворюючи тим самим так звану систему вбудованих (задіяних) ринків. Вбудовані ринки входять до системи першого порядку та мають часові і просторові рамки, оскільки економічна цінність електроенергії диференціюється за часом використання та місцем споживання.

До інфраструктурної системи, як системи другого порядку, входять технологічна система та комерційна система. Технологічна система складається з технічної та виробничої систем, які є її дзеркальними відображеннями. Комерційна система включає в себе торгівельну та контрактну системи, які є її доповнюваними відображеннями.

До складу торгівельної системи входять оптовий та роздрібний ринки електроенергії. Контрактну систему, як упорядковану у часі сукупність торгових операцій, утворюють спотовий та контрактний ринки електроенергії, поділяючи останні на ринки фізичних і фінансових контрактів. Якщо торгівельна система відповідальна за побудову (структуру) комерційної системи, то контрактна система відповідальна за її функціонування (просторову та часову організацію). Прикладами організації контрактної системи є субринки товарного ринку електроенергії, а саме, ринок двосторонньої торгівлі (форвардний та ф'ючерсний ринки), ринок на добу наперед, внутрішньодобовий ринок та балансуючий ринок.

Системою третього порядку є інституційна система, яка як сукупність формальних і неформальних інституцій, складається з політичної, адміністративної та поведінкової систем.

Комерційна система, не маючи просторових та часових обмежень, може існувати невизначено довго та розвиватись екстенсивно, поступово розширюючи комерційний простір інтегрованої системи ринку електроенергії.

Аналіз існуючих європейських підходів до організації контрактних систем ринків електроенергії за наявності генерації з відновлюваних джерел енергії. В даний час в Європі основна частка електроенергії продається та купується на енергетичних біржах, таких, наприклад, як Nord Pool Spot (Скандинавський і Балтійський регіон), EPEX Spot (Франція, Німеччина, Австрія та Швейцарія), Omel (Іспанія), IPEX (Італія), через короткострокові форвардні угоди «на добу наперед». Ціни «на добу наперед», які в Європі ще називають «спотовими цінами», встановлюються близько полудня в день, що передуює фізичному виконанню контрактів з постачання електроенергії. У 2014 році на території Європи 21 ринок

на добу наперед був об'єднаний в один інтегрований європейський ринок на добу наперед.

Для того, щоб дозволити прийняття торгових контрактів у разі незапланованих подій та мінливих погодних умов, ринки на добу наперед доповнюються внутрішньодобовими і балансуючими ринками. Внутрішньодобові ринки, що організуються біржами електроенергії, можуть мати форму аукціонів (Іспанія) або безперервної торгівлі (Німеччина). Вони дозволяють купувати та продавати електроенергію впродовж усього дня. Остаточне врівноваження попиту та пропозиції досягається за рахунок балансуючих ринків, які контролюються операторами систем передачі (ОСП) та спрямовані на забезпечення стабільності енергетичних системи. Однак у деяких країнах (Польща), вони застосовуються також для короткострокових операцій замість внутрішньодобових ринків. Серед європейських ринків електроенергії національні ринки Іспанії та Німеччини є найбільш розвинутими та досвідченими за кількістю субринків товарного ринку електроенергії [3-5].

Німеччина добре відома своїми успіхами у впровадженні ВДЕ, які вже у 2019 році складали 40,2% від загальної кількості виробництва електроенергії. В країні існує енергетична біржа EPEX Spot для ринку на добу наперед і внутрішньодобового ринку та енергетична біржа EEX для форвардних і ф'ючерсних угод. Формою організації торгівлі на внутрішньодобовому ринку є безперервна торгівля за принципом «pay-as-bid», яка доповнюється аукціонами. Внутрішньодобовий ринок є доволі ліквідним і дозволяє адаптувати торгові контракти до різних умов, наприклад, до переривчастої генерації електроенергії з ВДЕ. Негативні ціни дозволені як на ринку на добу наперед, так і на внутрішньодобовому ринку. Система врегулювання дисбалансів являє собою єдину систему ціноутворення, де ціни на відхилення балансуєгрупи розраховуються на 15-хвилинній основі [3].

Генерація електроенергії в Польщі базується на вугіллі, з часткою ВДЕ лише на рівні 8,4% від загальної кількості виробництва електроенергії. Продаж та закупівля електроенергії здійснюється переважно через POLPX, Польську біржу електроенергії, на ліцензованому енергетичному ринку у формі стандартних угод та контрактів. ОСП укладає угоди на балансуєгрупу ринку і ціна дисбалансу є граничною ціною на цьому ринку. Балансуєчий ринок, який є основним щодо коригування контрактів, застосовує систему двох цін. Балансуєчі ціни завжди залишаються додатними та мають знаходитись у певному ціновому інтервалі [5].

У Великій Британії наразі діє єдиний ринок електроенергії, який обслуговується біржею APX (Велика Британія, Нідерланди, Бельгія) та складається із форвардного та ф'ючерсного ринків, а також балансуєгрупи ринку. На останньому за годину до кожного півгодинного періоду розподілу виробники зобов'язані повідомити ОСП про обсяги електроенергії, які вони мають за контрактами, та очікуваний ними виробіток електроенергії. Постачальники електроенергії повинні задекларувати суму грошей, на яку вони уклали угоди та яку очікують отримати від своїх клієнтів. Процес врегулювання небалансу здійснює платежі тим та від тих учасників ринку електроенергії, чії договірні позиції не відповідають їх фактичному виробітку чи споживанню. Ціна дисбалансу єдина, але її неможливо точно спрогнозувати [5].

У Скандинавському і Балтійському регіонах ринки електроенергії на добу наперед та внутрішньодобові ринки керуються енергетичною біржею Nord Pool Spot. Безперервна внутрішньодобова торгівля, так само як в Німеччині та Великій Британії, охоплює 15-хвилинну, 30-хвилинну, погодинну та блочну продукцію. Ціни встановлюють за принципом, хто перший прийшов, того першого і обслуговують, де пріоритет мають найнижча ціна продажу та найвища ціна купівлі. Врегулювання небалансу на ринку Швеції відбувається кожні два місяця за системою двох цін, які є різними для небалансів в тому ж і протилежному напрямку до загального небалансу енергетичної системи. На ринку Норвегії розрахунок й оплата небалансу відбувається щотижня за єдиною ціною небалансу, яка дорівнює граничній ціні балансування. На ринку Данії врегулювання небалансу відбувається щомісяця за системою двох цін. На ринку Фінляндії врегулювання небалансу відбувається щомісяця, але

небаланси виробництва врегульовуються за системою двох цін, а небаланси споживання – за єдиною ціною [3].

Виробництво електроенергії з ВДЕ є важливим фактором, що впливає на функціонування ринку електроенергії в Італії. Частка ВДЕ збільшилася завдяки суттєвій підтримці та пріоритету під час розподілу, що надаються на ринку на добу наперед, на якому заявки на величину прогнозу переривчастої генерації з ВДЕ подаються з нульовою ціною. Торгівля на біржі електроенергії не є обов'язковою, оскільки дозволені позабіржові операції. Власники генерації з ВДЕ можуть торгувати на ринку на добу наперед та використовувати сесії внутрішньодобового ринку для коригування обсягів свого виробництва на основі більш точних прогнозів сонячного випромінювання або швидкості вітру. У міру наближення часу фізичної доставки вирішується невизначеність щодо фактичної генерації з переривчастих ВДЕ і забезпечення необхідного для цього регулювання потужності традиційними маневреними електростанціями. Тому ринок електроенергії з високою часткою ВДЕ значною мірою покладається на балансуючий ринок [3, 6].

Стан впровадження в Україні конкурентних ринкових інструментів для залучення генерації з відновлюваних джерел енергії. Розвиток ВДЕ є одним з пріоритетних напрямків енергетичної політики України [7-8]. Сьогодні розвиток сектору генерації електроенергії з ВДЕ базується на Законах України «Про ринок електричної енергії» та «Про альтернативні джерела енергії», які, зокрема, визначають систему підтримки ВДЕ та засади стимулювання проектів з виробництва електроенергії. Діюча система підтримки ВДЕ базується на законодавчо визначеному, фіксованому «зеленому» тарифі, за яким держава зобов'язується викуповувати всю електроенергії з ВДЕ.

Чинна в Україні система «зелених» тарифів свого часу дала поштовх розвитку ВДЕ, але з часом накопичила цілу низку проблем, які стосуються як товарного ринку електроенергії, так і самої об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України. Останні обумовлені обмеженими можливостями ОЕС України до інтеграції об'єктів з негарантованим відпуском електроенергії, що піднімає питання забезпечення балансової надійності ОЕС України.

В Україні середня похибка прогнозування виробництва електроенергії з ВДЕ на ринку на добу наперед є значною, що спричиняє додаткові витрати за врегулювання небалансів, які залежать від цін на балансуючому ринку. Для вирішення цієї проблеми потрібен ефективний внутрішньодобовий ринок.

Відповідальність виробників електроенергії з ВДЕ за свій небаланс фактично відсутня, і вартість врегулювання небалансів перекладається на споживачів. Як наслідок, збільшення в енергобалансі частки ВДЕ із фіксованим «зеленим» тарифом збільшує загальну вартість електроенергії.

Україні слід перейти від діючої системи фіксованих «зелених» тарифів до конкурентних механізмів визначення тарифів на викуп електроенергії з ВДЕ, які б стимулювали конкурентні процеси та швидко реагували на виклики ринку. На сьогодні найбільш розповсюдженим механізмом є проведення аукціонів для визначення величини державної підтримки у вигляді тарифів на електроенергію з ВДЕ. За таких підходів електроенергія з ВДЕ може продаватись на конкурентному ринку, а держава гарантуватиме доплату різниці між ринковою ціною та визначеною ціною підтримки.

Висновки

Контрактна система як упорядкована у часі сукупність торгових операцій на ринку електричної енергії є складовою комерційної системи ринку електроенергії, яка у свою чергу входить до інтегрованої системи ринку електричної енергії.

Проведений аналіз контрактних систем ринків електричної енергії європейських країнах показав різноманітність підходів до їх організації, спрямованої на синхронізацію виробництва і споживання електроенергії за наявності генерації з відновлюваних джерел енергії.

Порівнюючи організацію контрактних систем ринків електричної енергії європейських країн та України, підґрунтям подальшого розвитку сектору відновлюваної енергетики України має стати оновлення діючої системи підтримки відновлюваних джерел енергії, зокрема, шляхом запровадження аукціонів для визначення величини державної підтримки.

Створення розвиненого конкурентного ринку електричної енергії, в першу чергу за рахунок ефективних внутрішньодобового та балансуючого ринків, дозволить зменшити невизначеність щодо обсягів генерації з відновлюваних джерел енергії та підвищити відповідальність за небаланси, сприяючи тим самим забезпеченню балансової надійності об'єднаної енергетичної системи України.

Перелік використаних джерел

1. Виробництво електроенергії сонячними електростанціями: світові тенденції і стан в Україні / Г.Г.Стрелкова // Енергетика: економіка, технології, екологія. – № 2 (40). – 2015. – С.78-86.
2. Integrated Electricity Market System / Strelkov M., Strelkova H., Ishchenko O. //2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2019. – P.359-364.
3. Overview of European Electricity Markets /European Commission // METIS Technical Notes. – February 2016.
4. Auction design in day-ahead electricity markets / J. Contreras, O. Candiles, J.I. de la Fuente and T. Gomez // IEEE Transactions on Power Systems. – Vol. 16, no. 3. – Aug. 2001. – P. 409-417.
5. Day-Ahead vs. Intraday – Forecasting the Price Spread to Maximize Economic Benefits / Maciejowska Katarzyna, Nitka Weronika, Weron Tomasz // Energies. – 2019, 12, 631.
6. The Impact of RES in the Italian Day-Ahead and Balancing Markets / Gianfreda Angelica, Parisio Lucia, Pelagatt Matteo // The Energy Journal. – December 2015.
7. Аналіз розвитку відновлювальної енергетики в Україні / Стрелкова Г.Г., Андрушков О.В., Іщенко О.С., Далібожак І.І. // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку: Збірник праць IV Міжнар. наук.-практ. та навч.-метод. конф., 25-27 квітня 2017 р., Київ. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С.118-119.
8. Prerequisites for Regulatory Innovations in Ukraine under Renewable Energy Sector Development / Strelkova H., Ghaderi A., Strelkov M., Ishchenko O. // 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2019. – P.365-370.

Гнатюк І.А.

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

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОПЕРЕДНЬОЇ ЇХ СЕГМЕНТАЦІЇ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ СКАЛОГРАМИ

Анотація. В статті досліджується можливість застосування властивостей часових рядів для підвищення ефективності прогнозування інформаційних сигналів за наявності у них трендів, сезонних коливань та шумових компонент.

Ключові слова. Інформаційна модель, вейвлет-декомпозиція, скалограма.

Abstract. The article investigates the possibility of using the properties of time series to increase the efficiency of forecasting information signals in the presence of trends, seasonal fluctuations and noise components..

Keywords. Information model, wavelet decomposition, scalogram.

Вступ

Методологічний підхід при розробці такої моделі прогнозування заключається у застосуванні властивостей частотно-впорядкованих енергій вейвлет-коефіцієнтів за рівнями вейвлет-декомпозиції для виявлення довготривалих трендів, сезонних та шумових компонент в інформаційних сигналах, сегментуванні результатів його вейвлет-декомпозиції і подальшого прогнозування кожного сегменту адаптованим до нього методом прогнозування окремо. Послідуочий синтез результатів прогнозу (зворотнє вейвлет-перетворення) і є зпрогнозованим значенням інформаційного сигналу.

Як відомо, скалограма у дискретному вейвлет-перетворенні аналогічна періодограмі із спектрального аналізу часових рядів. При цьому, періодограма проводить декомпозицію енергії сигналу відповідно до різноманітних частот Фур'є, а скалограма декомпоzuє енергію сигналу у відповідності до рівнів вейвлет-перетворення. Проаналізуємо особливості застосування скалограми для виявлення періодичних компонент у часовому ряді і розробимо метод попередньої обробки інформаційного сигналу для підвищення точності його прогнозування.

Дискретне вейвлет-перетворення представляється ортогональною матрицею W розмірністю $N \times N$. На практиці для цього застосовуються квадратурні дзеркальні фільтри, які характеризуються відповідними вейвлет-базисами. Тобто, сигнал $y(t)$ представляється вектором відповідного розміру

$$v = (H^n y, GH^{n-1} y, \dots, GH^2 y, GH y, G y), \quad (1)$$

де оператори G та H визначаються як $(Ha)_k = \sum_n h_{n-2k} a_n$, $(Ga)_k = \sum_n g_{n-2k} a_n$; g та h – високо- та низькочастотні фільтри відповідних вейвлет-базисів.

У (1) вектор $H^n y = \{cA_j(k)\}$ і вектор $GH^{n-1} y = \{cD_j(k)\}$ представляють собою вейвлет-коефіцієнти.

Подібно до залежності обчислимо енергію вейвлет-коефіцієнтів $E(j) = \sum_{k=0}^{2^j-1} cD_j^2(k)$ за рівнями вейвлет-декомпозиції $j = 0, \dots, J$. Скалограма буде представляти собою вектор із значень енергій на кожному рівні вейвлет-декомпозиції

$$\left[\left\{ cA_j^2(k) \right\}_{1 \leq k \leq 2^{j-1}}^2, E(1), E(2), \dots, E(J) \right], \quad (2)$$

де $\left\{ cA_j^2(k) \right\}_{1 \leq k \leq 2^{j-1}}^2$ – енергія апроксимуючих вейвлет-коефіцієнтів останнього

рівня (J) вейвлет-декомпозиції, $E(j) = \sum_{k=0}^{2^j-1} cD_j^2(k)$ – енергія деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів рівнів вейвлет-декомпозиції від $j = 1$ до $j = J$.

З урахуванням (1) перепишемо вираз для скалограми у наступному виді

$$\left[\|H^n y\|^2, \|GH^{n-1} y\|^2, \dots, \|GH y\|^2, \|Gy\|^2 \right]. \quad (3)$$

На рис. 1 представлена формальна інформаційна модель по сегментного прогнозування часового ряду. На основі аналізу скалограми ортогонального розкладання часового ряду (ГЕН) проводиться сегментація рівнів ортогонального розкладання і до кожного сегменту застосовується свій адаптивний до його структури метод прогнозування.

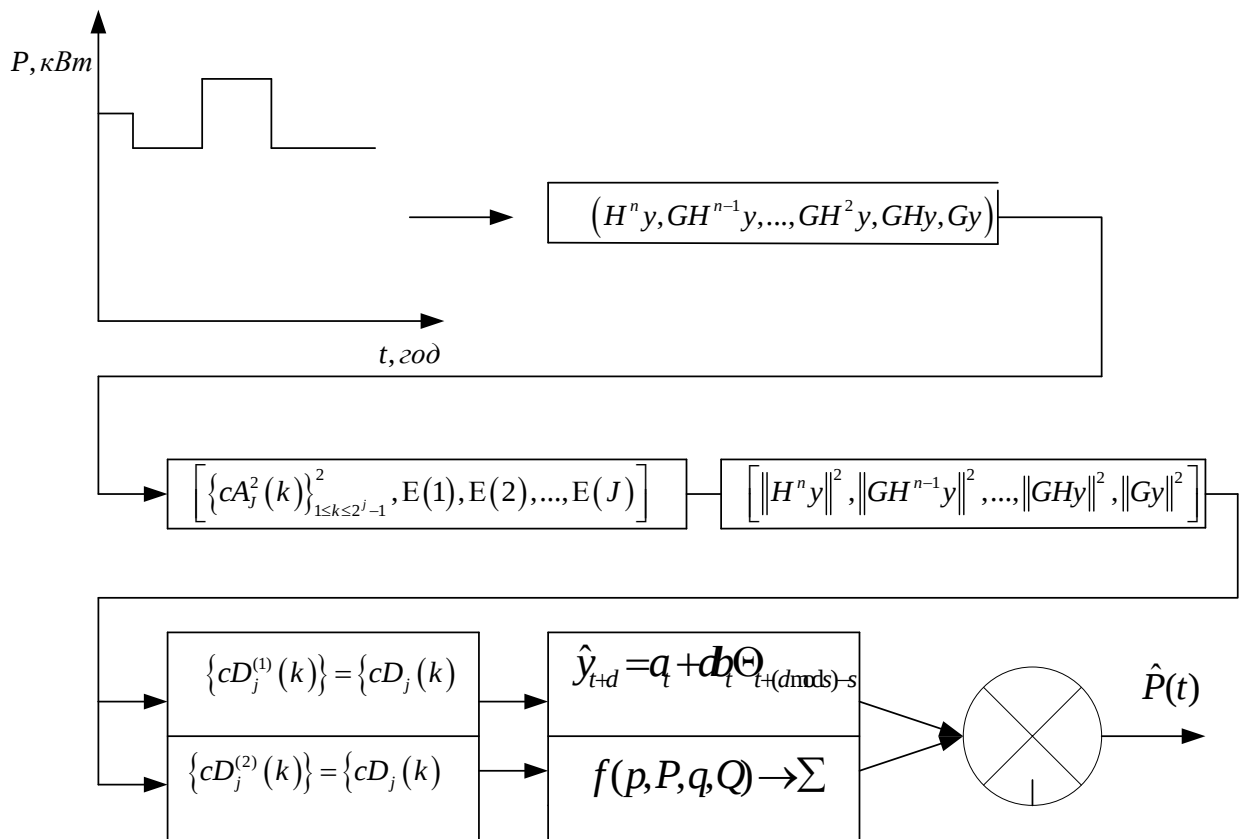


Рисунок 1 – Формальна інформаційна модель прогнозування часових рядів із попереднім їх сегментуванням

Для проведення дослідження змодельємо інформаційний сигнал (рис. 2) із наявністю тренду, циклічної компоненти та шуму.

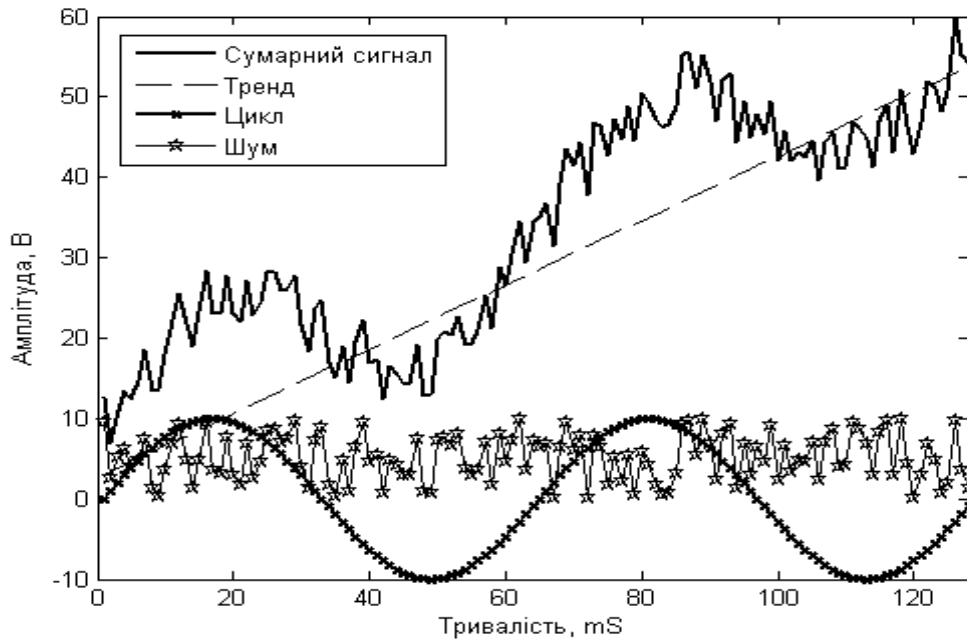


Рисунок 2 – Змодельований інформаційний сигнал

Відповідно до (1) – (3) розрахуємо та побудуємо скалограму (рис 3, а). Для видалення шумової компоненти застосуємо розроблений метод виділення шумової компоненти. На рис. 3, б представлено скалограму змодельованого інформаційного сигналу після видалення шумової компоненти.

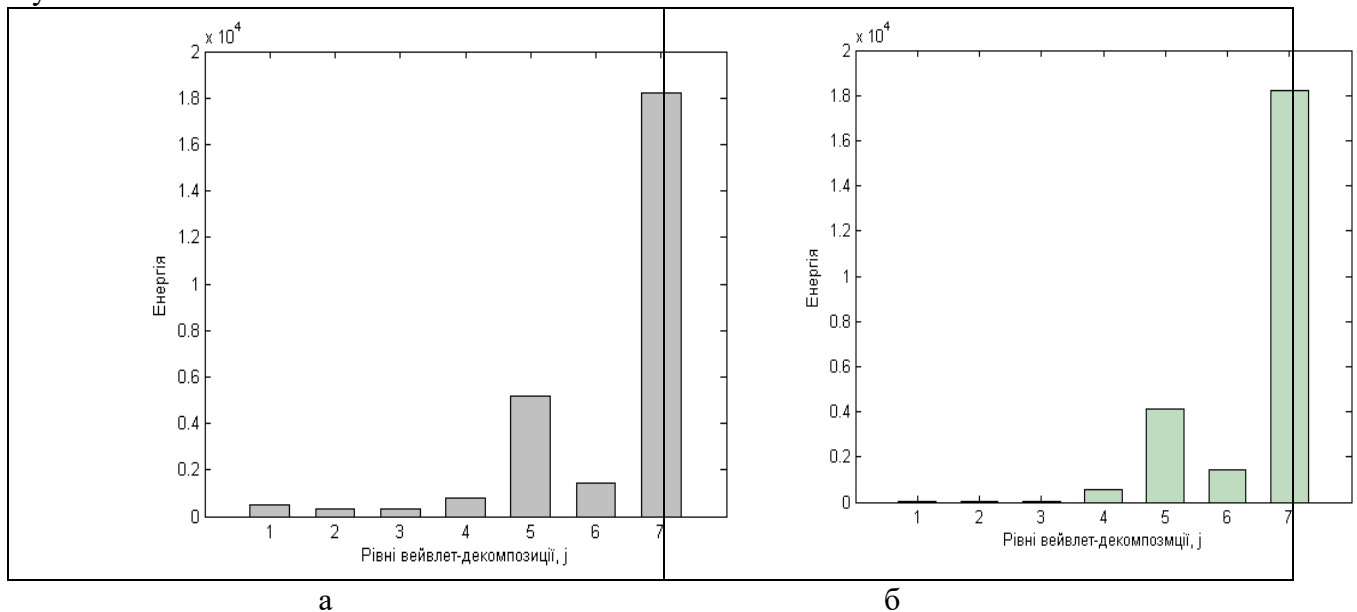


Рисунок 3 – Скалограма досліджуваного (а) та із видаленим шумом (б) інформаційного сигналу

Як слідує із скалограми рис. 3, б, видалення шумової компоненти призводить до зникнення високочастотних значень енергії вейвлет-коефіцієнтів на верхніх рівнях вейвлет-декомпозиції (рівні 1 – 3).

Проаналізуємо застосування методу прогнозу із рухливим середнім (ARMA) для прогнозування змодельованого на рис. 2 сигналу. Даний метод обраний для аналізу виходячи із результатів його застосування для ГЕН за серпень місяць (рис. 4). В якості вектору

прогнозування вибираємо вейвлет-коефіцієнти всіх рівнів вейвлет-декомпозиції (апроксимуючі вейвлет-коефіцієнти останнього рівня вейвлет-декомпозиції (J) та деталізуючі вейвлет-коефіцієнти від рівня $j = 1$ до рівня J). На рис. 4 представлений результат такого прогнозування.

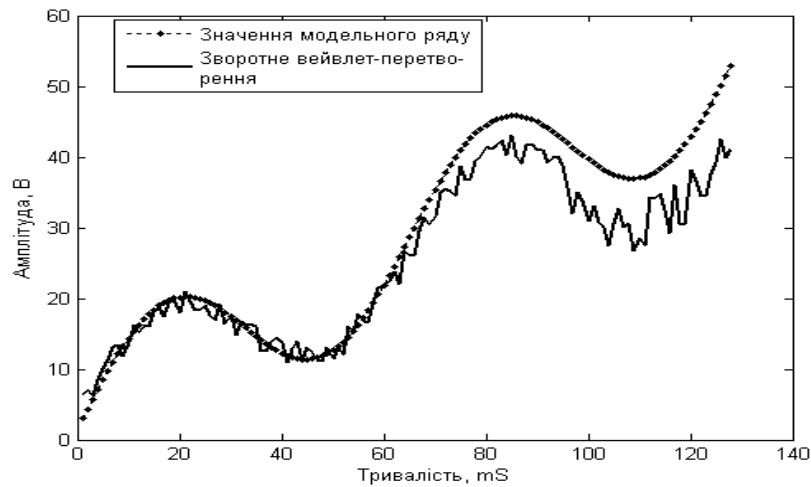


Рисунок 4 – Результат зворотного вейвлет-перетворення спрогнозованих вейвлет-коефіцієнтів

Із рис. 4 видно, що прогнозні значення цілком задовільно узгоджуються з модельним часовим рядом. Деяка розбіжність наприкінці прогнозу пояснюється відкиданням крупномасштабних вейвлет-коефіцієнтів завдяки заміні безперервного вейвлет-перетворення дискретним та недостатньою точністю прогнозування високочастотних компонент даним методом. На рис. 5 представлені значення модуля абсолютної похибки прогнозування. Відносна похибка прогнозування становить 10.46 %.

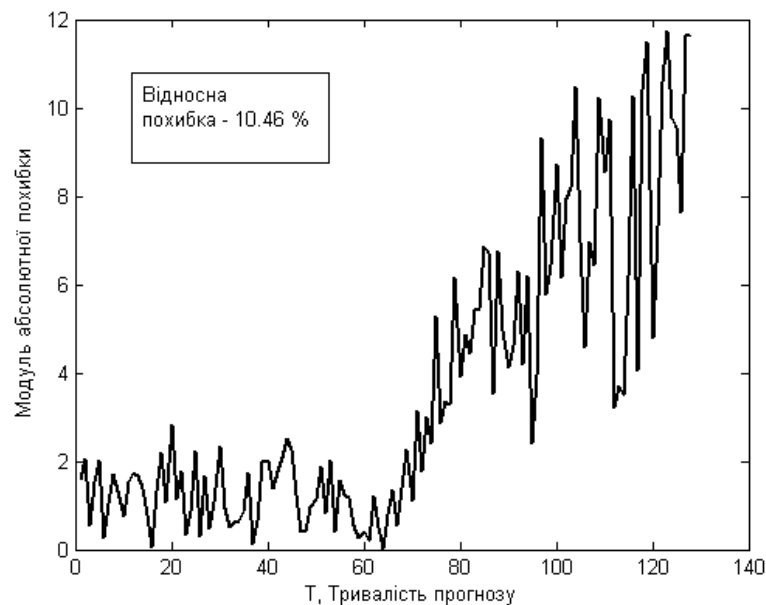


Рисунок 5 – Модуль абсолютної похибки прогнозування із застосуванням всіх вейвлет-коефіцієнтів і одного методу прогнозу

Дана похибка прогнозування є неприйнятною для практичного застосування і виникає необхідність розробки та/або вдосконалення методів підвищення точності

прогнозування.

Проаналізуємо скалограму модельного часового ряду на рис. 3, б.

Аналіз даної скалограми показує наявність двох явно виражених складових (піків). Перша складова охоплює рівні вейвлет-декомпозиції від 3 до 6, а друга – рівень 7. У зв'язку з чим пропонується ідентифікувати дані періодичні компоненти сигналу шляхом їх розбиття на дві серії (сегменти) вейвлет-коефіцієнтів

$$\{cD_j^{(1)}(k)\} = \{cD_j(k) \text{ для } j = 3, \dots, 6 \cap 0 \text{ для } j = 1 - 2, 7, \quad (4)$$

$$\{cD_j^{(2)}(k)\} = \{cD_j(k) \text{ для } j = 7 \cap 0 \text{ для } j = 1, \dots, 6. \quad (5)$$

Рівняння (4) та (5) характеризують дві вейвлет-декомпозиції, які представляють інформаційний сигнал (рис. 2) двома векторами, і які після вейвлет-реконструкції будуть представлені у спрогнозованому сигналі.

Для прогнозування низькочастотного сегменту вейвлет-декомпозиції обираємо прогнозну модель Тейла-Вейджа (модель не накладає ніяких обмежень на стохастичну структуру часового ряду і оснований на експоненціальному згладжуванні). Для прогнозування середньочастотного сегменту застосуємо модель ARMA. На рис. 6 представлені результати даного прогнозування.

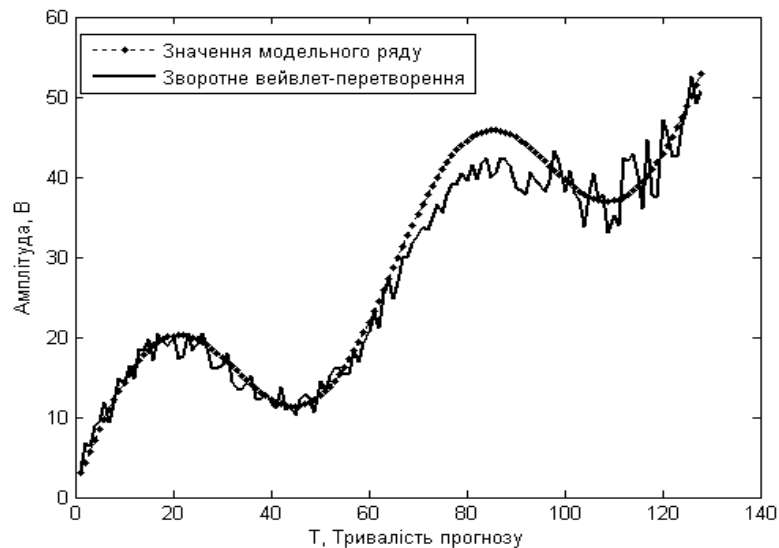


Рисунок 6 – Комбіноване прогнозування часового ряду (із сегментуванням)

Як слідує із рис. 6, сегментоване розділення вейвлет-декомпозиції і застосування до кожного сегменту «свого» методу прогнозування приводить до підвищення точності прогнозу. На рис. 7 представлені значення абсолютної похибки прогнозування. Відносна похибка прогнозування складає – 5.6 %.

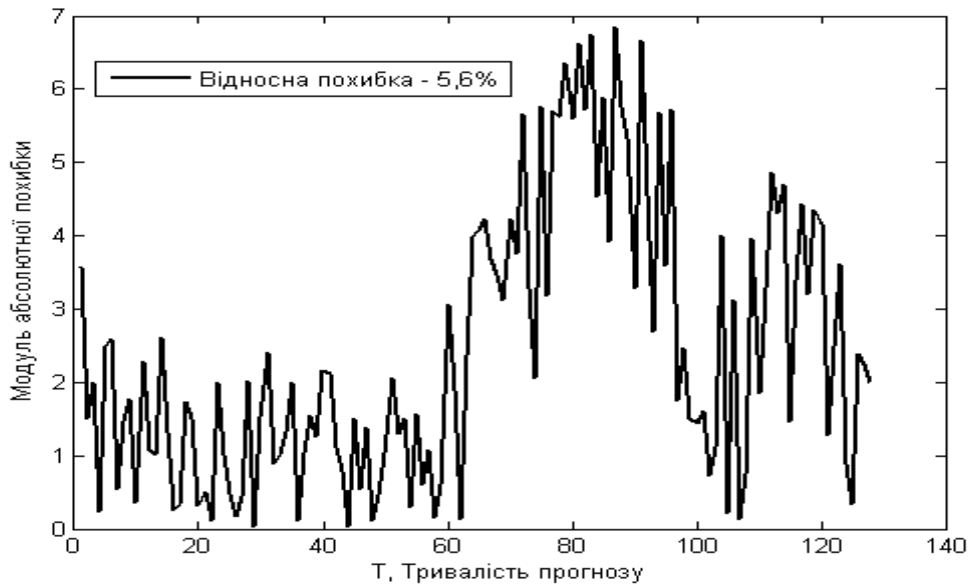


Рисунок 7 – Абсолютна похибка прогнозування (із сегментуванням)

Висновки

Преш ніж застосовувати ті чи інші методи прогнозу необхідно провести вейвлет-декомпозицію інформаційного сигналу, побудувати скалограму, і на основі результатів її аналізу сегментувати коефіцієнти вейвлет-декомпозиції за наступними правилами. У випадку наявності на скалограмі одного піку, проводиться сегментування вейвлет-коефіцієнтів на апроксимуючу та деталізуючу частину, кожна з яких підлягає окремому прогнозуванню з використанням відповідного методу. Якщо на скалограмі спостерігається декілька піків – проводиться відповідна ідентифікація періодичних компонент шляхом розробки вейвлет-коефіцієнтів на окремі секції, за кожною з яких проводиться окреме прогнозування.

Запропонована модель прогнозування доцільно застосовувати для середньострокового прогнозування інформаційних сигналів, оскільки похибка прогнозу при цьому знаходиться у межах 1%.

Література

1. Aizenberg I. Multilayer Neural Network with Multi-Valued Neurons in Time series Forecast- ing of Oil Production / I. Aizenberg, L.Sheremetov, L. Willa // Springer. — 2011. — 273 p.
2. Bennett G.J. Forecasting low voltage distribution network demand profiles using a pattern recognition based expert sysnem [Електронний ресурс] / G.J. Bennett.Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.032>.
3. Paulo M. Modeling and forecasting interval Time Series with Threshold models: An Applica- tion to S&P 500 Index Returns [Електронний ресурс] / M. Paulo, M. Rodrigues, N. Salish. — Режим доступу: <http://www.bportugal.pt/e>
4. Ghandehari M. A four dimensional continuous wavelet transform. Commutative and Non-commutative Harmonic Analysis and Applications, Contemporary Mathematics / M. Ghandehari, A. Syz- dykova, K. Taylor // Amer. Math. Soc., Providence. — 2013. — Vol. 603. — P. 123–136.
5. Arino M.A. Wavelet scalograms and their application in ecjnjm time series / M.A. Arino, P.A. Morettin, B. Vidakovic // Brazilian Journal of Probability and Statistics. — 2004. — Vol. 18. — P. 37–51.
6. Santi E. Hybrid ARIMAX-NN model for forecasting Inflation / E. Santi, P.D. Dwi //

International Conference on Science, Technology and Humanity. — 2015. — P. 181–187.

7. Bennett G.J. Autoregressive with Exogenous Variables and Neural Network Short-Time Load Forecast Model for Residential Low Voltage Distribution Networks / C. Bennett, R.A.S Stewart, J. Lu // *Energies*. — 2014. — N 7. — P. 2938–2960.

8. Takagi H. Introduction to Fuzzy Systems, Neural Network and Genetic Algorithms [Електронний ресурс] / H. Takagi. — Режим доступу: www.teleametrika.net/reference/Software/infoToFuzzy-System

Тисячний С. Г.

ОГЛЯД І АНАЛІЗ СИСТЕМ ОБЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Метою статті було розглянути будову та принцип дії існуючих виробників автоматизованої системи дистанційного моніторингу та комерційного обліку електричної мережі, який здатний отримувати дані про споживання електричної енергії і відправляти їх на віддалений сервер.

В ході виконання даної роботи був проведений огляд сучасних технологій і устаткування, що дозволяють отримувати дані про моніторинг та облік електричної енергії з подальшим відправленням їх на віддалений сервер обленерго.

Розглянуто три виробника АСКУЕ для вирішення конкретних задач для обліку й управління електроспоживанням а саме: Системи на базі пристрою ІТЕК – 210, Системи СІНЕТ-1, Системи на базі мікросервера ІТЕК-WEB.

Ключові слова: АСКОЕ, моніторинг електроенергії, комерційний облік електроенергії, розширений моніторинг електроенергії, автоматизована система,

OVERVIEW AND ANALYSIS OF ACCOUNTING AND CONTROL SYSTEMS

The purpose of the article was to explain the structure and principle of operation of existing manufacturers of automated remote monitoring and commercial accounting of the electricity grid, which is able to obtain data on electricity consumption and send them to a remote server.

In the course of this work, a review of modern technologies and equipment was conducted, which allows to obtain data on monitoring and accounting of electricity with their subsequent sending to a remote server of regional power.

Three manufacturers of ASKUE for the decision of concrete problems for the account and management of power consumption are considered namely: Systems on the basis of the ITEK-210 device, SINET-1 systems, Systems on the basis of the ITEK-WEB microserver

Key words control electricity, ASCAE, accounting energy resources, automatic system.

Вступ

Автоматизовані системи обліку та контролю електричної енергії (АСКОЕ) призначені для обліку споживання електроенергії, розрахунку параметрів електроспоживання, оперативного їх контролю, видачі рекомендацій для оперативного управління електроспоживанням в години максимуму навантажень енергосистеми.

АСКОЕ також призначена для забезпечення ефективного контролю за режимами електроспоживання, за потужністю та енергією, управлінням навантаження споживачів-регуляторів, коротко- і довгострокового планування режимів електроспоживання, формування статистичної звітності та інших задач, що стосуються функціонування ЕПС.

Матеріали досліджень

На сьогоднішній день відома велика кількість систем енергообліку українських виробників, такі як: СІНЕТ-1; АСКОЕ на базі лічильників Євроальфа; ATdata – вимірювально – обчислювальний комплекс комерційного обліку на базі лічильників LZQM; Облік-2000 на базі лічильників ЛО-3Т; АСКОЕ на базі пристрою ІТЕК-210 і лічильників з імпульсним виходом; АСКОЕ на базі мікросервера ІТЕК-WEB та інші.

Серед АСКОЕ, створених на базі технічних засобів і програмного забезпечення зарубіжних виробників, добре відомі в Україні: АСКОЕ на базі лічильників Actaris; системи комерційного обліку енергії DATAGYR C300 і C2000 (LANDIS & GYR); системи АльфаМет, АльфаСмарт і АльфаЦентр (ABB); багатоканальна система побутового обліку енергії ПСЕ-2000 (Литва) та інші.

Перевагами систем українських виробників є: відносна простота в обслуговуванні і дешевизна при високих показниках якості обліку електроенергії; можливість комплексного обліку і інших видів енергії (води, газу, пара і т.д.).

До переваг зарубіжних АСКОВЕ відносяться: розширені функціональні можливості самих засобів обліку (значна кількість телеметричних входів і виходів), цифрових інтерфейсів; наявність тарифікаційних пристроїв; можливість побудови графіків навантаження; багатофункціональність програмного забезпечення і високий рівень візуалізації.

Серед недоліків українських систем потрібно відмітити недостатньо високий рівень ергономічних показників.

Недоліками систем зарубіжних виробників є їх висока вартість і складність в обслуговуванні.

В Україні (НТУУ "КПІ") розроблено сімейство програмно-технічних комплексів для обліку й управління електроспоживанням ІТЕК [1,2], що має високі споживчі якості (надійність, зручність і більшу тривалість експлуатації, широкий температурний діапазон функціонування). До складу сімейства входять прилади ІТЕК 210, ІТЕК 310 та ІТЕК 410, ІТЕК - web, що мають різні обчислювальні ресурси, засобами комунікацій і споживчі характеристики.

Системи на базі пристрою ІТЕК – 210

ІТЕК-210 призначений для побудови автоматизованих систем контролю і обліку енергії спільно з наступними технічними засобами:

- лічильники електричної енергії трифазні індукційні, забезпечені пристроями формування імпульсів (типу Е440, Е870, УП-1, УП-2, УП-3, СХ5000) або електронні лічильники з імпульсним входом;

- лінії зв'язку.

До складу АСКОВЕ можуть також входити :

- персональні ЕОМ типу IBM PC;

- модем;

- інші ІТЕК-210.

Призначення та функції ІТЕК-210

Пристрій обліку ІТЕК-210 призначений для побудови автоматизованих систем комерційного і технологічного обліку електроенергії, які забезпечують контроль і облік параметрів електричної енергії і потужності (активної і реактивної складових) по тарифних зонах доби. Як первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП) в АСКОВЕ можуть використовуватися лічильники електроенергії: індукційні, забезпечені пристроями формування імпульсів; електронні з імпульсним та інформаційним виходом.

Програмне забезпечення для робочих місць користувачів АСКОВЕ дозволяє зчитувати, збирати та відображати в реальному часі вміст внутрішніх баз даних всіх пристроїв обліку ІТЕК, які встановлені на об'єкті. Дані представляються користувачеві в табличному та графічному вигляді, топологічної схеми (план об'єкту та схема генерації, розподілу і споживання енергоресурсів). Забезпечується інформаційний обмін даними по обліку з іншими інформаційними системами клієнта, постачальником

Системи СІНЕТ-1

Система СІНЕТ-1 [3] призначена для створення комплексів локального обліку і побудови розподілених автоматизованих систем контролю енерговикористання.

У функції комплексу локального обліку входить збір і обробка інформації про потоки енергії з обмеженої кількості точок обліку, розрахунок і зберігання параметрів потоків енергії за розрахункові періоди і відображення інформації про параметри потоків енергії на інформаційному табло і (або) термінальному пункті оператора (ТПО). Один комплекс локального обліку на базі СІНЕТ-1 охоплює до 128 точок обліку, віддалених від системи на відстані до 3 км. Під точкою обліку мається на увазі опорний лічильник електроенергії із

вбудованим пристроєм перетворення кількості енергії, вимірної лічильником, у кількість імпульсів, установлений на об'єкті й підключений до СІНЕТ-1.

Компанія «Landys & Gyr», що нині входить в Siemens, є лідером у забезпеченні передових технологічних рішень для систем вимірювання, контролю та управління розподілом електричного навантаження [4].

Компанія виготовляє електронні лічильники електроенергії, системи контролю та управління енергоспоживанням TELEGYR.

Для отримання та обробки показань лічильників електроенергії використовується універсальний пристрій DATAGYR FAG10, що може приймати безпосередньо показання регістрів лічильників (концепція STOM), а також лічильники імпульсів для їхньої подальшої обробки.

Більш сучасною системою дистанційного енергообліку, управління навантаженнями й тарифами є система DATA GYRC2000. Вона може використовуватись на підприємствах різного масштабу й забезпечує:

- розрахунок раціонального споживання електроенергії;
- дослідження системи тарифів;
- прогнозування навантаження;
- управління навантаженнями й тарифами.

У ФРН енергопостачальна організація NEW AG використовує систему збору даних про електроспоживання, що наведена в [6]. Система містить у собі лічильники активної й реактивної енергії з імпульсним виходом, багатофункціональні вимірювачі параметрів електроспоживання, пристрій визначення максимуму навантаження й пристрій обробки інформації. Система дозволяє включати в себе вимірювачі інших енергоносіїв. Система верхніх рівнів містить у собі до 8 модемів.

Системи на базі мікросервера ITEK-WEB

Системи на базі мікросервера ITEK-WEB [1,2,7,8], призначені для зчитування інформації в цифровому вигляді від одного або групи лічильників електроенергії по каналу інтерфейсу RS-485, обробки, зберігання й передачі в зовнішні інформаційні мережі (у тому числі локальну мережу ETHERNET) на верхній рівень АСКОЕ.

Приклад побудови АСКОЕ на базі ITEK-WEB показаний на рисунку.

До складу програмно-технічних засобів АСКОЕ входять:

- а) рівень точок обліку (ТН, ТС, лічильники);
- б) комплекс технічних засобів «Енергія WEB » (КТЗ);
- в) комунікаційне обладнання;
- г) кабельні лінії.

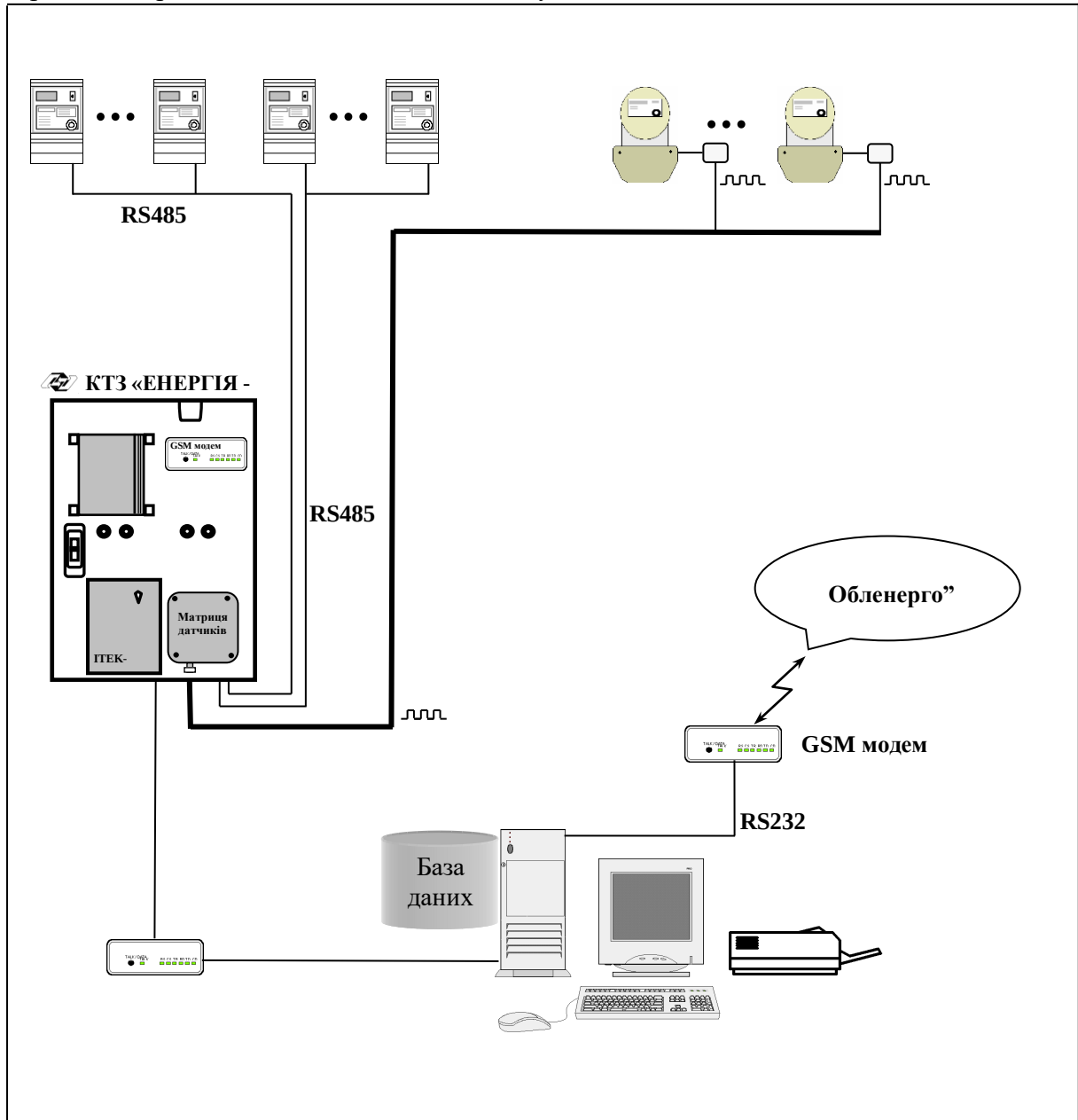
Основним компонентом комплексу технічних засобів «Енергія WEB » є мікросервер Itek-WEB. Мікросервер Itek-WEB призначений для забезпечення зв'язку й узгодження інтерфейсів між багатофункціональними лічильниками й сервером БД, а також самостійного опитування лічильників і зберігання результатів опитування у вбудованій енергонезалежній пам'яті.

Мікросервер Itek-WEB побудовано на базі промислового варіанту процесора Intel 186. Має інтерфейс Ethernet 10/100 Mb і підтримує протоколи TCP/IP та UDP.

В залежності від модифікації Itek-WEB може мати 6, 10, або 18 послідовних каналів (зі швидкістю обміну до 115 Kb), з яких 2 канали RS232 забезпечують приєднання АТ- або GSM/GPRS- модемів і підтримують протокол віддаленого доступу PPP. Шістнадцять (або 8, або 4) каналів RS232/RS485 з гальванічною розв'язкою забезпечують узгодження з послідовними портами лічильників. Має 8 дискретних входів й 8 дискретних виходів, які конфігуруються для виміру кількості електроенергії по імпульсних, телеметричних виходах лічильників, або керування зовнішніми виконавчими пристроями (електромеханічним реле).

Як показав проведений аналіз, в останні роки накопичено значний досвід у розробці й експлуатації технічних засобів контролю та управління електроспоживанням. Відомі технічні засоби дозволяють реалізувати практично будь-яку структуру управління електроспоживанням.

У той же час, у багатьох випадках виникають труднощі в забезпеченні інформаційних зв'язків як між вимірювачами витрат електроенергії й засобами обробки даних, так і безпосередньо в організації міжсистемного зв'язку.



Висновок.

В останні роки накопичено значний досвід у розробці та експлуатації технічних засобів контролю і управління електроспоживанням. Відомі технічні засоби дозволяють реалізувати практично будь-яку структуру управління електроспоживанням.

Література

- 1.Калинчик В.П., Разумовский О.В. ІТЕК - учет и контроль энергоресурсов/В кн. Управление энергоиспользованием. Львов - Тасис, 1997, - 4, - с. 27 - 28.
2. А.В.Праховник, В.П.Калінчик, О.В.Разумовський та інші. Автоматизація

комерційного та технічного обліку і контролю енергоспоживання // Управління енерговикористанням. Збірка доповідей. – Альянс за збереження енергії. – К.2002. – С. 449 - 451.

3.Коцар О.В., Волошко А.В. Оптимізація обліку перетоків реактивної енергії, яка споживається і генерується електроустановками споживачів з використанням інформаційно-вимірювальних пристроїв СІНЕТ-1/ Управління енерговикористанням. Збірник доповідей. – К.: Альянс за збереження енергії. 2001. – с.432- 437.

4. Комплексные решения по учету и управлению для энергоснабжение / Adver L&G .doc. 11.01-11-96 / ss 27- 12 - 96.

5. Разработка концепции использования информационно-вычислительной техники для учета электроэнергии в условиях функционирования энергетического рынка в Украине: Отчет о НИР / № ГР 0196U0022544; Инв. № 0297U001589, - Киев, - 1997, - 143 с.

6. J.Reuschel, P.Franke. Zahlerdaten-Fernubertragung bei der HEW AG // - Elektrizitätswirtschaft. - Jg.95(1996), - Heft 1/2, - s. 65 - 67.

7. О.Л.Шпак, П.Д.Луців, В.П.Калінчик, О.О.Шиянов. Автоматизована система комерційного обліку електроенергії ПАТ «Хмельницькобленерго / Енергетика: економіка, технології, екологія – 2014. - № 2. – С. 112 – 117.

8. Калінчик В.П.,Прокопенко В.В., Кульбачний П.В., Філянін Д.В. Організація обліку електроенергії суб'єктів відновлювальної енергетики / Матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи. - Київ. – 2018. – С. 188 – 189.

УДК 621.311

Стрелкова Г.Г., канд.фіз.-мат.наук;

Стрелков М.Т., канд.техн.наук;

Батюта К.В., магістр.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ КОНКУРЕНТНОЇ ТОРГІВЛІ НА ОПТОВОМУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ДОБУ НАПЕРЕД²

Анотація. Метою статті є аналіз аукціонів електроенергії як форми організації конкурентних торгів на оптовому ринку електроенергії на добу наперед. Задля цього ринок на добу наперед розглядається з позицій комерційної системи як короткостроковий форвардний субринок товарного ринку електроенергії. Враховуючи це, двосторонній аукціон електроенергії охарактеризовано та проаналізовано як базову форму організації конкурентних торгів на ринку на добу наперед. Односторонній аукціон електроенергії розглянуто як частковий випадок двостороннього аукціону. Також визначені й охарактеризовані найпоширеніші різновиди двостороннього й одностороннього аукціонів електроенергії.

Ключові слова: система ринку електроенергії, моделі ринку електроенергії, оптовий ринок, ринок на добу наперед, аукціони електроенергії, двосторонній аукціон, односторонній аукціон.

Abstract. The purpose of the article is to analyze electricity auctions as a form of competitive bidding in the wholesale electricity market for the day ahead. For this purpose, the day-ahead market is considered from the standpoint of the commercial system as a short-term forward submarket of the commodity electricity market. Given this, the two-side auction of electricity is characterized and analyzed as a basic form of competitive bidding in the day-ahead market. The one-side electricity auction is considered a partial case of the two-side auction. The most common types of two-side and one-side electricity auctions are also identified and characterized.

Key words: electricity market system, electricity market models, wholesale market, day-ahead market, electricity auctions, two-side auction, one-side auction.

Вступ

Інтегрована система ринку електроенергії складається з трьох головних підсистем, а саме: системи вкладених ринків, інфраструктурної системи та інституційної системи. Система вкладених ринків розділяє товарний ринок електроенергії, ринок послуг з транспортування електроенергії та ринок системних допоміжних технологічних послуг. Інфраструктурна система поділяється на технологічну підсистему та комерційну підсистему. Складовими технологічної системи є два її симетричні відображення – технічна підсистема та виробнича підсистема. Складовими комерційної системи є, з однієї сторони, торгівельна система (оптовий і роздрібний ринки), з іншої сторони, контрактна система (контрактний і спотовий ринки), які доповнюють одна одну. Інституційна система організує внутрішню упорядкованість і погодженість взаємодії всіх підсистем інтегрованої системи ринку електроенергії [1-3].

Комерційна система як інфраструктурна складова виділяє системи вкладених ринків цілу низку організованих у часі (від контрактного до спотового) субринків товарного ринку

² Робота виконана в рамках Міжнародного проекту в сфері освіти «Підготовка та впровадження програми спільного навчання другого ступеня – Енергетика нового покоління» за програмою КАТАМАРАН Польського національного агентства академічних обмінів NAWA

електричної енергії: (1) ринок двосторонньої торгівлі; (2) ринок на добу наперед; (3) внутрішньодобовий ринок; (4) балансуючий ринок. Залежно від класичної моделі товарного ринку електроенергії, яких загалом є чотири, кількість запроваджених субринків може бути різною. Так ринку на добу наперед не існує в моделі всерівневої (оптово-роздрібної) монополії (модель №1), але він з'являється в моделі оптової монополії (модель №2) та продовжує існувати в моделі оптової конкуренції (модель №3) та моделі всерівневої (оптово-роздрібної) конкуренції (модель №4) [4-8].

Ринок на добу наперед є найважливішим серед усіх субринків товарного ринку електроенергії. Це короткостроковий контрактний ринок (термін дії – доба, тип контракту – форвардний), на якому, як правило, продається та купується найбільша кількість електроенергії. Із зростанням версії (номеру) моделі товарного ринку поступово запроваджується та підвищується рівень конкуренції на вкладених ринках (в першу чергу на товарному ринку) інтегрованої системи ринку електроенергії. В сучасній економіці функціонуванню більшості конкурентних ринків притаманна децентралізація без участі оператора ринку. Але це не можна сказати про короткострокові вкладені ринки, поширеною формою організації торгівлі на яких стали аукціони. При цьому особливий інтерес викликають аукціони товарного ринку електроенергії, оскільки він є визначальним у процесі реформування електроенергетики і провідним у процесі впровадження конкуренції серед усіх вкладених ринків інтегрованої системи ринку електроенергії [9-12].

Аукціон електричної енергії являє собою централізовану форму організації конкурентних торгів електроенергією, що публічно проводяться на регулярній основі розпорядником аукціону (оператором ринку) за дорученням і від імені учасників аукціону відповідно до прийнятих ними правил проведення торгів аукціону. Учасниками торгів аукціону є суб'єкти товарного ринку електроенергії, які володіють необхідними ресурсами, наданими аукціону і розміщеними аукціоністом для проведення торгів, та мають доступ до передавальних і розподільних електричних мереж задля фізичного виконання результатів торгів аукціону [12].

Мета та завдання

Метою роботи є аналіз організації аукціонів товарного ринку електроенергії на добу наперед як конкурентних форм організації торгівлі на оптовому ринку.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання.

1. Проаналізувати організацію конкурентного аукціону електроенергії, що проводиться на оптовому ринку електроенергії на добу наперед.
2. Визначити різновиди конкурентного аукціону електроенергії, що проводиться на оптовому ринку електроенергії на добу наперед.

Матеріал і результати досліджень

Організація конкурентного аукціону на оптовому ринку електроенергії на добу наперед

Конкурентні аукціони, що проводяться на оптовому ринку електроенергії на добу наперед, відрізняються насамперед своєю організацією, яка визначається прийнятими правилами проведення та закладеним економічним механізмом торгів. Розглянемо організацію найбільш поширеного конкурентного аукціону на ринку електроенергії на добу наперед, який використовується в моделі оптової конкуренції та моделі всерівневої конкуренції товарного ринку електроенергії. Учасниками торгів такого аукціону можуть бути продавці, оптові і роздрібні торговці (торгові посередники) та покупці електроенергії. Як правило, цей аукціон проводиться поточної доби для кожної години (28 аукціонів) або кожної півгодини (48 аукціонів) наступної доби. Оскільки правила торгів однакові для кожного з 24 або 48 аукціонів, розглянемо умовно один із них, для чого виділимо три етапи.

Перший етап: формування та подача заявок на участь в торгах аукціону. До визначеного правилами аукціону часу поточної доби покупці та продавці подають заявки на участь в аукціоні. Подані учасниками аукціону заявки відображають вибрані ними стратегії поведінки через формат, який включає дві компоненти – кількість і ціну купівлі-продажу електроенергії. Це так звані прості заявки, які розглядаються далі. У випадку комплексних заявок, формат заявок продавців розширюється за рахунок додаткових компонент, що відображають технічні характеристики джерел генерації електроенергії, використовуваних продавцями.

З точки зору електроенергії як товару, що виставляється на торги, кожен учасник аукціону має потенційно різну оцінку його економічної цінності та заявляє свою приватну ціну. Так покупці в заявках вказують максимальні ціни, за якими вони згодні купити заявлені ними обсяги електроенергії, а продавці – мінімальні ціни, за якими вони згодні продати запропоновані ними обсяги електроенергії. В умовах конкурентного аукціону, ціна покупця, зазначена заявці, буде дорівнювати граничній цінності запитуваного ним обсягу електроенергії, а ціна продавця – граничним витратам виробництва запропонованого ним обсягу електроенергії. Тобто, оптимальною стратегією поведінки покупців є заявляти максимальні ціни, вище яких вони відмовляться від угоди (так звані відправні ціни покупців), а оптимальною стратегією поведінки продавців – заявляти мінімальні ціни, нижче яких вони відмовляться від угоди (так звані відправні ціни продавців).

Покупці та продавці вибирають свої оптимальні стратегії поведінки незалежно один від одного в умовах невизначеності, коли, приймаючи свої рішення, вони не поінформовані про рішення, прийняті іншими учасниками аукціону. Кожен покупець і продавець може подати одночасно декілька заявок для участі в торгах, і всі вони будуть прийняті аукціоністом як «запечатана пропозиція».

Другий етап: визначення переможців торгів аукціону. Оператор ринку отримує «запечатані» заявки покупців та починає формувати так званий аукціон купівлі згідно із законом попиту. Він впорядковано розміщує на площині ринкового обміну (вісь ординат – ціна, вісь абсцис – кількість) всі заявки, подані покупцями, за значеннями цінової компоненти від найбільшої ціни до найменшої ціни з наростаючим підсумком значень відповідних їм кількісних компонент. Графічно аукціон купівлі представляє так звана спадна «драбинка попиту», ординати якої показують максимальні ціни, які покупці згодні заплатити за кожну дискретно запитувану кількість електроенергії. Спадна «драбинка попиту» відображає сукупну поведінку всіх учасників аукціону купівлі та є графіком функції погодинного або півгодинного попиту на оптовому ринку електроенергії.

Одночасно оператор ринку отримує «запечатані» заявки продавців та починає формувати так званий аукціон продажу згідно із законом пропозиції. Він впорядковано розміщує на площині ринкового обміну всі заявки, подані продавцями, за значеннями цінової компоненти від найменшої ціни до найбільшої ціни з наростаючим підсумком значень відповідних їм кількісних компонент. Графічно аукціон продажу представляє так звана висхідна «драбинка пропозиції», ординати якої показують мінімальні ціни, за якими учасники аукціону продажу згодні реалізувати кожну дискретно запропоновану кількість електроенергії. Висхідна «драбинка пропозиції» відображає сукупну поведінку всіх учасників аукціону продажу та є графіком функції погодинної або півгодинної пропозиції на оптовому ринку електроенергії.

Результатом торгів аукціону електроенергії є стан рівноваги аукціонів купівлі і продажу, який на площині ринкового обміну визначає точка перетину «драбинки попиту» і «драбинки пропозиції» з координатами рівноважного обсягу, прийнятого аукціоном, та рівноважної ціни, встановленої аукціоном. На визначений правилами аукціону час поточної доби оператор ринку оголошує результати торгів аукціону. Торги виграють продавці, цінова компонента в заявках яких дорівнює та менша за рівноважну ціну, встановлену аукціоном, і покупці, цінова компонента в заявках яких більша та дорівнює рівноважній ціні, що встановлена аукціоном.

Оголошені результати торгів є короткостроковими форвардними контрактами між оператором ринку та переможцями торгів, обов'язкові для виконання у визначений час наступної доби.

Третій етап: механізм розрахунку за результатами торгів аукціону. Рівноважна ціна, встановлена аукціоном, є ціною відсікання заявок, що програли, від заявок, що виграли, й одночасно граничною ціною системи по ціновій компоненті заявки продавця, що замикає список вигравши торги заявок (так звана ціноутворююча заявка). Учасники аукціону, що виграли торги, будуть розраховуватись за проданий і куплений обсяг електроенергії, прийнятий аукціоном, за однією ціною, встановленою аукціоном. Такий аукціон електроенергії називають аукціоном єдиної ціни, або недискримінаційним аукціоном.

Принциповою відмінністю організації конкурентного аукціону на оптовому ринку електроенергії на добу наперед від аукціонів інших товарів є те, що він є двостороннім аукціоном, тобто об'єднує два аукціони одного товару – аукціон купівлі й аукціон продажу електроенергії, торги за якими проводяться одночасно в єдиному торговому просторі. Слід також зазначити, що аукціон купівлі має ознаки голландського аукціону, але останній є аукціоном відкритого типу. Аукціон продажу, на відміну від аукціону купівлі, має ознаки англійського аукціону, але останній також є аукціоном відкритого типу. Різниця між ними також у тому, що аукціон купівлі є аукціоном другої ціни, а аукціон продажу – аукціоном першої ціни [12].

Різновиди конкурентного аукціону на оптовому ринку електроенергії на добу наперед

Частковим випадок двостороннього аукціону є так званий «односторонній аукціон», який використовується в моделі оптової монопсонії товарного ринку електроенергії [12]. За такого аукціону учасниками аукціону купівлі, як правило, є оптові і роздрібні торговці (торгові посередники), які перепродають куплену на аукціоні електроенергію своїм покупцям (споживачам електроенергії) за фіксованим регульованим тарифом. Такий тариф «робить» і так відносно нееластичний попит споживачів електроенергії ще більш нееластичним. Як наслідок, попит на електроенергію, який пред'являють від імені своїх покупців торгові посередниками, стає абсолютно нееластичним. У кількісному форматі заявок, що подаються торговими посередниками, це відображається нульовою ціновою компонентою (так звані «ціноприймаючі заявки»). Оператор ринку за такого кількісного формату заявок покупців не може сформувати аукціон купівлі відповідно до закону попиту, тобто не в змозі побудувати на площині ринкового обміну спадну «драбинку попиту». Він заміщає всіх торгових посередників одним «єдиним» покупцем, який подає одну заявку від імені всіх торгових посередників. Графічно аукціон продажу представляє так звана «вертикаль попиту» (лінія паралельна осі ординат), абсциса якої є сукупним обсягом купівлі електроенергії, заявленим усіма торговими посередниками.

Учасниками аукціону продажу є продавці (виробники електроенергії). Механізм формування аукціону продажу аналогічний механізму двостороннього аукціону.

Результати торгів, або стан рівноваги одностороннього аукціону електроенергії, визначає точка перетину «вертикалі попиту» і «драбинки пропозиції». Це ідентифікує кількісну компоненту заявки «єдиного» покупця з рівноважним обсягом, прийнятим аукціоном. Односторонній аукціон виявляється для всіх покупців «безпрограшним», бо всі їхні заявки, на відміну від заявок продавців, автоматично виграють. Односторонній аукціон можна розглядати як аукціон продажу з одним покупцем (оскільки аукціон купівлі «відсутній») або як частковий випадок двостороннього аукціону з абсолютно нееластичним попитом на електроенергію.

Розглянуті вище двосторонній й односторонній аукціони електричної енергії є недискримінаційними аукціонами, або аукціонами єдиної ціни.

Якщо умовно накласти обмеження на верхній рівень заявлених продавцями цін,

наприклад, на рівні середніх економічних витрат виробництва, то виторг ціноутворюючої заявки принесе її продавцеві нормальний прибуток. Щоб забезпечити однаковий фінансовий результат всім продавцям-переможцям, кожна заявку, що виграла торги, слід оплатити за ціною, заявленою її продавцем. За такого обмеження покупці-переможці розрахуються за прийнятий аукціоном рівноважний обсяг за одноковою, середньозваженою ціною всіх заявок продавців-переможців, яка буде менше рівноважної ціни, встановленої аукціоном. Всім продавцям-переможцям заплатять за їх заявками різні, заявлені ними ціни, які менші за рівноважну ціну, виключаючи замикаючу список продавців-переможців заявку, по якій заплатять рівноважну ціну. Якщо тепер зняти обмеження, накладене на ціни, заявлені продавцями, то отримаємо дискримінаційний аукціон електричної енергії, або аукціон багатьох цін, ціни купівлі та продажу на якому для різних учасників аукціону різні [12].

Якщо прийняти, що результати торгів аукціону не враховують електричні втрати і мережеві обмеження, що мають місце в електричній мережі, то отримаємо зосереджений аукціон. Зосереджений аукціон електричної енергії встановлює одну рівноважну ціну для всіх вузлів або зон електроенергетичної системи. Розглянуті вище двосторонній й односторонній аукціони електричної енергії є зосередженими аукціонами.

Якщо врахувати мережеві обмеження на перетоки електроенергії між суміжними вузлами та електричні втрати в електричній мережі при передачі електроенергії, то отримаємо розосереджений аукціон. Розосереджений аукціон електричної енергії встановлює в кожному вузлі або зоні електроенергетичної системи різні рівноважні ціни.

Висновки

Формою організації конкурентної торгівлі на оптовому ринку електроенергії на добу наперед є двосторонній аукціон, що об'єднує два аукціони одного товару – аукціон купівлі й аукціон продажу електроенергії. Двосторонній аукціон поширений в моделях оптової конкуренції та всерівневої конкуренції товарного ринку електричної енергії.

Частковим випадок двостороннього аукціону є односторонній аукціон, на якому «відсутній» аукціон купівлі. Односторонній аукціон використовується в моделі оптової монопсонії товарного ринку електричної енергії.

Двосторонній і односторонній аукціони електроенергії є аукціонами приватних цін закритого типу. Залежно від механізму розрахунків, вони можуть бути аукціонами єдиної ціни (недискримінаційний аукціон) або аукціонами багатьох цін (дискримінаційний аукціон). Щодо врахування мережевих обмежень на перетоки електроенергії та електричних втрат в електричній мережі, вони можуть бути зосередженими аукціонами або розосередженими аукціонами.

Перелік використаних джерел

9. Стрелков М.Т. Составляющие инфраструктуры системы энергорынка: создаваемые потоки, реализуемые принципы, решаемые задачи / Энергетика та електрифікація. – 2014. – №4. – С.51-57.
10. Стрелков М.Т. Статична модель складу системи ринку електричної енергії / Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2015. – №3. – С.117-123.
11. Integrated Electricity Market System / Strelkov M., Strelkova H., Ishchenko O. //2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2019. – С. 359-364.
12. Hunt S., Shuttleworth G. Competition and Choice in Electricity. – Wiley, 1996.
13. Стрелков М.Т. Отраслевая организация инфраструктуры рынка электроэнергетики / Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2003. – №1. – С.97-105.
14. Стрелков М.Т. Маркетинговые вопросы реструктуризации электроэнергетики / Электрические сети и системы. – 2004. – №5-6. – С. 100-104.

15. Стрелков М.Т. Либерализация в системе рынка электрической энергии / Энергетика та електрифікація. – 2012. – №10. – С.10-17.
16. Стрелков М.Т. Статична модель структури системи ринку електричної енергії / Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – №4. – С.22-31.
17. Pindyck R.S., Rubinfeld D.L. Microeconomics. – Pearson Prentice Hall, 2005.
18. Varian H.R. Intermediate Microeconomics: A Modern Approach. – W.W. Norton @ Company, 2010.
19. J. Contreras, O. Candiles, J. I. de la Fuente and T. Gomez, "Auction design in day-ahead electricity markets," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 16, no. 3, pp. 409-417, Aug. 2001.
20. Стрелков М.Т. Аукціони товарного ринку електроенергії: механізм, інструменти оцінки, утворюючі пари / Энергетика та електрифікація. – 2011. – №6. – С.11-16.

Мельник М.Л.

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

ЕТАПИ РЕФОРМУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РИНКІВ УКРАЇНИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

В сучасних умовах глобалізації електроенергетика стає все більш важливим фактором економічного розвитку. Постачання електроенергії можливе за умови впровадження комплексної й чітко збалансованої нормативно-правової бази для стимулювання розвитку національної економіки. Реформування електроенергетичних ринків є одним з найголовніших етапів розвитку цієї сфери. Поглиблення конкуренції на лібералізованих ринках стимулює до більш ефективної роботи електроенергетичних систем і впровадження інновацій на основі залучених інвестицій. Успішний розвиток національного ринку електроенергетики України визначається рівнем його конкуренції та входженням у єдиний міжнародний ринок. Ефективна електроенергетична діяльність є необхідною передумовою для стабілізації, структурних змін національної економіки та безперебійного виробництва електричної енергії. Від того, як функціонує енергетичний сектор залежать темпи зростання економічного потенціалу та енергетична безпека держави.

Для енергетичних компаній постає проблема не лише зберегти існуючі позиції на ринку, а й посилювати їх, що неможливо без удосконалення процесу управління та стратегічного планування. Останнє полягає в розробленні стратегічних рішень, що передбачають висування таких цілей і стратегій поведінки відповідних об'єктів управління, реалізація яких здатна забезпечувати ефективне функціонування підприємств у довгостроковій перспективі та швидку адаптацію до мінливих умов зовнішнього середовища.

Україна інтегрується у європейський ринок електроенергетики, тому досвід країн ЄС у сфері реформування ринків електроенергії є найбільш важливим та необхідним. Процес реформування європейського ринку здійснювався за координації Європейської Комісії, яка розробила організаційні, правові та технологічні засади для змін на внутрішніх національних енергетичних ринках щодо їх інтегрування у європейський простір. Лібералізація енергоринків ЄС передбачала створення відповідної нормативно-правової бази і здійснювалась у декілька етапів. На кожному з них формувалася енергетичний пакет у вигляді директив, регламентів, що визначають пріоритетні засади змін, узагальнювалися проблеми та недоліки, що виникали в процесі перетворень.

У лютому 2017 р. Єврокомісія представила для обговорення проект нового Четвертого енергетичного пакету. Документ відображає бачення того, за яким сценарієм ЄС здійснюватиме перехід до нового енергетичного майбутнього. В цілому проектом Четвертого пакету визначено три основні цілі: 1) досягнення глобального лідерства в сфері ПДЕ; 2) забезпечення кращих умов для споживачів; 3) пріоритетність енергоефективності. Шляхи трансформування електроенергетичного сектору країн відрізняються, проте спільним є те, що відбувається розмежування природних монополій (передача електроенергії, оперативно-диспетчерське управління) і потенційно конкурентних (генерація, збут) видів діяльності; демонополізація сектору з одночасним антимонопольним регулюванням; створення умов недискримінаційного доступу до інфраструктури для незалежних постачальників електроенергії. Досвід країн ЄС у реформуванні енергетичної сфери створює необхідну базу для процесів лібералізації енергетичної системи України.

Лібералізація ринку електроенергії - це політичний і регуляторний процес, який створює конкуренцію замість монополії в енергетиці. Головною метою лібералізації є підвищення ефективності на ринку електричної енергії завдяки конкуренції. Краща

ефективність призводить до зниження витрат і цін, підвищує конкурентоспроможність учасників ринку.

1 липня 2019 року в Україні стартувала нова модель ринку електроенергії. Основним кроком на шляху до її впровадження було прийняття 13 квітня 2017 року Верховною Радою України Закон України «Про ринок електричної енергії».

У новому Законі передбачені механізми розвитку інфраструктури ринку електричної енергії: створення нових генеруючих потужностей, передбачені стимулюючі заходи для залучення вітчизняних та закордонних інвесторів в галузь енергетики.

Метою впровадження нового ринку електричної енергії є запровадження конкурентних механізмів функціонування ринку, вільний вибір контрагентів та забезпечення права споживача вільно обирати постачальника електричної енергії. Нова модель ринку передбачає докорінну зміну поведінки суб'єктів ринку електроенергетики, зокрема поділ функцій розподілу і постачання між різними суб'єктами ринку, тобто формування умов конкурентного середовища. Компанії конкурують за споживачів з допомогою цінкових та нецінових важелів впливу, а у споживача є можливість вільного вибору постачальника електроенергії. Законом передбачені різні механізми купівлі-продажу електричної енергії – двосторонні договори, ринок «на добу наперед» та внутрішньодобовий ринок для забезпечення достатніх обсягів електричної енергії, а для фінансового врегулювання небалансів електричної енергії, передбачений балансуєчий ринок та ринок допоміжних послуг. Суб'єктами ринку електричної енергії на сьогодні є виробники, трейдери, електропостачальники, Оператор системи розподілу, Оператор системи передачі, Оператор ринку, Гарантований покупець електричної енергії та споживач.

Функціонування наведених суб'єктів ринку визначаються нормативно-правовими документами, які регулюють відносини між ними на визначних сегментах ринку електричної енергії, а саме Закон України «Про ринок електричної енергії», Правила ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку, Кодекс системи передачі, Правила ринку, Кодекс комерційного обліку електричної енергії, Правила роздрібного ринку електричної енергії, Кодекс системи розподілу, Ліцензійні умови провадження господарської діяльності з постачання електричної енергії споживачу.

На ринку «на добу наперед» здійснюється купівля-продаж електричної енергії на наступну за днем проведення торгів добу за вільними конкурентними цінами. Ціна на цьому сегменті ринку визначається за принципом граничного ціноутворення із забезпеченням мінімізації ціни та максимізації обсягів торгівлі. Жоден учасник не бачить заявлені ціни та обсяги купівлі-продажу електричної енергії іншими учасниками. Така технологія торгів на РДН сприяє розвитку конкуренції. Алгоритм визначення ціни та обсягів купівлі-продажу електричної енергії реалізується на основі балансу сукупного попиту на електричну енергію та її сукупної пропозиції. Заявки учасників ринку відображаються на умовному графіку попиту-пропозиції, за яким відбувається визначення середньозваженої ціни в певну годину доби.

Внутрішньодобовий ринок є сегментом ринку, на якому купівля-продаж електроенергії здійснюється безперервно після завершення торгів на РДН та впродовж доби фізичного постачання електричної енергії. На відміну від РДН, аукціонна платформа ВДР є відкритою з оприлюдненими заявками учасників. У реєстрі заявок ВДР наводиться інформація про сукупний обсяг за відповідною ціною. Учасники можуть акцептувати частину або весь обсяг електричної енергії, запропонований на торги на ВДР, шляхом надання зустрічної заявки, що відображає бажаний обсяг і ціну, відповідну такому обсягу, у реєстрі заявок ВДР.

Купівлю-продаж електричної енергії за двосторонніми договорами здійснюють виробники, електропостачальники, оператор системи передачі, оператори систем розподілу, трейдери, гарантований покупець та споживачі. Учасники ринку мають право вільно обирати

контрагентів за двосторонніми договорами, укласти ці договори у довільній формі та на умовах, що визначаються за домовленістю сторін.

Ринок допоміжних послуг є системою відносин, що виникають у зв'язку із придбанням оператором системи передачі допоміжних послуг у постачальників допоміжних послуг. На цьому ринку оператор системи передачі купує/використовує допоміжні послуги для забезпечення надійного та сталого функціонування ОЕС України, дотримання операційної безпеки енергосистеми та якості електричної енергії відповідно до встановлених стандартів.

Балансуючий ринок створений з метою регулювання балансів енергосистеми в режимі реального часу. На балансуєчому ринку системним оператором здійснюються 1) планування режиму роботи об'єднаної енергетичної системи України на наступну добу; 2) купівля та продаж електричної енергії для балансування обсягів попиту та пропозицій електричної енергії у поточній добі; 3) купівля та продаж електричної енергії з метою врегулювання небалансів електричної енергії сторін, відповідальних за баланс.

Новий ринок електроенергії дає споживачам можливість обрати постачальника з оптимальними для такого споживача умовами, а також, за наявності систем погодинного обліку, економічно мотивує чітко прогнозувати власне споживання та переносити споживання з денних годин на нічні, відходячи від моделі середніх у енергосистемі показників на користь персональних для кожного підприємства, оскільки важливим засобом тарифоутворення є диференціювання цін на електричну енергію за часом доби. Вартість електричної енергії поділяється на дві зони – електроенергія в години максимального та мінімального навантаження.

Результати дослідження нового ринку електричної енергії свідчать про сприятливий вплив нової моделі конкурентного ринку на суб'єкти цього ринку. Умовою ефективного функціонування нового ринку електричної енергії є орієнтація на впровадження інформаційних технологій, які дозволяють суттєво підвищити якість процесів управління збутом та купівлею електричної енергії. Поглиблення конкуренції на лібералізованих ринках стимулює до більш ефективної роботи електроенергетичних систем і впровадження інновацій та прийнятних інвестицій.

У процесі дослідження визначено, що зараз ринок електричної енергії зазнає трансформації: відбувається перехід від монополії до ринкової конкуренції, що вимагає від електроенергетичних компаній підвищення результативності стратегічного планування як базового інструменту стратегічного управління на підприємствах. Метою стратегічного планування є забезпечення ефективного функціонування в довгостроковій перспективі та в умовах сталого розвитку.

Список літератури

1. Закон України «Про ринок електричної енергії» 2019-VIII від 13.04.2017
2. Концепция «Цифровая трансформация 2030», Москва, 2018
3. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 312 від 14.03.2018 р. «Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії»
4. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 307 від 14.03.2018 р. «Про затвердження Правил ринку»
5. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 311 від 14.03.2018 р. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної
6. Флаэрти Т. Стратегии развития мировой электроэнергетики: Будущее электроэнергетики и игроки отрасли, определяющие ее успешное развитие, 2019, С. 60

УДК 621.311

Галушко Г.О.

Науковий керівник: Замулко А.І. к.т.н., доцент
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім.Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ДЛЯ АКТИВНОГО СПОЖИВАЧА НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

У даній статті розглянуто особливості формування системи обліку для активного споживача. На основі аналізу ринку України було сформовано перелік виробників лічильників та спеціальних програм для управління.

Ключові слова: енергетика, лічильник, мережа, автоматизована система комерційного обліку електричної енергії

FEATURES OF FORMATION OF THE ACCOUNTING SYSTEM FOR THE ACTIVE CONSUMER IN THE ELECTRICITY MARKET

In this representation features of creation of the systems used for the active consumer were used. It was convenient for our Ukrainian business to transform manufacturers of meters and specialized management programs.

Key words: energy, meter, measure, automated system of commercial electricity metering.

Вступ

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

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

Мета та завдання

Метою даної статті є аналіз особливостей систем обліку електричної енергії для активного споживача. Підвищення ефективності функціонування систем обліку електричної енергії, шляхом впровадження сучасних засобів управління ними в умовах ринку електричної енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати: основні характеристики споживачів електричної енергії, а також розглянути основні можливості існуючих систем АСКОЄ

Матеріал і результати досліджень

Однією з характерних особливостей функціонування електричних систем є те, що кількість виробленої енергії завжди дорівнює кількості спожитої, тобто в кожний момент часу існує точний баланс для активної та реактивної енергії і потужності. Транспортування і перетворення електричної енергії завжди відбувається з втратами самої енергії. На тлі змін, що відбуваються у господарському механізмі енергетики проблема зниження втрат електроенергії в електричних мережах не тільки не втратила своєї актуальності, а навпаки

висунулася в одне із завдань забезпечення фінансової стабільності енергопостачальних організацій. Обсяг втрат електроенергії в електричних мережах – найважливіший показник економічності їх роботи, наочний індикатор стану системи обліку електроенергії, ефективності енергозбутової діяльності енергопостачальних організацій. Найбільші втрати відбуваються в побутового споживача, щоб їх знизити активно впроваджують автоматизовані системи обліку, та заохочують шляхом пільг, тарифів до активної участі на ринку.

Активний споживач - це споживач, який реагує та впливає на ринок електроенергії через систематичні дії та реакції, які націлені на оптимізацію витрат і збільшення власного та колективного прибутку. Пристосування до миттєвих цін на ринку та можливість керувати навантаженням для стабілізації графіка добового споживання є одними з найважливіших стимулів до розвитку активних споживачів та формування мікро мереж.

Критичним фактором перетворення звичайного споживача на активного є явні прибутки що впливають з такого перетворення. Споживачі мають зрозуміти цінність нових технологій та заходів хотіти змінити свою поведінку і платити за продукти та послуги які нові учасники ринку можуть запропонувати в рамках інтелектуальних мереж.

Перевагами активного споживача над пасивним є:

- можливість самостійно генерувати енергію, що дозволяє забезпечувати більший рівень самостійності;
- можливість отримувати прибуток від продано надлишкової енергії;
- оптимізація використати енергії в залежності від миттєвих цін;
- підвищення рівня надійності енергопостачання та якості електроенергії в системі;
- пристосувати до графіка добового споживання електричної енергії, через використання систем керування навантаженням, що дозволяє без створення незручностей для споживачів та суттєвої зміни графіка споживання позитивно впливати на мережу;
- вирівнювання та оптимізація графіка споживання

У взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням, джерел розосередженої генерації активні споживачі можуть отримувати різного роду вигоди. Рівень активної участі споживачів і мета взаємодії з гравцями ринку залежать від різних персональних, поведінкових і контекстуальних характеристик споживачів. Серед найважливіших характеристик є:

- бажання бути енергонезалежним;
- гнучкість (можливість пристосування власного попиту на електроенергію та пропозиції виробленої енергії джерелах власної генерації);
- створення нового ринку енергії, орієнтованого на активного споживача може принести численні прибутки як для кінцевих користувачів, так і для суспільства;
- зменшення споживачів в мережах, які знаходився далеко від генеруючих потужностей, як наслідок - зменшення втрат в мережах;
- більш повне та прозоре інформування споживачів про стан споживання та плату за електроенергію;
- прибуткова участь на ринку електроенергії через компанії, що займаються керуванням потоками енергії, отриманої від джерел розосередженої генерації та комплексів активних споживачів;
- ефективніше споживання енергії;
- заощадження електроенергії;

Дане забезпечення вище наведених можливостей активних споживачів, стало можливим з розвитком сучасних комплексів АСКОЕ. Отже розглянемо системи АСКОЕ, з урахування потреб активного споживача електроенергії.

На ринку України досить велика кількість системи обліку:

1. ЕМН – Система «RACONET»
2. Landis + Gyr

3. TeleTec – Система Matrix
4. ADD Energy – система ADDAX- AM
5. Nik- NovaSyS

Найбільш поширеною системою в Україні являється продукція компанії «НІК», та їх програмне забезпечення NovaSyS.

Дана Система створена для вирішення існуючих і знову виникаючих завдань в сучасних умовах енергоринку:

- ліквідація безоблікового споживання електроенергії побутовим сектором;
- контроль побутових мереж для виявлення несанкціонованого забору електроенергії;
- моніторинг споживання і своєчасної оплати побутового споживання електроенергії;
- регулювання споживання електроенергії шляхом відключення боржників від електромереж;
- складання балансу електроенергії по районах, підстанцій, будинкам;
- планування енергоспоживання в мережах власника електроенергії;
- здешевлення і «полегшення» конфігурацій систем збору, зберігання та передачі комерційних даних про споживання електроенергії на верхній рівень.

Система NovaSyS, розроблена компанією «НІК», вирішує дані задачі шляхом реалізації наступних можливостей:

- збір даних обліку електроенергії з лічильників за наступними каналами зв'язку: Ethernet, PLC, радіоканал;
- можливість збору даних без втрати точності показань незалежно від поверховості будинків та кількості споживачів в ньому;
- дистанційний моніторинг балансу;
- наявність у використовуваній апаратурі незалежної пам'яті, що фіксує всі несанкціоновані впливи на систему збору даних;
- віддалене управління підключенням / відключенням абонентів до / від електромережі;
- можливості безмежного розширення мережі опитування.

Висновки

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

УДК 621.316

Добровенко Д.Ю.
Кафедра електропостачання
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ МІСЦЬ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація: У даній роботі розглядається удосконалення процесу визначення координат оптимального розміщення джерел живлення в розподільних електричних мережах. Сформовано математичні моделі задач, для розв'язання яких було використано методи нелінійного програмування.

Ключові слова: системи електропостачання, центр електричних навантажень, теорія прийняття рішень, оптимальність, допустимість, математичні моделі.

Abstract: This paper considers the improvement of the process of determining the optimal coordinates of the location of power supplies for cable distribution networks. Mathematical models of these problems have been developed using nonlinear programming techniques.

Keywords: power supply system, center of electric load, Decision theory, optimality, admissibility, mathematical models.

Вступ. Одна з важливих задач проектування систем електропостачання (СЕП) споживачів електроенергії - задача вибору оптимального місця розташування живильних трансформаторних підстанцій або розподільних пунктів. Важливість задачі пояснюється тим, що від місця розташування джерел живлення (ДЖ) залежать техніко-економічні параметри десятків і сотень кабельних ліній розподільних електромереж, які прокладені від джерел живлення до споживачів електроенергії і несуть електричне навантаження цих споживачів. Від координат розміщення джерел живлення залежать такі показники розподільних мереж, як їх вартість, величина витрат на експлуатацію і, зокрема, вартість втрат електроенергії в лініях. Не дивно, що в останні десятиріччя задачі вибору оптимальних координат розміщення джерел живлення була присвячена значна кількість наукових робіт [1-6].

Мета та завдання дослідження. Формування математичних моделей з використанням методів нелінійного програмування в задачах оптимального вибору та керування системами розподілу електричної енергії. Дослідити, як будуть змінюватися техніко-економічні показники електричної мережі при зміні координат розміщення джерел живлення.

Матеріал та результат дослідження.

Перші методи визначення оптимальних координат розташування ДЖ [1,2] базувалися на понятті "центра електричних навантажень" (ЦЕН). Ці методи максимально орієнтовані на ручний спосіб розрахунку, тому були простими і не могли врахувати достатню кількість факторів, що впливають на вибір координат розміщення ДЖ. Така орієнтація методів спричинена тим, що на той час була недостатня доступність засобів обчислювальної техніки (ОТ) та необхідного для розрахунків математичного і програмного забезпечення для проектування СЕП. В роботах [3,4] було досліджено, що центр навантажень не мінімізує навіть моменту навантажень.

В роботі [5] було запропоновано один із перших методів визначення оптимальних координат розміщення ДЖ з використанням ОТ. За критерій оптимальності в даному методі прийнято мінімум річних приведених затрат. Недоліком даного методу є те, що показником ефективності розв'язку було обрано приведені затрати, визначені через питомі приведені

затрати ліній електропередачі, вони не враховували всіх складових витрат в мережу, що залежать від координат місць розміщення джерел живлення.

В роботах [3,4] було введено поняття центра мережі (ЦМ), як точки розміщення ДЖ, в якій було забезпечено мінімум функції приведених затрат мережі. В цих роботах вперше запропоновано визначення координат розміщення ДЖ виконувати в метричному просторі з неевклідовою метрикою, відстань між двома точками $a=(a_1;a_2)$ та $b=(b_1;b_2)$ в якому визначається за формулою

$$p(a,b)=|a_1-a_2|+|b_1-b_2| \quad (1)$$

Метрика виду (1) дозволяє більш адекватно врахувати геометрію реальної електричної мережі, коли лінії мережі прокладають уздовж прямокутних проїздів, створених технологічними та іншими будівлями промислового підприємства або міста. Це призводить до того, що функція приведених затрат стає негладкою. Тому найбільш розвинені та розповсюджені методи гладкої оптимізації не можуть гарантувати коректного розв'язання цієї задачі.

Сучасні універсальні широко розповсюджені системи автоматизованого проектування (САПР) дозволяють виконувати складні технічні, техніко-економічні та оптимізаційні розрахунки для широкого кола задач. В роботі [7] за допомогою таких САПР створено комп'ютерні моделі пошуку розв'язків цих задач, що значно прискорює отримання необхідних результатів та максимально спрощує процес впровадження розроблених моделей в практику проектування, завдяки широкому розповсюдженню сучасних універсальних обчислювальних систем.

Економічний аспект вибору перерізу провідників досі залишається предметом дискусій. Для економічних розрахунків в енергетиці, окрім критерію мінімуму дисконтованих затрат існує декілька інших критеріїв оптимальності. В даній роботі за критерій оптимальності вибору перерізів розподільних ліній 6-10 кВ прийнято мінімум **дисконтованих затрат (NPV)**, виходячи із положення нормативних документів [8,9], згідно з яким "критерій мінімуму дисконтованих затрат доцільно застосовувати у випадках, коли порівнюються варіанти технічного вирішення задачі, необхідність здійснення якої апріорно визначена, і не потрібна оцінка загальної ефективності інвестицій, при чому продукція, яка реалізується, у всіх варіантах однакова (за кількістю та режимом споживання)". Приклади розрахунку цього критерію було наведено у роботі [6].

В даній роботі розглядаються високовольтна (ВВ) та низьковольтна (НВ) мережі. Прийнято припущення, що все навантаження однорідне, що спрощує розрахункові моделі. Таким чином, в першій частині отримуємо розрахунки при повністю активному навантаженні, а потім порівнюємо з результатами другої моделі, де присутнє реактивне навантаження. В роботі розглядається двопроменева магістральна мережа. Дана мережа складається з житлового комплексу, живлення якого обслуговують n трансформаторних пунктів (ТП), кожен з яких живить m житлових будинків (ЕП) з потужністю P_{ij} та Q_{ij} . Відомі координати всіх ЕП $(x_{ij}; y_{ij})$ та джерела живлення (ДЖ) $(x_0; y_0)$. При проектуванні закладаємо кабель АВВГ $4 \times F_{l_{ij}}$.

Попереднім етапом для оптимізації в будь-якому з випадків є вибір мінімального перерізу КЛ, що живить кожний i -ий ТП. Тому наведемо вираз для розрахунку струму нормального режиму та перевірки кабелю обраного перерізу за струмом після аварійного режиму.

Струм у нормальному режимі

$$I_{l_{ij}} = \frac{S_{ij}}{2\sqrt{3}U_{nn}} \quad (2)$$

За даним струмом спочатку обираємо кабель $I_{don} \geq I_{l_{ij}}$.

Потім виконуємо перевірку за струмом після аварійного режиму:

$$I_{l_{ij}} = \frac{S_{ij}}{\sqrt{3}U_{nn}} \quad (3)$$

Кабель перевіряємо за умовою

$$K_{nep} K_1 K_2 I_{don} \geq I_{n/al.} \quad (4)$$

де K_{nep} – коефіцієнт перевантаження кабелю, $K_{nep} = 1,3$;

K_1 – коефіцієнт, що враховує температурні умови при прокладанні кабелю;

K_2 – коефіцієнт, що враховує кількість паралельно ввімкнених кабелів.

Якщо умови виконуються, то залишаємо вище обраний кабель, якщо ні – перевіряємо кабель наступного перерізу, доки не знайдемо такий, що буде задовольняти умові (4)

Приймаючи до уваги все вищеперераховане, отримаємо два пункти математичного аналізу для оптимізації заданої функції, кожен з яких буде складатися з двох підпунктів. Тому розглянемо ці пункти.

1. НВ мережа

На рисунку 1 зображено НВ мережу 0,4 кВ, що живить кожний i -ий ТП даного житлового комплексу. Від кожного i -го ТП живиться певна кількість m ЕП.

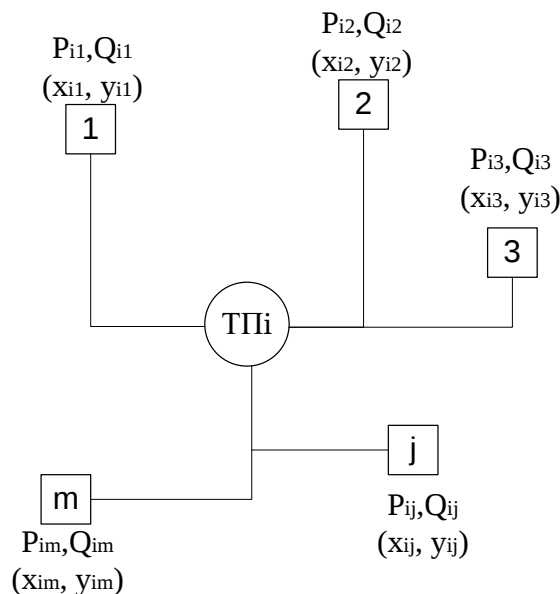


Рисунок 1 – План розташування ЕП, що живляться від кожного i -го ТП

1.1 Навантаження повністю активне

При цьому реактивне навантаження відсутнє, тобто, $S_{ij} = P_{ij}$, $\cos \varphi = 1$. В цьому випадку розрахунки значно спрощуються:

- капіталовкладення

Розмір необхідних капіталовкладень залежить від довжини КЛ (l_{ij}), переріз КЛ ($F_{l_{ij}}$), які впливають також на вартість монтажу КЛ. Отож отримаємо наступний вираз для кожного

i -го ТП

$$K_{\tau_i} = \sum_{j=1}^m l_{ij} (C_{l_{ij}} + M_{l_{ij}}),$$

де $C_{l_{ij}}$ – ціна КЛ l_{ij} обраного перерізу, грн/км;

$M_{l_{ij}}$ – вартість монтажу КЛ l_{ij} обраного перерізу, грн/км.

- Витрати на компенсацію втрат ЕЕ для кожного i -го ТП

$$B_{\varepsilon_i} = \frac{1}{4U_{\text{нн}}^2} \left(\sum_{j=1}^m P_{ij}^2 r_{0l_{ij}} l_{ij} \right) \tau_{\text{max}} C_0$$

де $r_{0l_{ij}}$ – активний погонний опір КЛ l_{ij} , що живить j -ий ЕП ТПі.

1.2 Навантаження активно-реактивне

При цьому у виразах для розрахунку капіталовкладень та витрат на компенсацію реактивної потужності під знаком квадратного кореня з'являються як активна, так і реактивна складові повної потужності P_{ij} та Q_{ij} , що ускладнює розрахунки.

2 ВВ мережа

На рисунку 2 зображено ВВ мережу 6-10 кВ, що живить даний житловий комплекс. Від ДЖ живляться n ТП.

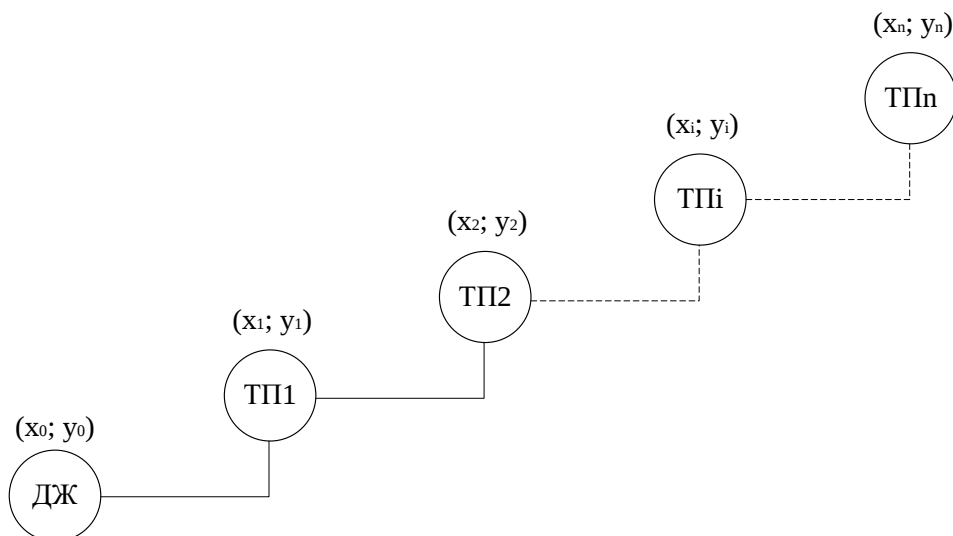


Рисунок 2 – План розташування ТП, що живляться від даного ДЖ

2.1 Навантаження повністю активне

Дана мережа виконана двопроменевою магістральною лінією, тому розрахунки дуже ускладнюються, тепер враховуються не тільки навантаження ЕП даного ТП, але й усіх, що живляться через дане ТП, а також розташування сусідніх ТП.

При цьому $\cos \varphi = 1$ та у виразах для розрахунку капіталовкладень та витрат на компенсацію реактивної потужності під знаком квадратного кореня з'являються як активна, так і реактивна складові повної потужності P_{ij} та Q_{ij} , що ускладнює розрахунки.

До розрахунків попереднього розділу додаватимуться також навантаження на шини ВН ТП. Також необхідно обрати оптимальний переріз живлячого всі ТП кабелю, для чого розраховується навантаження в нормальному та післяаварійному режимі, аналогічно до

виразів (2), (3) та (4). Після чого до виразу капіталовкладень додається ціна та вартість монтажу ВВ КЛ.

2.2 Навантаження активно-реактивне

Аналогічно вираз змінюється як у пункті 1.2

В даній роботі визначення координат розміщення ДЖ виконуватимемо за критерієм мінімуму дисконтованих затрат в мережу, як для випадку евклідової, так і неевклідової метрики. Неевклідова метрика дозволяє більш адекватно врахувати геометрію реальної електричної мережі, коли лінії мережі прокладають вздовж прямокутних проїздів, створених будівлями міста. Проте для наглядного прикладу та порівняння розглянемо обидва варіанти:

1 За евклідовою метрикою

$$l_{ij} = \sqrt{(\Delta x_{ij})^2 + (\Delta y_{ij})^2} = \sqrt{(x_i - x_{ij})^2 + (y_i - y_{ij})^2}$$

2 За неевклідовою метрикою

$$l_{ij} = |x_i - x_{ij}| + |y_i - y_{ij}|$$

Обмеженнями до функції дисконтованих затрат будемо вважати перевірку НВ ліній за допустимими втратами напруги в нормальному режимі. Тому отримаємо для кожного i -го ТП m обмежень вигляду:

$$\begin{aligned}\Delta U_{\text{дон}} &= 5\% \\ \Delta U_{l_{ij}} &\leq \Delta U_{\text{дон}}\end{aligned}$$

Таким чином, враховуються обмеження наступного виду

$$\frac{P_{ij} r_{0l_{ij}} l_{ij}}{20U_{\text{нн}}^2} \leq \Delta U_{\text{дон}},$$

де $\Delta U_{\text{дон}} = 5\%$.

Висновки. Сформувавши розрахункові моделі функції та обмежень, можна прийти до висновку, що для таких складних оптимізаційних математичних моделей актуальним та необхідним є застосування сучасних систем, таких як Matlab, Mathcad, Excel. Тому доцільною є розробка та удосконалення комп'ютерних моделей задач проектування систем електропостачання в середовищі саме таких САПР з максимальним використанням можливостей цих систем та інтегруванням за необхідності в їх середовище нових спеціалізованих методів та програм розв'язування окремих проектних задач.

Також, з огляду на вигляд розрахованих функції та обмежень, в роботі запропоновано до використання такі методи нелінійного програмування, як метод покоординатного спуску, метод Лагранжа та градієнтний метод.

Література

1. Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1967. - 387 с.
2. Бутков А. Н. Определение центра нагрузок при выборе источника питания электроэнергии // Электрические станции – 1957. - №6.- С. 14-15.
3. Каждан А. Э. Центр сети // Электромеханика - 1968. - №1 - С. 35-37.
4. Каждан А. Э. Общая задача построения промышленной электрической сети. Центр промышленной электросети // Оптимизация режимов систем электроснабжения промышленных предприятий. - М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1973. - С. 13-19, 30-36.

5. Чмутов А. П. Оптимальное размещение источников питания электроэнергией // Электричество. - 1969. - №12. - С. 29-35.
6. Баркова Т.С. Математичні моделі оптимізації вибору центра мережі [Електронний ресурс] // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2011. – 398 с.. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: http://en.iee.kpi.ua/files/doc/2011r_Konferentsiya_na_IYeYe.pdf.
7. Камінський А. В., Мокін Б. І. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрів електричних мереж. Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. - 122 с.
8. Методика определения экономической эффективности капитальных вложений в энергетику. Энергосистемы и электрические сети: ГКД 340.000.002-97: Утверждены приказом Минэнерго Украины от 20.01.97 №1ПС и введены в действие с 01.01.98. -Киев, 1997. - 54 с.
9. Методика визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику: ГКД 340.000.001-95: Затв. наказом Міністерства Енергетики України від 23.02.95 №1 за узгодженням з Міністерством Економіки України (лист від 06.01.95 №44-67/7) та Держкоммістобудування України (лист від 04.01.95 №10/1) та введені в дію з 01.03.95. - Київ, 1995. - 34 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДИФІКАЦІЙ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

У статті досліджено наявні можливі модифікації для сонячних електростанцій, представлених на ринку, розглянуто особливості їх встановлення, роботи та показано вплив на ефективність генерації. Визначено, які більш доцільно буде встановлювати на автономних станціях, а що ефективніше для тих, які віддають енергію в мережу. Також наведено статистику підвищення ефективності для окремих елементів, що можна встановити на сонячній електростанції.

Ключові слова: сонячна електростанція, акумуляторна батарея, трекер, інвертор, ефективність генерації, контролер.

The article explored the available possible modifications for solar power stations (SPS) presented on the market, considers the features of their installation, operation and determines the impact on generation efficiency. It has been determined which will be more expedient to install at autonomous stations, and which will be more effective for those that give energy to the network. The article also provides an infographic of efficiency gains for individual elements that can be installed on the solar power stations.

Key words: solar power station, rechargeable battery, tracker, inverter, generation efficiency, controller.

Актуальність теми. В умовах сучасного розвитку енергетики, світ ставить на меті зменшення викидів парникових газів в атмосферу, мінімізувати використання не відновлюваних джерел енергії та підвищення енергоефективності всіх сфер життя та діяльності людини. Це в свою чергу призводить до пошуку нових та вдосконалення вже існуючих джерел відновлюваної енергетики: вода, вітер, сонце, біомаси й інші.

Варто враховувати той фактор, що використання таких технологій передбачає дотримання певних факторів: сприятливі погодні умови (швидкість вітру, сонячна інсоляція і т.д.), наявність достатніх земельних площ для встановлення, можливість передачі енергії без великих втрат. На території нашої держави найбільш доцільно буде використовувати сонячну енергію.

Кожна сонячна електростанція (СЕС) має різний рівень генерації, що може змінюватись у залежності від пори року, часу доби, кількості інсоляції та від рівня споживання підключених споживачів. Тому необхідно встановлювати додаткові елементи (модифікації) для зменшення впливу цих факторів.

Метою дослідження є вивчення наявних на ринку можливих модифікацій для СЕС, особливостей їх встановлення та їх вплив на ефективність генерації.

Виклад основного матеріалу. СЕС – це комплекс для перетворення сонячної радіації в електричну енергію. Вченими й інженерами створено різні конструкції, які здатні генерувати електричну енергію з енергії сонця [1].

Види СЕС:

- фотоелектричні СЕС – такі, що перетворюють сонячну енергію в електроенергію за допомогою фотоелектричного генератора;
- термодинамічні СЕС – такі, що перетворюють сонячну енергію в теплову, а потім в електричну [2].

До основних складових сонячної електростанції входить:

- сонячна панель;

- інвертор;
- розподільний щит;
- лічильник (однонаправлений – для автономних СЕС, двонаправлений – для передачі в електромережу);
- споживачі енергії.

На даний момент на ринку різні виробники пропонують велику кількість можливих додаткових технічних модифікацій, які використовуються для різних задач та по різному впливають на роботу. Серед них можна виділити:

- акумуляторні батареї (АБ);
- контролери;
- трекери;
- системи моніторингу;
- захист від затінення/забруднення.

АБ найчастіше встановлюються на автономних СЕС задля забезпечення безперебійної роботи всього електричного обладнання. У залежності від особливостей роботи, встановлення та розрахункового часу використання, можна використати такі типи АБ:

1. Гелеві та AGM

Гелеві (GEL) накопичувачі для СЕС мають такі особливості: гелевий електроліт гарантує відсутність витікання; мають можливість встановлення під різним кутом (до 90 °); відсутнє виділення шкідливих газів; температурний режим роботи від -35 °С до +50 °С; при пошкодженні корпусу не втрачають своїх технічних характеристик; здатні витримувати до 800 циклів роботи; термін експлуатації 15 років.

Батареї AGM: оснащені абсорбуючими склопакетами, в яких знаходиться у зв'язаному стані електролітна речовина; можна встановлювати в будь-якому положенні; глибина розряду становить близько 80 %; здатні витримати до 500 циклів роботи; температурний діапазон використання від 15 до 25 °С; термін експлуатації не перевищує 5 років [3].

2. Лужні

Дані накопичувачі потребують періодичне сервісне обслуговування; мають до 1500 циклів роботи; потребують добре вентиляційного приміщення; пристосовані до великих струмів; мають відносно не високу ціну в порівнянні з іншими представниками [3].

3. Літієві

До основних характеристик відноситься: невеликі розміри; висока ємність; швидка зарядка; температурний режим роботи від 5 до 20 °С; здатні витримувати глибокі розряди; здатні витримати 300-500 циклів роботи [4].

4. OPzS

Принцип роботи апаратів аналогічний свинцево-кислотним конструкціям і має такі характерні особливості: термін експлуатації до 20 років; здатні витримувати до 1500-1800 циклів роботи; низький рівень саморозряду; прозорий корпус, що дає змогу слідкувати за кількістю електроліту [3].

При встановленні АБ на СЕС, необхідне використання контролера, адже пряме підключення сонячної станції буде малоефективним, а також може привести до швидкого виходу з ладу обладнання, по причині перезаряду або надмірного глибокого розряду.

Контролер – це електронний пристрій, який контролює й управляє процесом заряду АБ. Існує два основних типи: PWM (широотно-імпульсна модуляція) та MPPT [5].

Переваги PWM контролерів: простота; можливість використання на малопотужних станціях; відносна дешевизна; автоматична робота, без використання додаткових налаштувань [6].

МРРТ має такі особливості: відсутність втрат при заряді АБ; оптимізація роботи при затіненні частини панелей; можливість працювати на потужних станціях; можливість встановлення на великій відстані від панелей [7].

Трекери встановлюються на каркасах сонячних панелей і слугують для підвищення генерації СЕС. Сонячні трекери поділяються на основних види: статичні та динамічні.

Статичні використовуються досить рідко, адже вони сильно поступаються своїми характеристиками.

Динамічні – найбільш поширені й ефективні системи, які представлені на ринку. Вони дають можливість максимально використовувати сонячну інсоляцію протягом світлового дня. Найбільш ефективне вироблення електроенергії відбувається коли фотоелементи розташовані перпендикулярно до сонячних променів.

Сонячні батареї, встановлені на рухомому трекері, автоматично протягом дня змінюють своє місце розташування та рухаються за сонцем, а в залежності від пори року автоматично змінюють кут нахилу.

Системи управління трекерами поділяються на три види: активні, пасивні та комбіновані.

Активна – орієнтація системи на максимальне сонячне освітлення, проводиться за допомогою сенсора. У порівнянні зі статичними трекерами ефективність більше на 49 % [8].

Пасивна – панелі орієнтуються за сонячним календарем, а ефективність їх вище в порівнянні зі статичними системами на 39 % [9].

Комбінована – це система активного типу, яка в разі несправностей переходить у пасивний режим.

Сонячні трекери є двох видів: одноосьові та двохосьові.

Одноосьові – мають одну ступінь свободи. Вісь обертання спрямована на північний меридіан. Однак при використанні додаткових допоміжних пристроїв границі орієнтування розширюються.

Існують різні можливості виконання одноосьових трекерів (рис. 1): похилі (а), горизонтальні (б), вертикальні (в) та полярні.

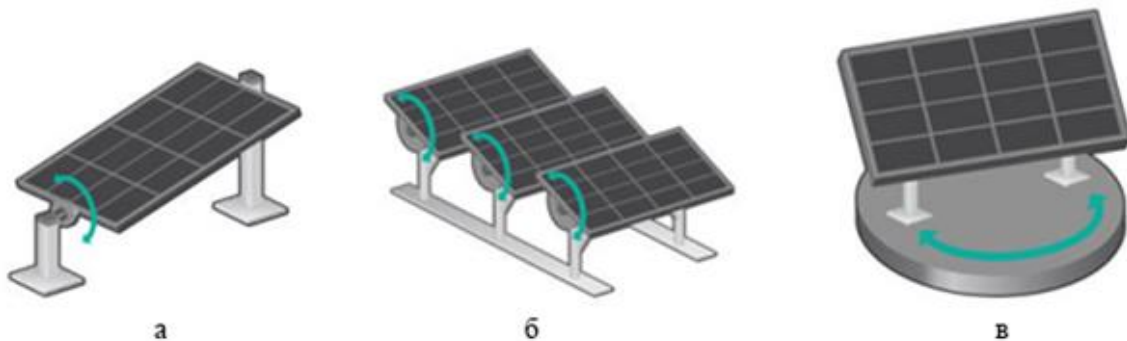
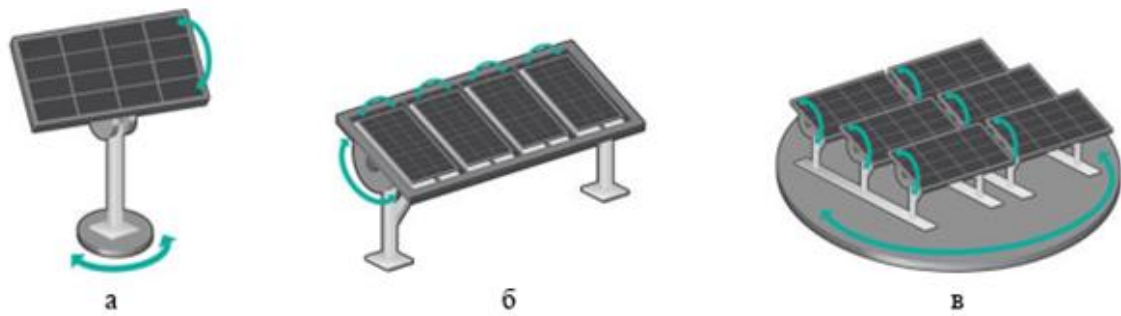


Рисунок 1 – Види одноосьових трекерів [10]

Двохосьові – мають два ступені свободи, вони та виступають осями обертання. Вони працюють одночасно, але не пов'язані одна з одною. Одна виступає основною, тоді як інша виконує роль допоміжної. Зазвичай основна вісь це та, яка фіксується до поверхні, де буде розташована станція (земля, дах, фундамент).

Розрізняють два види двохосьових трекерів ТТДАТ (на несучому стовпі) і ААДАТ (з двома осями обертання й опорною площиною) (рис. 2). Такі системи потребують мінімум догляду та мають автоматичний хід. Ефективність становить більше на 30 % в порівнянні з одноосьовими [11].



а – класичний; б – з рамкою; в – на обертальній базі

Рисунок 2 – Види двохосьових трекерів [11]

Конструкція трекерних систем повинна витримувати перевантаження від сильних поривів вітру, дощу та снігу. При збільшенні парусності конструкції (габаритності сонячної станції), здійснюється і навантаження на трекер. Для вирішення цієї задачі необхідно перерозподілити навантаження шляхом збільшення габаритних розмірів всієї конструкції [12].

Пристрої моніторингу. При збільшенні потужності станції, кількості обладнання та необхідності здійснювати контроль усіх показників якості виробленої енергії, з'являється необхідність встановлення додаткових, більш складних систем моніторингу.

Моніторинг і контроль системи має важливе значення для безперебійного функціонування та максимального генерування будь-якої сонячної станції. Найпростіший моніторинг може бути виконано шляхом зчитування значень на дисплеї (ПК-дисплей, смартфон), що є частиною майже кожного інвертора, який підключено до мережі. На екрані відображаються найбільш важливі параметри інвертора й електромережі, такі як: потужність постійного струму (DC), змінний струм мережі (AC), напруга в системі. Для більш складного моніторингу та контролю даних, потрібно встановлювати додаткові елементи, що будуть відслідковувати: температуру модуля, температуру навколишнього середовища, кількість сонячної інсоляції, швидкість вітру, а також можливе забруднення або затінення панелей. Також необхідно збільшувати продуктивності обчислювальних машин для подальшої реєстрації, зберігання, відтворення й аналізу отриманих даних [13].

—Для дистанційного керування та моніторингу може використовуватись віддалене підключення: аналоговий модем, *ISDN*, *GSM* і т.п. Найбільш поширеним з'єднанням для місцевого/дистанційного управління є *USB* (іноді навіть *RS232*), локальний моніторинг виконується за допомогою *RS485*. Для бездротового зв'язку найчастіше встановлюється *Bluetooth* і *Wi-Fi*. Також останнім часом з'явилась можливість віддаленого моніторингу за допомогою супутникового зв'язку (*SPYCE*) [14].

Захист від затінення/забруднення. При частковому затінненні панелей або їх забрудненні відбувається значне падіння генерації сонячної станції. Для того, щоб мінімізувати такі впливи можуть бути використані наступні технічні рішення: встановлення мікроінверторів або оптимізаторів потужності.

Система, в якій використовуються мікроінвертори передбачає встановлення їх для кожної окремої панелі або масиву. У схемах, оснащених мікроінверторами, при потрапінні тіні на одну з панелей, генерація інших не падає, адже кожна з них має особистий інвертор. Схему підключення представлено на рис. 3 [15].

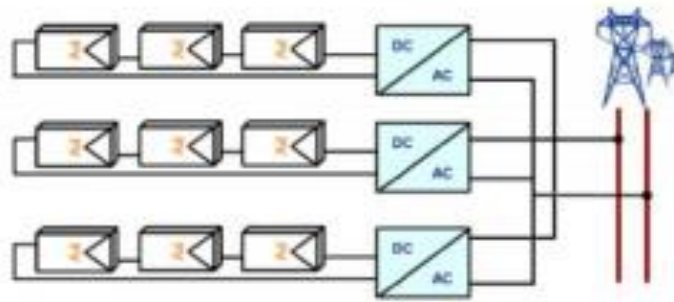


Рисунок 3 - Схема підключення мікроінверторів

Оптимізаторами потужності є поєднання двох технологій – стрінгового (рядкового) підключення панелей та мікроінвертора. Оптимізатор вимірює якість електроенергії, що генерується на кожній панелі та направляє цю інформацію на головний інвертор. Таким чином, оптимізатори потужності можуть відключити з масиву ту панель, яка затінена та впливає на роботу всієї системи [16].

Висновки. На даний момент на ринку представлено великий вибір можливих модифікацій для сонячних електростанцій, що дає можливість підвищити їх ефективність у всіх аспектах: генерація, автономність або стабільність. Більшість з елементів у сучасних реаліях потребують обов'язкового використання, але необхідно і враховувати специфіку роботи (автономна чи генерація для продажу). Адже на потужних станціях не доцільно буде встановлювати АБ, тоді як більш ефективним буде використання трекерів і більш глибокого моніторингу стану та роботи всієї системи в цілому. Тому вже на етапі планування необхідно визначати, яка з модернізацій буде більш доцільна та економічно ефективна.

Список використаних джерел

1. Что такое солнечные электростанции и где их строят? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://greentechtrade.com.ua/ru/chto-takoe-solnechnye-elektrostantsyy/> (дата звернення 14.05.20).
2. Виды солнечных электростанций [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.gigavat.com/ses_vidi.php (дата звернення 14.05.20).
3. Особенности выбора аккумулятора для солнечных батарей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://vinur.com.ua/ua/aboutus/usefull-info/articles/340-osobennosti-vybora-akkumulyatora-dlya-solnechnykh-batarej> (дата звернення 14.05.20).
4. Zhao, Y. An Aqueous Lithium-Iodine Battery with Solid Polymer Electrolyte-Coated Metallic Lithium Anode [Text] / Y. Zhao, N. B. Mercier, H. R. Byon // ChemPlusChem. — 2014.
5. Контроллеры заряда для солнечных систем. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.solbat.su/dopobr/kontzar/> (дата звернення 14.05.20).
6. Контроллеры заряда аккумуляторов от фотоэлектрической батареи с широтно-импульсной модуляцией тока заряда [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.solarhome.ru/control/pwm> (дата звернення 14.05.20).
7. Смысл работы солнечного MPPT контролера [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://pusveter.ru/686/smysl_raboty_solnechnogo_mrt_kontrollera.html (дата звернення 14.05.20).
8. Сонячні панелі можуть генерувати на 30% більше електроенергії завдяки трекерам [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/Sonyachni-paneli-mozhut-heneruvaty-na-30-bilsh-elektroenerhiyi-zavdyaky-trekeram/> (дата звернення 14.05.20).
9. Двухосные трекеры [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ussolar.co.ua/?page_id=9&lang=uk (дата звернення 14.05.20).

10. Bosman, L. A Decision Support System to Analyze, Predict, and Evaluate Solar Energy System Performance: PVSysCO (photovoltaic System Comparison) / L. Bosman. – The University of Wisconsin-Milwaukee, 2014. – 143 p.
11. Автоматична система кріплення as-sunflower з функцією самоналаштування [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eximsolar.eu/avtomatychna-systema-kriplennya-as-sunflower-z-funkciyeyu-samonalashtuvannya> (дата звернення 14.05.20).
12. Трекеры для солнечных электростанций [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.alternative-energy.com.ua/vocabulary/трекеры-для-солнечных-электростанций/>
13. Бацала, Я. В. Удосконалення засобів контролю параметрів електроенергії відновлювальних джерел енергії / Я. В. Бацала, І. В. Гладь, О. І. Кіянюк // Нафтогазова енергетика. – 2015. – № 1(23). – С. 52-60.
14. Jackson, J. Energy monitoring of a SMME photovoltaic power system / J. Jackson, S.P D. Chowdhury // Conference: 2017 52nd International Universities Power Engineering – doi: 10.1109/UPEC.2017.8231989
15. Войтех В.О. Застосування мікроконтролерів компанії Microchip серії dspic33 MC для керування напівпровідниковими інверторами напруги // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2016. – Вип. 43. – С. 107–111
16. Охоткин Г.П., Серебrenиков А.Г. Основные принципы построения автономных солнечных электростанций [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.scienceeducation.ru/106-7345> (дата звернення 14.05.20).

Лисий В. В.

СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 110 КВ ТА ВИЩЕ І ЇХ ПРОГРАМУВАННЯ

Метою статті було відобразити мій план по здійсненню та написанню магістерської дисертації, яка є своєрідним продовженням теми, що була описана та вирішена в дипломній бакалаврській роботі.

В ході виконання статті приведено огляд актуальності даної теми, приведені та поставлені чіткі завдання, представлено способи здійснення реєстрації, а також засоби у вигляді цифрових реєстраторів та систем реєстрації. Розглянуто такі системи та комплекси як ІДК «Регіна», Система WAMS «Регіна Ч», КРАС та РЕКОН.

Ключові слова: *моніторинг енергетичних систем, моніторинг, реєстрація цифрових сигналів, цифровий реєстратор, повітряні лінії, високовольтні лінії, електрична підстанція*

The purpose of the article was to reflect my plan for the implementation and writing of a master's thesis, which is a kind of continuation of the topic that was described and solved in the bachelor's thesis.

In the course of the article, an overview of the relevance of this topic is given, clear tasks are given and set, methods of registration are presented, as well as tools in the form of digital recorders and registration systems. Such systems and complexes as IDC "Regina", WAMS system, CREE and RECON are considered

Вступ

Метою роботи є дослідження та аналіз систем моніторингу високовольтних електричних мереж.

В роботі планується створити систему, в якій буде відбуватись опит підстанцій в автоматичному режимі та збір даних по роботі їх мереж.

Отримані сирі дані будуть зібрані та передані на центральний вузол, де буде відбуватись аналіз на більш глибокому рівні, за рахунок чого всі дані можна легше контролювати, усувати всі помилки в роботі мережі, а також запобігати виникненню та уникати серйозних проблем.

Актуальність теми

Ефективність і надійність роботи електроенергетичних систем і об'єктів в значній і зростаючій мірі забезпечується одержанням інформації про їх властивості та використанням цієї інформації в системах контролю, діагностування, розпізнавання режимів, автоматизованого та автоматичного керування. Але класичне вимірювання величин, здійснюване автономними функціональними пристроями чи підсистемами, надає досить обмежену, не прив'язану до шкали вимірювання єдиного часу і не завжди необхідної точності інформацію. На декілька порядків більший обсяг інформації для зазначених інформаційних систем забезпечується моніторингом – спеціально організованим поточним спостереженням за зміною значень величин в залежності від різних впливаючих на них факторів та поточним оцінюванням стану енергосистеми та установок. Тому вирішення проблеми моніторингу в електроенергетиці надзвичайно актуально, оскільки дозволяє зробити суттєвий крок у підвищенні рівня роботи електроенергетичних систем.

Проблему моніторингу в електроенергетиці необхідно вирішувати починаючи зі створення системи понять та термінів моніторингу і закінчуючи забезпеченням енергетики, перш за все України, сучасними системами моніторингу.

З цією метою вводяться визначення класифікаційних ознак моніторингу: типу моніторингу, процедури моніторингу, операції моніторингу та системи моніторингу.

Типи моніторингу визначаються тим, який характер загальної кінцевої мети моніторингу.

Процедура моніторингу – закінчене перетворення інформації, яка дозволяє досягти поставленої мети моніторингу та одержати кінцевий інформаційний продукт.

Операція моніторингу – проміжне, локальне перетворення інформації, що дозволяє досягти певної проміжної мети, але не дає кінцевого інформаційного продукту. Це часто такі перетворення як первинне вимірювальне перетворення, масштабування, порівняння, АЦП та ЦАП та багато інших.

Інформаційні процедури є упорядкованим і цілеспрямованим комплексом кількох інформаційних операцій. Рідко процедура моніторингу складається з однієї операції і тільки в цьому випадку ця операція може бути одночасно і процедурою моніторингу. Назва процедури моніторингу, як правило, визначається назвою кінцевої інформаційної операції.

Система моніторингу – технічний засіб, за допомогою якого здійснюється процедура моніторингу. Засіб здійснення операції будемо називати підсистемою моніторингу.

Хоча поняття "процедура" і "операція" тісно взаємопов'язані з поняттями "система процедури моніторингу" та "система операції моніторингу", але між ними є принципова відмінність. Вона полягає у тому, що перша означає дію, виконання, а друга – засіб реалізації процедури або операції.

Поняття "процедура", "операція" більш узагальнені поняття також по відношенню до понять "система моніторингу", "система операції", в тому сенсі, що і процедуру, і операцію можна реалізувати з однаковим успіхом за допомогою багатьох різних систем.

Завдання моніторингу в електроенергетиці

Основні завдання моніторингу в електроенергетиці можна визначити наступним чином:

- негайне, в режимі online, забезпечення інформацією в необхідному, інколи досить малому реальному часі автоматичного керування (автоматичного регулювання, автоматики, релейного

- захисту, стеження та ін.);

- негайне, в режимі online, забезпечення інформацією автоматизованого та ручного оперативного-диспетчерського керування;
- накопичення даних, створення баз даних, баз знань, архівів;
- проведення ретроспективного (тенденції, напрями, оцінки розвитку), поточного (спостереження, контроль, діагностика, розпізнавання образів) та перспективного (прогноз, планування) аналізу ситуацій та оцінка стану об'єктів моніторингу;
- організація передачі та обміну моніторинговою інформацією між об'єктами та суб'єктами, що мають відношення до технологічних процесів в електроенергетиці.

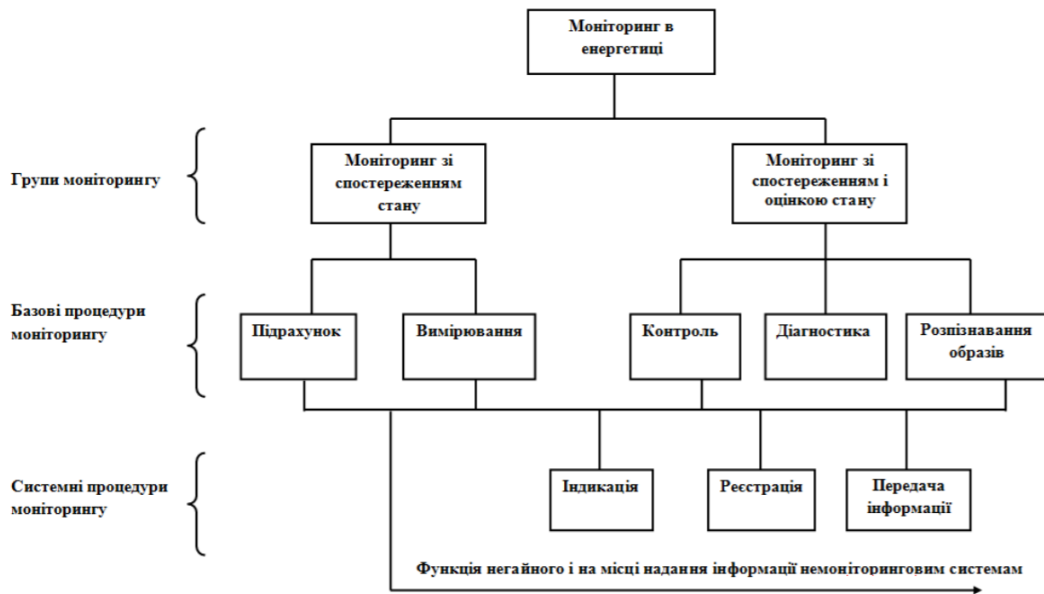


Рис.1 – Схема здійснення моніторингу в електроенергетиці за функціональною ознакою

Використання цифрових реєстраторів для здійснення моніторингу електричних мереж

Наведу опис групових реєстраційних комплексів українського виробництва та найбільш поширених в Україні. Всі комплекси використовуються спільно з електромеханічними або аналоговими пристроями захисту, які не мають вбудованих засобів реєстрації та осцилографування. Вони розроблялися окремо для різних цілей, хоча наразі їх можливості схожі.

Інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна» призначений для реєстрації аналогових та дискретних сигналів, аналізу розвитку аварійних ситуацій, оцінки функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики, визначення місця пошкодження при коротких замиканнях на лініях електропередачі, визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів, побудови добової відомості режимів, проведення фазового та гармонічного аналізу синусоїдальних сигналів, виділення симетричних складових в трифазних мережах змінної напруги, виведення інформації у вигляді текстових повідомлень, графіків і таблиць на екран дисплею і на друк, а також передачі зареєстрованої та обробленої інформації на будь-які рівні керування.

Система WAMS «Регіна Ч» призначена для:

- моніторингу в реальному часі режимних параметрів роботи енергосистем, стійкості, коливань, поточних значень кутів та частоти, режимів роботи основних механізмів АЕС, в тому числі ГЦН, при пуску, роботі та гальмуванні агрегатів, стану засобів регулювання напруги;

- вимірювання сили, напруги, потужності, фази та частоти змінного струму;
- автоматичної реєстрації ненормальних режимів роботи;
- зберігання в пам'яті результатів вимірювання;
- програмної обробки вимірювальної інформації, виведення її у вигляді цифрових масивів та текстових повідомлень, графіків і таблиць на монітор та друк, а також передачі її на будь-які рівні з прив'язкою до сигналів точного часу, які отримують від GPS приймача.

- Система може використовуватись для контролю електричних параметрів іншими користувачами в різних галузях, в тому числі, в складі інформаційно-вимірювальних та комплексів керування.

Комплекс реєстрації аварійних подій(КРАС) складається з блоків реєстрації розподілених по об'єктах, концентратора і персонального комп'ютера, на який передаються дані і, за допомогою якого, вони обробляються. Комп'ютер може одночасно використовуватися для інших цілей, бути відключеним. Дані накопичуються в самому реєстраторі, і після включення комп'ютера через концентратор передаються в нього, де записуються, обробляються, і звіди можуть бути передані в інше місце за телефонним модему. Пам'ять самих реєстраторів невелика, і її може не вистачити при численних подіях протягом вихідних або святкових днів, коли немає можливості передати її на верхній рівень.

Комплекс являє собою розподілену систему збору інформації про стан технологічного обладнання і складається з підсистеми центрального рівня і локальних підсистем, число яких визначається кількістю обслуговуваних об'єктів.

Локальна підсистема включає модулі реєстраторів, які накопичують інформацію про стан, як правило, одного - двох приєднань.

Програмно-апаратний комплекс РЕКОН розроблявся як абсолютно автономний пристрій для установки на необслуговуваних об'єктах і призначався в першу чергу для заміни світлопроменевих осцилографів Н13.

Комплекс оснащується символьним дисплеєм, і дисководом для дискети, на яку можна записати накопичену інформацію, яку потім обробити на комп'ютері. Само собою зрозуміло, що ця інформація може бути передана по локальній мережі або комутованого телефонному каналу.

Принцип здійснення реєстрації

Реєстратор фіксує два типи подій:

- Аварійна подія. В цьому випадку файл аварії містить інформацію про аналогові та дискретні сигнали;
 - Спрацьовування. Файл аварії містить тільки інформацію про дискретні сигнали.
- Існує можливість задавати два типи уставок: звичайні та комплексні.

Звичайні уставки:

- за збільшенням;
- за зменшенням;
- за виходом за діапазон;
- за швидкістю зміни сигналу.

Комплексні уставки поєднують поміж собою звичайні уставки, які поміж собою працюють за схемою «АБО».

Реєстратор зберігає зареєстровану подію при зникненні живлення.

Програма відображення виконує такі функції:

- автоматичне виведення експрес-інформації;
- швидкий пошук в архіві необхідного файлу аварійної інформації;
- вимірювання миттєвих та діючих величин аналогових сигналів на довільній ділянці осцилограми з відображенням вимірених значень на моніторі і в друкованому виді;
- Гармонічний аналіз аналогових сигналів;
- Вимірювання часових інтервалів між будь-якими точками осцилограми з відображенням вимірених значень на моніторі і в друкованому виді;
- Внесення додаткової пояснювальної інформації користувача у дані, що відображаються;
- Формування розрахованих за довільною формулою сигналів за допомогою вбудованого транслятора формул на основі записаних аналогових сигналів;
- Перетворення всього файлу аварійної події чи його вибраної частини в формат COMTRADE;
- Перетворення всього файлу аварійної події чи його вибраної частини в спеціальний текстовий формат для використання в електронних таблицях;

- Відображення даних нормального режиму;
- Відображення поточної мнемосхеми об'єкта;
- Визначення відстані до місця пошкодження при коротких замиканнях на ЛЕП з

врахуванням неоднорідності лінії, впливу відпайок та взаємоіндукції з лініями, що проходять в одних коридорах з контрольованою лінією;

- Передача зареєстрованої інформації на вищі рівні керування;

Програма відображення може одночасно налаштовуватись на роботу з базами даних кількох підстанцій.

Для представлення інформації використовуються такі форми:

- експрес-інформація;
- табличне представлення зміни стану дискретних сигналів;
- графіки аналогових сигналів;
- повне представлення зареєстрованої події;
- нормальний режим.

В програмне забезпечення входить OPC-сервер. Він призначений для передачі інформації, яка отримана від реєстратора іншим програмам, що не входять до складу комплексу. Такою програмою може бути будь-який OPC-клієнт, зокрема більшість SCADA-систем.

Висновок

- Використання систем моніторингу та діагностичних комплексів є доцільним як для режимів ОЕС України, так і для потужного електротехнічного обладнання, такого як генераторів, електричних ліній, струмопроводів, так як відсутність сучасних систем реєстрації часто робить неможливим встановлення причин аварії.

Перелік використаних джерел

1. Сопель Михайло Федорович. Моніторинг в електроенергетиці.- Дисертація д-ра техн. наук: 05.14.02, Нац. акад. наук України, Ін-т електродинаміки. - Київ, 2015.- 350 с.
2. Стогній Б.С. Особливості ОЕС України та науково-технічні проблеми забезпечення її розвитку [Електронний ресурс] / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, В. Я. Жуйков, А. Г. Баталов.
3. Оцінка технічного стану повітряних ліній електропередавання напругою від 35 до 750 кВ : методичні вказівки у двох частинах : СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2007 – . (Нормативний документ Мінпалиенерго України. Методичні вказівки).
4. Ю.в. Чернецька, а.і. Замулко («система моніторингу технічного стану розподільчих електричних мереж»
5. Крачковский Н. Н. Передача электрической энергии на дальние расстояния / Отв. ред. академик А. В. Винтер. — М. : Издательство Академии наук СССР, 1953.
6. ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення
7. Шлезінгер М.І., Мацелло В.В. Розпізнавання образів // У кн.: Стан розвитку інформатики в Україні. – Київ: Наук. думка, 2010. – С. 523–528.

УДК 621.311

Стрелкова Г.Г., канд.фіз.-мат.наук;

Стрелков М.Т., канд.техн.наук;

Людмирська В.В., магістр

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ДИНАМІКА ЦІН НА РОЗДРІБНОМУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ НОВОЇ МОДЕЛІ РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Анотація. Метою статті є визначення динаміки цін на роздрібному ринку електричної енергії в умовах функціонування нової моделі ринку електроенергії України для оцінки стану реалізації інструментів вільного ціноутворення при конкурентній взаємодії між попитом і пропозицією. В статті проведено аналіз комерційних пропозицій електропостачальників та визначена динаміка цін на роздрібному ринку електричної енергії для різних груп непобутових споживачів, розглянуто вплив лібералізованого середовища конкурентного оптового ринку електроенергії на роздрібну ціну на електричну енергію та наведено аналіз прогнозних та фактичних значень попиту на електричну енергію.

Ключові слова: роздрібною ринок електричної енергії, електропостачальник, роздрібна ціна на електричну енергію, непобутові споживачі, попит на електричну енергію.

Abstract. The goal of the paper was to define the dynamics of prices in the retail electricity market under the functioning of a new model of the electricity market of Ukraine to assess a state of implementation of free pricing tools at the competitive interaction between supply and demand. In the paper the analysis of commercial offers of electricity suppliers was conducted; the dynamics of prices in the retail electricity market for different groups of non-household consumers was defined; the impact of the liberalized environment of the competitive wholesale electricity market on the retail electricity price was considered, and analysis of the forecasted and actual values of electricity demand was given.

Key words: retail electricity market, electricity supplier, retail electricity price, non-household consumers, electricity demand.

Вступ

Однієї з головних цілей енергетичної політики Європейського союзу (ЄС) є лібералізація європейського ринку електроенергії. До найважливіших завдань лібералізації відноситься більш ефективна організація поставок електроенергії шляхом сприяння конкуренції та формуванню відповідного регуляторного середовища в енергетичному секторі. В деяких європейських країнах, таких як Велика Британія та Норвегія, цей процес почався вже понад двадцять років тому. Більшість країн-членів ЄС мають лібералізований ринок електроенергії від п'яти до десяти років. Незважаючи на довгий шлях деякі питання лібералізації ринку електроенергії все ще залишаються відкритими в цих країнах. Зокрема, це стосується роздрібних ринків електричної енергії, функціонування яких потребує додаткових заходів щодо посилення конкуренції та усунення регульованих роздрібних цін. Крім того, існують певні бар'єри між регіонами і країнами для фізичної інтеграції існуючих регіональних ринків електроенергії. Також потребує активізації політика заохочування сторони попиту до більш активної участі на ринку за допомогою реагування попиту [1-2].

В Україні впродовж останніх років також відбулись значні зміни, спрямовані на посилення процесів з реформування та лібералізації електроенергетичного сектору. Починаючи з 2017 року відбулось прийняття низки законодавчих та нормативно-правових актів і стратегічних документів відповідно до міжнародних зобов'язань країни, встановлених

підписанням Договору про заснування Енергетичного співтовариства та Угоди про асоціацію [3-4]. До головних змін у законодавчому середовищі слід віднести Закон України «Про ринок електричної енергії», що набув чинності у червні 2017. Цим Законом визначаються правила застосування в Україні тих конкурентних принципів та механізмів, що передбачені законодавством Енергетичного Співтовариства для ринків електричної енергії в країнах ЄС. Зокрема, Законом визначаються правові, економічні та організаційні засади функціонування нової моделі ринку електричної енергії та регулюються відносини, виникаючі між економічними агентами у сфері виробництва, передачі, розподілу, купівлі і продажу електроенергії та її постачання [5]. До іншого важливого документу відноситься ухвалена в серпні 2017 року Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”. В ній були визначені етапи реформування енергетичного сектору до 2020 року, які передбачали запровадження функціонування нової моделі ринку електроенергії та створення конкурентного середовища. Серед основних заходів з реалізації стратегічних цілей у сфері електрогенерації було запровадження функціонування конкурентного оптового ринку електроенергії. Також у документі зазначалась необхідність формування нових підходів до цінової і тарифної політики, сприяння малому та середньому підприємству в енергетичній сфері, а також затвердження умов діяльності роздрібного ринку електричної енергії [6].

Ринок роздрібної торгівлі електроенергією відіграє значну роль у всій електроенергетичній галузі, оскільки виконує функцію ключового зв'язку між кінцевими споживачами та системою ринку електричної енергії. Особливу значущість в цьому контексті мають питання добросовісної конкуренції серед учасників та встановлення прозорих обґрунтованих та недискримінаційних цін для кінцевих споживачів.

Мета та завдання

Метою роботи є визначення динаміки цін на роздрібному ринку електричної енергії в умовах функціонування нової моделі ринку електроенергії України для оцінки стану реалізації інструментів вільного ціноутворення при конкурентній взаємодії між попитом і пропозицією.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання.

1. Розглянути структурні перетворення ринку електричної енергії України, що відбулись впродовж впровадження нової моделі ринку.
2. Провести аналіз прогнозних та фактичних значень попиту на електричну енергію для непобутових споживачів.
3. Визначити динаміку цін на роздрібному ринку електричної енергії до та після впровадження моделі конкурентного оптового ринку електроенергії.

Матеріал і результати досліджень

Структурні перетворення ринку електричної енергії України при впровадженні нової моделі ринку. Закон України «Про ринок електричної енергії» був прийнятий у 2017 р., втім впровадження ринку електричної енергії за новою моделлю відбулось лише у 2019 р. Це було пов'язане з питаннями регулювання і необхідністю розробки та імплементації супутньої законодавчої нормативно-правової бази, що забезпечувала запровадження структурних перетворень, необхідних для забезпечення конкурентного ринкового середовища. Тому після прийняття Закону до 2019 р. в Україні існував перехідний період від моделі єдиного покупця до моделі конкурентного оптового ринку електроенергії. Для забезпечення незалежності операторів систем розподілу в цей час відбулось відокремлення мережевих функцій господарської діяльності електроенергетичного підприємства, що стосуються розподілу електричної енергії, від збутової функції, що включає постачання та/або виробництво електричної енергії. За підсумком, на базі колишніх обленерго була ліцензована діяльність 33 операторів систем розподілу електричної енергії (ОСР) та 25 компаній електропостачальників

універсальних послуг, а також видані нові ліцензії відповідно до вимог постанови НКРЕКП про затвердження Ліцензійних умов на провадження господарської діяльності з постачання електричної енергії споживачу від 27.12.2017 № 1469 [7-8]. Надалі, впродовж 2019 р., згідно з положеннями законодавчих та нормативно-правових актів України перехід до нової моделі ринку відбувався в два етапи.

Починаючи з 01.01.2019 електропостачальники та ОСР почали виконувати свою господарську діяльність за новими правилами та у відповідності до нових Ліцензійних умов. Для виконання гарантій щодо функціонування конкурентного оптового ринку електроенергії, а також купівлі електричної енергії об'єктів електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії за встановленим “зеленим” тарифом, у квітні 2019 р. Кабінетом Міністрів України була прийнята постанова про утворення державних підприємств “Гарантований покупець” та “Оператор ринку” на базі філій державного підприємства “Енергоринок” [9]. Таким чином, впродовж першого етапу, який тривав з першого січня до кінця червня 2019 року, була розпочата робота роздрібного ринку електричної енергії за новими правилами. Учасниками роздрібного ринку стали електропостачальники, оператор системи передачі, ОСР та інші учасники ринку, які надають послуги, пов’язані з постачанням електричної енергії споживачам, споживачі електричної енергії та виробники електричної енергії, які підпадають під визначення розподіленої генерації. Другий етап впровадження нової моделі, незважаючи на деякі складнощі, почався з 1 липня 2019 року. На цьому етапі була розпочата робота ринку на добу наперед, внутрішньодобового ринку, ринку двосторонніх договорів, балансуючого ринку, а також ринку допоміжних послуг.

З появою даних ринків, електропостачальники отримали можливість самостійно обирати торговельний майданчик для закупівлі електричної енергії. Втім найнижчі ціни характерні для ринку двосторонніх договорів, а також ринку на добу наперед. Якщо постачальнику потрібно купувати додаткові обсяги електроенергії, або продавати надлишки, то це можливо на балансуючому ринку. Втім за закупок додаткових обсягів ціна на цьому ринку зазвичай найвища, а для продажу надлишок – найнижча. Тому одним з найважливіших факторів у зменшенні цін електропостачальника для кінцевих споживачів є точність прогнозування попиту на електричну енергію.

Аналіз прогнозних та фактичних значень попиту на електричну енергію для побутових споживачів. З початку впровадження нової моделі ринку електричної енергії з’явилося конкурентне середовище для всіх гравців ринку та вільне ціноутворення на роздрібному ринку електричної енергії. Сьогодні споживачі можуть вільно обирати собі електропостачальника, орієнтуючись на цінові пропозиції. Крім постачальників, крупні підприємства мають можливість самостійно займатися купівлею електроенергії, що зменшує виробничі витрати та собівартість продукції. Тому якщо до впровадження нової моделі ціни у постачальників були на одному рівні, то зараз між компаніями з’явилась жорстка боротьба за споживачів та частку ринку. Внаслідок цього компанії-електропостачальники намагаються зменшувати свої витрати і покращувати конкурентоспроможність на ринку електроенергії в різний спосіб. Це можливо зробити, наприклад, за рахунок зменшення частки закупок на балансуючому ринку та проведенню закупок за вигідними цінами імпоротної електроенергії. Втім, для провадження усталеної, планової господарської діяльності, отримання відповідної частки ринку, зменшення власних затрат та формування конкурентної ціни, торговельна діяльність електропостачальників має базуватися на ефективних інструментах прийняття управлінських рішень. Одним з найпотужніших серед них є застосування моделей та методів прогнозування для визначення попиту споживачів на електричну енергію.

Аналіз прогнозних та фактичних значень попиту на електричну енергію для побутових споживачів було проведено на прикладі конкретних даних компанії електропостачальника, основна кількість споживачів якої підписали договір по розподілу з оператором системи

розподілу АТ «Укрзалізниця» філія Енергозбут. Аналіз проводився для двох непобутових споживачів, один з яких акціонерне підприємство з виробництва та оброблення скляних виробів, у тому числі технічних (площадка вимірювання споживача належить до групи «а»), а інший – приватний підприємець (площадка вимірювання споживача належить до групи «б»).

Порівнянна характеристика прогнозних та фактичних значень попиту на електричну енергію для споживачів з площадками вимірювання груп «а» та «б» наведена у Табл.1.

Таблиця 1 - Порівнянна характеристика прогнозних та фактичних значень попиту на електричну енергію для споживачів з площадками вимірювання груп «а» та «б»

Показники	Акціонерне підприємство (група «а»)			Приватний підприємець (група «б»)		
	Прогнозне значення, кВт·год	Фактичне значення, кВт·год	Відносне відхилення, %	Прогнозне значення, кВт·год	Фактичне значення, кВт·год	Відносне відхилення, %
01. 2019	30 000	18 021	60%	2 000	2 001	100%
02. 2019	30 000	21 410	71%	2 000	1 648	82%
03. 2019	30 000	27 400	91%	1 650	3 310	201%
04. 2019	37 000	35 901	97%	1 650	1 901	115%
05. 2019	45 000	36 443	81%	1 800	1 851	103%
06. 2019	20 000	12 097	60%	500	488	98%
07. 2019	45 000	27 870	62%	1 900	1 851	97%
08. 2019	40 000	5 455	14%	1 850	1 801	97%
09. 2019	30 000	24 533	82%	1 750	1 801	103%
10. 2019	17 000	11 643	68%	1 700	1 684	99%
11. 2019	20 000	18 765	94%	1 800	1 716	95%
12. 2019	35 000	21 703	62%	1 750	1 753	100%
01. 2020	30 000	27 302	91%	1 800	1 681	93%
02. 2020	30 000	18 300	61%	1 800	1 673	93%
03. 2020	30 000	38 710	129%	1 800	1 698	94%

За даними Табл. 2 можна побачити, що для обох групи споживачів значення обсягів попиту на електричну енергію, що вони надають електропостачальнику, відрізняється від фактичних значень відпуску електроенергії, що реально потребує їх господарська діяльність. Для компанії енергопостачальника це зазвичай призводить до додаткових витрат, оскільки їх не завжди можна скорегувати. Це можливо, наприклад, для споживачів з площадками вимірювання групи «а». Для них енергопостачальник може зменшити обсяги в режимі реального часу за допомогою платформи Market Management System (MMS), де відображаються фактичні графіки споживання, що віддзеркалюють обсяги попиту споживачів. Втім для споживачів з площадками вимірювання групи «б» енергопостачальник має лише сукупну інформацію від оператора системи розподілу. Як можна побачити з Табл.1, відносне відхилення прогнозних та фактичних значень попиту на електричну енергію для цієї групи споживачів перевищує 200 %. З точки зору цінових пропозицій для обох груп споживачів важливим є застосування більш точних моделей та методів прогнозування. При побудові коротко- та середньострокових прогнозів попиту на електричну енергію такі моделі мають враховувати тренд, сезонність, а також випадкову нерегулярну компоненту часового ряду фактичних даних.

Динаміка цін на роздрібному ринку електричної енергії впродовж впровадженні нової моделі ринку. Як можна побачити з огляду структурних перетворень ринку електричної енергії, умови функціонування роздрібного ринку електричної енергії відрізнялися впродовж етапів впровадження нової моделі ринку.

Для оцінки впливу лібералізованого середовища конкурентного оптового ринку електроенергії на роздрібну ціну на електричну енергію було проведено аналіз комерційних пропозицій компанії електропостачальника для тих самих споживачів. Зміни роздрібних цін досліджувались до та після впровадження конкурентного оптового ринку електроенергії. Для уникнення впливу сезонності порівняльний аналіз цін проводився для щомісячних даних першого кварталу 2019 та 2020 рр. Зведена порівняльна характеристика роздрібних цін на електричну енергію для двох споживачів з площадками вимірювання груп «а» та «б» наведена в Табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика роздрібних цін на електричну енергію за перші квартали 2019 та 2020 рр. для споживачів груп «а» та «б»

Показники	Перехідний період впровадження нової моделі		Конкурентний оптовий ринку електроенергії		Різниця роздрібних цін
Споживачі	Період (міс., рік)	Ціна, грн/кВт·год	Період (міс., рік)	Ціна, грн/кВт·год	Відносне відхилення, %
Акціонерне підприємство (група «а»)	01.2019	1,7004071	01.2020	1,71591	101%
	02.2019	1,8596630	02.2020	1,45093	78%
	03.2019	1,8499400	03.2020	1,67566	91%
Приватний підприємець (група «б»)	01.2019	1,6850538	01.2020	1,64717	98%
	02.2019	1,6694635	02.2020	1,45638	87%
	03.2019	1,6679500	03.2020	1,63841	98%

За попереднім аналізом зі значень відносного відхилення роздрібних цін на електричну енергію можна зазначити, що з впровадженням конкурентного оптового ринку електроенергії ціни для обох споживачів мають певну тенденцію до зниження. Втім, для більш обґрунтованих оцінок необхідно також провести додатковий аналіз щодо впливу інших незалежних факторів, які мають вплив на рівень цін. Наприклад, суттєвий вплив на попит на електричну енергію для всіх споживачів має температурний фактор. Він може суттєво змінювати баланс між попитом та пропозицією, що впливатиме на рівень цін на електроенергію. З іншого боку, для кожного споживача суттєвим фактором, що впливає на обсяги попиту на електричну енергію, є виробничі показники з випуску продукції або надання послуг.

Висновки

Ґрунтуючись на часових інтервалах етапів структурних перетворень ринку електричної енергії України, що відбулись впродовж впровадження нової моделі ринку, в роботі проведено оцінку динаміки цін на роздрібному ринку електричної енергії до та після впровадження моделі конкурентного оптового ринку електроенергії.

За попереднім аналізом з впровадженням конкурентного оптового ринку електроенергії роздрібні ціни мають певну тенденцію до зниження. Для більш докладного аналізу та обґрунтованих висновків щодо оцінки впливу лібералізованого середовища конкурентного оптового ринку електроенергії на роздрібну ціну на електричну енергію, у подальших дослідженнях слід врахувати вплив низки незалежних зовнішніх кліматичних, виробничих та деяких ринкових факторів.

Важливою умовою зменшення роздрібних цін електропостачальника для кінцевих споживачів є підвищення точності прогнозування попиту на електричну енергію. На підставі порівняльного аналізу встановлено значне відхилення прогнозних та фактичних значень попиту на електричну енергію для різних груп побутових споживачів. Для покращення точності прогнозування необхідно застосування більш складних прогнозних моделей, що

враховують вплив структурних компонент часового ряду фактичних даних.

Перелік використаних джерел

1. EUROPEAN COMMISSION. Energy. Electricity market liberalisation: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу https://ec.europa.eu/energy/content/electricity-market-liberalisation_en
2. Guido Pepermans, 2019. "European energy market liberalization: experiences and challenges," International Journal of Economic Policy Studies, Springer, vol. 13(1), pages 3-26, January.
3. Договір про заснування Енергетичного Співтовариства. - Набрання чинності для України міжнародного договору від 01.02.2011: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_926
4. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. - Набрання чинності від 01.09.2017: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу
5. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII - Набрання чинності від 11.06.2017: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
6. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”» від 18 серпня 2017 р. № 605-р: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>
7. Про затвердження Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з постачання електричної енергії споживачу: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 27.12.2017 №1469 - Набрання чинності від 19.04.2018 : [Електрон. ресурс]. - Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v1469874-17>
8. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Електрична енергія. Моніторинг ринку електроенергії : [Електрон. ресурс]. - Режим доступу <http://www.nerc.gov.ua/?id=39296>
9. Постанова Кабінету Міністрів України «Про утворення державних підприємств “Гарантований покупець” та “Оператор ринку”» від 17 квітня 2019 р. № 324 - Набрання чинності від 20.04.2019 : [Електрон. ресурс]. - Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/324-2019-%D0%BF>

УДК. 620.9

Калінчик В.П.
Мельник Д.О.

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Анотація: В даній темі описується використання на практиці методів прогнозування електроспоживання в мережах за рахунок використання штучних нейронних мереж. Всі методи прогнозування поділяються на класичні та інтелектуальні. До інтелектуальних методів прогнозування відносяться експертні системи, штучні нейронні мережі, клітинні автомати, хаотичні процеси та інше. До класичних методів відносяться регресійні, авторегресійні методи прогнозування. Аналізується область застосування нейронних мереж, переваги та недоліки методів прогнозування електроспоживання.

Abstract: This topic describes the practical use of methods for predicting power consumption in networks through the use of artificial neural networks. All forecasting methods are divided into classical and intelligent. Intelligent forecasting methods include expert systems, artificial neural networks, cellular automata, chaotic processes and more. Classical methods include regression, autoregressive forecasting methods. The scope of neural networks, advantages and disadvantages of power consumption forecasting methods are analyzed.

Ключові слова: штучні нейронні мережі, прогнозування, планування, електроспоживання.

Вступ: Системний ефект енергозбереження може бути отриманий лише на основі введення цілісної системи планування і управління енергоспоживанням, що охоплює всі рівні підприємства. Особливої актуальності це питання отримало в даний час у зв'язку з необхідністю ведення підприємствами погодинного планування електроспоживання. Рішення даного завдання тісно пов'язане з можливістю прогнозування електроспоживання.

Мета та завдання: Дослідити принцип функціонування штучних нейронних мереж та методів прогнозування побудованих на принципі різних типів нейронних мереж.

Матеріал і результати досліджень. *Штучні нейронні мережі.* Штучні нейронні мережі (ШНМ) – це прилади, засновані на способі паралельної обробки даних всіма ланками. Вони мають здібності до самостійного навчання і в накопчені великих об'ємів знань. Нейронним мережам притаманні ознаки штучного інтелекту. Підготовлена мережа для обмеженого об'єму даних, має здатність узагальнювати загальну інформацію і демонструвати гарний результат на цих даних [1].

Вперше для моделювання в прогнозуванні навантажень запропонували в 1991 році метод штучних нейронних мереж. Нейронні мережі, це нелінійні функції, які мають здатність до вирішення апроксимації нелінійних залежностей. Виходи штучної нейронної мережі, є лінійними або не лінійними математичними функціями її входів. Входи можуть бути виходами інших мережевих елементів. Перевагою технології нейронних мереж є інтелектуальне опрацювання масивів даних, яка має можливість зімітувати роботу людського мозку. Недоліком є те, що процес навчання проходить відносно повільно, і не гарантує схожість фактичних і прогнозованих даних. Крім цього, вибір оптимального набору вхідних змінних і розмір прихованих шарів потрібно вивчати на практиці.

Роль нейронних мереж при вирішенні завдань з прогнозування складається в передбачуванні майбутньої реакції системи по її минулому поведінки. Володіючи початковою інформацією в значеннях досліджуваної змінної в моменти часу, попередньому прогнозуванні, функціонування нейронної мережі, відбувається доволі швидко [2].

Нейронна мережа – це математична модель людського мозку, яка побудована з багатьох

розрахункових елементів (нейронів (рис.2)), які в свою чергу працюють паралельно, функція якої визначається структурою мережі, а розрахунки виконуються в самих елементах. Рахується, що здатність мозку до обробки інформації в основному обумовлена функціональністю мереж, які складаються з нейронів.

В склад нейронів входять множувачі, суматори і нелінійний перетворювач. Синапсами здійснюють зв'язок між нейронами і множать вхідний сигнал на число, яке характеризує силу зв'язку – ваги синапсів (рисунок 1).

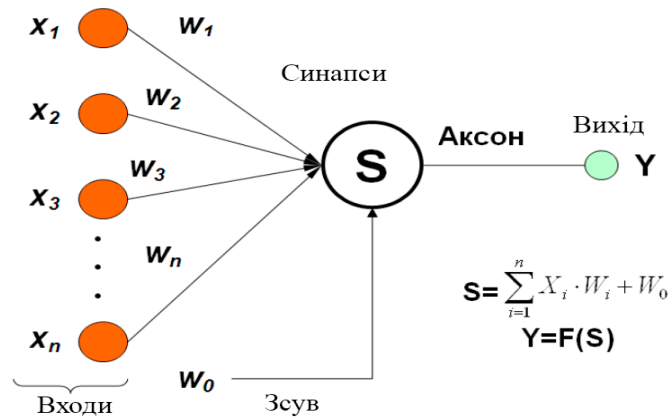


Рисунок 1 – Структура нейрона

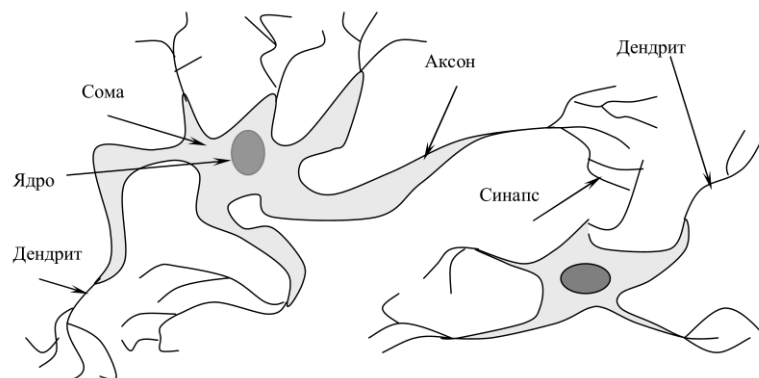


Рисунок 2 – Біологічний нейрон

Суматор виконує сумування сигналів, які транспортуються по синаптичним зв'язкам від інших нейронів або зовнішніх вхідних сигналів. Нелінійний перетворювач реалізує нелінійну функцію одного аргументу – вихід суматора. Ця функція має назву «функція активації» або «функція передачі» нейрона. Нейрон в цілому реалізує скалярну функцію векторного аргументу.

Головною задачею в процесі розробки нейронної мережі, головним є етап навчання, коригування ваги мережі, для зменшення помилки на виході нейронної мережі

При використанні нейронної мережі для прогнозування, необхідно вирішити наступні завдання: Обрати архітектуру нейронної мережі, визначити кількість і зв'язки шарів та елементів, прийняти рішення по використанню двонаправленого або однонаправленого зв'язку і цифрового формату [2].

Для вирішення завдань прогнозування навантажень використовують мережі прямого розповсюдження, самоорганізуючі, радіально-базисні.

Мережі прямого розповсюдження. Найвідомішою архітектурою штучної нейронної мережі для прогнозування електроспоживання є архітектура прямого розповсюдження.

Ця мережа використовує безперервні оцінюючі функції і навчання з викладачем. Фактичні числові дані присвоюються входам елементів визначаються шляхом співставлення

архівних даних (наприклад, години і погода) із заданими виходами (наприклад, прогнозовані дані навантаження) під час навчання. Штучні нейронні мережі з безконтрольним навчанням не потребують вчасної підготовки.

Стандартна нейронна мережа прямого розповсюдження продемонстрована на рис. 3, також відома, як багатошаровий перцептрон (MLP).

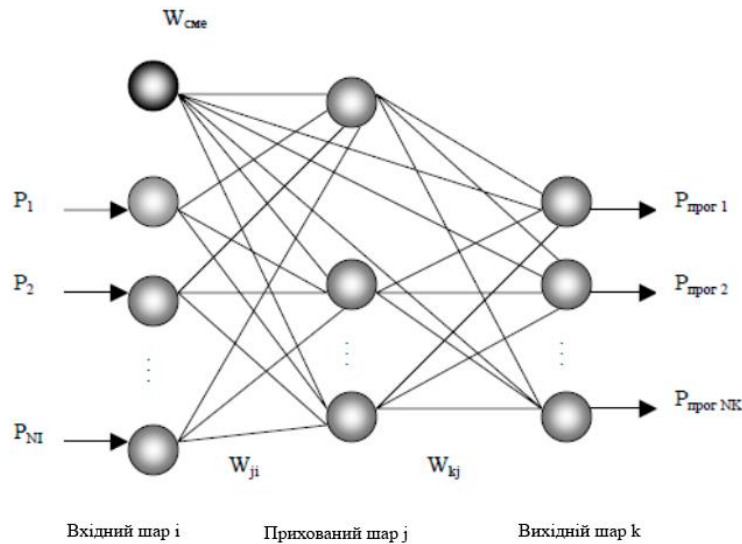


Рисунок 3 – Структура штучної нейронної мережі прямого розповсюдження

Функціонування багатошарової ШНМ прямого розповсюдження доволі просте. Вхідні сигнали, які потрапляють до мережі, передаються на нейрони вхідного шару, проходять по черзі всі приховані шари і виділяються з нейронів вихідного шару. В класичному багатошаровому перцептроне, функція перетворення - сигмоїда. Сигмоїда – це гладка монотонна нелінійна S – подібна функція, яка часто використовується для згладжування значень деякої величини.

Початкове навчання ШНМ проводиться згідно алгоритму зворотнього розповсюдження помилок. В процесі навчання визначаються вагові коефіцієнти зв'язку між шарами. Алгоритм зворотнього розповсюдження помилок продемонстрований на рис. 4

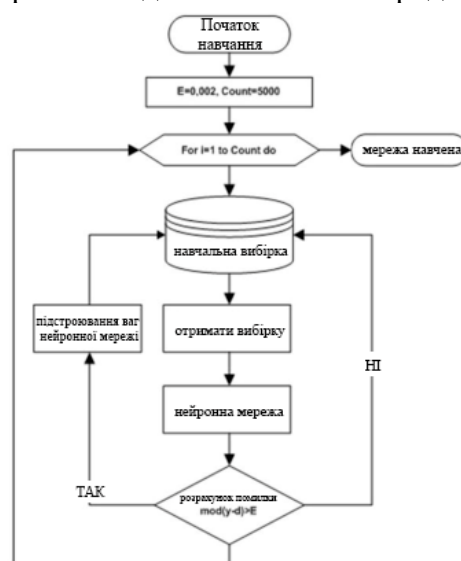


Рисунок 4 – Алгоритм навчання нейронної мережі прямого розповсюдження

Самоорганізуючі нейронні мережі. Самоорганізуючі нейронні мережі (СНМ) – це мережі з принципом «навчання без викладача», виконуючі задачі візуалізації та кластеризації. Являються однією із версій нейронних мереж (карт) Кохонена.

Основна ідея всіх алгоритмів СНМ полягає в побудові вірогідної моделі даних на основі запропонованих системі образів. В процесі навчання алгоритми класу СНМ будують граф, кожна вершина якого лежить в області локального максимуму густини випадковості, а ребра з'єднують вершини, які відносяться до одних і тих же класів.

Принцип роботи СНМ може бути описаний наступним чином.

По-перше, для вхідних даних будується граф таким чином, щоб вершини потрапляли в області локального максимуму густини випадковості. Так і отримується граф, по кожній із вершин якої є можливість побудувати деяку функцію, яка описує розподіл вхідних даних в відповідні області простору.

По-друге, граф в цілому представляє собою суміш розподілів, аналізуючи яку, можливо стає визначити число класів в початкових даних, їх просторове розподілення

Для представлення типологічної структури в задачах навчання ріст мережі є важливим елементом для зниження помилки і адаптації до змінних умов, при чому зберігаючи старі дані. Але в той же час, не підконтрольне збільшення числа вузлів приводить до перевантаження мережі и «перенавчання» в цілому. Ось чому потрібно вирішувати, коли і як додавати нові вузли в мережу, а коли призупинити додавання нових вузлів.

СНМ представляють собою метод проектування багатовимірного простору в просторі з більш нижчою розмірністю. В зв'язку з пониженням розмірності початкової задачі. [9]

Радіально-базисні нейронні мережі. Радіально-базисна мережа (РБМ) – штучна нейрона мережа, яка використовує радіально базисні функції як функції активації. Радіально-базисна мережа має фіксовану структуру з одним прихованим шаром і лінійними вихідними нейронами рисунок 3

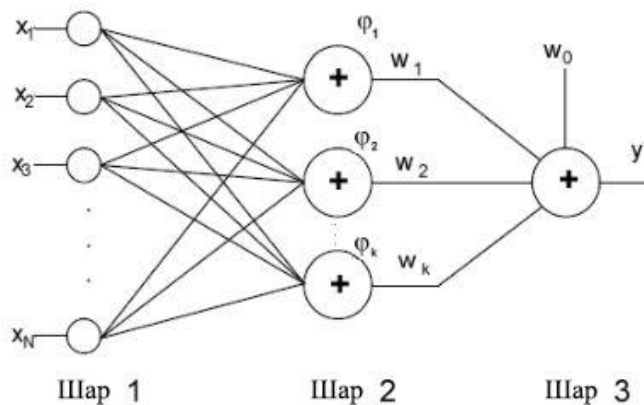


Рис. 3 Інтерпретація радіально-базисної нейронної мережі

На рис. 3 шар 1 – є вхідним шаром, на який направляються вхідні вектори сигналів x ($x_1, x_2, \dots, x_N$); шар 2 – прихований шар нейронів з базисним радіальним функціями; шар 3 – вихідний шар у вигляді лінійного нейрона.

Ця мережа з двухшаровою структурою, в якій тільки прихований шар виконує нелінійне відображення, реалізоване нейронами з базисними радіальними функціями. Вихідний нейрон, як правило, лінійний і його роль зводиться до зваженого сумування сигналів, отримуючи від нейронів прихованого шару. Вага w_k представляє собою граничне значення вихідного нейрона.

РБМ має великий ряд переваг перед багатошаровими мережами розповсюдження і самоорганізуючих нейронних мереж. По-перше, вони моделюють довільну нелінійну функцію з допомогою одного проміжного шару, тим самим позбавляти від необхідності вирішувати

питання про кількість шарів. По-друге, параметри лінійної комбінації в вихідному шарі можливо повністю оптимізувати з допомогою відомих методів лінійної оптимізації за допомогою відомих методів лінійної оптимізації, які швидко працюють і не відчують труднощів з локальними мінімумами, які заважають при навчанні з використанням алгоритма зворотнього розповсюдження. Ось чому РБМ навчаються на порядок швидше, чим багатопарові перцептрони, використовуючи алгоритм зворотнього розповсюдження помилки [3].

Висновок Огляд сучасних методів прогнозування навантажень в мережах дозволяє зробити наступний висновок, що одного універсального методу, який буде відповідати усім вимогам, не існує. Кожен підхід і метод має свої переваги, недоліки, межі використання.

В загальному недоліком штучних нейронних мереж є проблема створення ефективних і простих методик навчання. Обмеженням багатопарової штучної нейронної мережі прямого розповсюдження є наявність великої кількості нейронів, які багатократно приймають участь в обробці даних. Крім цього для ефективної роботи цих мереж потрібні спеціальні умови, які гарантують співставлення розрахунків.

Таким чином, для ефективного вирішення задач прогнозування навантажень в електричних мережах необхідно використовувати комбінації методів як традиційних, так і інтелектуальних

Список використаних джерел:

1. Шумилова Г.П. Прогнозування активного і реактивного навантаження вузлів ЕЕС з використанням інверсії штучної нейронної мережі / Г.П. Шумилова, Н.Е. Готман, Т.Б. Старцева // Управління електроенергетичними системами – нові технології і ринок: Сб. наук. р. – Сиктивкар: Комі НЦ УрО РАН, 2004. – С. 115-122.
2. Чернецов В.І. Прогнозування споживання електричної енергії з використанням нейронних мереж / В.І. Чернецов, Е.Н. Казаковский // Надійність і якість: Міжнаціон. сб. наук. р. – 2006. – Т. 1. – С. 199-201.
3. Мошенский І.В. Прогнозування електричного навантаження промислових підприємств з допомогою радіально-базисних нейронних мереж / І.В. Мошенский, І.Л. Лебединский, В.С. Ноздренков // Вісник Сумського державного університету. – 2011. – №1. – С. 147-153.
4. Манусов В.З. Короткострокове прогнозування електричного навантаження на основі нечіткої нейронної мережі та її порівняння з іншими методами / В.З. Манусов, Е.В. Бирюков // Вид. Томського політехнічного університету. – 2006. – №6. – С. 153-158.

Овчаренко Е.О.,

науковий керівник: к.т.н., ст. викл. Дерев'янка Д.Г.

Кафедра електропостачання

ОЦІНЮВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ КОМУНАЛЬНОЇ СФЕРИ

Анотація: В статті розглянуто техніко-економічні аспекти оцінювання ефективності впровадження енергозберігаючих заходів для визначення їх доцільності. Досліджено нормативно-правову та економічну складову процесу впровадження проекту з енергозбереження. Описано загальні принципи розрахунку вартості та окупності енергозберігаючого заходу для оцінки його інвестиційної привабливості.

Ключові слова: енергозбереження, енергоефективність, потенціал енергозбереження, моніторинг, енергозберігаючий захід, сонация.

Abstract: The article considers the technical and economic aspects of evaluating the effectiveness of the implementation of energy saving measures to determine their feasibility. The normative-legal and economic component of the energy saving project implementation process is studied. The general principles of calculating the cost and payback of an energy saving measure to assess its investment attractiveness are described.

Keywords: energy saving, energy efficiency, energy saving potential, monitoring, energy saving measure, sonation.

Вступ. Актуальність забезпечення сучасного рівня енергоефективності будівель житлово-громадського призначення визначається для більшої частини споживачів постійним зростанням оплати за спожиті під час експлуатації будівель енергоресурси. Об'єктивність такої мотивації підтверджують тарифи на теплову енергію при централізованому опаленні для мешканців житлових будинків з будинковими та квартирними приладами обліку теплової енергії.

Разом із тим, сучасні вимоги щодо експлуатаційних властивостей будівель формуються на законодавчо-нормативному рівні та передбачають необхідність забезпечення мінімальних параметрів відповідно до вимог чинних технічних регламентів, які гарантують, в разі їх дотримання, безпеку споживача, стабільність і надійність необхідних режимів навколишнього середовища.

Мета та завдання. Метою даної статті є визначення доцільності впровадження енергозберігаючих заходів. Головним завданням є дослідження методів аналізу даних про споживання енергії, що допоможуть у вирішенні поставленої мети.

Матеріал і результати досліджень. Комплексність вимог щодо вдосконалення енергоефективності будівель вимагає від фахівців і споживачів послуг розуміння багатофакторності технічних та економічних проблем, які мають бути вирішені під час комплексної санації кожного об'єкту. Обов'язковість дотримання регламентних вимог під час проведення комплексної санації вимагає забезпечення основних вимог технічних регламентів, зокрема забезпечення механічного опору та стійкості, пожежної безпеки, безпеки життя і здоров'я людини, безпеки експлуатації, а не тільки економії енергії.

Забезпечення зазначених вимог може бути досягнуто лише за умови виконання вимог чинної законодавчо-нормативної бази на всіх етапах реалізації комплексної санації і залучення відповідних сертифікованих провідних фахівців. В умовах лібералізації вимог до господарської діяльності в Україні, яка супроводжується відміною обов'язкової сертифікації продукції з 2018 року, спрощенням вимог до розроблення державних стандартів, скасування

необхідності їх погодження з дозвільними організаціями, збільшується вірогідність використання неякісних матеріалів та обладнання, невідповідності виконаних будівельних робіт проектно-кошторисній документації тощо. За таких умов зростає роль споживача під час виконання функцій замовника, передбачених чинним законодавством. З урахуванням згаданого вище під час розроблення і реалізації комплексної санації будівлі доцільно забезпечити розроблення, аналіз та оцінку наступних основних груп заходів:

- визначення рівня енергоефективності будівлі в експлуатаційному режимі;
- розроблення концепції проведення комплексної санації будівлі, пропозицій варіантів заходів та їх окупності;
- визначення вимог, умов, обсягів і термінів фінансування окремих етапів та інвестиційного проекту в цілому. Вибір варіанту комплексної санації будівлі;
- реалізація прийнятого варіанту комплексної санації будівлі: підготовка і проведення тендерів на розроблення проектно-кошторисної документації, її замовлення та розроблення, проведення будівельних робіт по реалізації проекту;
- визначення рівня енергоефективності будівлі після проведення комплексної санації, оцінка запланованого і реального рівня енергоспоживання будівлі;
- запровадження системи енергоменеджменту і забезпечення супроводження експлуатації будівлі.

На першому етапі визначається енергоспоживання будівлі в режимі сталої експлуатації шляхом проведення наступних заходів з вивчення документів та обстеження. Під час формування плану заходів щодо комплексної санації будівель доцільно звернути увагу на специфіку чинної нормативно-законодавчої бази і можливість залучення додаткових ресурсів з державних та інших джерел фінансування. Чинне законодавство передбачає необхідність залучення для виконання окремих видів робіт провідних фахівців будівельної галузі, що мають відповідний сертифікат. Це стосується проектування, обстеження, експертизи та технічного нагляду. Для об'єктів середніх і значних класів наслідків (СС2, СС3) законодавчо визначена необхідність відповідної ліцензії у виконавця будівельних робіт. [1]

Суттєвий вплив на ефективність комплексної санації будівлі має об'єктивна вартісна оцінка визначених заходів і забезпечення своєчасного і достатнього їх фінансування. В основі вибору комплексу заходів з підвищення енергоефективності об'єкту повинна бути економічна доцільність, головним критерієм якої в більшості загальноприйнятих підходів є термін окупності і обсяг коштів, необхідних для реалізації інвестиційного проекту. Нажаль, станом на сьогодні під час обговорення різних варіантів інвестиційних проектів зазвичай навіть не згадують термін окупності заходів, вважаючи їх нормативно необхідними та обов'язковими. [2]

Тобто, об'єктивність оцінки рентабельності відібраних заходів є запорукою запобігання проблем під час довгострокового фінансування комплексної санації будівлі і отриманні відповідної економії енергоресурсів впродовж подальшої її експлуатації. Під час формування комплексу заходів щодо санації будівлі доцільно врахувати особливості її будівельної та інженерної частини, зумовлені в першу чергу періодом зведення об'єкту.

Розподіл житлового фонду по роках забудови, показує, що майже половину житлового фонду введено в експлуатацію в післявоєнні роки і перший період впровадження будинків індустріальних серій (до 1970 року). Низька вартість енергоресурсів на час зведення більшості об'єктів нерухомого фонду призводила до високого енергоспоживання цих об'єктів, що дозволяє сподіватись на високий рівень зниження енергоспоживання після проведення санації.

Необхідно звернути увагу під час розроблення інвестиційного проекту на поширену практику експлуатації будинків з низькими температурами в приміщеннях, тобто частина тепла після проведення заходів піде на підвищення комфорту до нормативного рівня і не дасть економічного ефекту, необхідного для окупності витрат, пов'язаних з комплексною санацією

об'єкту.

Особливості стану багатоквартирного житлового фонду і його утримання, обслуговування та модернізації повинні враховуватись при визначенні алгоритму підготовки та реалізації комплексу заходів щодо досягнення сучасного рівня енергоспоживання житла, рівня комфорту, безпеки і надійності енергопостачання споживачів комунальних послуг.

Доцільно звернути увагу на загальні тенденції зміни окупності заходів з підвищення енергоефективності будівель, які визначаються відповідними змінами цін на енергоресурси. Стан існуючого фонду будівель житлового громадського призначення, питомі показники його енергоспоживання впродовж двох останніх десятиліть не дозволяє забезпечити самоокупність комплексної санації за чинних тарифів на теплову енергію систем центрального опалення. Подальше зростання цін на енергоресурси при одночасному зростанні вартості матеріалів, обладнання, робочої сили не призвело до зростання бізнесової привабливості комплексної санації будівель, про що свідчить відсутність пропозицій ЕСКО щодо запровадження схем фінансування заходів із залученням власних і кредитних ресурсів, які традиційно поширені в розвинутих країнах.

Об'єктивна оцінка можливих схем фінансування комплексної санації будівель свідчить про можливість досягнення привабливої її окупності лише за умови залучення власником зовнішньої фінансової допомоги у формі пільгових кредитів, бонусів і податкових преференцій. Розуміння такого стану проблем фінансування вдосконалення енергоефективності об'єктів вимусило державу активно включитись у співфінансування цільових державних програм, зокрема – надання так названих “теплих кредитів” власникам як приватного житла, так і багатоквартирних житлових будинків. Для оцінки державної допомоги необхідно розуміти потребу в ній з урахуванням існуючого фонду нерухомості та його теплотехнічних параметрів. [2]

В будь-якому випадку, одним з основних критеріїв оцінки привабливості окремих заходів з підвищення енергоефективності є їхня окупність. Попередній відбір заходів за цією ознакою дозволяє об'єктивно зменшити кількість варіантів при формуванні концепції комплексної санації з подальшою їх оптимізацією з урахуванням чинних нормативних вимог, стану будинку, ринкових умов тощо. Витратна оптимізація під час формування енергоощадних заходів не знімає необхідності комплексного забезпечення чинних вимог технічних регламентів і будівельних нормативних актів, що гарантує багатофакторну безпеку і надійність експлуатації будівлі та сучасний рівень її енергоспоживання. [1]

Зупинимось на особливостях оцінювання економічно прийнятності потенціалу енергоощадних заходів (ЕОЗ) та відповідного рівня інвестицій, необхідних для реалізації цього потенціалу. Для оцінки економічно доцільного рівня потенціалу енергоефективності ЕОЗ необхідно проводити як технічний, так і економічний аналіз. Залежно від мети запровадження ЕОЗ можна віднести до зовнішнього огороження будівлі, вентиляції, гарячого водопостачання та опалення.

Для попередньої оцінки потенціалу енергозбереження в багатоквартирному будинку необхідно зібрати відомості про усередненні обсяги споживання енергоресурсів та платежів за них у попередні три роки (базовий період) та порівняти з розрахунковими (прогнозованими) показниками обсягу споживання енергоресурсів та витрат за них після проведення відповідних енергоефективних заходів.

Відомості про енергоспоживання багатоквартирним будинком в базовий період визначаються за показниками загальнобудинкових приладів обліку теплової та електричної енергії. З огляду на те, що вартість теплової енергії є найбільш вагомою в структурі витрат співвласників багатоквартирного будинку за спожиті енергоресурси, для розуміння основних показників та обґрунтування доцільності впровадження проекту, рекомендується передусім порівняти показники поточного споживання теплової енергії ($Q_{до}$) в базовий період та розрахункові показники споживання теплової енергії ($Q_{після}$), що можуть бути досягнуті в

результаті здійснення термомодернізації.

За наявності загальнобудинкового теплового лічильника базовий обсяг поточного споживання теплової енергії до термомодернізації ($Q_{до}$), який використовується для подальших розрахунків потенціалу енергозбереження, визначається як середнє арифметичне значення фактичних показників лічильника за останні три роки. У випадку коли багатоквартирний будинок не обладнано тепловим лічильником орієнтовний обсяг споживання теплової енергії ($Q_{до}$) в базовий період рекомендується з'ясувати у виконавця послуг з опалення.

В подальшому, в разі прийняття принципового рішення про впровадження проекту та залучення до нього фахівців, отримані розрахунковим шляхом дані про обсяг поточного споживання теплової енергії в базовий період мають бути співставлені з розрахунковими даними, які отримано з урахуванням даних обстеження технічного стану будинку, даних енергетичного обстеження, в тому числі із застосуванням приладів неруйнівного контролю, теплометричного та тепловізійного обладнання. Обсяг теплової енергії, що буде використовуватись на опалення будинку після термомодернізації ($Q_{після}$) визначається розрахунковим шляхом.

Для оцінки економічного ефекту від реалізації заходів з підвищення енергоефективності можна користуватися усередненими даними щодо потенціалу енергозбереження, приведеними в таблиці 1. Зазначені в таблиці показники вказують, яким чином впровадження окремого з перелічених заходів може орієнтовно скоротити обсяг споживання теплової та електричної енергії у порівнянні з базовим рівнем її споживання.

Таблиця 1. Усереднені дані щодо потенціалу енергозбереження багатоквартирного будинку

Конструктивний елемент	Технічне рішення	Потенціал енергозбереження	Усереднений строк окупності, років
Стіни	Утеплення	18-25%	7-10
Вікна, входні двері	Заміна	15-20%	15
Дах	Утеплення	5-10%	10-12
Підвал	Утеплення	5-10%	7-10
Вентиляція	Улаштування приточно-втяжних клапанів, рекуператорів	5-35%	5-8
Системи опалення	Монтаж ІТП з погодним регулюванням	15-20%	2-4
	Гідрохімічна очистка та балансування	5-10%	1-2
Системи електроспоживання	Заміна джерел світла Встановлення приладів регулювання освітлення	5-7% 5%	2-3

Використовуючи дані зазначеної таблиці для розрахунку потенціалу енергозбереження, необхідно мати на увазі, що перевага має надаватись комплексним рішенням, які забезпечують найбільший та довготривалий ефект, ніж окремі заходи.

Водночас буде помилкою, якщо під час розрахунку прогнозованого результату від впровадження комплексу заходів щодо покращення теплотехнічних показників будинку, здійснювати просте арифметичне складання зазначених показників. Практика свідчить, що комплексне впровадження таких заходів дозволяє отримати загальне скорочення споживання теплової енергії від 30% до 70% в залежності від переліку заходів та обраних технічних рішень, а також від початкового технічного стану будинку. Водночас, якщо буде прийматися

рішення про доцільність модернізації систем електроспоживання, то результат від впровадження відповідних заходів не буде, звичайно, суттєво впливати на теплотехнічні показники будинку. Тому обсяг можливого скорочення споживання електричної енергії на загальнобудинкові цілі та економія грошових коштів за її оплату розраховується окремо, а прогнозовані показники таким чином можуть бути також порівняні з відповідними показниками у базовий період споживання.

Таким чином, ефект від впровадження енергоефективних заходів визначається скороченням споживання енергоресурсів (ΔQ) та досягнутою економією грошових коштів (ΔE). Розрахунок приблизного ефекту від впровадження енергозберігаючих заходів в натуральних (Гкал, кВт*год) та грошових показниках може бути здійснений за формулами 1 та 2.

$$\Delta Q = Q_{до} - Q_{після} \quad (1)$$

де ΔQ – ефект від скорочення споживання будинком теплової енергії, Гкал;

$Q_{до}$ – кількість теплової енергії, що споживається будинком до впровадження енергозберігаючих заходів, Гкал;

$Q_{після}$ – кількість теплової енергії, що споживається будинком після впровадження енергозберігаючих заходів, Гкал.

$$\Delta E = \Delta Q \times T \quad (2)$$

де ΔE – ефект від скорочення споживання будинком теплової енергії у грошовому вираженні – щорічна грошова економія, грн;

T – тариф на теплову енергію, грн/Гкал.

Приблизна загальна вартість проекту ($ВП$) з підвищення енергоефективності будинку може бути розрахована за формулою 3 на підставі відкритих відомостей про вартість окремих послуг та робіт, які поширюються фаховими організаціями, а також підприємствами, що спеціалізуються на їх виконанні.

$$ВП = B_{техобстеження} + B_{аудит} + B_{проект} + \sum_{j=1}^k B_{зj} \quad (3)$$

де $B_{техобстеження}$ – вартість робіт з обстеження технічного стану будинку;

$B_{аудит}$ – вартість робіт з енергетичного аудиту будинку;

$B_{проект}$ – вартість розробки проектної документації;

$B_{зj}$ – вартість здійснення j -го заходу з підвищення енергетичної ефективності, грн (включає вартість обладнання, матеріалів та робіт по кожному окремому заходу);

k – кількість заходів.

Вартість послуг з технічного обстеження та енергоаудиту залежить від розмірів багатоквартирного будинку (площі/об'єму) й визначається на договірній основі між замовником та потенційними виконавцями. Вартість розробки проектної документації визначається в межах 3-7% від загальної вартості робіт щодо підвищення енергоефективності багатоквартирного будинку (об'єкта будівництва). Вартість окремих енергозберігаючих заходів розраховується на основі даних про обсяг робіт (площа, об'єм, погонні метри, кількість одиниць тощо), вартості матеріалів та обладнання, а також вартості робіт щодо їх виконання (монтажу).

Крім того, необхідно передбачати додаткові витрати за проектом, пов'язані з експертизою проектної документації 0,5-1,0%, технічного (до 2,5%) та авторського (до 2,5%) нагляду від загальної вартості проекту.

Шляхом співставлення розміру щорічної грошової економії від енергозберігаючих заходів та загальних витрат на їх впровадження можна розрахувати за формулою 4 приблизний термін простої окупності капіталовкладень $T_{ок}$ (без урахування змін тарифів на енергоресурси та інших інвестиційних показників).

$$T_{ок} = \frac{ВП}{\Delta E} \quad (4)$$

де $ВП$ – загальна вартість проекту;

ΔE – щорічна грошова економія.

Результати приблизної оцінки вартості заходів та очікуваного фінансового результату від їх впровадження є основою для прийняття співвласниками будинку принципового рішення про початок реалізації проекту з підвищення енергоефективності будинку та здійснення у подальшому відповідних капіталовкладень. Для цього необхідно порівняти обсяги споживання енергоресурсів ($Q_{до}$) та витрат ($B_{до}$) на них протягом поточного базового періоду та очікуваних відповідних показників після впровадження проекту ($Q_{після}$, $B_{після}$).

Висновки. Оцінювання економічної та технічної доцільності впровадження заходів з енергозбереження в житлових будинках є надзвичайно важливим процесом, що дозволяє уникнути ризиків при інвестуванні в проект та досягти значної економії енергетичних ресурсів та коштів в подальшому.

Список використаних джерел.

1. Рекомендації щодо техніко-економічного обґрунтування вибору енергоефективного обладнання та спростування деяких міфів енергозбереження / Мамалига В.М., Горб І.Ю./Сталий розвиток — XXI століття: управління, технології, моделі. Дискусії 2017: колективна монографія / Аверіхіна Т.В., Адамець Т.П., Андерсон Н.В. [та ін.]; НТУУ — Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського. – С. 388 – 394.
2. Разработка технико-экономического обоснования проектов в сфере энерго- и ресурсосбережения / Мамалыга В.М. / Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. - № 3 (69). – С. 51-56.
3. Методичні рекомендації для співвласників багатоквартирних будинків: розробка енергоефективних проектів / Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/energoefektivnist-ta-energozberezhennya/krashhi-praktiki/metodichni-rekomendatsiyi-dlya-spivvlasnikov-bagatokvartirnih-budinkiv-rozrobka-energoefektivnih-proektiv/> .

УДК 620.9

Рибій М.В.

кафедра електропостачання

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

ПРОСЮМЕРИ У СОЦІАЛЬНО-ТЕХНІЧНІЙ СФЕРІ SMART GRID

Економія, що пов'язана з інтелектуальною мережею, впливатиме на ряд факторів, які значною мірою є наслідком «ефекту збереження». Інтелектуальна мережа є основним механізмом досягнення агресивних національних цілей щодо економії енергії та скорочень викидів у атмосферу. Концепція визначається «інтелектуальною мережею», яка має «розумну» поведінку та дії всіх суб'єктів, що пов'язані з нею. Вдосконалення мережі стало одним з найбільших прогресів у сучасну епоху, оскільки невідновлювальні енергетичні ресурси зникають, що призводить до дефіциту електроенергії та різкої зміни клімату, через викиди парникових газів. Традиційна інфраструктура була зосереджена на взаємодії між генераторами, операторами систем передачі та систем розподілу. «Просюмер» інтегрує інформаційні комунікаційні технології з передовими енергетичними електронними технологіями для здійснення двонаправленого потоку електроенергії та інформації. Розвиток мультиагентних систем та поява нових агентів на локальних ринках електроенергії в цілому є актуальним науково-технічним завданням.

Ключові слова: Smart Grid, просюмери, мультиагентні системи, відновлювальні джерела енергії.

PROSUMERS IN SOCIAL TECHNICAL SPHERE SMART GRID

On savings economy related to the smart grid will be influenced by a number of factors that are largely a consequence of the "retention effect". The smart grid is the main mechanism for achieving aggressive national targets for energy savings and emission reductions. The concept is defined by an "intelligent network" that has a "reasonable" behavior and the actions of all entities associated with it. Improvement in the grid has been one of the greatest advances in the modern era as renewable energy resources are disappearing, leading to electricity shortages and climate change through greenhouse gas emissions. The traditional infrastructure focused on the interaction between generators, transmission system operators and distribution systems. Prosumer integrates information communications technologies with advanced energy electronic technologies to deliver a bidirectional flow of electricity and information. The development of multiagent systems and the emergence of new agents in the local electricity markets as a whole is a pressing scientific and technical task.

Keywords: Smart Grid, prosumer, multiagent systems, renewable energy sources.

Вступ

В узгодженні положень теорій концепції Smart Grid відбувається модернізація електричного сектору провідних країн світу з одним із вживаних напрямків є розвиток мультиагентних систем, поява нових агентів, які отримали назву «просюмери» (активні споживачі) на локальних ринках електроенергії, безумовне впровадження гнучкої генерації. Мультиагентні технології отримують все більше розповсюдження в електроенергетичних системах на ієрархічних рівнях, зокрема в рамках двох аспектів: як методичний апарат для моделювання електроенергетичних систем при вирішенні різних задач, так і як платформа для побудови систем керування різного призначення.

Наразі накопичено досить суттєвий досвід використання мультиагентного підходу за вирішенням різних роду проблем електроенергетики. Гнучка генерація в електроенергетичних системах суттєво впливає на зміну поведінки агентів на локальному ринку електроенергії.

Вона також впливає на формування тарифної політики на ринку енергії та ведення режимів мережі. Створення мультиагентних систем керування (МАСК) з використанням потенціалу активного споживача з метою оптимізації енергоспоживання та підвищення енергоефективності локальних систем енергозабезпечення, її елементів та системи в цілому є актуальною науково-технічною проблемою.

Мета та завдання

Розгляд концепції «інтелектуальної мережі» із взаємодією потенціалу поведінки «просюмерів» на сучасних локальних ринках електроенергії.

Матеріал і результати досліджень

Мультиагентне керування – це система, яка має оптимальні розв’язки задач без зовнішнього втручання. Під оптимальним розв’язанням розуміється мінімізація витрати кількості енергії в умовах обмеження ресурсів.

Головна перевага мультиагентних систем керування полягає у наявності гнучкості багатоагентних систем. Багатоагентна система може бути доповнена й модифікована без переписування значної частини програми. Також ці системи мають здатність до самовідновлення й мають стійкість до збоїв, завдяки достатньому запасу компонентів і самоорганізації.

В електроенергетиці пропонуємо вважати мультиагентною системою таку, де кожен учасник організує взаємодію через визначених агентів із своїм набором цілей та пріоритетів. Такі агенти самостійно реагують на зміну середовища і взаємодіють з іншими агентами для координації дій і спільного прийняття рішень.

Багатоагентна система (Multi-agent system) — це сукупність взаємозв’язків, які утворені декількома взаємодіючими інтелектуальними агентами між собою. Багатоагентна система може бути використана для розв’язання таких проблем, які складно або неможливо вирішити за допомогою одного агента або монолітної системи. Прикладами таких завдань є онлайн-торгівля, ліквідація надзвичайних ситуацій, і моделювання соціальних структур.

Зазвичай у багатоагентних системах досліджуються програмні агенти. Поведінка агентів лежить в основі так званого «сукупного інтелекту».

Агент – це програмне або апаратне забезпечення, що перебуває у деякому середовищі яке самостійно реагує на зміни. Інтелектуальний агент взаємодіє з іншими агентами для координації дій і може змінювати навколишнє середовище, виконуючи будь-яку дію.

Будь-який інтелектуальний агент повинен мати такі три характеристики:

а. Реактивність - Дас змогу агенту своєчасно реагувати на зміни у його середовищі і виконувати певні дії, оснований на цих змінах.

б. Ініціативність - Характеризує поведінку агента, що спрямована на результат. Це означає, що агент буде динамічно змінювати свою поведінку з метою досягнення власної цілі.

с. Соціальність - Вказує на здатність взаємодіяти з іншими інтелектуальними агентами.

Серед нових учасників Smart Grid є так звані «просюмери» - це активні агенти, які споживають і виробляють енергію одночасно.

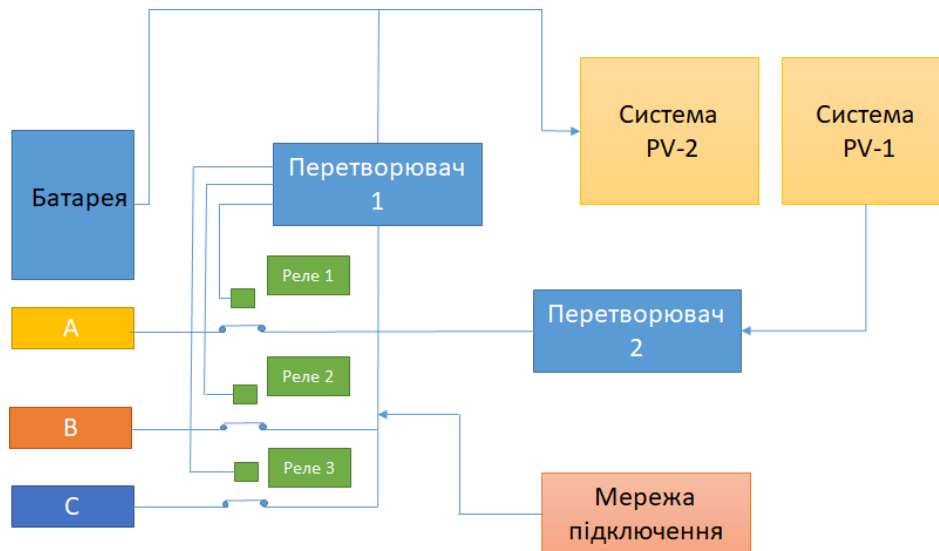


Рисунок 1. Контекст реалізації запропонованої методології.

Запропонована методологія дозволяє оптимально витратити споживчі ресурси, щоб мінімізувати витрати на експлуатацію, знизити витрати електроенергії та підвищити енергоефективність.

Методологія полягає в тому, щоб мінімізувати енергію, придбану з електромережі, для забезпечення її споживання, а також скористатися перевагою генерації PV та попит на генерацію, щоб максимально використовувати гнучкість, яку забезпечує акумуляторна система. Відповідальний за контроль методології є агент-координатор.

Середовище активного агента

Початкове середовище активного агента формується у вигляді співвідношення:

$$E_{PA} = [p^{internal}, A, D, p^{renewable}], \quad (1)$$

де $p^{internal}$ – представляє сукупність внутрішніх цін у механізмі розподілу енергії р2р; D – це попит споживача (використання гарячої води протягом дня);

A – це набір параметрів електричних пристроїв (тобто приладів, систем зберігання енергії та розподілених генераторів); $p^{renewable}$ – це сукупність випуску енергії неконтрольованої відновлюваної генерації, що належить споживачеві.

На основі інформації, сприйнятої з навколишнього середовища, агент-розпорядник планує свої електричні пристрої, щоб мінімізувати витрати на електроенергію максимізувати свої доходи в рамках розподілу енергії р2р.

Цей процес моделюється моделлю прийняття рішень щодо оптимальної поведінки активного агента (просюмера), яка з врахуванням співвідношення (1) може бути представлена наступною оптимізаційною задачею:

$$\begin{aligned} \min \frac{cost}{T} (p^{internal}, p^{renewable}, x) \\ f(x, A, D) = 0 \\ h(x, A, D) \leq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

де T – сукупність часових кроків, які розглядаються протягом усього горизонту планування; X – змінні рішення, які є робочим станом керованого енергетичного обладнання (наприклад, стан увімкнення / вимкнення машин, нагрівальна здатність електричного водонагрівача тощо); cost – функція внутрішньої ціни на електроенергію, ціни на відновлювану продукцію виробництва та робочий стан енергетичного обладнання, значенням яких є загальна вартість енергії протягом усього горизонту планування; f та h – обмеження типу рівності та нерівності, які враховують фізичні межі функціонування для енергетичного обладнання, а також рівні та якість забезпечення енергією споживачів.

Зазначимо, що власне сукупність дій професійного активного агента визначається із співвідношення:

$$AC_{PA} = [x, e^{bid}, [p^{bid}]], \quad (3)$$

де e^{bid} і p^{bid} – представляють пропозицію енергії та ціну відповідно.

Середовище агента-координатора

На основі інформації, сприйнятої з сукупності дій професійного активного агента, агент-координатор планує своє середовище, щоб мінімізувати втрати та максимізувати роботу. Початкове середовище агента-координатора формується у вигляді співвідношення:

$$E_{CA} = \{p^{external}, e^{bid}p^{bid}\}, \quad (4)$$

де e^{bid} , p^{bid} – представляють пропозицію енергії та ціну відповідно.

Наведемо опис функціонування агента-координатора. Модель ціноутворення Pricing (...) може бути представлена у вигляді:

$$p^{internal} = Pricing(p^{external}, e^{bid}, p^{bid}), \quad (5)$$

де $p^{internal}$, $p^{external}$ – представляє сукупність внутрішніх та зовнішніх цін у механізмі розподілу енергії р2р.

Як наслідок, сукупність дій агента-координатора визначається наступним чином:

$$AC_{CA} = \{p^{internal}, e^{exchange}\}, \quad (6)$$

де $e^{exchange}$ – представляє зміни на енергію.

Передбачається, що Smart Grid перетвориться в невеликі і взаємозалежні локальні мережі. Дерегуляція ринків електроенергії в багатьох країнах дозволяє легко підключатись виробникам енергії будь-якого масштабу. Це заохочує розбудову розподіленої генерації відновлюваної енергетики.

Відносна простота мікромереж робить їх оптимальним вибором для розробки нових концепцій управління. Наприклад, інтелектуальні розподілені автономні енергомережі (IDAPS) – нова концепція на базі microGrid, де попит визначається потребами. Вона описує елементарну структуру мережі, для вирішення більшості типових проблем управління мережами. Країни світу змінюють структуру постачання електроенергії та вже створили різні типи ринків електроенергії. Smart Grid стимулює більш активну участь споживачів. Забезпечення ринкового середовища серед розподілених джерел енергії та споживачами є однією з основних особливостей Smart Grid. Мультиагентна система надає платформу для моделювання автономних, децентралізованих об'єктів прийняття рішень.

Мета створення інтелектуальних мереж має такі ключові завдання:

- Підвищення надійності та безвідмовності роботи системи;
- Підвищення енергетичної ефективності;
- Збереження навколишнього середовища;

Виходячи із зазначених цілей, а також маючи на увазі аналізи розвитку концепції у світі, можна виділити наступні ключові сегменти на яких значною мірою позначиться розвиток інтелектуальних мереж на основі 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.

Для зазначених сегментів можна виділити наступні технології, які розуміються сьогодні під терміном Smart Grid для різних сегментів:

- Системи автоматизованого обліку та інформаційні системи споживачів;
- Інфраструктура систем зв'язку для енергооб'єктів;
- Системи моніторингу стану і управління електротехнічним устаткуванням;
- Системи автоматизації для підвищення надійності і безвідмовності електропостачання;
- Системи, що забезпечують інтеграцію джерел електроенергії малої потужності і накопичувачів;
- Системи управління даними;
- Системи управління оперативними виїзними бригадами.

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

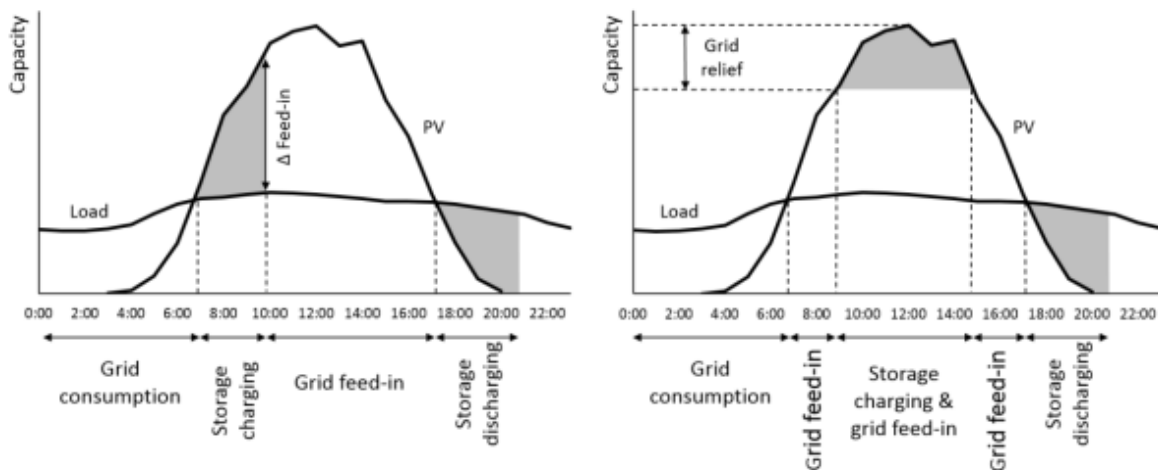


Рисунок 2. Стилїзована ілюстрація завантаження генерації та операції зберігання енергії.

Збільшення просюмерів призведе до зменшення втрат в електромережі. Це може бути досягнуто за допомогою доцільного керування нижчих пікових рівнів подачі фотовольтаїки(PV), які є головним фактором в мережі. Однак механізми не є простими. Мережа передачі відрізняється від розподільної мережі тим, що вона призначена для просторового врівноваження джерел енергії. Оскільки цей розподіл відрізняється за часом, то потоки енергії в електромережі змінюються за рівнем та напрямком. Вплив просюмерів на мережу передачі залежить від розподілу навантаження та відновлювальної генерації.

Якщо просюмер збалансує пікову подачу фотовольтаїки в розподільчих мережах – це

приведе до зниження використання та втрат в мережі електроенергії. Відповідно, вплив на інвестиції в трансмісію визначаються піковим навантаженням залежить від співвідношення відновлювальної подачі електроенергії та пікового навантаження. Акумуляторні батареї використовуються не тільки для децентралізованої генерації PV, але й для електроенергії з електромережі.

Просюмери можуть бути доцільними для зберігання енергії мережі в ситуаціях з низькими ринковими цінами, незважаючи на виробничу потужність.

Залежно від характеристик енергії, яку накопичують просюмери, можна транспортувати через мережу передачі та збільшувати використання мережі. Розробка розподільної та передавальної мереж потребує незалежного обліку розповсюдження, планування та розширення мережі та роботи системи у цілому.

Крім того, стверджується, що розповсюдження просюмерами може спричинити більш економічну вигоду на місцях порівняно із системами, які належать іншим системам. Низка аргументів спирається на політичну економію на нову економіку. Зростаючий сегмент розповсюдження може призвести до подальшого розширення PV, не покладаючись на підтримку. Крім того, просюмери можуть вирішити питання щодо тимчасового скорочення надлишків.

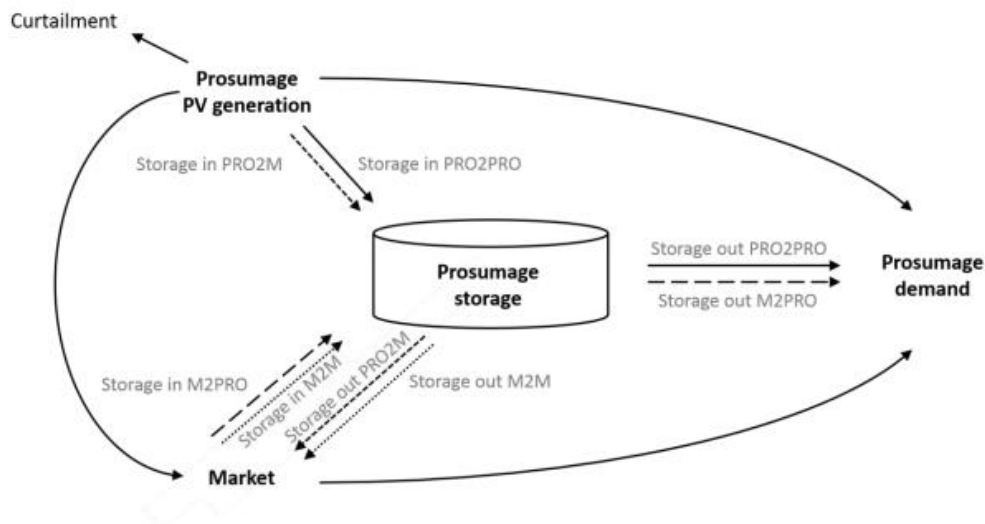


Рисунок 3. Зв'язок між сховищами з різними рівнями інтегрування ринку

Зберігання у сховищах вимагає детальної обробки. У загальному налаштуванні моделі, енергія може надходити як з ринку, так і з власного генерування. Для відстеження непрямої генерації через сховища виділяють як за походженням, так і за призначенням.

Аргументи на користь просюмерів:

- Споживчі уподобання
- Участь у прийнятті перетворення енергії
- Низькі та менші витрати на електроенергію
- Активізація приватного капіталу
- Гнучкість сектору зв'язку та енергетична ефективність
- Різноманітність енергетичної мережі
- Різноманітність мережі передачі
- Посилена конкуренція
- Місцеві вигоди

- Політична економія та новітні аргументи енергетики

Аргументи проти користі просюмерів:

- Можливі втрати ефективності
- Розподільчі впливи на початковому етапі
- Ефекти «відскоку»
- Втілення взаємодії захисту даних та апаратів керування

Характерною тенденцією для багатьох національних та регіональних енергоринків на сьогодні є поступове заміщення традиційної генерації у базовому графіку навантаження відновлюваними джерелами, з паралельним спорудженням високоманеврених станцій. Поступовий перехід на споживання переважно відновлюваної енергії означає скорочення традиційних джерел, таких як атомна та теплова генерація. І в цьому процесі, окрім політичного чинника, є і економічний.

Висновки

З оптимальної точки зору, систему можна змодельовати більш детальним способом, що призводить до операцій зберігання. Таким чином, результати слід інтерпретувати як нижню межу потенціалу щодо втрат ефективності у системі. Очікується, що у системі завантаження фотовольтаїки, регулювання буде менш плавним в залежності від типу споживача і навантаження. Кореляція пропозиції та попит може бути більшим, або нижчим в порівнянні зі стилізованим припущенням. Погодинна роздільна здатність моделі не враховує наслідки внутрішніх конфліктів систем, що може стати важливою проблемою. Відсутність інших варіантів гнучкості управління попитом, або зв'язку між секторами може призвести до надмірного обмеження моделі.

Список використаних джерел

1. Prosumage of Solar Electricity: Pros, Cons, and the System Perspective. [Електронний ресурс]. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2912814.
2. Технології гнучкості для інтеграції ВДЕ в енергосистему. [Електронний ресурс]. URL: <http://uwea.com.ua/uploads/docs/1568872256-2>.
3. International Renewable Energy Agency [Електронний ресурс]. URL: <https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition>.
4. Gordon Feller. The Virtual Power Plant: A New Era of Energy Flexibility [Електронний ресурс]. URL: <https://www.tdworld.com/grid-innovations/generation-and-renewables/article/20973186/the-virtual-power-plant-a-new-era-of-energy-flexibility>.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОНАВАНТАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація: Розглянуто використання методів машинного навчання, а саме методу Gradient Boosting для короткострокового прогнозування електронавантаження для задачі оперативного керування режимами розподільних мереж в умовах впровадження концепції SMAR GRID. Встановлено, що метод Gradient Boosting може бути використаний для складання прогнозу електронавантаження на кожні дві години з точністю до 5% від фактичного обсягу навантаження. Проведені порівняння прогнозних значень з фактичними дозволяють говорити про адекватність обраної моделі мережі і її використанні на практиці для налагодження ефективної роботи розподільної мережі.

Ключові слова: прогнозування, електричне навантаження, SMART GRID, машинне навчання, розподільна мережа, ансамблеві методи, керуючий вплив

Abstract: The use of machine learning methods, namely the Gradient Boosting method for short-term power forecasting for the problem of operational control of distribution network modes under the conditions of SMAR GRID concept implementation, is considered. It has been established that the Gradient Boosting method can be used to estimate electricity consumption every two hours with an accuracy of up to 5% of the actual amount of electricity consumed. The comparisons of the predicted values with the actual ones make it possible to speak about the adequacy of the chosen network model and its applicability in practice for establishing efficient operation of the distribution network.

Вступ

Однією з головних задач, яку необхідно вирішувати для розподільних мереж – це пошук та вибір оптимальних місць розмикання. Метою вирішення цієї задачі є те, що даний захід дозволяє позитивно вплинути на величину втрат електроенергії краще, ніж будь-який інший захід. Концепція SMART GRID передбачає впровадження джерел розподіленої генерації в існуючі мережі, тому постає задача не тільки пошуку місць розмикання, а і оперативного керування конфігурацією мережі в реальному часі.

Виходячи з цього прогнозування графіків електричного навантаження стає все більш важливою задачею, що дає змогу отримати ефективний інструмент для складання балансів, планування та управління режимами роботи розподільних мереж, задоволення зростаючого попиту на електроенергію. Вирішення цих проблем особливо актуальне при умові трансформації енергосистеми згідно концепції SMART GRID, що, у якості важливої складової, передбачає появу джерел розподіленої генерації в складі існуючих мереж.

На даний час розроблено багато методів прогнозування, які відрізняються один від одного в залежності від виду вирішуваних задач при планування роботи системи. Згідно [1], існує наступна класифікація методів прогнозування електричного навантаження:

- оперативне – від кількох хвилин до декількох годин в межах поточної доби;
- короткострокове – від однієї до декількох діб;
- довгострокове поточне – від одного до декількох місяців, кварталів і до одного року;
- довгострокове – від одного до п'яти років;
- перспективне – на п'ять років і більше.

В зарубіжній літературі [2,3] приведена подібна класифікація з певними відмінностями:

- very short-term load forecasting (найбільш короткострокове прогнозування) – з інтервалом до 24-х годин;
- short-term load forecasting (короткострокове прогнозування) – з інтервалом від 24-х до 168-и годин (від однієї доби до тижня);
- mid-term forecasting (середньострокове прогнозування) – з інтервалом від одного тижня до року;
- long-term forecasting (довгострокове прогнозування) – з інтервалом більше одного року.

Про точність прогнозування можна судити в залежності від математичного апарату, який застосовується в тій чи іншій моделі та від низки факторів, які безпосередньо впливають на вихідний результат. Взагалі, формування електричного навантаження являється комплексним нестационарним стохастичним процесом [1,4], що передбачає наявність регулярної та випадкової складових [5,6]. Регулярна складова залежить від набору факторів, які сезонно коливаються в одних і тих же межах, характерних для певної місцевості, які залежать від метеорологічних умов, особливостей функціонування підприємств, характеру життя населення та ін. Нерегулярна складова залежить від появи в сучасних мережах джерел розподіленої генерації, характер вироблення електроенергії яких напряму залежить від погодних умов. В цілому, фактори, які впливають на електричне навантаження можна розділити на чотири групи: часові, метеофактори, економічні і т.д. [7].

Найсуттєвішими являються метеоумови, такі як температура та освітленість, що визначають сезонний характер електроспоживання [9,10]. Це обумовлено роботою різної опалювальної та охолоджувальної техніки в зимовий та літній періоди та тривалістю світлового дня в різні пори року. В свою чергу інші метеофактори (швидкість та направленість вітру, сонячна інсоляція) визначають об'єми генерації нетрадиційних джерел. Як показано в [8], вони суттєво визначають добові коливання та нерівномірність процесів споживання та генерації енергії.

Виходячи з цього, виникає проблема оптимального розподілення потужності для задоволення попиту та ефективного функціонування мережі. Тому, метою побудови моделі прогнозу є отримання даних не тільки в залежності від сезонності, а і з урахуванням нетрадиційних джерел, що дасть змогу для організації управління режимами роботи мережі в реальному часі.

Мета та завдання

Згідно прийнятої концепції SMART GRID наша держава перейшла до етапу побудови принципово нової моделі функціонування електричних мереж, що передбачає зміну її структури і, як наслідок, зміну підходів до її функціонування та керування.

Відповідно до концепції керування має здійснюватися за умови автоматичності, оперативності та на базі інтелектуальних технологій з метою надійного та якісного електропостачання. Процес імплементації на практиці виявляється досить складним, ресурсовитратним і проходить на протязі значного проміжку часу. Тому при побудові сучасної мережі та протягом перехідного періоду важливим стає впровадження новітніх інформаційних та оперативних комплексів.

Базуючись на сучасних інформаційних комплексах можливо налагодити ефективне збирання та обробку даних про електроспоживання, генерацію, з високою точністю аналізувати режими роботи мережі та приймати оперативні рішення по їх керуванню та, як наслідок, зменшити втрати електроенергії та підвищити надійність та якість електропостачання. Це вимагає визначення і застосування адекватних аналітичних критеріїв і підходів до оцінки, аналізу та управління режимами мереж.

Відповідно до вищеприведеного, метою статті є розробка методики, на основі якої оперативний персонал енергокомпаній зможе здійснювати управління режимами розподільної

мережі з двостороннім живленням 6-10 кВ шляхом зміни конфігурації мережі і ґрунтуючись на мінімізації втрат активної потужності. Для вирішення поставленого завдання необхідно розробити модель прогнозування електричного навантаження у вузлі розподільної мережі з джерелами розподіленої генерації.

Матеріал і результати досліджень

В якості моделі для прогнозування електричного навантаження обрано один з ансамблевих методів машинного навчання, принцип роботи яких полягає у об'єднанні так званих «слабких учнів» з низькою здатністю прогнозування у «сильного учня», який володіє в свою чергу високою точністю прогнозу.

Метод Gradient Boosting заснований на принципі мета-алгоритмів ансамблевих методів, так званому boosting, який передбачає послідовне навчання «слабких учнів» адаптивним способом, коли наступний «слабкий учень» залежить від попереднього. На виході ми отримуємо модель, яка детермінованим чином об'єднує всіх «слабких учнів» у одного «сильного» для отримання результуючого прогнозу.

Gradient Boosting - це метод машинного навчання для задач регресії і класифікації, який створює модель прогнозування у вигляді безлічі моделей слабого прогнозування, зазвичай дерев рішень. Він будує модель поетапно, як і інші методи, і узагальнює їх, дозволяючи оптимізувати довільну диференційовану функцію втрат, яка є мірою того, наскільки добре навчена модель передбачає цільову змінну на навчальній вибірці. Типовими прикладами функції втрат є середньоквадратична помилка (MSE) в задачах регресії і логістична функція втрат (logistic loss) [10].

Алгоритм Gradient Boosting вимагає функціонування таких компонентів:

1. Функція втрат: щоб зменшити помилки в прогнозуванні нам потрібно оптимізувати функцію втрат. На відміну від AdaBoost, неправильний результат не має великої ваги при підвищенні градієнта. Задачею алгоритму являється зменшення функції втрат шляхом усереднення результатів від «слабких учнів».

2. «Слабкий учень»: для підвищення градієнта нам потрібні «слабкі учні», щоб виконати прогноз. Щоб отримати реальні значення в якості вихідних даних, ми використовуємо дерева рішень. Щоб отримати найбільш підходящу точку поділу, ми створюємо дерева жадібним чином, завдяки чому модель відповідає набору даних.

3. Адитивна модель: при підвищенні градієнта ми намагаємося зменшити втрати, додаючи дерева рішень. Крім того, ми можемо мінімізувати частоту помилок, скорочуючи параметри. В цьому випадку ми проектуємо модель таким чином, що додавання дерева не змінює існуюче дерево [11-12].

Алгоритм розрахунку:

Задаємося вихідними даними, які представляють собою масив з прогнозними даними та фактори, від яких вони залежать: $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$

При вирішенні задачі прогнозування необхідно враховувати диференційовану функцію втрат: $L(y_i, F(x_i)) = \frac{1}{2}(y_i - F(x_i))^2$, похідна якої дорівнює: $L'(y_i, F(x_i)) = -(y_i - F(x_i))$

Крок 1: Ініціалізація моделі з постійним значенням:

$$F_0(x) = \underset{\gamma}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^n L(y_i, \gamma) \quad (1)$$

Крок 2: для $m=1$ до M :

а) Розраховується:

$$r_{im} = - \left[\frac{\partial L(y_i, F(x_i))}{\partial L(F(x_i))} \right]_{F(x)=F_{m-1}(x)}, \text{ для } i = 1, \dots, n \quad (2)$$

б) Побудова дерева рішень для значень r_{im} і створення кінцевої області R_{jm} для $j = 1, \dots, J_m$.

в) Для $j = 1, \dots, J_m$ розраховується:

$$\gamma_{jm} = \underset{\gamma}{\operatorname{argmin}} \sum_{x_i \in R_{ij}} L(y_i, F_{m-1}(x_i) + \gamma) \quad (3)$$

г) Оновлення результатів:

$$F_m(x) = F_{m-1}(x) + v \sum_{j=1}^{J_m} \gamma_{jm} I(x \in R_{jm}) \quad (4)$$

Оцінка точності прогнозної моделі

Для оцінки прогнозу електричного навантаження використовуються статистичні оцінки помилки прогнозування часового ряду. Найпростіший показник - відхилення фактичного значення від прогнозу в кількісному вигляді.

У практиці розраховують помилку прогнозування по кожній окремій позиції, а також розраховують середню помилку прогнозування. Наступні показники помилки відносяться саме до показників середніх помилок прогнозування.

До них відносяться:

1) MAPE - середня абсолютна помилка у відсотках:

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (5)$$

2) MAE – середня абсолютна помилка:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (6)$$

3) MSE – середньоквадратична помилка:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (7)$$

4) Коефіцієнт детермінації R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (8)$$

5) Медіана абсолютна помилка:

$$MedAE = \operatorname{median}(|y_1 - \hat{y}_1|, \dots, |y_n - \hat{y}_n|) \quad (9)$$

6) Середньоквадратична логарифмічна помилка:

$$MSLE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log(1 + y_i) - \log(1 + \hat{y}_i))^2 \quad (10)$$

Результати моделювання. В даній роботі, як було сказано вище, розглядається короткострокове прогнозування в межах декількох годин і тільки для тих ділянок електричної мережі, в яких спостерігається суттєва зміна значення електричного навантаження. Для цих цілей розмір тренувальної послідовності дорівнює тижню (п'ять робочих днів і два вихідних), розмір тестової послідовності дорівнює одному дню. Розміри послідовностей вибиралися з тих міркувань, що при прогнозуванні на кілька годин модель повинна бути натренована на даних, які повинні включати в себе інформацію відносно графіків навантаження як робочих днів, так і вихідних. Вибирати розмір послідовності більше тижня не має сенсу, так як більш ранні дані можуть негативно вплинути на точність моделі короткострокового прогнозування.



Рисунок 1 – Вихідні дані електричного навантаження за одну добу

Проаналізувавши добові графіки електричного навантаження можна зробити висновок, що для вирішення поставленого завдання, розробки моделі короткострокового прогнозування, модель повинна працювати на тих ділянках графіка, де є якесь виражене зміни значення електричного навантаження. Для того щоб перевірити і протестувати дану модель для вирішення поставленого завдання вибираємо чотири часових відрізка на добовому графіку і проводимо прогнозування.

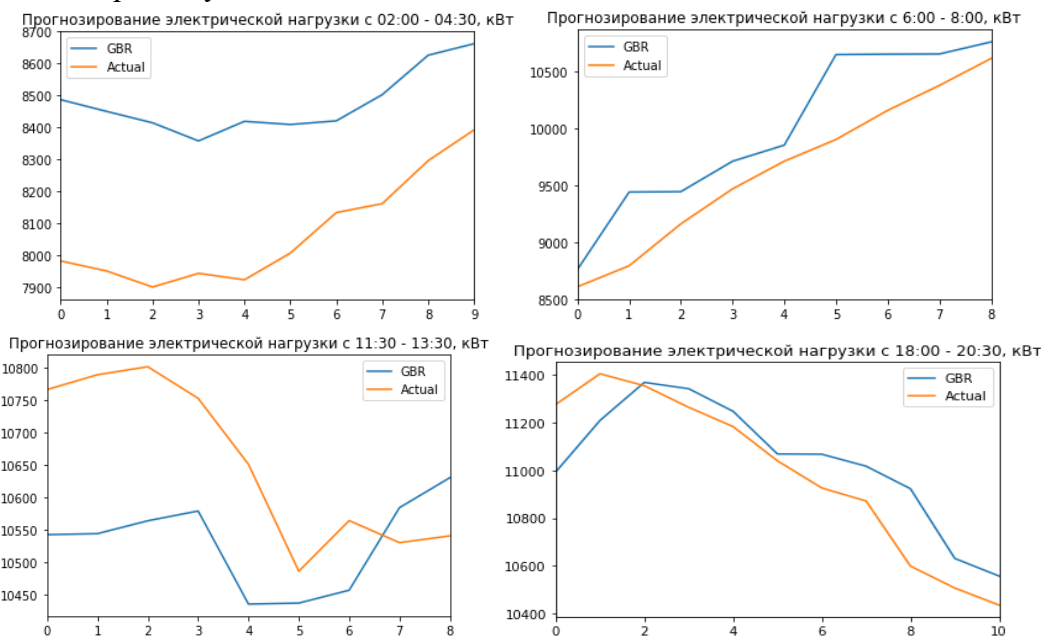


Рисунок 2 – Результати прогнозування на 4 часових відрізках

Таблиця 1 – Оцінка продуктивності моделі на даних чотирьох часових відрізків

Часовий відрізок	R ²	MSE	MAPE (%)	MAE	MLSE	MedAE
02:00-4:30	0,5236	171902	4,78	404,7	0,0025	407,3
06:00-08:00	0,635	166293	3,45	347,21	0,0017	276,13
11:30-13:30	0,714	29788	1,472	155,08	0,0002	173,76
18:00-20:30	0,556	27954	1,261	138,57	0,00023	124,39

Висновки

У ході дослідження було проаналізовано можливість використання методу Gradient Boosting для вирішення задачі короткострокового прогнозування електричного навантаження в реальному часі. За результатами розрахунку можна зробити висновок про адекватність даної моделі для цілей прогнозування. Даний метод може використовуватися як один із можливих методів, на основі яких можливо просканувати стан мережі і визначити доцільність її реконфігурації.

Даний алгоритм реалізовано в програмному середовищі Python і на основі даних розрахунку можна зробити висновок про його працездатність для виконання поставленої задачі.

Список літератури

1. Седов А.В. Системы контроля, распознавания и прогнозирования электропотребления: модели, методы, алгоритмы и средства/ А.В. Седов, И.И. Надтока. – Ростов-н/Д: Изд-во Ростовского университета, 2002. 320 с.
2. Mishra S. Short term load forecasting using computation intelligence methods: Thesis for the degree of Master of technology electronics and communication engineering/Mishra Sanjib. – National Institute of Technology, India, Rourkela, 2008. 89 p.
3. Yang, J. Power System Short-term Load Forecasting: Thesis for Ph.d degree / Yang Jingfei. – Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universitat, Germany, Darmstadt, 2006. 139 p.
4. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. В 2 ч. Ч. 1/Дж. Бокс, Г. Дженкинс; под ред. В.Ф. Писаренко. – М.: Мир, 1974. 406 с.
5. Кильдишев Г.С. Анализ временных рядов и прогнозирование / Г.С. Кильдишев, А.А. Френкель. – М.: Статистика, 1973. 104 с.
6. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования: учеб. пособие для вузов / Т.А. Дуброва. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 206 с.
7. Гросс, Дж. Краткосрочное прогнозирование нагрузки / Дж. Гросс, Ф.Д. Гальяны// ТИИЭР. – 1987. – Т.75, №12. 6-21 с.
8. Губский С.О. Краткосрочное прогнозирование электропотребления в операционной зоне регионального диспетчерского управления с учетом фактора освещенности: дис. ... канд. техн. Наук: 05.14.02/Губский Сергей Олегович. – Новочеркасск, 2012. 231 с.
9. Влияние колебаний метеорологических факторов на энергопотребление энергообъединений / Б.И. Макоклюев, В.С. Павликов, А.И. Владимиров, Г.И. Фефелова // Энергетик. 2003. №6. 14-19 с.
10. Макоклюев Б.И. Учет влияния метеорологических факторов при прогнозировании электропотребления энергообъединений/ Б.И. Макоклюев, В.Ф. Еч / Энергетик. 2004. №6. 15-16 с.

11. Smola A. and Schölkopf B. A Tutorial on Support Vector Regression Neuro COLT, Technical Report NC-TR-98-030. 2003 URL: <http://library.nlu.edu.ua/Biblioteka/sait/nauka/gost/spisok-DSTU.pdf>
12. Jonathan H. Exploring XGBoost. An introduction into classification and feature selection with Ensemble Learning and XGBoost. Jan 17, 2019. URL: <https://towardsdatascience.com/exploring-xgboost-4baf9ace0cf6>
13. Debaditya Ch., Hazem E. Advanced machine learning techniques for building performance simulation: a comparative analysis. 2-6 p. DOI: [10.1080/19401493.2018.1498538](https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1498538)

УДК 620.92

Підгурський І.П.
кафедра електропостачання**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ
СПОРТКОМПЛЕКСУ**

Анотація. Розглянуто основні з наявних способів підвищення енергетичної ефективності інженерних систем будівлі. Також в статті розглянуто наявне інженерне обладнання самої будівлі, а саме спорткомплексу НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», та здійснено аналіз щодо того, до якого інженерного обладнання буде найбільш доцільно впровадити заходи з підвищення енергоефективності. Ключові слова: У цій статті використано терміни які установлені в Законі України «Про енергетичну ефективність будівель» та Законі України «Про енергозбереження».

Ключові слова: БУДІВЛЯ, ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ, ОБСТЕЖЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЗАХОДИ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ, КЛАС ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.

Annotation In this article, some of the available ways to improve the energy efficiency of building systems engineering are discussed. The article also looks at the existing engineering equipment of the building itself, namely the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute Sports Complex, and analyzes which engineering equipment would be most appropriate to implement energy efficiency measures. Keywords: This article uses the terms established in the Law of Ukraine "On Energy Efficiency of Buildings" and the Law of Ukraine "On Energy Conservation".

Key words; BUILDING, ENGINEERING SYSTEMS, INSPECTION OF ENGINEERING SYSTEMS, ENERGY EFFICIENCY, MEASURES TO ENSURE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDING, ENERGY EFFICIENCY CLASS.

Вступ

Реалії нашого часу показують, що вже немає ніяких сумнівів щодо того, що споживання енергоресурсів повинно зменшуватися з плином часу. Адже технології не стоять на місці, а особливо для нашого політехнічного інституту, який має пряме відношення до створення та розробки технологій, що забезпечують підвищення енергоефективності. Зважаючи на те що будівля спорткомплексу КПІ ім. Ігоря Сікорського, є досить складною інженерною спорудою із великою кількістю різноманітних споживачів різних видів енергоресурсів, і збудована ще у 1985 році, стає зрозумілим, що впровадження заходів з підвищення енергоефективності є на часі і вкрай необхідне.

Енергозбереження загальносвітова наукова проблема. Дослідження в різноманітних напрямках даної сфери проводились і проводяться багатьма науковцями. Проектуванню енергоефективних будинків присвячені роботи В.Л. Мартинова, Т.О. Кашенко, М.П. Селіванова, В.В.ДемченкоМ.М. Бродач, А.Н. Дмитриєва, Т.А. Маркуса, Е.Н. Морриса, Ю.А. Табунщикова, О.В. Сергійчука, Н.В. Шилкіна, та інших.

Пропонується як можливість з підвищення енергоефективності, встановлення теплового насосу, для підігріву води в басейн та гарячого водопостачання будівлі спорткомплексу.

Мета: Метою даної роботи є аналіз наявних методів підвищення енергоефективності інженерних систем будівлі спорткомплексу.

Завдання: Дослідити перелік наявних інженерних систем будівлі, визначити їх стан та можливі заходи з підвищення енергоефективності інженерного обладнання, з метою подальшого їх впровадження на практиці.

Основна частина:

Актуальність проблеми енергозбереження для будівель бюджетних організацій, з одного боку, обумовлена соціальною значущістю цих об'єктів, з іншого боку, марнотратне споживання енергії та відсутність системного підходу до реалізації енергозберігаючих заходів є одними з основних причин дефіциту бюджетів усіх рівнів. Зважаючи на те, що останнім часом нові об'єкти бюджетної сфери в експлуатацію майже не вводяться, основні резерви енергозбереження знаходяться у сфері вдосконалення енергоспоживання раніше побудованих будівель бюджетних установ і економія паливно-енергетичних ресурсів в закладах бюджетної сфери зростає пропорційно виділенню на ці цілі коштів. Будівля розглядається як система, до якої входять теплоізоляційна оболонка та все інженерні системи, що забезпечують нормальне функціонування будівлі. Інженерні системи – це сукупність всіх мереж та комунікацій, які призначені для забезпечення комфортного перебування людей, довговічної експлуатації будівель, а також нормальної роботи технологічного обладнання. До переліку інженерних систем будівлі відносяться: опалення, вентиляція, гаряче та холодне водопостачання, каналізація, електрозабезпечення. З метою систематизації даних про результати обстеження інженерних систем та моніторингу за дотриманням законодавства у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель створюється база даних звітів про результати обстеження інженерних систем (далі - база даних звітів), яка формується та ведеться центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної житлової політики і політики у сфері житлово-комунального господарства. Також окремо потрібно розглянути, таку інженерну частину будівлі спорткомплексу, як басейн. Власне новизною і будуть можливі заходи, які будуть застосовані до інженерного обладнання, яке підтримує функціонування системи теплопостачання в цілому та такої інженерної споруди як басейн. Для функціонування басейну використовуються, насоси резервуари для очистки води, великий вентиляційний комплекс, система теплопостачання, система підігріву води.

Розглянемо можливі методи підвищення енергоефективності у таких інженерних системах, як: теплопостачання та гаряче водопостачання, вентиляція, електропостачання. Також окремо виділимо басейн як інженерну споруду яка є споживачем великої кількості енергоресурсів з вище перелічених систем.

Система теплопостачання та гарячого водопостачання

В системі теплопостачання задіяні три пластинчаті теплообмінники 2 великих та один малий(в роботі знаходиться один з двох великих та малий, третій стоїть у резерві). Гаряче водопостачання забезпечується КП «Київтеплоенерго». В великій та малих спортивних залах підігрів здійснюється радіаторами, які є старими, неефективними і можуть бути утилізовані а їм на заміну можна встановити, наприклад: вентилятори з тепловими елементами або інший вид більш сучасного обладнання для підігріву приміщення. Також, як заходи з підвищення енергоефективності системи теплопостачання та гарячого водопостачання можливі наступні: чистка теплообмінників(з моменту встановлення жодного разу не проводилась), термомодернізація огорожувальних конструкцій, а саме, заміна вікон, утеплення зовнішніх стін будівлі, встановлення на даху будівлі сонячних колекторів, встановлення теплового насосу.

Система вентиляції

Зазвичай, вентиляція є одним із найбільших споживачів теплової та електричної енергії. Нажаль у випадку з системою вентиляції в спорткомплексі наявна дуже складна ситуація. Провівши обстеження та поспілкувавшись з головним інженером, стало зрозуміло, що система вентиляцію практично не працює, тобто, не споживає енергоресурсів. Тому з точки зору підвищення енергоефективності, вжити якихось заходів в системі вентиляції без її функціонування практично неможливо.

Система електрозабезпечення

В будівлі спорткомплексу велика кількість споживачів електроенергії. З основних це: 5

насосів для басейну з двигунами потужністю (3 по 37 кВт, та 2 По 5кВт), система освітлення приміщень. Можливі заходи це: заміна застарілої електропроводки, заміна ламп, встановлення на даху сонячних панелей(батарей) для забезпечення частини споживання електроенергії, заміна або модернізація двигунів насосів.

Басейн

Басейни використовують для плавання, проведення змагань та виступів спортсменів. Основними чинниками які впливають на погіршення стану басейнів в процесі експлуатації басейнів є волога та явне тепло, які, за неправильної експлуатації кліматичного обладнання, спричиняють руйнування огорожувальних конструкцій, ефект «парника» та перевитрати енергії на підігрів води. Басейн складна інженерна споруда. На його функціонування витрачається багато енергоресурсів. Ресурси споживають: баки для фільтрації води, насоси для переміщення мас води, система підігріву води для оптимальної температури та інше. Захід, який підвищує енергоефективність басейну в цілому, це встановлення теплового насосу для підігріву води. А також, заміна двигунів насосів на більш енергоефективні.

Висновки: Будівля спорткомплексу НТУУ КПІ – досить складна інженерна споруда з багатьма видами інженерного обладнання та складними досить застарілими інженерними системами. Для підвищення енергоефективності інженерних систем будівлі існує досить багато комбінацій енергозберігаючих заходів. З них найбільше виділяється вдосконалення системи теплопостачання.

Бібліографічний список:

1. НАКАЗ від 11.07.2018 № 170 Про затвердження Методики визначення економічно доцільного рівня енергетичної ефективності будівель / Офіційний сайт Верховної Ради України. – [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0823-18>
2. ЗАКОН УКРАЇНИ Про енергетичну ефективність будівель / Офіційний сайт Верховної Ради України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО МІКРОКЛІМАТУ ПЛАВАЛЬНИХ БАСЕЙНІВ В'ячеслав Васильович Джеджула – Режим доступу: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/635>
4. Нечепуренко, Д. С. "Дослідження способів підвищення енергоефективності інженерних систем житлових мікрорайонів при комплексній реконструкції та вторинній забудові." Будівельні конструкції 77 (2013): 334-337.

УДК 621

Степаненко В.А.
Веремійчук Ю.А., к.т.н., доцент.
Кафедра електропостачання

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ ДАХОВОЇ СЕС КОРПУСУ №22

Анотація: В статті розглянуто ефективність генерації сонячної електростанції, що знаходиться на даху навчального корпусу №22 КПІ ім. Ігоря Сікорського. Здійснено моделювання роботи СЕС за допомогою програмного забезпечення та проведено порівняльний аналіз генерації електричної енергії з експериментальними даними. Встановлено, що на ефективність роботи СЕС впливає затінення фотомодулів у ранковий і вечірній час. В результаті експериментального вимірювання виявлено, що присутнє часткове затінення панелей обмежує генерацію електричної енергії на 80 %.

Ключові слова: фотоелектричний модуль, сонячна панель, генерація електричної енергії, ефективність сонячної електростанції, моделювання генерації.

Abstract: The article considers the efficiency of generation of a solar power station located on the roof of the educational building №22 Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Modeling of solar power station operation with the help of software is carried out and the comparative analysis of electric power generation with experimental data is carried out. It is established that the efficiency of solar power station is affected by the shading of photomodules in the morning and evening. As a result of experimental measurement, it was found that the present partial shading of the panels limits the generation of electrical energy by 80 percent.

Keywords: photoelectric module, solar panel, electricity generation, solar power plant efficiency, generation modeling.

Вступ. В даний час світовий попит на енергію зростає за межі встановлених виробничих потужностей, тому для ефективного задоволення майбутніх потреб в сфері енергетики необхідно покращувати енергетичну безпеку та активно досліджувати варіанти впровадження та роботи альтернативних джерел енергії. Ефективне енергетичне рішення повинно мати можливість ряду довгострокових проблем, використовуючи альтернативні та поновлювані джерела енергії. Серед багатьох відновлюваних джерел енергії сонячна енергія є найбільш поширеним елементом в структурі енергетичних вузлів та інтегрованих енергопостачальної системи, оскільки вона широко доступна як з точки зору джерела, так і з точки технологій [1, 2].

Сонячна енергетика в Україні зазнала феноменального зростання в останні роки завдяки технологічним удосконаленням, що призводять до скорочення витрат, а також урядової політики, що підтримує розвиток та використання відновлюваної енергії. Встановлена потужність СЕС в Україні складає 4368 МВт це складає 78,61% від потужності обладнання ВДЕ [3].

За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України [4] загальна потужність сонячних електростанцій, встановлених у домогосподарствах країни, сягає 618 МВт, завдяки якій можна генерувати більше 700 млн. кВт-год електроенергії у рік. Важливо, що це мала розподілена генерація, яка дозволяє використовувати енергію в точці виробництва. Станом на 1 квітня 2020 року 24 139 домогосподарств встановили сонячні електростанції на своїх ділянках.

Для аналізу роботи СЕС основним параметром є ефективність сонячної панелі, яку визначають при стандартних умовах тестування фотоелектричного модуля. Стандартними

умовами є температура навколишнього середовища $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і 1000 Вт/м^2 світлового потоку спектра АМ 1.5G. Для популярних полікристалічних сонячних панелей ККД становить від 16% до 17,5%. У монокристалічних сонячних батареях цей параметр вище і становить від 17% до 19%[5,6].

Втім на практиці ефективність роботи сонячної електростанції залежить від багатьох чинників. Крім відхилення від стандартних умов, важливими факторами є азимут і кут нахилу фотоелектричних модулів, що обумовлює також відстань між ними з урахуванням взаємного затінення. Крім можливого взаємного затінення потрібно уникати і інших факторів, що зменшують генерацію електричної енергії.

Мета та завдання. Метою даної роботи є визначення ефективності функціонування дахової СЕС корпусу №22. Відповідно до поставленої мети головними завданнями є аналіз генерації електричної енергії, моделювання роботи СЕС за допомогою програмного забезпечення та визначення факторів, що можуть негативно впливати на її роботу.

Матеріал і результати досліджень.

Сонячна електрична станція корпусу №22, схема якої представлена на рис. 1, була введена в експлуатацію з травня 2019 року і востаннє була модифікована в лютому 2020 року. До основного обладнання СЕС можна віднести: мережевий інвертор марки JFY3000, котрий має два трекери, до яких підключено фотоелектричні модулі. В перший стрінг об'єднані 9 панелей різного типу сумарною потужністю 1,74 кВт Другий стрінг утворюють 5 послідовно з'єднаних монокристалічних кремнієвих панелей марки M300-M156-60BK потужністю 300 Вт кожна.

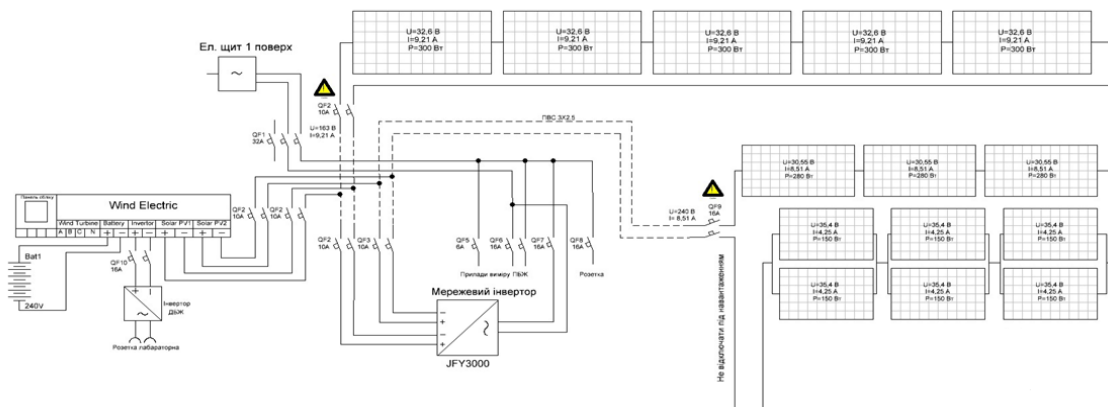


Рисунок 1 – Схема дахової СЕС корпусу №22

На рисунку 2 представлена динаміка зміни генерації електричної енергії за період часу, протягом якого працювала дахова СЕС корпусу № 22.

Для оцінювання ефективності роботи дахової СЕС було проведено порівняння генерації електричної енергії панелями марки M300-M156-60BK за січень - квітень 2020 року з даними, отриманими за допомогою програмного забезпечення System Advisor Model.

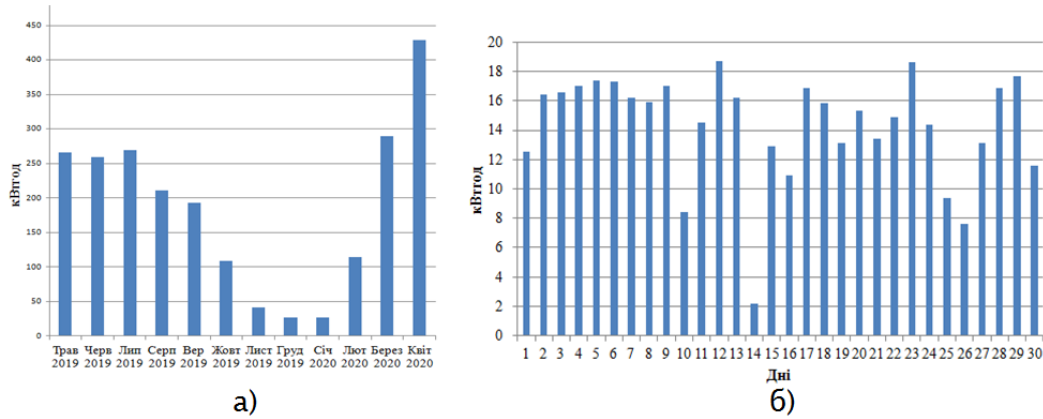


Рисунок 2 – Генерація електричної енергії дахової СЕС корпусу №22 помісячно (а) та за квітень 2020 року (б)

На початку здійснено моделювання генерації електричної енергії за допомогою програмного забезпечення System Advisor Model (SAM) [7]. Програма обчислює електричну потужність фотоелектричної системи, використовуючи окремі модульні та інверторні моделі (рис. 3). Також фотоелектрична модель оцінює втрати внаслідок впливу температури на працездатність модуля і має варіанти розрахунку втрат у системі.

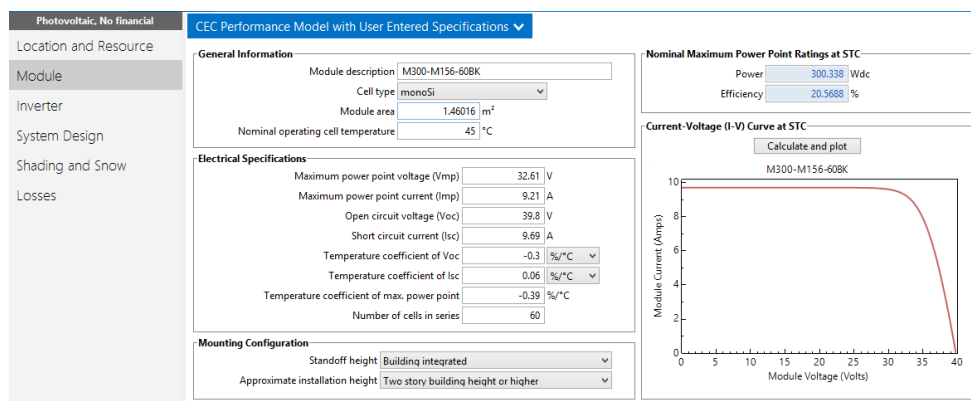


Рисунок 3 – Вікно програми System Advisor Model

Проте дане програмне забезпечення дозволяє отримати генерацію електричної енергії панелями лише однієї марки, тому на рис. 4 представлені промодельовані результати для другого потоку.

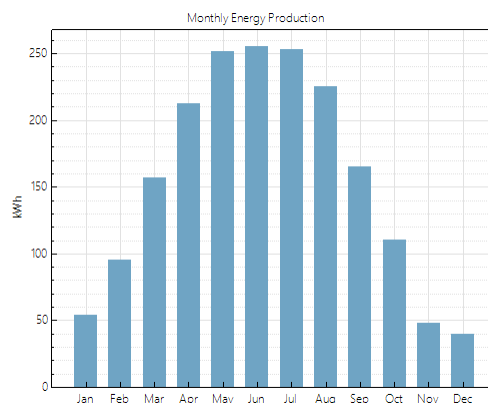


Рисунок 4 – Результати моделювання генерації панелями марки M300-M156-60BK
На рис. 5 помітно значне відхилення генерації електричної енергії у зимові місяці.

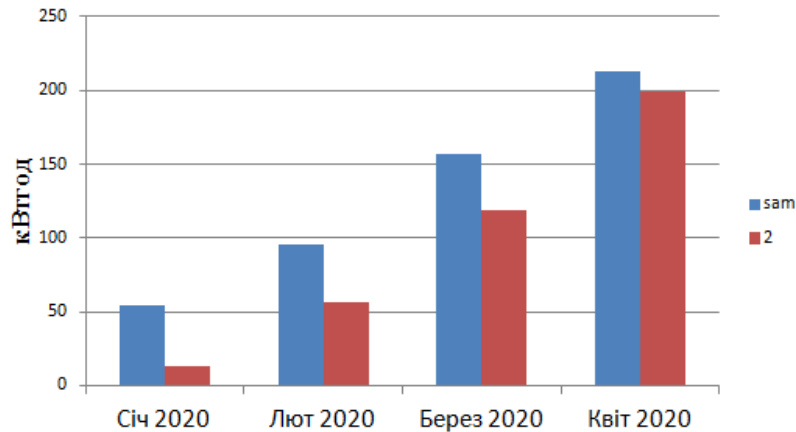


Рисунок 5 – Порівняння генерації електроенергії панелями другого потоку з модельованими значеннями

На ефективність роботи фотоелектричного модуля та станції можуть впливати наступні фактори: погодні умови, затінення, втрати при перетворенні енергії DC/AC, втрати в кабельних лініях, забруднення панелей, пошкодження фотоелектричних елементів, перегрів або пошкодження інвертора, відсутність циркуляції повітря навколо панелей.

Для знаходження факторів, що зменшують ефективність генерації дахової СЕС проаналізовано роботу сонячних панелей протягом доби. На рис. 6 показано потужність двох потоків за 15 та 16 березня 2020 року, дані яких записувалися до бази із дискретністю 5 хвилин.

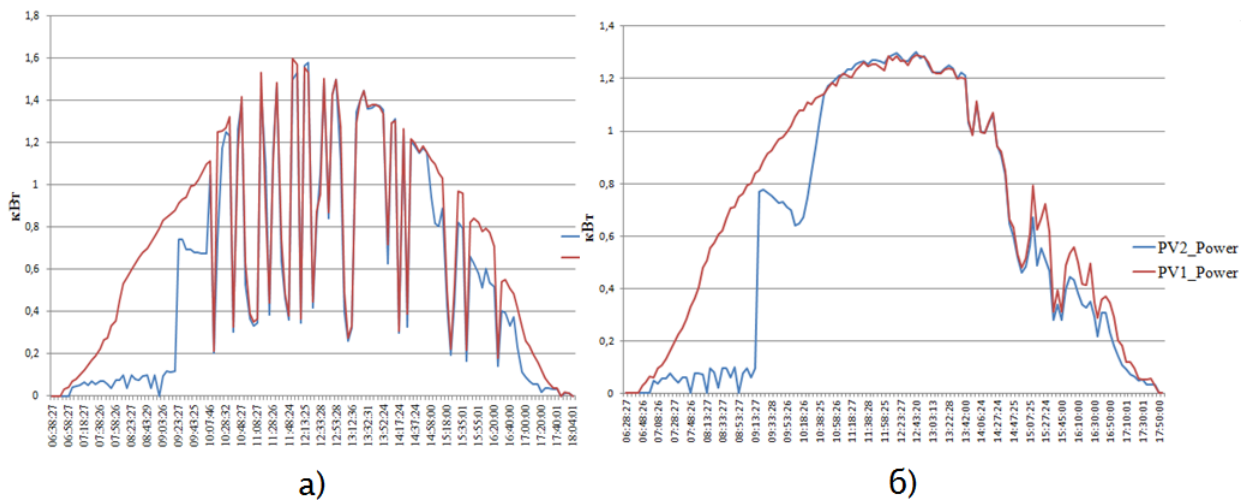


Рисунок 6 – Добовий графік потужності СЕС
(а - за 15 березня 2020 року, б - за 16 березня 2020 року)

Провали у графіку генерованої потужності пояснюються хмарністю, проте помітно значне відхилення між двома потоками у період до 10:00 та після 15:00. Дана різниця спричинена частковим затіненням панелей другого потоку конструкціями вентиляційних систем технічного поверху корпусу №22. Для аналізу обсягу затінення було проведено експериментальне дослідження у першій половині дня, результати якого наведено у таблиці 1. Фото затінення наведено на рисунку 7.

Проаналізувавши результати дослідження визначено, що часткове затінення менше 10% від загальної площі панелей другого потоку. Проте тінь зменшує генеровану потужність

на 80 відсотків. (див. рис. 6).

Таблиця 1 – Результати дослідження часткового затінення СЕС

Час	7:52	8:02	8:10	8:17	8:23	8:31	8:36	8:41	8:45	8:49
Незатінена площа, м ²	6,81	6,87	6,92	6,97	7,03	6,98	7,03	7,02	7,04	7,08
% незатіненої поверхні	93,3	94,0	94,8	95,4	96,2	95,6	96,3	96,2	96,4	96,9
Час	8:55	9:01	9:09	9:17	9:25	9:31	9:35	9:48	9:55	10:00
Незатінена площа, м ²	7,08	7,12	7,16	7,20	7,22	7,24	7,24	7,28	7,29	7,30
% незатіненої поверхні	97,0	97,5	98,0	98,6	98,9	99,1	99,2	99,8	99,8	100,0



Рисунок 7 – Фото часткового затінення панелей

Це пояснюється тим, що навіть один затінений фотоелектричний елемент обмежує напругу всієї панелі. Одним із рішенням щодо підвищення ефективності роботи СЕС в умовах часткового затінення фотомодулів є використання діодів. В сонячні панелі вбудовують шунтуючі діоди, або ще їх називають байпасними діодами[8].

Також крім впливу на ефективність генерації СЕС, часткове затінення сонячної панелі призводить до значного перегріву затінених елементів. На зменшення генерованої потужності другого потоку впливає послідовне з'єднання самих модулів, при якому окрема панель має аналогічну поведінку при затіненні, що і сам фотоелектричний елемент, тобто обмеження ефективності всього стрінгу. Проте часткове затінення негативно впливає не лише з економічної точки зору, а й з технічної, оскільки при такому режимі зменшується експлуатаційний ресурс фотоелектричного елемента. В подальшому планується більш детально дослідити роботу фотоелектричних модулів та їх електротехнічні характеристики під час впливу різних факторів.

Висновки.

В роботі представлено результати моделювання роботи сонячної електростанції та

проведено порівняння отриманих даних з реальними значення генерації електричної енергії.

Визначено, що на ефективність роботи фотоелектричного модуля та станції можуть впливати наступні фактори: погодні умови, затінення, втрати при перетворенні енергії DC/AC, втрати в кабельних лініях, забруднення панелей, пошкодження фотоелектричних елементів, перегрів або пошкодження інвертора, відсутність циркуляції повітря навколо панелей. За допомогою експериментального вимірювання було виявлено, що присутнє часткове затінення панелей обмежує генерацію електричної енергії на 80 відсотків.

В подальшому планується детальне вивчення робочих характеристик панелей в умовах затінення, визначення температурних точок.

Список використаних джерел.

1. Veremiichuk Yurii, Ivan Prytyskach, Olena Yarmoliuk and Vitalii Opryshko "Energy Sources Selection for Industrial Enterprise Combined Power Supply System." 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). IEEE, 2019.

2. Veremiichuk Y. , Zamulko A., Zaichenko S., Mahnitko A., Berzina K., Zicmane I. "Analysis of Electric Energy Supply Security Attached to Renewable Energy Sources Implementation" X International Conference on Electrical and Power Engineering EPE 2018 Iași, Romania. October 18-19, 2018.

3. Національна енергетична компанія «Укренерго». [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://ua.energy/>

4. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://saee.gov.ua/uk>

5. Китаев Н. Солнечные панели с высоким КПД. – 2016. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://savenergy.info/page/solnechnye-paneli-s-vysokim-kpd>

6. Silva Wilson. Trendy solar cells hit new world efficiency record. - 2016. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://newsroom.unsw.edu.au/news/sciencetech/trendy-solar-cells-hit-new-world-efficiency-record>

7. The System Advisor Model. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://sam.nrel.gov>

8. Guo SY, Walsh TM, Aberle AG, Peters M. Analysing partial shading of PV modules by circuit modelling. Proc. 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Austin, USA; 2012, pp. 002957-002960.

УДК 621.22

Слюсарь К.В., магістрант
кафедра електропостачання

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ В ЛІКАРНЯХ

Анотація. В статті розглядаються засоби підвищення загального рівня енергоефективності лікарні за рахунок сучасного обладнання та організаційних заходів.

Ключові слова: енергетична ефективність, енергозбереження, споживання енергоресурсів.

ENERGY EFFICIENCY OF THE HOSPITAL

Annotation. The article considers the means of improving the overall level of energy efficiency of the hospital through modern equipment and organizational measures.

Key words: energy efficiency, energy saving, energy consumption.

Вступ

В Україні налічується близько 1700 лікарень із загальною кількістю приблизно 309 тисяч ліжок-місць. Специфіка діяльності лікарень висуває особливі вимоги щодо їх енергопостачання. Енергоресурси в лікарнях спрямовуються на життєзабезпечення закладу, у т.ч. підтримання необхідного мікроклімату в приміщеннях (освітлення, опалення, вентиляція та охолодження) та задоволення побутових потреб (харчоблоки, пральні тощо), а також функціонування медичного обладнання.

Значне зростання вартості енергоносіїв, яке відбулося в Україні за останні кілька років, вимагає від місцевих органів влади та адміністрацій лікарень шукати шляхи скорочення споживання енергоресурсів. Зазначена мета досягається завдяки впровадженню комплексу організаційних та технічних заходів.

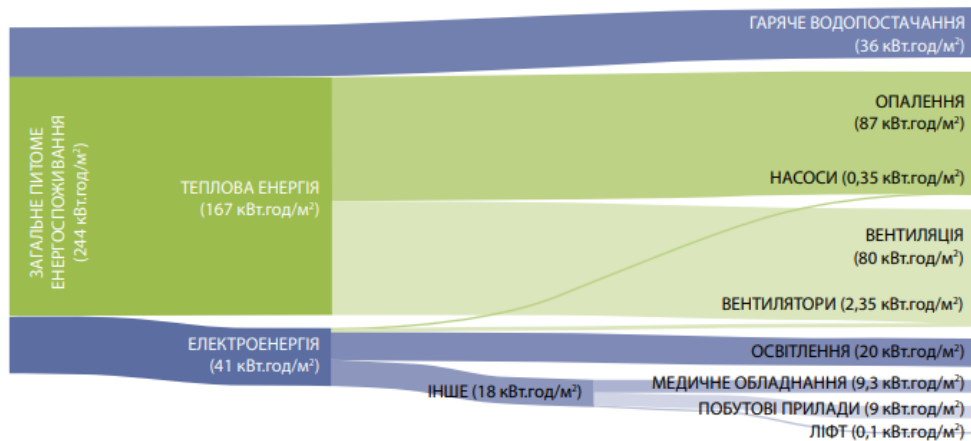
Мета

Визначення організаційних заходів, які можуть бути інтегровані у щоденну роботу лікарень без додаткових витрат коштів, часу і зусиль та заходів енергозбереження та зменшення тепловитрат в лікарнях. Такими заходами можна досягнути до 10% економії споживання енергоресурсів.

Матеріал та результати досліджень

Особливості функціонування лікарень (24/7) роблять їх одними з найбільших споживачів енергії у громадському секторі України. Показники питомого споживання енергоресурсів в українських лікарнях значно перевищують аналогічні показники в лікарнях Німеччини. Така ситуація спричинена великими тепловтратами через огорожуючі конструкції будівель, неефективним електрообладнанням та нераціональним використанням енергоресурсів. Надмірне споживання енергоресурсів в лікарнях призводить до значних витрат бюджетних коштів на їх утримання. Вирішення цієї проблеми можливо шляхом впровадження проектів комплексної термомодернізації будівель, які, за експертними оцінками, можуть забезпечити до 70 % скорочення споживання енергії в медичних закладах. Ми розуміємо, що для багатьох з них це поки залишається перспективою, оскільки реалізація таких складних технічних проектів потребує спільних зусиль адміністрацій лікарень та місцевих органів влади, підтримки з боку держави, а також значних фінансових коштів. Водночас, вже сьогодні адміністрації медичних закладів здатні самостійно зробити кроки для підвищення енергоефективності шляхом впровадження нескладних організаційних та маловитратних заходів, які можуть дозволити скоротити споживання енергоресурсів в лікарнях до 15% та підготувати їх до впровадження в перспективі проектів комплексної термомодернізації. Реалізація таких проектів, крім підвищення комфортності перебування в

лікарнях та суттєвого скорочення бюджетних коштів, має позитивний вплив на навколишнє середовище.



Структура енергоспоживання в лікарнях включає переважно наступні ресурси: тепло, електроенергію та воду

Процес управління енергоспоживанням базується на достовірних відомостях про споживання (витрати) кожного окремого виду ресурсів як в цілому по медичному закладу, так і в його окремих функціональних ланках. Це вимагає доповнення лікарні достатньою кількістю приладів обліку: комерційними – для визначення загального обсягу енергоресурсів та здійснення розрахунків з їх постачальниками; розподільчими – для внутрішнього контролю обсягів споживання енергоресурсів в окремих функціональних ланках медичного закладу.

- Першим елементом управління є моніторинг енергоспоживання, який здійснюється на основі аналізу відомостей про споживання окремих видів енергоресурсів. Виконання завдань моніторингу необхідно покласти на спеціально призначених та навчених посадових осіб, а на рівні функціональних ланок лікарні призначити відповідальних за енергозбереження. Порядок здійснення моніторингу, а також завдання та функції залучених до енергомоніторингу посадових осіб рекомендується визначити окремим розпорядчим документом керівника медичного закладу.

- Дотримання оптимального температурного режиму в приміщеннях. Нормативні показники температури в приміщеннях лікарень залежать від їх функціонального призначення: операційні та процедурні – 20-21°C, палати – 20-25°C, душові та санвузли – 20-23°C, приміщення загального користування – 18-20 °C.

- Оптимізація використання штучного освітлення, оскільки близько 30% загального обсягу споживання електроенергії припадає саме на освітлювальні прилади: використання природне освітлення; не залишати увімкненим освітлення у приміщеннях, якщо в цьому немає потреби; запровадження у випадках економічної обґрунтованості засоби автоматичного управління освітленням (датчики руху, фотоавтомати, таймери тощо); замінити старі лампи на світлодіодні (LED) для освітлення приміщень, де це не суперечить санітарним нормам. Такі лампи споживають до 5 разів менше електроенергії та мають значно довший термін експлуатації.

- Оптимізація використання електроприладів: закупаючи нове медичне електрообладнання віддавати перевагу зразкам, які мають класи енергоспоживання «А» та «А+»; здійснення заміни електрообладнання, яке використовується в системах життєзабезпечення (ліфти, насоси, централізована вентиляція та кондиціонування тощо) та для задоволення побутових потреб (холодильники, електричні плити, пральні машини тощо), застарілих конструкцій на сучасні моделі з класами енергоспоживання «А», «А+» «А++», які мають показники електроспоживання на 30-50% менші; контроль дотримання оптимального режиму використання медичного та побутового електрообладнання (температурний режим

холодильників, експлуатація електроплит, пральних машин, бойлерів тощо), рекомендованого їх виробниками; вимкнення медичного та побутового електрообладнання, у т.ч. комп'ютери, монітори тощо, коли воно не використовується. Не залишати прилади в режимі очікування «Standby» – це допоможе зменшити споживання електроенергії приблизно на 8%; обмежити час користування кондиціонерами для охолодження приміщень. В спекотні часи доби тримайте вікна зачиненими, а в разі необхідності здійснюйте в приміщеннях вентиляцію повітря в режимі «швидкого» провітрювання протягом до 10-15 хвилин.

- Утримання санітарно-технічної арматури у справному стані: слідкування за технічним станом всієї водозапірної та регулюючої арматури та забезпечуйте її своєчасний ремонт; за можливості здійснення поступової заміни змішувачів (кранів) застарілих конструкцій на сучасні. При цьому краще віддавати перевагу одноважільним змішувачам, оскільки вони є більш економічними; застосування якісних розпилювачів на змішувачах і душових установках – це дозволить комфортно користуватися водою при вдвічі меншій витраті. Рукоятка душі з вимикачем потоку води знижує її витрату ще на чверть, якщо ним користуватися; у разі проведення заміни сантехнічного обладнання, слід віддавати перевагу закупівлі бачків для унітазів з регульованим стоком води (економічний режим 2-4 л / концентрований режим 6-8 л), оскільки унітази споживають до 30% води, яка використовується для санітарно-гігієнічних потреб.

Рекомендовані заходи можна розподілити на такі, що: не вимагають додаткового фінансування (організаційні заходи, у т.ч. щодо впровадження енергетичного менеджменту, тощо); є маловитратними, - не вимагають капітальних витрат та можуть впроваджуватися в межах фінансування поточного утримання лікарні; є високовитратними, - потребують капітальних вкладень (наприклад, утеплення огорожуючих конструкцій будівель, капітальний ремонт системи опалення, заміна коштовного електрообладнання тощо) та мають фінансуватися в межах бюджетних програм або інвестиційних проектів.

Ранжування енергоефективних заходів за орієнтовними показниками їх вартості та термінів окупності дозволить адміністрації лікарні більш якісно планувати роботу щодо підвищення ефективності використання енергоресурсів на короткострокову та середньострокову перспективу, а також залучати для цього необхідне фінансування.

Висновок

Втрати в галузях енергетики є значними, що обумовлено державним регулюванням енергетичного сектору, відсутністю коштів на модернізацію енергогенерувальних потужностей і транспортних мереж. Тому першочерговою задачею для поліпшення ситуації в енергетичній і екологічній сферах є підвищення енергоефективності всіх галузей енергетики, економіки, промисловості, житловокомунального господарства, зокрема, лікарень.

Список використаної літератури

1. Ратушняк Г. С. Енергоефективні технологічні процеси та обладнання біоконверсії. Монографія / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 160 с.
2. Вербицький Є.В. Енергозбереження і енергоефективність-1 - К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – 106 с
3. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://thermomodernisation.org>
4. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://econf.at.ua>

Гавор М.І.

РОЗРОБКА СПОСОБУ КЛАСИФІКАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ШЛЯХОМ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОГО ДЕРЕВА РІШЕНЬ

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

В ході виконання статті було розглянуто один із ефективних методів автоматичного аналізу масиву інформаційних даних на основі побудови дерева рішень бінарних вейвлет-перетвореннях. Були вказані задачі які розв'язуються за допомогою дерева рішень, визначена структура дерева пакетного вейвлет-перетворення, а також розглянута побудова оптимальної структури бінарного дерева пакетного вейвлет-перетворення за ентропією Шенона.

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

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

In the course of the article, one of the effective methods of automatic analysis of an array of information data based on the construction of a decision tree of binary wavelet transforms was considered. The problems to be solved with the help of the decision tree were specified, the structure of the batch wavelet transform tree was determined, and the construction of the optimal structure of the binary tree of the batch wavelet transform according to Shannon entropy was considered.

Вступ

Метою роботи є дослідження ефективних методів автоматичного аналізу масиву інформаційних даних є побудова, так званого дерева рішень.

В даній роботі мною буде розглянуто класифікація інформаційних сигналів на основі оптимальної структури бінарного дерева вейвлет-перетворення.

Основна перевага даного способу полягає в більш точній і надійній класифікації для випадків наявності у інформаційних сигналах шумових компонент.

Актуальність теми

Як показує аналіз наукових публікацій, існуючі методи ідентифікації та класифікації інформаційних сигналів або забезпечують задовільну точність, за умови досить складних алгоритмів їх використання, або на рівні зі швидкодією та простотою алгоритмів навпаки не дозволяють досягти заданої точності. Тобто, вони можуть застосовуватись для вирішення тих чи інших вибіркових задач, але забезпечення оптимального співвідношення між точністю класифікації, швидкодією та простотою алгоритмів залишається досить складною проблемою.

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

Задачі які розв'язуються за допомогою дерева рішень

Задачі, які розв'язуються за допомогою дерева рішень можуть бути об'єднані в основні три класи:

- опис даних – інформація зберігається у компактній формі дерева рішень, яке утримує точний опис об'єктів;
- класифікація – віднесення об'єктів до одного із раніше визначених класів, при цьому цільова змінна повинна мати дискретні значення;
- регресія – встановлення залежності цільової змінної, яка має неперервне значення, від вхідних змінних за допомогою дерева рішень.

Із великої кількості алгоритмів, які реалізують дерева рішень, найбільш поширеними є наступні два:

- CART (Classification and Regression Tree) – це алгоритм побудови бінарного дерева рішень – дихотомічної класифікаційної моделі. Кожний вузол дерева при розбитті має тільки двох нащадків (листіків). За допомогою даного алгоритму вирішуються задачі класифікації та регресії;

- С 4.5 – алгоритм побудови дерева рішень кількість нащадків у вузлі якого при цьому необмежена. Використовується тільки для вирішення задач класифікації.

Структури дерева пакетного вейвлет-перетворення

При застосуванні пакетних вейвлетів вхідний сигнал описується трьома параметрами: позиції та масштабу, а також частотою. Фактично, пакетне вейвлет-перетворення являється адаптивним. Ця адаптація не потребує відомостей про статистичні властивості сигналів і дозволяє більш точно враховувати особливості аналізованого сигналу шляхом вибору відповідної оптимальної форми дерева розкладу. Це дозволяє забезпечити мінімальну кількість вейвлет-коефіцієнтів при їх класифікації.

Для дослідження планується розробка методу ідентифікації та класифікації ГЕН за допомогою побудови оптимального дерева. Як відомо, бінарні дерева доволі просто можуть бути представлені у вигляді списків або масивів. При цьому кожен елемент дерева має поле даних і два поля показників. Один показник зв'язує елемент з правим нащадком, а другий – з лівим (рис. 1).

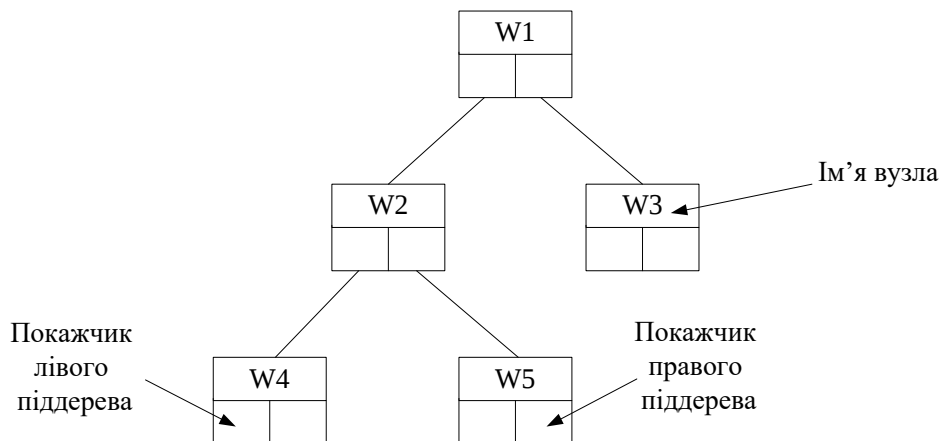


Рисунок 1– Представлення бінарного дерева у вигляді спискової структури

Дослідження показали, що представлення бінарного дерева у вигляді масиву є найбільш ефективним. А саме, бінарне дерево завжди має строго означене число вершин на кожному рівні, які нумеруються зліва – направо послідовно за рівнями і використовуються в якості індексів у одновірних масивах.

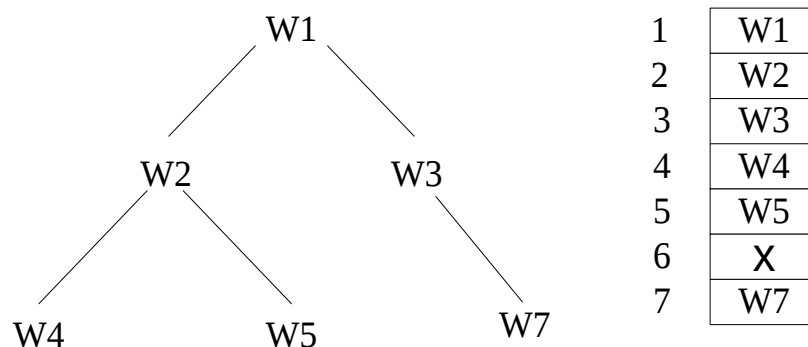


Рисунок 2 – Представлення бінарного дерева у вигляді масиву

Також, в зв'язку з тим, що в процесі обробки число рівнів дерева суттєво не змінюється, такий спосіб представлення бінарного дерева є значно більш економічним на відміну від стекової структури.

Аналіз наукових досліджень свідчить, що головним недоліком даного способу представлення бінарного дерева являється те, що структура даних є статичною. Розмір масиву обирається виходячи із максимально можливої кількості рівнів бінарного дерева. Тобто чим менш повним є дерево, тим менш раціонально використовується об'єм пам'яті.

Побудова оптимальної структури бінарного дерева пакетного вейвлет-перетворення за ентропією Шенона

За допомогою побудови оптимального дерева при проведенні зворотної вейвлет-декомпозиції (реконструкція інформаційного сигналу) незначні, інформаційно-надлишкові, або зовсім непотрібні деталі сигналів виключаються. Мірою оптимальності при цьому являється кількість апроксимуючих і деталізуючих коефіцієнтів для реконструкції сигналу у межах заданої похибки.

При побудові дерева рішень особливу увагу слід приділяти питанням вибору критерію атрибута та відсікання віток. Обраний атрибут повинен розбивати множину так, щоб отримані в підсумку підмножини складались із об'єктів, які належать до одного класу, або є максимально наближеними до нього.

В якості функції вартості інформативності набору вейвлет-коефіцієнтів використовується ентропія Шенона. Дана функція буде великою, якщо вейвлет-коефіцієнти приблизно однієї величини, і невеликою, якщо всі вейвлет-коефіцієнти, окрім декількох, близькі до нуля. Під ентропією Шенона розуміється величина

$$E = \exp\left(-\sum_{k=1}^N P_k \log P_k\right),$$

де $P_k = |x_k|^2 / \|x_k\|^2$, x – вхідний сигнал, вейвлет-коефіцієнти якого $\{x_k\}_{1 \leq k \leq N}$ зустрічаються з ймовірністю $\{P_k\}_{1 \leq k \leq N}$.

Побудову оптимального дерева рішень проведено шляхом визначення ентропії вузлів і його апроксимуючих і деталізуючих коефіцієнтів – нащадків. Якщо ентропія вузла є більшою за ентропію нащадків, подальша декомпозиція в даному вузлі закінчується і дерево “обрізається”. Алгоритм декомпозиції рекурсивно продовжується до досягнення глибини декомпозиції.

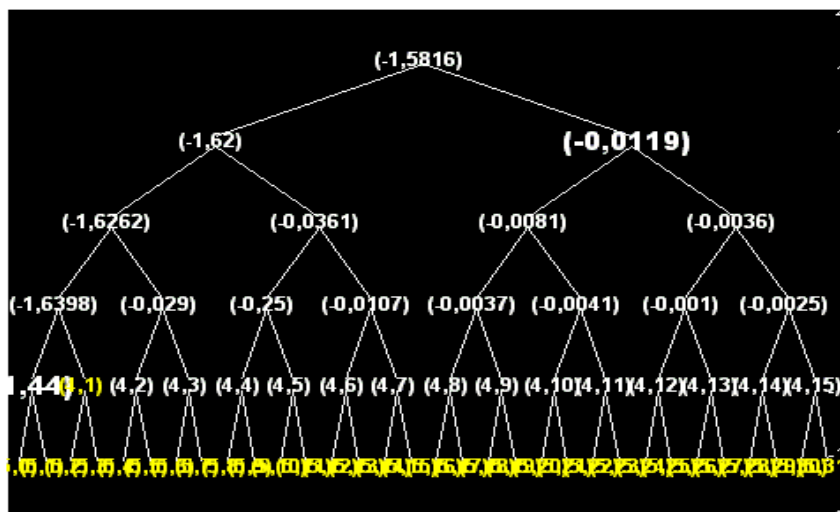


Рисунок 3 – Повне бінарне дерево пакетного вейвлет-перетворення

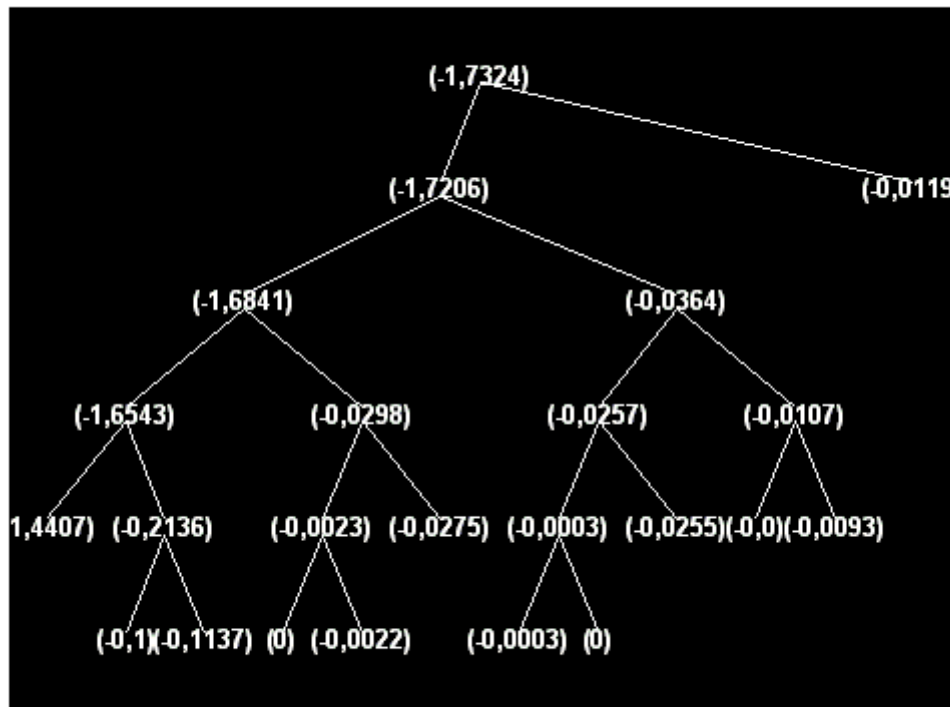


Рисунок 4 – Оптимальне дерево вейвлет-декомпозиції (у вузлах представлені значення ентропії)

Висновок

Підсумовуючи, необхідно відмітити, що застосування в якості вектору ознак класифікації оптимального дерева рішень зазвичай забезпечує суттєву економію пам'яті для зберігання інформаційних даних та збільшує швидкість доступу до баз даних, однак класифікація сигналів в певних випадках може мати значні похибки, тому необхідно проводити аналіз точності, для усіх можливих оптимальних дерев, і в таких випадках потрібно приділяти увагу підвищенню точності проведення класифікації при застосуванні у якості вектору ознак оптимального дерева рішень.

Перелік використаних джерел

1. Орлов А.И. Статистические методы и анализ данных// Социология. – 1991.- № 2. - С. 28 – 49.
2. А.В. Гармаш Лекция 13. Методы классификации и идентификации. Распознавание образов. - <http://chemstat.com.ru/node/13/>
3. Дж. Вэн Райзин. Классификация и кластер. Перевод с английского П.П.Кольцова под редакцией Ю.И.Журавлева// Издательство. – М.:Мир, 1980. – 389 с.
4. Daniuseviciute L. Wavelet-based Entropy Analysis of Electromyography during 100 Jumps/L. Daniuseviciute, K. Pukenas, A. Skurvydas // Electronics and Electrical Engineering. – 2010. – № 8 (104). – Р. 93 – 96.
5. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / Изд-во иностр. Литературы. – Москва. – 1963. – 832 с.
6. Волошко А.В. Метод класифікації інформаційних сигналів за допомогою побудови оптимального дерева вейвлет-перетворення/А.В. Волошко, Т.М. Лутчин, Д.Ю. Терещенко// Енергетика, екологія. Людина. - 2012. С. 81 – 85.

Голуб В.Д.Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**ЗАСТОСУВАННЯ ЙМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ
ПОБУДОВА ЕЛЕКТРИЧНИХ БАЛАНСІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ
СОБІВАРТОСТІ ВИГОТОВЛЕНОЇ ПРОДУКЦІЇ**

Розвиток економіки держави сьогодні є одним із найважливіших питань. Одним із кроків для досягнення мети є підвищення енергоефективності та енергозбереження, що є можливим завдяки застосуванню науково обґрунтованих методів управління використанням паливно-енергетичних ресурсів в об'єднаній енергетичній системі України.

Аналізуючи існуючі споживачі електричної енергії, можна сказати, що найбільшу частку серед споживачів електроенергії займає виробничий сектор, який має суттєвий вплив на функціонування енергетичної системи, яка була побудована на території України ще за радянських часів. Зменшити грошові витрати на виробництво тієї чи іншої продукції, зменшити собівартість та зробити продукцію конкурентоспроможною на Європейському ринку є можливим за умов раціонального використання електричної енергії на виробничих об'єктах. Виходячи з цього, можна казати, що побудова електричних балансів та контроль ефективного використання електроенергії не тільки на підприємствах, але й у побутовому секторі, є важливою місією кожного громадянина держави.

Електричні баланси розробляють задля контролю ефективного використання енергії, але, на жаль, єдиного методу або методики, за допомогою яких можна було б побудувати та проаналізувати електробаланси на підприємствах сьогодні практично не існує. Цим питанням займалася низка провідних дослідників. Як свідчить практика, традиційні методи не дають змогу будувати достатньо достовірні та обґрунтовані електробаланси, а отже, ця проблема на сьогодні не є вирішеною на достатньому рівні.

Основною проблемою побудови балансів споживання електричної енергії виробничих об'єктів є визначення структури їх витратної частини, тобто складу та величин корисної витрати та втрат електричної енергії.

Для побудови електричних балансів споживання електричної енергії існує вже традиційний розрахунково-аналітичний метод, але він не може враховувати змінний характер електроспоживання, а також зміни в самих вихідних даних, тому цілком закономірним є виникнення ідеї використання докорінно нового - ймовірно-статистичного підходу. Такий підхід являє собою використання методів теорії ймовірності та математичної статистики побудови точніших та достовірніших електричних балансів на підприємствах.

Застосування ймовірно-статистичного підходу, який ґрунтується на врахуванні випадкового характеру процесів електроспоживання, технологічних та інших виробничих показників є одним з перспективних шляхів для підвищення обґрунтованості та достовірності результатів побудови балансів споживання електричної енергії на виробництві. До того ж, ймовірно-статистичний підхід дає можливість використовувати у розрахунках нечіткі значення відповідних вихідних величин, що дає змогу побудувати електричні баланси на більшості підприємствах, де зазвичай вихідні дані є нечіткими.

Побудова електричного балансу споживання електричної енергії на підприємствах, використовуючи ймовірно-статистичний підхід, здійснюється у три етапи. Першим етапом є проведення експертного опитування працівників підприємства.

Головна мета експертного опитування – встановлення можливих інтервалів всіх можливих значень, а також оцінювання ймовірності знаходження окремих їх значень у відповідних інтервалах. У якості експертів зазвичай використовують думку головних енергетиків, технологів або операторів установок. Після обробки результатів експертного

опитування визначаються усі можливі рівні значень кожного з попередньо визначених нечітких вихідних параметрів, які надалі необхідно використовувать при побудові електробалансу на підприємстві.

Для оцінки частоти знаходження певних значень тривалості роботи чи коефіцієнтів завантаження обладнання у відповідних інтервалах, для експертів може бути представлена таблиця з трьома лінгвістичними рівнями, що показана у таблиці 1.

Лінгвістичний рівень	Характеристика рівнів
Рідко	Фактичний обсяг електроспоживання обладнання знаходиться у відповідному інтервалі не частіше, ніж у 20% випадків
Часто	Фактичний обсяг електроспоживання обладнання знаходиться у відповідному інтервалі у 20...50% випадків
Дуже часто	Фактичний обсяг електроспоживання обладнання знаходиться у відповідному інтервалі частіше, ніж у 50% випадків

Таблиця 1. Рівні, що характеризують частоту знаходження фактичних обсягів електроспоживання кожного виду обладнання у відповідних інтервалах.

Другим етапом побудови електробалансів за допомогою ймовірісно-статистичного підходу є формування псевдо реальних статистичних даних про числові значення нечітких вихідних параметрів за допомогою методів імітаційного моделювання. Для цього у кожному з встановлених експертами інтервалів можливих значень виробничих параметрів, виходячи з оцінок рівня частоти (табл.1), доцільно використовувати, наприклад, метод Монте-Карло, за допомогою якого може бути згенерована відповідна кількість псевдореальних величин тривалості роботи обладнання та коефіцієнтів його завантаження.

Таким чином, результатом другого етапу побудови електробалансів підприємств з використанням ймовірісно-статистичного підходу є формування достатньо великих за обсягом вибірок псевдо реальних значень всіх нечітких виробничих параметрів, які у подальшому будуть використані для розрахунку нормативних витрат електричної енергії як окремими видами обладнання, так і на підприємстві в цілому.

Третім етапом побудови електробалансів за допомогою ймовірісно-статистичного підходу є формування розрахункових моделей електроспоживання, іншими словами, формування деякої, достатньо великої кількості псевдо реальних балансів споживання електричної енергії. Формування таких розрахункових моделей споживання електричної енергії являє собою окрему і досить складну ітеративну процедуру.

На початку виконання цієї процедури, основуючись на раніше сформованих вибірках псевдо реальних величин нечітких технологічних параметрів, генеруються можливі комбінації їх числових значень. На підставі «індивідуальних» ймовірностей появи окремих величин нечітких вихідних параметрів може бути розрахована «сумарна» ймовірність появи кожної з можливих комбінацій значень всіх виробничих параметрів, необхідних для побудови балансів споживання електроенергії підприємства.

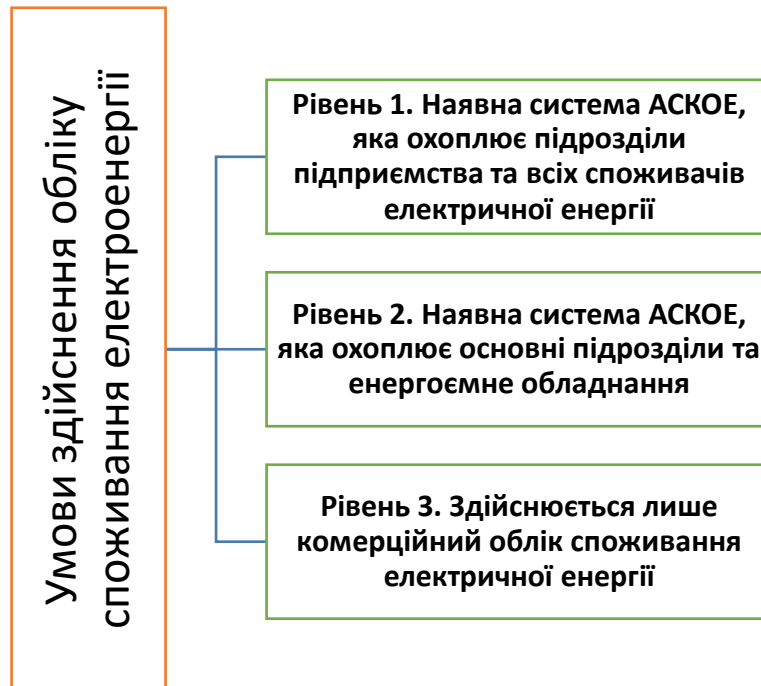
Кожна з одержаних таким чином комбінацій псевдо реальних значень нечітких виробничих параметрів являє собою окремий набір чітко визначених вихідних даних, завдяки яким можна побудувати одну з можливих розрахункових моделей електроспоживання підприємства.

Останнім етапом застосування ймовірісно-статистичного підходу до побудови балансів споживання електричної енергії на підприємствах є порівняння одержаних на попередньому етапі правдоподібних варіантів цих електробалансів за «сумарною» ймовірністю їх появи.

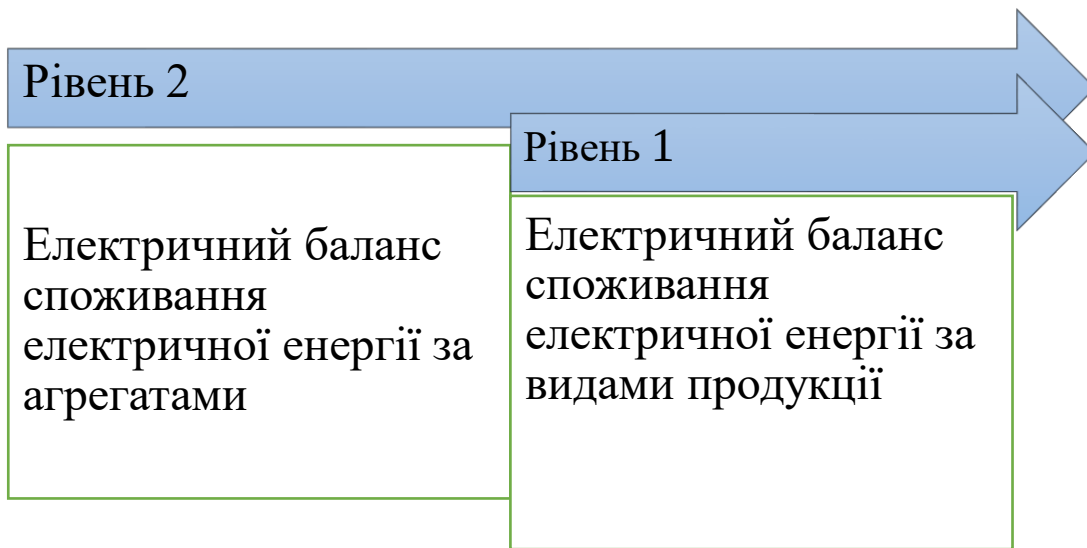
Достовірним слід вважати той варіант витратної частини балансу споживання

електроенергії, «сумарна» ймовірність появи якого є найбільшою.

Можливість та насамперед доцільність застосування тих чи інших методів для побудови електричних балансів на виробництві напряду залежить від рівня охоплення підприємства приладами обліку електроспоживання. На рисунку наведені умови здійснення обліку електроспоживання виходячи із можливих рівнів охоплення підприємства приладами обліку.



Побудова електричних балансів, а також їх подальший аналіз, здійснюється на двох рівнях: перший рівень передбачає побудову електробалансів за видами продукції, що виробляється на тому чи іншому підприємстві, а другий рівень передбачає побудову балансів за агрегатами, які виконують ту чи іншу роботу для виробництва певного виду продукції. Такий підхід дозволить певною мірою враховувати особливості кожного підприємства, спростувати розмірність задачі та отримувати більш обґрунтовані електричні баланси у більш зручному вигляді для подальшого контролю та аналізу енергоефективності.

**Електричний баланс за видами продукції**

Перший рівень побудови електричного балансу передбачає визначення основних видів продукції, які виробляються на тому чи іншому підприємстві.

Електричний баланс за агрегатами

Другий рівень побудови електричного балансу передбачає перш за все ознайомлення з технологічними схемами виробництва продукції. За їх допомогою визначається склад обладнання, яке задіяне у виробництві певного виду продукції, а також яке слугує основою для формування структури електричних балансів споживання електричної енергії за агрегатами.

УДК 0.007

Фролов І.В., магістрант
науковий керівник **Попов В.А.**, д-р.техн.наук, проф
кафедра електропостачання, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАХИСНОГО ОБЛАДНАННЯ В ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ 6-20 КВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.

***Анотація** - В даній статті розглянуті основні питання підвищення надійності електричних мереж у зв'язку з збільшенням використання джерел розосередженої генерації. Зроблено огляд та проведено аналіз, щодо переваг та недоліків оптимізаційних алгоритмів, які на даний час використовуються в різних країнах світу, для оптимального розміщення захисного обладнання в повітряних лініях.*

***Ключові слова:** секціонування, повітряна лінія, надійність електропостачання, реклоузер, розподілена генерація, недовідпуск електроенергії, жорсткий алгоритм, генетичний алгоритм.*

***Abstracts** - This article addresses the main issues of increasing the reliability of power grids due to the increased use of distributed generation sources. The advantages and disadvantages of the optimization algorithms currently in use in different countries around the world have been reviewed and analyzed for the optimal placement of safety equipment in overhead lines.*

***Keywords:** sectionalizing, overhead line, reliability of power supply, recloser, distributed generation, power failure, greedy algorithm, genetic algorithm.*

Вступ

Алгоритми оптимізації встановлення захисного обладнання в повітряних лініях (ПЛ) існують вже на протязі досить довгого часу, проте з ускладненням топології електричних мереж виникала потреба в оновленні (створенні нових) алгоритмів. Основною причиною цього став факт збільшення масштабів електричних мереж та зміна, або не визначеність енергетичних потоків в мережі (децентралізована генерація та введення на енергетичний ринок джерел відновлювальної енергетики), що у свою чергу ускладнює розрахунки та робить попередньо розроблені алгоритми не актуальні з причини обмеженості машинно-розрахункового ресурсу, або занадто великої кількості часу для здійснення розрахунків.

При такому розвитку мережі, актуалізується питання її безпеки та надійності. Також не змінною залишається умова забезпечення нормативно заданого рівня надійності мережі, в умовах обмеженості ресурсів.

Спираючись на задану проблематику та тенденції, які присутні в сьогодинішньому енергетичному секторі України, важливо ознайомитися з попереднім вітчизняним та іноземним досвідом, провадження алгоритмів для оптимальної роботи електричної мережі.

Мета та завдання

Основною метою даної статті є вивчення попереднього досвіду, щодо створення нових алгоритмів оптимізації, що враховують умови обмеженості ресурсів та працюють з врахуванням наявності в мережі малих джерел генерації. Базуючись на такому досвіді, метою для подальших робіт буде формування в даній роботі, алгоритму, який би зміг поєднати сильні сторони алгоритмів використаних в цій роботі.

Матеріал досліджень

Одним з головних регуляторів Українського ринку електроенергії виступає НКРЕКП. Проаналізувавши законодавчу базу постанов даного регулятора, стосовно питання рівня надійності електропостачання, важливо виділити постанову від 12.06.2018 № 375 про «порядок забезпечення стандартів якості надання послуг з електропостачання»[1].

Даною постановою регламентуються основні якісні показники (рівень напруги, час перерв електропостачання, відхилення рівня напруги тощо). За перевищення вказаних лімітів (Додаток 1 і 3 постанови), встановлені штрафні санкції (Додаток 2 постанови), що є економічно не вигідним для оператора системи електропостачання.

Для уникнення штрафних санкцій та забезпечення стандартами електропостачання встановленими НЕРЕКП, оператор має зменшувати масштаби відмов, які виникають в електричній мережі. Також слід зважати на той факт, що при від'єднанні споживача від мережі, його споживання електроенергії зупиняється, тобто оператор несе додаткові втрати, бо товар, який був вготований не продається.

Основні показники, які використовуються для аналізу надійності ПЛ це ENS (очікуваний недовідпуск електричної енергії), SAIFI (системний показник середньої частоти перерв електропостачання), SAIDI (системний показник середнього часу перерв електропостачання) [2]. Також, як важливий параметр для прийняття рішення є вартість встановленого обладнання С.

Для мінімізації «зони відмови», використовуються різні види захисного обладнання (плавкі вставки, реклоузери, секціонолайзери тощо). Проте зважаючи на обмеженість фінансового ресурсу, актуальним стає питання «ціни/якість», тобто яким чином досягнути заданого показника при мінімальних витратах. Саме з цією метою оператори електропостачання використовують алгоритми оптимізації.

Для повного розуміння роботи оптимізаційних алгоритмів, була зібрана інформація щодо традиційних алгоритмів оптимізації, та інформація про алгоритми, які були нещодавно розроблені і розробка яких, була зумовлена потребою прогнозування оптимального варіанту розташування захисного обладнання в умовах розосередженої генерації (в тому числі і відновлювальної енергетики).

Одні з основних алгоритмів, які вже досить довгий час використовуються є Гріді (жадібний) та Генетичний алгоритм.

- Гріді алгоритм:

- алгоритм робить оптимальний вибір на кожному кроці, намагаючись знайти загальний оптимальний спосіб вирішення проблеми. На рис 1. зображено граф, який ілюструє, як за Гріді алгоритмом, буде проходити обрання оптимального варіанту. Також даний рис демонструє, що варіант, який обирається даним алгоритмом не є «ідеальним».

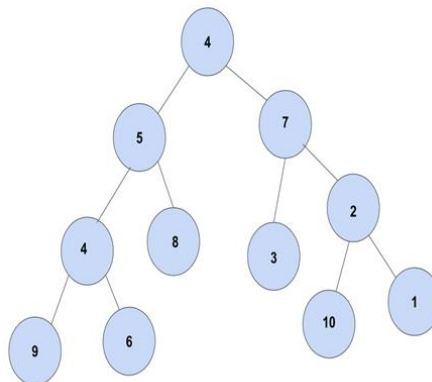


Рис 1. Приклад роботи Гріді алгоритму [3].

- Генетичний алгоритм:

- це алгоритм, який працює аналогічно принципу природного відбору. Зазначений принцип полягає в знаходженні декількох оптимальних варіантів та об'єднання їх (принцип життєвого циклу хромосом). Після об'єднання найоптимальніших варіантів, відбувається аналогічний 2 етап відбору. Цикли будуть продовжуватися, до моменту поки умови виходу з циклу не будуть виконані [4]. Даний алгоритм можна побачити на рис 2.

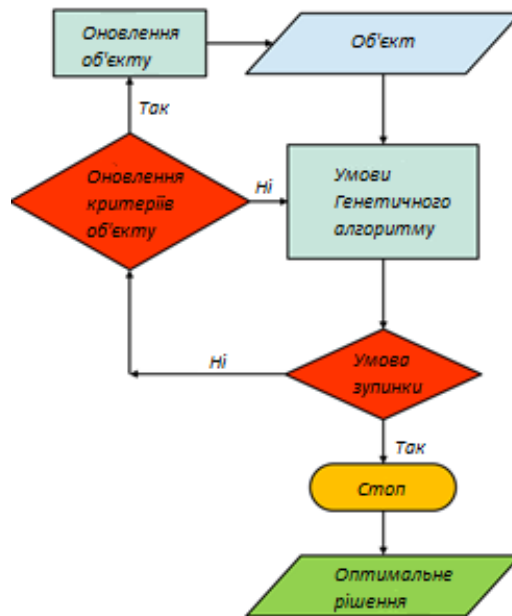


Рис 2. Приклад роботи Генетичного алгоритму.

З розвитком електромережі розвивалися і алгоритми, які використовували для оптимізації встановлення захисного обладнання. Результатом цього стало створення алгоритмів «колонії мурах» та «стрибка жаби»:

- Алгоритм «колонії мурах»:

- даний алгоритм розроблений на основі об'єднання генетичного та жадібного алгоритмів. За ідею було взято умовний «рух мурах» по матриці (матриця представляє собою з'єднання між вузлами), які за мінімальну кількість ітерацій мають знайти оптимальний варіант за заданими параметрами алгоритмом. В даному алгоритмі одразу можна досиджувати, оптимізацію одразу декількох параметрів мережі [5].

- Алгоритм «стрибка жаби»:

-даний алгоритм є багатокритеріальним, та дозволяє зменшити кількість ітерацій за рахунок відкидання певної групи варіантів (перестрибуючи їх «стрибком жаби»), що дає змогу зменшити час та навантаженість розрахунку для великих мереж. Проте за рахунок такого «стрибка» відкидається більша кількість варіантів розташування захисного обладнання, тобто ймовірність знаходження найкращого варіанту розміщення захисного обладнання в ПЛ зменшується [6].

При проведенні загального аналізу алгоритмів, було складено порівняльну таблицю проаналізованих алгоритмів (Таблиця 1).

Таблиця 1. Порівняльна таблиця оптимізаційних алгоритмів.

Алгоритм	Гріді	Генетичний	«Колонія мурах»	«Стрибок жаби»
Переваги	Є успішними в проблемах, таких як пошуку найкоротшого шляху через граф.	Алгоритм має властивість само покращення за рахунок селекції. Може працювати одночасно для оптимізації декількох показників.	Має можливість оптимізації одразу декількох параметрів надійності, в даному випадку: SAIFI, SAIDI, TC/ENS.	Зменшує кількість варіантів, які можуть розглядатися.
Недоліки	У багатьох проблемах Гріді алгоритм не дає оптимального рішення.	Потребує глибокого знання програмування.	Створений на базі Гріді та Генетичного алгоритмів, тому має схожі недоліки. Не враховує непостійну генерацію ВДЕ.	За рахунок зменшення часу розрахунку, може видавати варіант, який далекий від оптимального.

Результати досліджень

Після вивчення основних актуальних питань, щодо надійності електропостачання, було сформульовано та виконано наступні кроки, щодо розробки нового алгоритму оптимізації:

- Було вирішено, що для розрахунку оптимального місця встановлення захисної апаратури буде використовуватися наступна цільова функція:

$$\max \left\{ \frac{\Delta NRI^L(x_n^k)}{\Delta C^L(x_n^k)} \right\}$$

де, $\Delta NRI^L(x_n^k)$ – нормлізований індекс надійності;

$\Delta C^L(x_n^k)$ – відображає відносний приріст витрат на підвищення надійності після установки в лінію +1 захисного пристрою;

$$\Delta NRI^L(x_n^k) = w_{SAIDI} \frac{SAIDI^{L-1} - SAIDI^L(x_n^k)}{SAIDI^{L-1}} + w_{SAIFI} \frac{SAIFI^{L-1} - SAIFI^L(x_n^k)}{SAIFI^{L-1}} + w_{ENS} \frac{ENS^{L-1} - ENS^L(x_n^k)}{ENS^{L-1}}$$

де, $w_{SAIDI} + w_{SAIFI} + w_{ENS} = 1$

Також було вирішено, що значення витрат на встановлення захисного обладнання буде обмежуватися, в залежності від умов задачі та виду обладнання, що використовується.

- На основі невеликої електричної мережі (11 вузлів), було розроблено код у програмному забезпеченні Payton, який розраховує оптимальний варіант встановлення захисного обладнання в даній мережі. Даний код розраховує максимальне зменшення недовідпуску електроенергії та оптимальний варіант витрати коштів. Результати даного аналізу можна побачити на рис 3.

```

number of reclosers = 12
edges with reclosers: [(0, 1), (1, 2), (2, 3), (2, 5), (5, 6), (6, 7), (6, 9), (7, 8), (9, 10), (9, 11), (11, 12), (11, 13)]
EESN value = 284800.0
Extra supply enregy (profit) = 402000.0
Profit (PLN) = 212400.0
-----
number of reclosers = 12
edges with reclosers: [(0, 1), (1, 2), (2, 3), (3, 4), (5, 6), (6, 7), (6, 9), (7, 8), (9, 10), (9, 11), (11, 12), (11, 13)]
EESN value = 290400.0
Extra supply enregy (profit) = 396400.0
Profit (PLN) = 209040.0
-----
number of reclosers = 12
edges with reclosers: [(0, 1), (1, 2), (2, 5), (3, 4), (5, 6), (6, 7), (6, 9), (7, 8), (9, 10), (9, 11), (11, 12), (11, 13)]
EESN value = 299000.0
Extra supply enregy (profit) = 387800.0
Profit (PLN) = 203880.0
-----
number of reclosers = 12
edges with reclosers: [(0, 1), (2, 3), (2, 5), (3, 4), (5, 6), (6, 7), (6, 9), (7, 8), (9, 10), (9, 11), (11, 12), (11, 13)]
EESN value = 296000.0
Extra supply enregy (profit) = 390800.0
Profit (PLN) = 205680.0
-----
number of reclosers = 12
edges with reclosers: [(1, 2), (2, 3), (2, 5), (3, 4), (5, 6), (6, 7), (6, 9), (7, 8), (9, 10), (9, 11), (11, 12), (11, 13)]
EESN value = 284000.0
Extra supply enregy (profit) = 402800.0
Profit (PLN) = 212880.0
-----
EESN min value = (284000.0, [(1, 2), (2, 3), (2, 5), (3, 4), (5, 6), (6, 7), (6, 9), (7, 8), (9, 10), (9, 11), (11, 12), (11, 13)])
Profit max value = (214800.0, [(1, 2), (2, 3), (2, 5), (5, 6), (6, 7), (6, 9), (7, 8), (9, 10), (9, 11), (11, 12), (11, 13)])

```

Рис 3. Результати розрахунку програми.

• На даному етапі відбувається розробка алгоритму на базі Гріді, який би одночасно враховував вищезазначені показники мережі. Після завершення його розробки, буде проведений аналіз, щодо його результативності та на основі аналізу зроблені висновки, щодо подальшого напрямку роботи.

Висновки

За результатами роботи, було зроблено висновки, що за рахунок розвитку електричної мережі, виникла потреба в оновленні оптимізаційних алгоритмів встановлення захисного обладнання. При аналізі вже існуючих алгоритмів були зроблені висновки та висвітлені їх основні переваги та недоліки. На основі даних висновків, були висунуті основні положення, за якими в подальшому буде проводитися розробка нового алгоритму з використанням програмного забезпечення. Результативність такого алгоритму буде оцінена за рахунок порівняння його результатів з вже існуючими алгоритмами та найоптимальнішим варіантом (тобто розрахованим за допомогою перевірки всіх існуючих варіантів). Якщо дані будуть позитивними, то можна буде висунути твердження, що запропонований алгоритм буде показувати кращі результати і при роботі в великих системах.

Література:

1. Постанова НКРЕКП від 12.06.2018 № 375 про «Порядок забезпечення стандартів якості надання послуг з електропостачання».
2. Попов В.А, Ткаченко В.В., Сахрагард С.Б., Журавлев А.А. Особенности анализа надежности воздушных распределительных сетей с источниками распределенной генерации». Восточно - Европейский журнал передовых технологий. ISSN 1729-3774. 2015. 27-32 с.
3. Електронний ресурс: URL: brilliant.org. (дата звернення 01.05.2020)

4. M. Jafari, H. Monsef, S. Moghadam. Optimum number, placement and capacity of dgs and reclosers using analysis hierarchical process and genetic algorithm, IEEE Trans. on Power Syst., April 2011. vol. 14, no. 2, pp. 132-136.
5. M. Aman , G. Jasmon, H. Mokhlis, A. Bakar. Optimum tie switches allocation and dg placement based on maximization of system loadability using discrete artificial ant colony algorithm. The Institution of Engineering and Technology. IET Gener. Transm. Distrib., 2016, Vol. 10, Iss. 10, pp. 2277–2284
6. Zbigniew Galias. Tree-Structure Based Deterministic Algorithms for Optimal Switch Placement in Radial Distribution Networks, IEEE Trans. on Power Syst., vol. 24, no. 6, pp. 4269-4278, November 2019.

УДК 621.311.003.13

Карнажук Т.Р.

науковий керівник: к.т.н., доц. Бориченко О.В.

Кафедра електропостачання

МОНІТОРИНГ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

Анотація: В статті розглянуті існуючі методи моніторингу ефективності впровадження енергозберігаючих заходів, які ґрунтуються на зборі та аналізі даних про споживання енергії та параметрах виробничих умов. Основними методами моніторингу енергоефективності є: моніторинг термодинамічної установки, моніторинг питомого споживання енергії, моніторинг на основі регресійного аналізу.

Ключові слова: енергозбереження, енергоефективність, потенціал енергозбереження, моніторинг, енергозберігаючий захід.

Abstract: The article considers the existing methods of monitoring the effectiveness of the implementation of energy-saving measures, which are based on the collection and analysis of data on energy consumption and parameters of production conditions. The main methods of energy efficiency monitoring are: monitoring of thermodynamic installation, monitoring of specific energy consumption, monitoring based on regression analysis.

Keywords: energy saving, energy efficiency, energy saving potential, monitoring, energy saving measure.

Вступ. На сьогодні енергозбереження є однією з актуальних і важливих проблем для сучасних підприємств, установ і компаній. Сучасні напрямки енергозбереження включають в себе економію енергоресурсів і підвищення ефективності процесу виробництва.

Для розуміння потенціалу енергоефективності необхідно збирати та аналізувати дані про споживання енергії. Потім можуть бути встановлені цілі споживання енергії, а фактичне споживання енергії можна виміряти відповідно до цілей. Це, по суті, можна назвати моніторингом та встановленням цілей.

Моніторинг та встановлення цілей - це техніка управління енергією, яка використовує дані споживання енергії та інші дані як основу для усунення відходів, зменшення та контролю споживання енергії [1]. Моніторинг та встановлення цілей мають величезний потенціал у всьому світі для економії енергії без капітальних вкладень.

Мета та завдання. Метою даної статті є визначення ефективності впровадження енергозберігаючих заходів ґрунтуючись на основних методах моніторингу енергоефективності.

Матеріал і результати досліджень. Для проведення моніторингу та встановлення цілей на підприємстві необхідно зібрати дані про споживання основних енергетичних ресурсів, таких як: електроенергія, теплова енергія, газ та ін. Також необхідно зібрати дані про використання енергетичних ресурсів значними споживачами енергії (котлами, печами, парогенераторами, сушарками тощо). Як правило, доцільно починати моніторинг та встановлення цілей з даних, які є доступними, а не чекати, коли всі бажані дані будуть зібрані.

Після збору даних потрібно провести їх аналіз. Існує кілька методів аналізу даних про споживання енергії, які і будуть розглянуті далі.

Першим і найпростішим методом є моніторинг термодинамічної ефективності установки. Цей метод ефективний для аналізу споживання енергії конкретним обладнанням

(котлами, холодильними установками, печами тощо). Кількість вихідної енергії порівнюється з кількістю вхідної для визначення коефіцієнта перетворення, який потім порівнюється з попередніми показниками [2]. Якщо коефіцієнт корисної дії установки змінюється, то це необхідно дослідити та визначити причину відхилення, тобто з'ясувати чи причина в системі, або це пов'язано зі зміною навантаження на систему.

При аналізі даних на самому базовому рівні використовують порівняння поточного і попереднього споживання енергії [2,3]. Цей метод показує кількісні зміни використання енергетичного ресурсу, але не несе інформацію про причини цих змін. Такий аналіз можна представити за допомогою графіка, як на рис. 1, де показано щомісячне споживання енергетичного ресурсу.

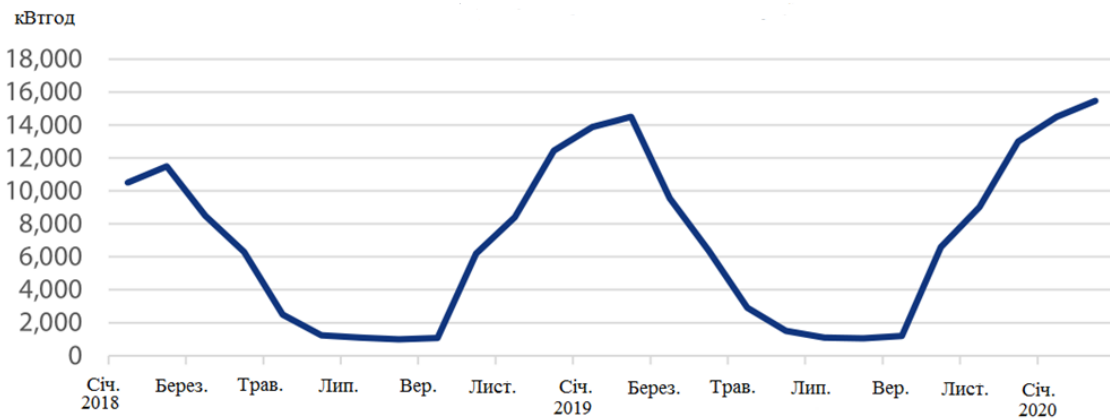


Рисунок 1 – Щомісячне споживання енергії

Ті ж самі дані можуть накопичуватися з часом, що дозволить продемонструвати довгострокові тенденції та усунути сезонні наслідки, такі як погода. На рис. 2 показано загальне споживання енергії за 12 місяців за даними, показаними на рис. 1, і в даному випадку надається краща інформація. Графік показує чітку тенденцію до зростання споживання енергії, хоча це знову ж таки не вказує на причину.

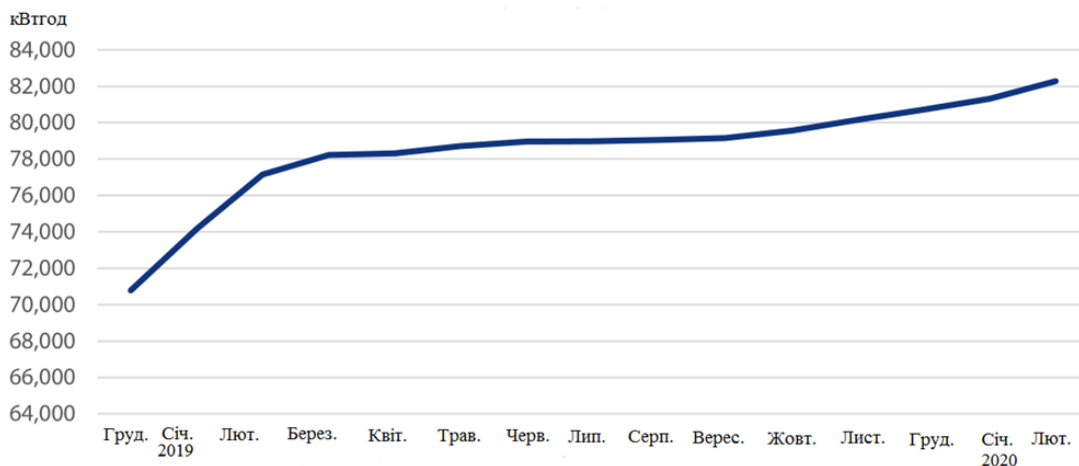


Рисунок 2 – Річне споживання енергії

Для подальшого аналізу використовують моніторинг питомого споживання енергії, яке вимірюється як кількість спожитої енергії на одиницю виробленої продукції. Такий метод корисний для порівняльного оцінювання щодо інших компаній, котрі виробляють у подібному середовищі, а також для визначення тенденцій на глобальному, державному чи галузевому

рівні. Але для моніторингу енергоефективності цей показник потрібно використовувати обережно, оскільки він може покращитися виключно завдяки підвищеному попиту з боку ринку, а не за рахунок енергозберігаючих ініціатив.

Для більшості процесів споживана енергія складається з: фіксованої кількості (її також називають «базовим навантаженням»), яка споживається незалежно від обсягу виробництва, і змінної кількості, яка збільшується зі збільшенням обсягу виробництва [2]. Питоме споживання енергії зазвичай падає у міру збільшення обсягу виробництва, що і показано на рис. 3. Тому моніторинг питомого споживання енергії є недосконалим для енергетичних показників.

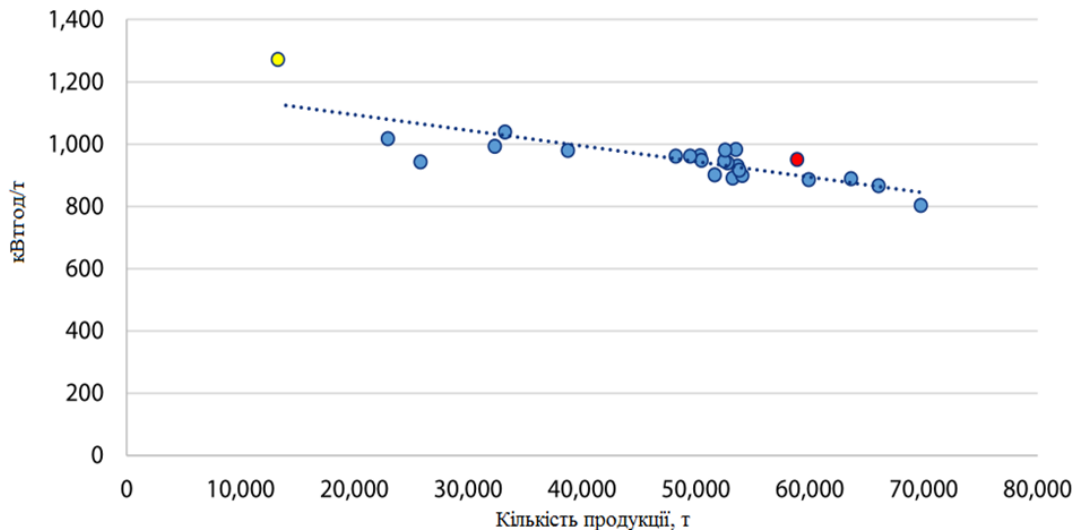


Рисунок 3 – Графік залежності питомого споживання від кількості випущеної продукції

Щоб вирішити проблему з конкретними споживачами, процеси в яких мають значне споживання енергії, можна використати регресійний аналіз для виявлення залежності між споживанням енергії та змінними, які впливають на це споживання (див. рис.4). Рівняння, розроблене за допомогою регресійного аналізу, називається рівнянням базової лінії. Цей базовий рівень є нормою, за якою проводиться аналіз, тому він повинен базуватися на даних періоду, коли рівень виробництва та споживання енергії є відносно нормальними. Потім необхідно порівняти фактичне споживання енергії з нормальним споживанням енергії [3].

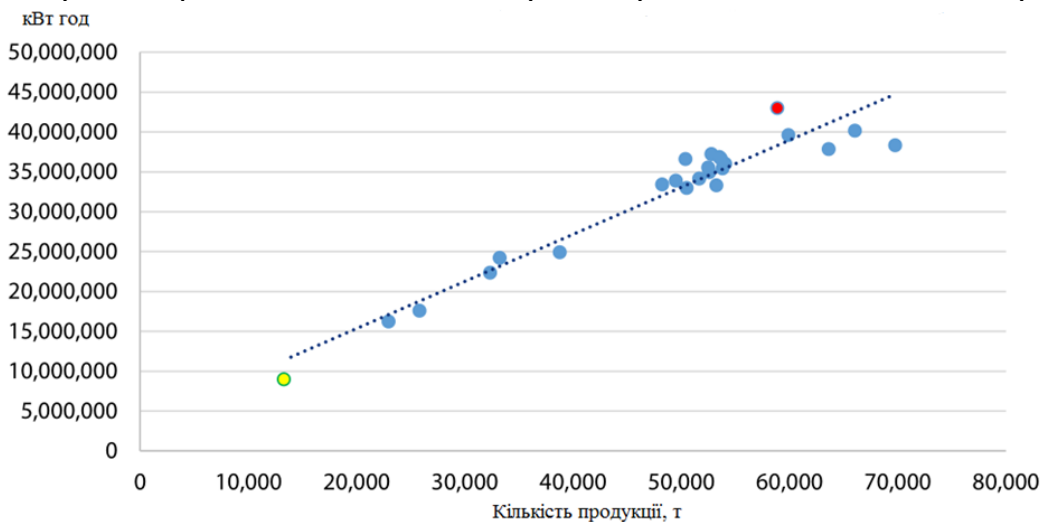


Рисунок 4 – Графік залежності місячного споживання від кількості випущеної продукції

На рис. 4 наведені ті ж самі дані, які використовуються на рис. 3. На цих графіках відповідні точки виділені жовтим та червоним кольором. На рис. 3 жовта крапка - це точка з високим питомим споживанням енергії, що виглядає як погана енергоефективність; та ж жовта крапка на рис. 4 нижче норми (тобто споживання було нижчим, ніж нормальне для цього рівня випуску), що вказує на хороші енергетичні показники. Водночас червона крапка на рис. 3 позначає місяць з низьким питомим споживанням енергії; ця ж червона крапка на рис. 4 показує, що споживання енергії перевищує норму для цього рівня виробництва, що свідчить про низькі показники енергоресурсів.

Часто існує більше однієї змінної, яка впливає на споживання енергії. Тоді використовується багатокритеріальна регресія для встановлення базового рівня що описує нормальну залежність між споживанням енергії та факторами впливу.

Коли буде розроблена надійна базова лінія, залежність між фактичним споживанням та споживанням, передбаченим базовою лінією, використовується для відстеження енергетичних показників. Різниця між фактичним та базовим споживанням може бути побудована на контрольній діаграмі (див. рис. 5) з верхньою та нижньою межами, встановленими для відображення нормальних змін енергоспоживання.

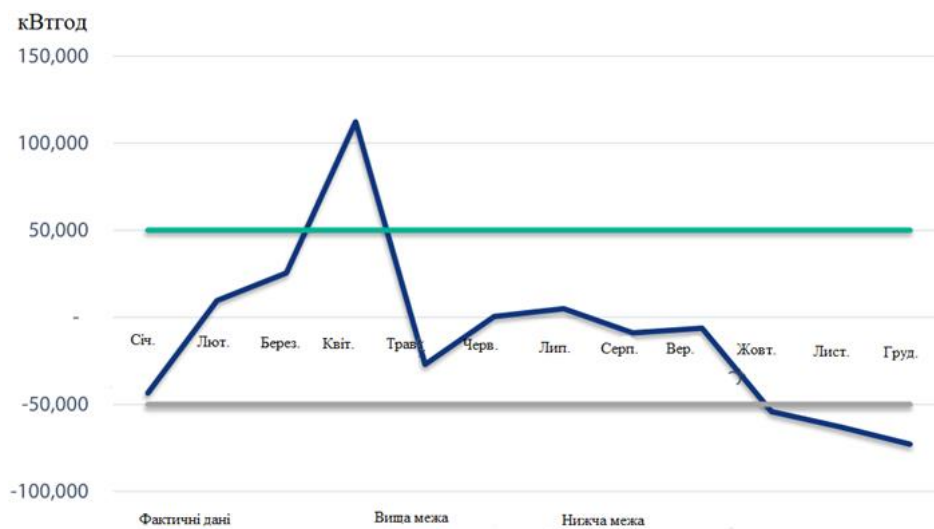


Рисунок 5 – Контрольна діаграма

Якщо дана різниця відхиляється вище верхньої межі, то це вказує на ненормальну подію, причини якої треба виявити та виправити. Якщо вона відхиляється нижче нижньої межі, то також потрібно знайти причини поліпшення працездатності та побачити, чи можуть обставини, які її спричинили, повторитися та стандартизуватися як звичайна практика. На рисунку квітень є періодом низької ефективності, який потребує дослідження для запобігання повторення, тоді як грудень - періодом хороших енергетичних показників, що також заслуговує на дослідження.

Для виявлення значних подій, що впливають на енергетичні показники може бути проаналізований графік CUSUM. Він складається з прямих ділянок, розділених кутами; кожен кут асоціюється зі зміною продуктивності, а кожен прямий відрізок асоціюється з часом, коли продуктивність стабільна.

На рис. 6 зображено CUSUM різниці між фактичним споживанням та базовою лінією, і ми бачимо, що фактичні показники були гіршими за показники базового рівня протягом першого кварталу. Потім було поступове покращення протягом II кварталу. За цим пішов період, який був значно кращим за базовий рівень до листопада. Проте у грудні року сталося зворотна тенденція, і енергетичні показники знову були гіршими, ніж базові, на що вказує той

факт, що лінія знову рухається вгору.

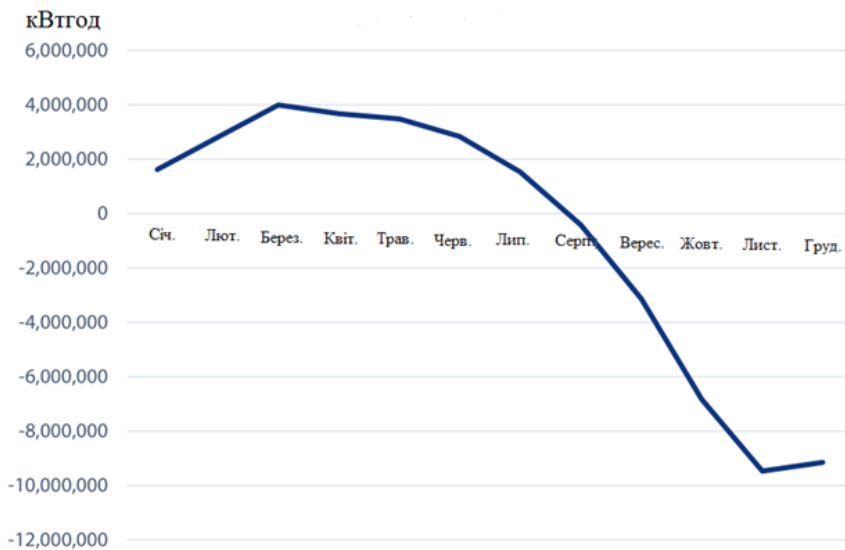


Рисунок 6 – CUSUM різниці між фактичним споживанням та базовою лінією

Після ефективного контролю споживання енергії, зібрану інформацію слід використовувати для встановлення цілей. На практиці врахування відповідних змінних за допомогою регресійного аналізу часто є найбільш ефективним методом розробки цілей.

Для забезпечення моніторингу та встановлення цілей існує багато програмних пакетів, які можуть бути дуже корисними, особливо у випадках, коли є кілька процесів чи кілька змінних. Зазвичай програмне забезпечення збирає дані енергоспоживання з лічильників енергії за допомогою реєстраторів даних.

Програмне забезпечення аналізує дані для отримання корисної інформації, включаючи споживання енергії та витрати, базові лінії, розроблені за допомогою регресійного аналізу, контрольних діаграм та графіків CUSUM.

Слід зазначити, що стандартний пакет Excel може забезпечити більшість функціональних можливостей, які надає програмне забезпечення для моніторингу та встановлення цілей. Однак хороший програмний пакет, що використовується розумно, може заощадити багато часу і, як результат, може бути дуже економічно вигідним.

Висновки. Моніторинг та встановлення цілей є життєво важливим елементом кожної ефективної програми енергоменеджменту. Він може потенційно забезпечити значну економію енергії, а також може слугувати системою раннього попередження, яка може покращити якість, надійність та безпеку. Загалом, це не є ні дорогим, ні складним. Усі організації зі значним споживанням енергії повинні практикувати моніторинг та встановлення цілей, для вирішення проблем збереження енергії.

Список використаних джерел.

1. Праховник А. В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням / А. В. Праховник, В. Ф. Находов, О. В. Бориченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. – № 8 (66). – С. 41–54.
2. Находов В.Ф., Бориченко О.В., Іванько Д.О. Контроль ефективності енерговикористання в системі енергетичного менеджменту // Вісник КНУТД. – 2013. - №6. – С. 67-77.
3. Находов В.Ф. Проблема контролю ефективності енерговикористання – основа практичного вирішення задач енергозбереження / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко// Энергозбереження, екологія, ефективність: шляхи зниження енергозалежності України: міжнар. конф., 14 травня 2008 р.: тези доп. – К.: – 2008. – С. 55-57.

УДК 621.311

Лавринович П.В., магістрант
Кафедра електропостачання
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СХЕМ ГАРАНТОВАНОГО ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ МЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Робота присвячена розгляду проблеми забезпечення належного рівня надійності електропостачання споживачів першої категорії, які не отримують належного резервування від основної мережі. Основна увага сконцентрована на формуванні відповідних технічних рішень для забезпечення електропостачання таких споживачів за допомогою відновлювальних джерел живлення.

Ключові слова: надійність електропостачання, система гарантованого живлення, сонячна електростанція, резервне джерело живлення.

Abstract. The work is devoted to the problem of ensuring the appropriate level of reliability of electricity supply to consumers of the first category, who do not receive proper backup from the main network. The main focus is on the formation of appropriate technical solutions to ensure the power supply of such consumers through renewable power sources.

Key words: reliability of power supply, system of guaranteed power supply, solar power plant, reserve power supply.

Вступ

На даний момент в Україні існує безліч промислових об'єктів у яких є невелика кількість споживачів I категорії надійності, що потребують гарантованого живлення. Такими споживачами можуть вважатися різні об'єкти діяльності людини, наприклад: аварійне освітлення, охоронна і пожежна сигналізація, показчики аварійного виходу, холодильні агрегати, медичне обладнання, тощо. Наразі, у ролі резервного джерела живлення можуть використовуватися різні технічні засоби, наприклад, встановлення замість однострансформаторної – двотрансформаторну підстанцію, чи використання дизельгенератора. Ці методи підтвердили свою дієвість на практиці. Проте, в зв'язку з тим, що даний тип споживачів може займати дуже малу частку від загального споживання об'єкту, встановлення, наприклад, двотрансформаторної підстанції не завжди є економічно вигідним рішенням. А дизельгенератор чи інші резервні джерела живлення, які відповідно до ПУЕ мають бути встановлені, через відносно значні викиди CO₂ – екологічно чистим.

Мета та завдання

Метою роботи є забезпечення належного рівня надійності електропостачання споживачів першої категорії, які не отримують належного резервування від основної мережі.

Досягнення даної мети реалізувалося вирішенням наступних питань.

1. Аналіз існуючих підходів до вирішення питань щодо забезпечення надійності електропостачання за допомогою відновлювальних джерел енергії.
2. Особливості роботи гарантованого джерела живлення на базі сонячної енергетики.
3. Застосування схем забезпечення гарантованості живлення споживачів.

Матеріал і результати досліджень

Вирішення зазначеної задачі пропонується здійснити за допомогою встановлення сонячної електростанції, яка і виступить в ролі резервного живлення. Слід зазначити, що причиною такого рішення стало суттєве здешевлення останнім часом сонячних електростанцій.

При проектуванні СЕС необхідно враховувати ряд чинників (сонячна інсоляція, метод встановлення, погодні умови, температура навколишнього середовища), які впливають на кількість виробленої електроенергії. При цьому, слід враховувати наступне обмеження, а саме необхідність 100% забезпечення потреб визначених споживачів в електричній енергії в найгірших умовах функціонування станції (зокрема, низький рівень інсоляції).

Сонячна електростанція виробляє енергію протягом 6 – 8 годин на добу, тому при розрахунку необхідно враховувати, що споживачі I категорії надійності потребують до однієї доби постачання електричною енергією при аварійному відключенні мережі. Це здатні забезпечити включені до складу схеми акумуляторні батареї (АКБ).

Для забезпечення поліфункціональності, є сенс використовувати саме гібридний інвертор напруги, що поєднує в собі можливості мережевого та автономного функціонування. При цьому, електрична енергія, вироблена електростанцією, повинна живити визначених споживачів та заряджати АКБ. При недостатній кількості електричної енергії, виробленої СЕС, живлення споживачів і заряд АКБ здійснюється від мережі.

Враховавши усі особливості вибору СЕС, яка використовується як резервне джерело, виникає проблема використання надлишків виробленої електроенергії (зокрема, у випадках рівня інсоляції більшої від рівня, що використовувався для вибору батарей).

Для забезпечення надійного електропостачання споживачів I категорії та забезпечення використання надлишків електроенергії, необхідно застосувати пристрій автоматичного вмикання резервного живлення (АВРЖ), який за сигналом, при відсутності напруги в мережі, перемикає постачання електроенергії відносно конкретної ситуації. Структурна схема з'єднань компонентів пристрою АВРЖ представлена на рисунку 1.

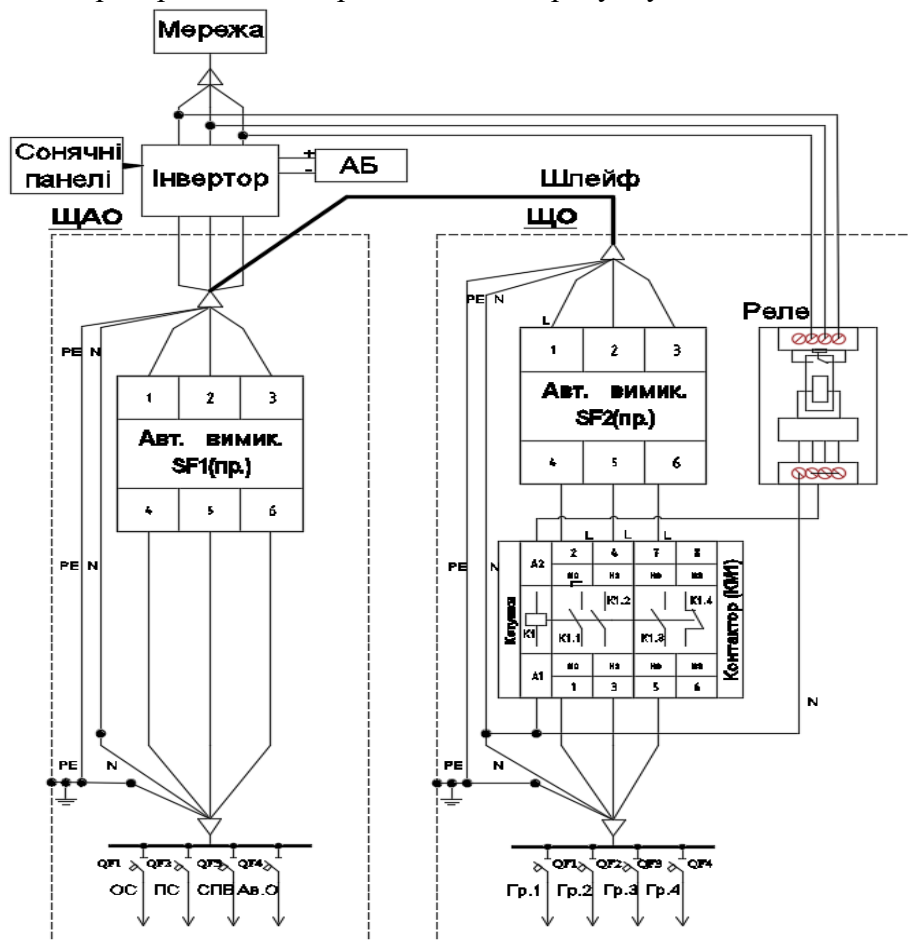


Рис. 1 – Структурна схема з'єднань компонентів пристрою АВРЖ

Так, у випадку якщо мережа працює у нормальному режимі, СЕС може забезпечити живлення електроенергією щити аварійного освітлення (ЩАО), а через нього і основного освітлення (ЩО), а також водночас зарядити АКБ для забезпечення додаткового резерву, наприклад, вночі. У разі якщо живлення з мережі зникає, а виробленої СЕС електроенергії недостатньо для забезпечення безперебійного живлення, на технічному рівні, приймається рішення жити тільки виключно ЩАО, а потім і забезпечити живлення ЩАО енергією, накопиченою в АКБ. Проте, якщо мережа відключена, але рівень виробленої енергії електростанцією дозволяє, можна жити все освітлення цеху.

Висновки

Запропонований підхід використання АВРЖ в схемах з СЕС надає можливість забезпечення поліваріантності функціонування електричної мережі та керування розподілом енергії в системі.

Проведені дослідження довели, що за допомогою розглянутої схеми можна вирішити питання як забезпечення надійного електропостачання визначених споживачів, так і використання надлишків виробленої електроенергії на СЕС. При цьому, схема не втрачає своєї функціональності при збільшенні потужності СЕС для забезпечення живлення інших споживачів підприємства.

**ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОВОДОНАГРІВАЧА ДЛЯ
ЗМЕНШЕННЯ ПІКОВОГО ДЕННОГО ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ТА УСУНЕННЯ
ПРОВАЛУ НІЧНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ**

У статті представлені результати досліджень використання накопичувального електроводонагрівача для зменшення пікового денного електроспоживання та усунення провалу нічного енергопостачання. Електричний водонагрівач є одним з видів регуляторів, встановлення якого дозволить маневрувати електричним навантаженням з метою оптимізації режиму роботи систем електропостачання. В статті виконаний розрахунок щодо визначення економічної доцільності встановлення та термін окупності даного типу устаткування.

Ключові слова: кінцевий споживач, попит на електричну енергію, акумуляційний електроводонагрівач.

The article presents the results of research on the use of storage electric water heater to reduce peak daytime power consumption and eliminate the failure of night power supply. Electric water heater is one of the types of regulators, the installation of which will allow you to maneuver the electrical load in order to optimize the mode of operation of power supply systems. The article calculates the economic feasibility of installation and payback period of this type of equipment.

Keywords: final consumer, demand for electricity, accumulation water heater.

Вступ

Як відомо, в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України попит на електричну енергію є нерівномірним, що призводить до негативного впливу на формування графіку добового навантаження. Оскільки населення є найбільш суттєвим споживачем електроенергії в країні, тому саме воно має найбільший вплив на управління добовими графіками електричного навантаження. З іншого боку наразі галузь електроенергетики України зазнає подальших ринкових змін та трансформацій. Загалом у сучасному світі спостерігається тенденція переходу до лібералізованих ринків електричної енергії. Таким чином спостерігається новий рівень відносин між споживачами та виробниками, що значно розширює можливості кожного учасника ринку.

Результати досліджень

Важливою специфікою електроенергії як товару є те, що як процес вироблення так і споживання є одночасними. Тому зберігання електроенергії у великих обсягах ускладнено, так як накопичення буде достатньо не вигідним з точки зору капіталовкладення. На ринку електроенергії короткостроковий дисбаланс між попитом і пропозицією може призвести до втрати стійкості ринку і ускладнення режимів електромереж.

При цьому є два варіанти: перевага (збільшення) пропозиції та перевага попиту. У першому відбувається відключення частини енергоблоків, що призводить до збільшення витрат і знижує ефективність діяльності суб'єктів енергоринку. В другому варіанті можливі примусові відключення частини споживачів в умовах дефіциту електроенергії (так звані віялові відключення). Тобто аварійні відключення призведуть лише до зниження споживання, але не попиту. Звідси випливає, що попит на ринку електроенергії не завжди відповідає 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 [1].

Типовий графік електричного навантаження, що відображає добові ритми життя суспільства, наведено на рис. 1. Виділяються три характерні зони: зону мінімального навантаження (нічні години або нічний провал) з потужністю не більше $P_{\min}$, зону середнього або напівпікового навантаження з потужністю $P_{\text{нп}}$ в діапазоні $P_{\min} \leq P_{\text{нп}} \leq P_{\max}$ і зону максимального або пікового навантаження з потужністю не більше $P_{\max}$.

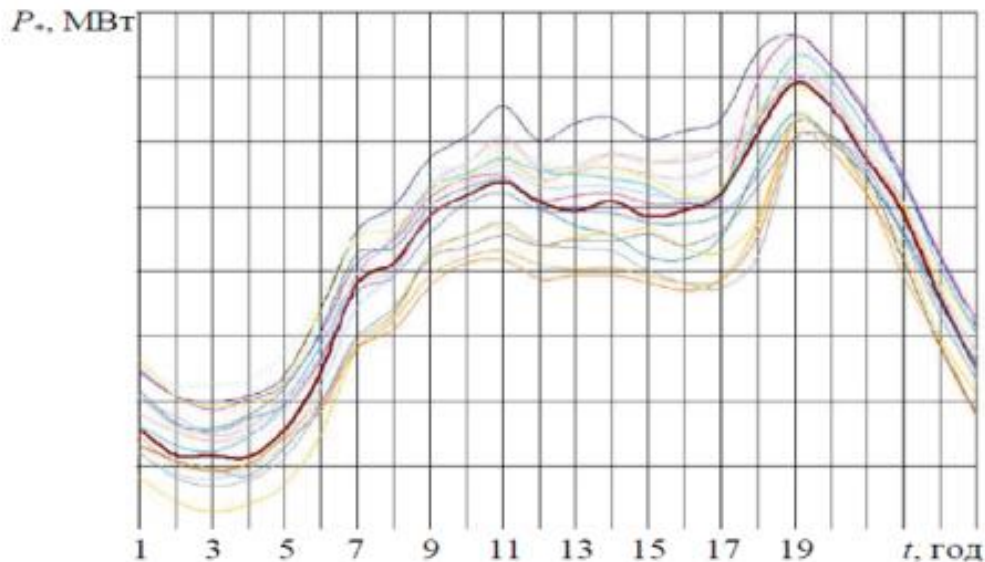


Рис.1 – Типовий добовий графік електричного навантаження

Напівпікова зона характеризується значним одноразовим протягом доби зростанням навантаження у ранкові години і її глибоким спадом в кінці доби, а пікова – підйомами (до рівня максимального навантаження) і спаданням (до рівня напівпікової зони) навантаження.

Зазвичай присутній один або два максимуми споживання електроенергії: ранковий і вечірній [2].

Перспектива управління попитом на електричну енергію відзначена в Енергетичній стратегії України до 2035 року, в якій загальний потенціал енергозбереження, що може бути досягнутий в результаті застосування методів управління навантаженням споживачів, оцінюється в 1263 млн. кВт·годин. Перспективна модель ринку електроенергії передбачає активну участь у режимах роботи енергосистеми так званих кваліфікованих споживачів, що здатні реалізувати концепцію управління попитом на енергію, брати участь у регулюванні частоти та напруги ОЕС [1].

Увесь склад споживачів-регуляторів можна розділити на дві категорії. 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). До другої групи входять споживачі-регулятори, які спеціально створюються для використання їх у нічні години, зокрема теплові установки із системою акумулювання теплоти, що можуть використовуватися для опалення й нагрівання технічної і побутової води. Розглянемо електроводонагрівач як один із видів регуляторів, його встановлення дасть змогу маневрувати енергоспоживанням [3].

При управлінні споживачами-регуляторами, а саме електричним водонагрівачем, з метою вирівнювання ГЕН маєтись на увазі включення в роботу даних споживачів в зоні

«провалу» споживання потужності в енергосистемі за алгоритмом зображеним на рис. 2.



Рис.2 – Алгоритм управління електроводонагрівачем накопичувального типу

Принцип роботи такого електроводонагрівача заснований на конвективному пересуванні більш гарячого водяного потоку вгору, в той час коли холодна вода з більш високою густиною займає нижню частину баку. Таким чином, холодна вода просто витісняє гарячу воду до водозабірної точки. В цей же час ТЕН підігріває холодну воду, яка, досягнувши заданої температури, знову виштовхується вгору до водозабірної точки. Завдяки такій конструкції забезпечується безперервна подача гарячої води. При слабкому напорі холодної води, що надходить в бак, стабільне отримання гарячої води викликає труднощі.

Згідно статистики найбільш поширеним типом електричних водонагрівачів, що продаються, є водонагрівачі об'ємом 50 л. Потужність таких установок за даними виробників складає 1,5 кВт, тривалість циклу нагріву – 2 години 30 хвилини. Таким чином, в Україні встановлена потужність електричних водонагрівачів накопичувального типу складає оцінково 1,5 ГВт і ці водонагрівачі, за умови програмування в нічний час для акумулювання теплової енергії для потреб гарячого водопостачання, можна розглядати як ресурс для регулювання режимів ОЕС України. Статистика продажів побутових електричних водонагрівачів накопичувального типу зображена на рис. 3 [4].

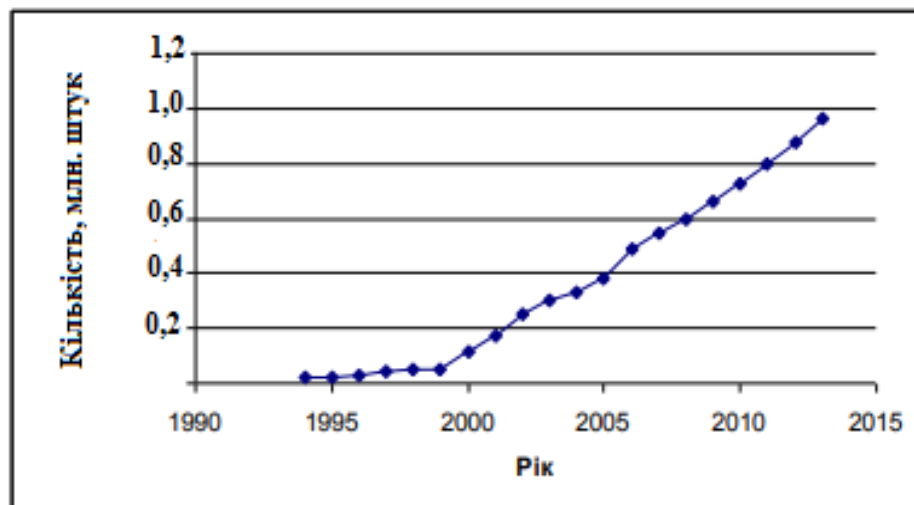


Рис. 3 – Статистика продажів побутових електричних водонагрівачів накопичувального типу

Економічна доцільність встановлення електроводонагрівача та термін окупності.

Наведемо порівняльні розрахунки для використання централізованого гаряче водопостачання (ГВП) та електричного бойлера. Для розрахунку візьмемо двокімнатну квартиру, в якій проживає троє людей, усереднений обсяг гарячої води для покриття всіх потреб людини - 7 куб. м. в місяць.

Випадок 1: Використання ГВП.

У Києві централізоване постачання гарячої води коштує 97,89 гривні за 1 кубометр (постановою від 23 квітня 2020 р., №363). Отже, загальна сума витрат на гаряче водопостачання становить:

$$P = 7 \text{ куб. м.} \times 97,89 \text{ грн/куб.м.} = 685,23 \text{ грн.}$$

Випадок 2: Використання електроводонагрівача.

Ціни на водонагрівачі коливаються в досить широкому діапазоні (залежно від потужності, обсягу, типу керування тощо). Вартість електроводонагрівача разом із встановленням - 3500-4000 гривень. Обираємо бойлер BOSCH Tronic 1000 TR1000T (об'єм - 100 літрів, потужність — 1500 Вт, ціна 3200 грн). Бойлер цього типу і об'єму при постійному включенні в місяць споживає близько 210 кВт·год. Відтак у нашому дослідженні будемо відштовхуватися саме від цього значення.

У Києві вартість холодного водопостачання для власників квартир в багатоквартирних будинках становить 11,544 грн. / куб. м (постановою від 22.11.2019 №2468). Вартість електроенергії для населення : 0,90 грн. / кВт·год за обсяг, спожитий до 100 кВт·год електроенергії на місяць (включно) та 1,68 грн. / кВт·год за обсяг, спожитий понад 100 кВт·год електроенергії за місяць.

Звідси вартість гарячої води, нагрітої за допомогою бойлера, становить :

$$P = (7 \text{ куб. м} \times 11,544 \text{ грн. / куб. м}) + (100 \text{ кВт·год} \times 0,90 \text{ грн. / кВт·год}) + (110 \text{ кВт·год} \times 1,68 \text{ грн. / кВт·год}) = 355,6 \text{ грн.}$$

Отже, різниця складає 330 гривень на місяць (або 3 960 гривень на рік), термін окупності складе 1 рік.

Випадок 3: Використання електроводонагрівача з використанням диференційованих приладів обліку електричної енергії

Для більшої економії використаємо двозонний лічильник:

$$P = (7 \text{ куб. м} \times 11,544 \text{ грн. / куб.м}) + ((70 \text{ кВт·год} \times 0,90 \text{ грн. / кВт·год}) + (140 \text{ кВт·год} \times 1,68 \text{ грн. / кВт·год})) = 380 \text{ грн.}$$

З використанням електричного бойлера та двозонного тарифу можна зекономити 380 гривень за місяць (або 4 560 гривень за рік) і термін окупності складе 8 місяців.

Висновки

1. В результаті аналізу встановлено, що електричні водонагрівачі є великим резервом в системах керування електричним навантаженням з метою оптимізації режиму роботи систем електропостачання.

2. Обґрунтовано доцільність їх встановлення та визначено, що найбільш економічним є електроводонагрівач з використанням диференційованих приладів обліку електричної енергії

Бібліографічний список:

5. Економічні механізми управління попитом на ринку електроенергії / В. Лір, О. Биконя // Економіст. - 2015. - № 2. - С. 9-13. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ_2015_2_3

6. Нерівномірність графіка навантаження енергосистеми і способи його вирівнювання / В. А. Малярєнко, І. Д. Колотило, І. Є. Нечмоглод. // Харківська національна академія міського господарства, м.Харків. – 2011.

7. Підвищення робочого ресурсу ТЕС з використанням системних електротеплових споживачів-регуляторів / С.В. Дубовський // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – Вип. 3(30). – С. 5-11.
8. Оцінка потенціалу кінцевого енергоспоживання теплової та електричної енергії населенням /Б.І.Басок, О.М.Лисенко, Ю.А. Веремійчук //Енергетика: економіка, технології, екологія . – 68-75. – 2017.

УДК 621.311

Федосенко М.М. канд.техн. наук, доцент
Довгаль М.О.Кафедра електропостачання
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ СТАТИСТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ
АНАЛІЗУ ВПЛИВУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ОЦІНКУ
ЯКОСТІ НАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ**

Анотація: У даній роботі розглядаються розрахункові моделі оцінювання показників якості напруги в розподільних електричних мережах, а також питання інформаційного забезпечення задач оптимізації якості електричної енергії та підтримки відповідних режимів. Вирішення поставлених завдань дозволяє оцінити достовірність розрахунків режимів напруги в розподільних мережах.

Ключові слова: якість електричної енергії, відхилення напруги, інформаційна модель, достовірність інформації, інформаційно-обчислювальний комплекс, система електропостачання.

Abstract: This paper also considers the optimization of voltage in electrical distribution networks, as well as ensuring the quality of electricity and maintaining appropriate modes. The conclusion of the set tasks allows to better determine the quality of voltage in distribution networks.

Keywords: quality of electric energy, voltage deviation, information model, reliability of information, information and computer complex, electric power system.

Вступ. Вирішення проблеми забезпечення задачі оцінювання та підвищення якості електричної енергії в розподільних електричних мережах передбачає вибір доцільних математичних методів та моделей реалізації задач оптимізації. Потребують подальшого дослідження науково-технічні проблеми аналізу потоків технічної інформації, а також комплекс задач з оцінки достовірності вихідної інформації, дослідження її впливу на розрахунок та оптимізацію параметрів режиму, визначення необхідних шляхів уточнення вихідних даних та вибору доцільних розрахункових моделей з розробкою програмного забезпечення цих задач.

Математичні моделі оцінювання та оптимізації режимів напруги розподільних електричних мереж зазвичай є досить громіздкими, тому практичне застосування аналітичних методів в значній мірі залежить від обґрунтованості припущень та спрощень, які приймаються при розрахунках, здійснюваних для систем електропостачання, що відносяться до класу складних систем.

Мета та завдання дослідження. Ознайомитися з методами оцінки та підвищення достовірності інформації, розрахунків та оптимізації режимів напруги в розподільних електричних мережах, з метою вибору оптимальної інформаційної моделі в задачах забезпечення якості електричної енергії та підтримки оптимальних режимів.

Матеріал та результат дослідження.

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

параметрами обладнання [1].

Відхилення напруги на шинах споживачів відноситься до основних показників якості. Різниця напруги від номінального значення впливає на економічність режиму, довговічності, продуктивності роботи електроприймачів, до порушення нормального функціонування останніх, псування устаткування і продукції.

Є фактори, що впливають на точність оцінок. В першу чергу, це похибки визначення розрахункових навантажень, помилки в розрахункових параметрах схем заміщення елементів мережі, неврахування коливань напруги в мережах 35-110 кВ і дискретності регулювання в центрі живлення (ЦЖ), відміни математичного очікування справжнього закону регулювання в ЦЖ від теоретичного, несиметрія навантажень і напруг, невизначеність інформації про параметри елементів і навантаження мереж напругою до 1000В, похибки, що вносяться спрощеними розрахунковими моделями.

Розглянуто вплив кожного з приведених факторів. Величини похибок визначають у відсотках щодо номінальної напруги, що дозволяє порівняти результати окремих розрахунків між собою, а також з вимогами [2].

В якості точок контролю прийнято:

- шини 6-10 кВ джерела живлення;
- шини НН ТП;
- найбільш віддалені споживачі мережі 0,38 кВ.

Оцінюються: помилки розрахункового значення відхилення напруги $\delta \bar{V}_{\text{розн.}}$; імовірні похибки $\delta \bar{V}_{\text{змін.}}$ оцінки відхилення напруги в точках за даними одного виміру щодо дійсного значення; вірогідні розбіжності результатів розрахунку і даних одного виміру $\delta \bar{V}_{\text{р.в.}}$.

Розглянуто вплив похибок визначення коефіцієнтів потужності навантажень на розрахунки напруги. Можливості оцінювання значень $\cos\varphi$ у вузлах міських розподільних мереж досить обмежені. Лічильники «реактивної потужності» встановлюють здебільшого на стороні 6-10 кВ трансформаторів ЦЖ і на лініях 6-10 кВ.

Проведення поточних вимірів $\cos\varphi$ для кожної трансформаторної підстанції (ТП) поки неможливо. Враховуючи те, що значна частина споживачів міських електричних мереж не веде обліку реактивної енергії, в розрахунках вимушено використовують значення коефіцієнта потужності, прийняті по довідниковим даним для відповідних типів споживачів.

Аналіз довідникових даних свідчить, що для багатьох типів споживачів можлива похибка визначення $\cos\varphi$ знаходиться в межах 0,05-0,10. Викликана вона тим, що зазвичай наводиться «вилка» значень для кожного типу споживачів, а також розбіжностями даних різних довідників. Крім того, в ряді випадків склад навантаження не може бути в достатній мірі визначений, що також призводить до похибок в розрахункових значеннях $\cos\varphi$.

В таблиці 1 приведено значення втрат напруги ΔU_T в обмотках трансформаторів 400 та 630 кВА, в залежності від $\cos\varphi$, а також величини ΔU – різниці суміжних значень ΔU_T (у відсотках до U_H) при повному завантаженні трансформаторів.

На режим напруги значний вплив здійснює струм, який протікає по нульовому проводу. Величина складових нульової послідовності напруги U_0 залежить від струму I_0 , викликаного несиметрією навантажень фаз, та опору Z_0 схеми заміщення нульової послідовності - $U_0 = I_0 Z_0$.

Таблиця 1 - Втрати напруги ΔU_T в обмотках трансформаторів 400 та 630 кВА

$\cos\varphi$	$S_T = 400 \text{ кВА}, r_T = 3.6 \text{ Ом}, X_T = 11.3 \text{ Ом}$		$S_T = 630 \text{ кВА}, r_T = 3.6 \text{ Ом}, X_T = 11.3 \text{ Ом}$	
	$\Delta U_T \%$	$\Delta U \%$	$\Delta U_T \%$	$\Delta U \%$
1.00	1.45	1.38	1.27	1.70
0.95	2.83	0.46	2.97	0.60
0.90	3.29	0.57	3.57	0.74
0.80	3.86	0.42	4.31	0.53
0.70	4.28		4.84	

При розподілі навантаження між фазами практично завжди струм нульової жили перевищував 20% від середнього струму навантаження фаз. Якщо ж врахувати практичну

неможливість проводити детальні вимірювання та роботи з регулювання розподілу навантажень між фазами, то слід очікувати, що в мережах має місце більш суттєва несиметрія навантажень та напруг.

Так, в результаті обробки даних вимірювань навантажень трансформаторів 6-10/0,4 кВ та ЛЕП 0,38 кВ отримані розподілення (рисунок 1) коефіцієнту невідновженості навантажень - $K_{\text{ну}} = I_o/I_{\text{сер}}$.

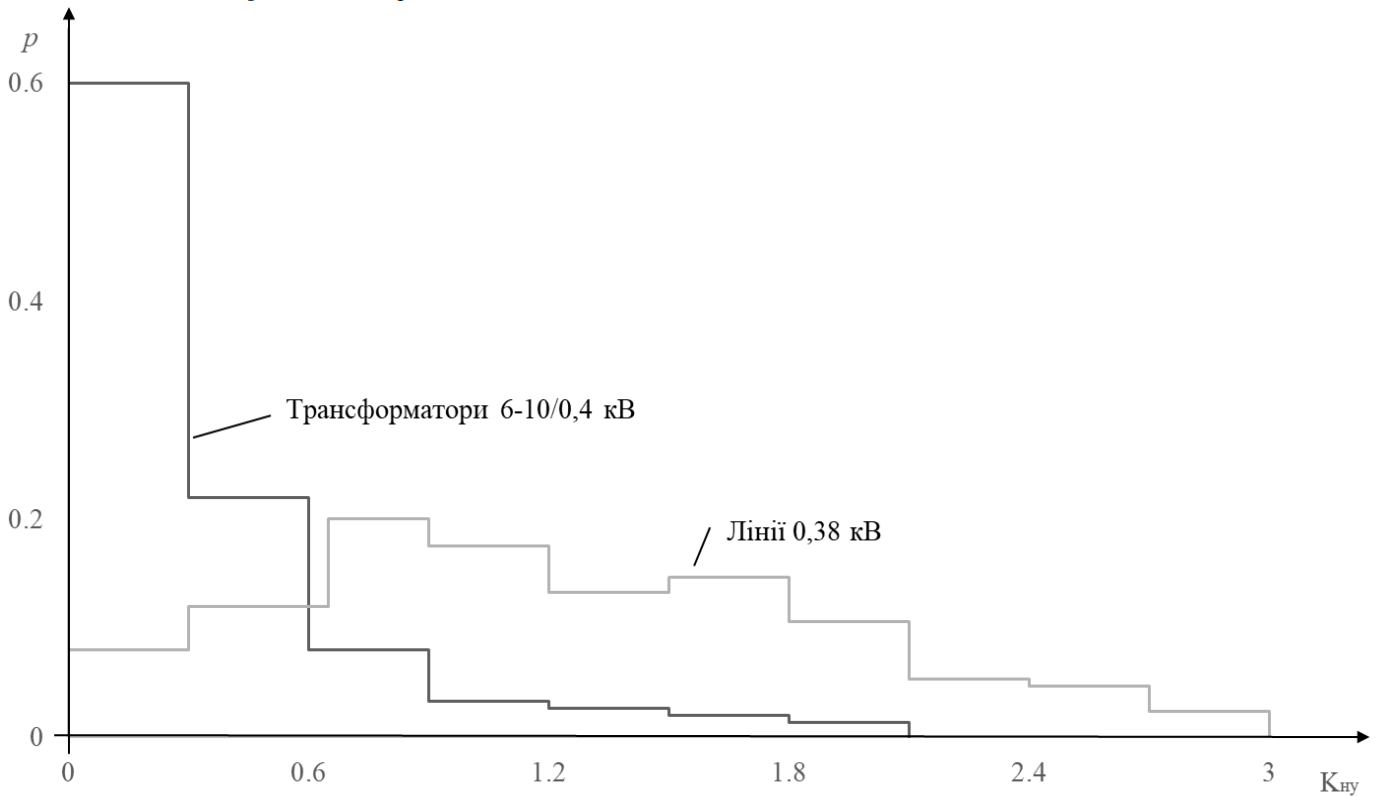


Рисунок 1. Гістограми розподілу коефіцієнту невідновженості навантажень

На рисунку 2 приведені відповідні гістограми. В загальному випадку Z_i приймає значення від 0,2 Ом, а I_j – до 100 А. Структура мереж неоднорідна як по складу споживачів, так і по величині навантажень вузлів, опору ділянок ЛЕП між вузлами. Неоднорідні дані як для різних міст, так і для різних районів одного міста. Тому для оцінки можливої похибки розрахунків показників режиму напруги необхідно лише проводити в кожному конкретному випадку цикл розрахунків за допомогою методу М-К [3], або, що більш зручно та прийнято, побудувати та використовувати графічні залежності імовірних помилок шуканих параметрів від невизначеності вихідної інформації при заданих вхідних умовах.

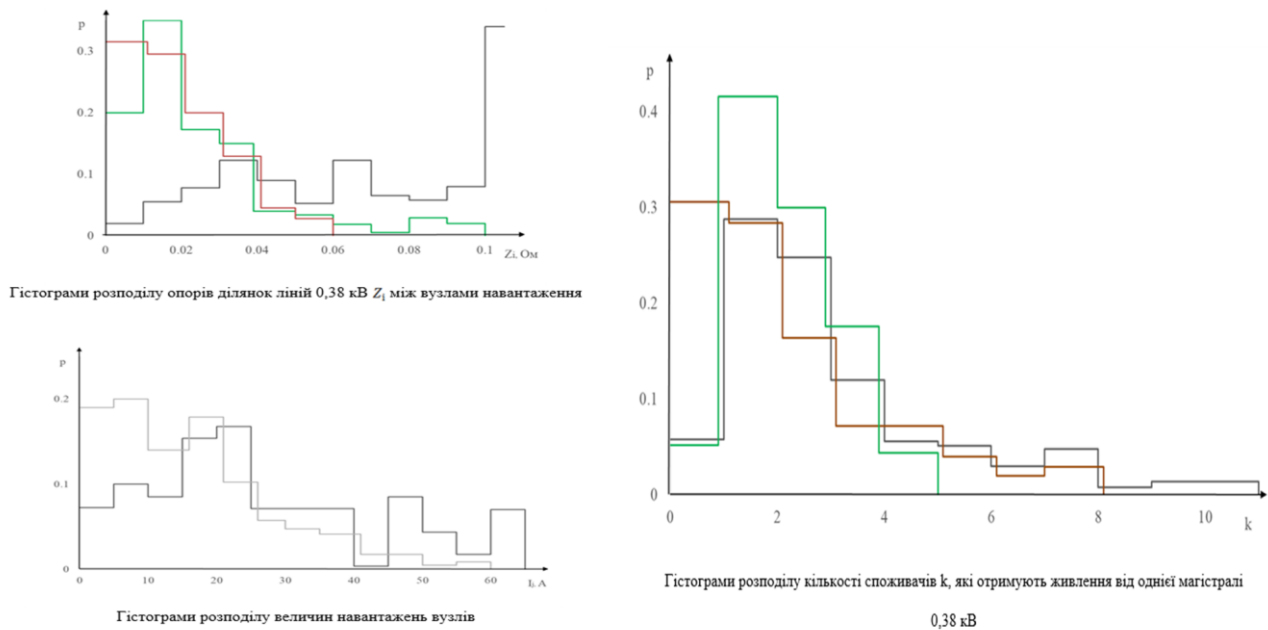


Рисунок 2. Гістограми розподілу оцінюваних розрахункових показників

Зміни напруги у живлячій мережі викликані необхідністю вирішення ряду режимних задач, а також характером електричних навантажень. Виміри свідчать, що навіть у часи відносно стабільних навантажень в мережі 35-110 кВ постійно спостерігаються коливання напруги в межах $\pm(1,0-1,5)\% U_H$. В ряді випадків розмах відхилень для відносно невеликих проміжків часу сягає значень $3-5\% U_H$. Неврахування цього фактору при відсутності засобів автоматичного регулювання напруги (АРН) суттєво впливає на оцінку якості напруги.

У випадку застосування АРН в розрахунок вносяться похибки через відмінності дійсного закону регулювання від теоретичного, викликані дискретністю регулювання, наявністю зони нечутливості, витримки часу спрацьовування РПН, похибками налаштування приладів автоматики.

На відрізках часу, коли напруга збільшується або зменшується безперервно, середнє значення напруги відхиляється від заданої на величину $(\Delta U_{\text{неч}} - \Delta U_{\text{ст}})/2$ [4] зі знаком, протилежним необхідній зміні напруги у часі. На ділянках стаціонарності графіка напруги є рівна імовірність дії перемикача в сторону підвищення та зниження. В [5] пропонується імовірність відхилення напруги в межах зони нечутливості визначати наступними виразами:

а) для середньої частини зони

$$= \left(2 - \frac{\Delta U_{\text{неч}}}{\Delta U_{\text{ст}}}\right) + \left(\frac{2\Delta U_{\text{ст}}}{\Delta U_{\text{неч}}} - 1\right), \quad (1)$$

б) для краю зони

$$= \left[0.5 \left(\frac{\Delta U_{\text{неч}}}{\Delta U_{\text{ст}}} - 1\right)\right] \div \left(1 - \frac{\Delta U_{\text{ст}}}{\Delta U_{\text{неч}}}\right). \quad (2)$$

За допомогою методу статистичних випробовувань проведено розрахунки з оцінювання впливу нерівномірного повздовжнього розподілу навантажень в лініях на режим напруги з визначенням можливих похибок в розрахунках з використанням спрощених моделей

низьковольтних мереж, в яких приймається допущення щодо рівномірного розподілу електричного навантаження ліній вздовж лінії. Ймовірнісне моделювання здійснювалось для широкого спектру величин сумарних навантажень, електричних опорів ліній, реальної кількості R вузлів споживання на лініях, тощо. Побудовано графіки розподілу напруги вздовж ліній, а також довірчі границі оцінок напруги (рисунок 3). По горизонтальній вісі відкладалась відносна до сумарної величина навантаження лінії, в по вертикальній – значення втрат напруги від початку ЛЕП до розглядуваної точки. На рисунках цільними лініями позначені математичні очікування, а штриховими – довірчі межі відхилень напруги для різних R . Наприклад, позначення « $R = 4$ » та відведені до кривих три стрілки означають, що дані лінії представляють математичне очікування (середня лінія) і довірчі межі (верхня та нижня) імовірних значень втрат напруги до різних точок в мережі в випадку, якщо для розрахунку ЛЕП, яка живить чотири вузли при даному $I_{\Sigma} Z_{\Sigma}$, застосуємо модель, яка передбачає рівномірний розподіл навантаження вздовж лінії.

Графіки наведені для значень $I_{\Sigma} Z_{\Sigma} = 5 - 40$. Передбачається, що імовірність появи події $I_{\Sigma} Z_{\Sigma} > 40 \text{ А} \cdot \text{Ом}$ мала, оскільки втрата напруги до найбільш віддаленої точки в цьому випадку при рівномірно розподіленому навантаженні близька до $10\% U_H$, тобто охоплюється весь діапазон допустимих значень відхилень напруги. А оскільки переріз ліній напругою до 1000 В визначається по допустимій втраті напруги (зазвичай $5,0-7,5\% U_H$), то практично $\Delta U_{0,38} > 10\%$ може мати місце в післяаварійних режимах, або у випадку, коли навантаження з плином часу значно зростає. В останньому випадку слід приймати такі, наприклад, дії, як підсилення перетинів і т.п.

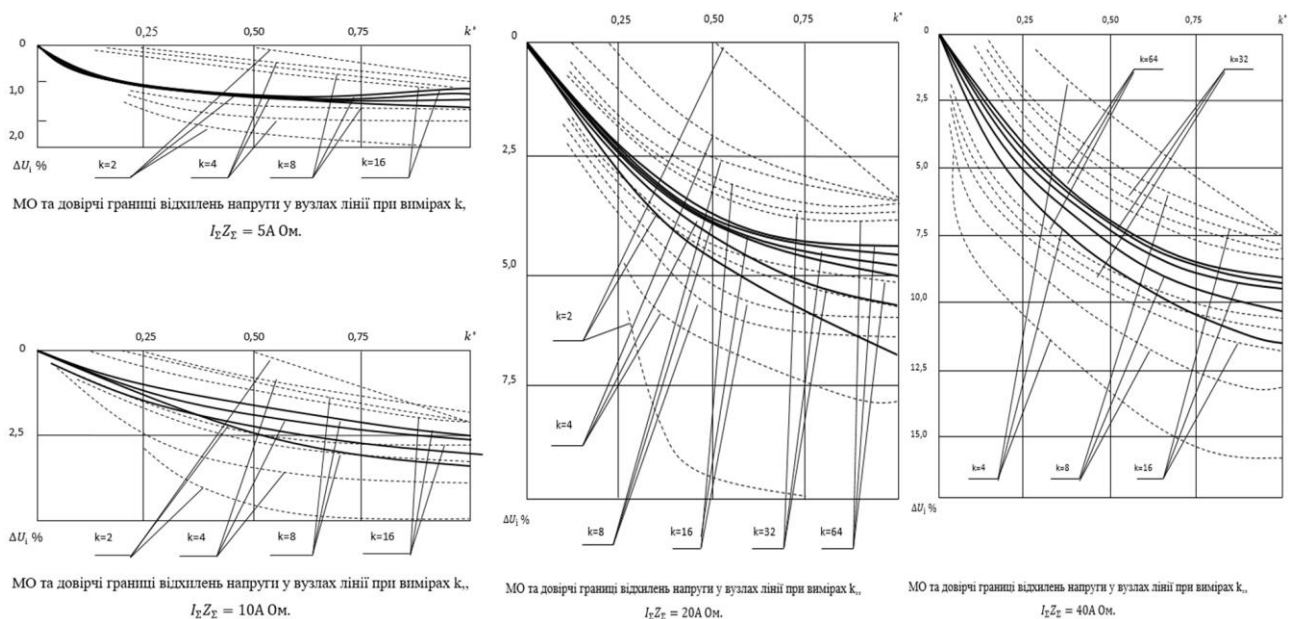


Рисунок 3. МО та довірчі границі відхилень напруги у вузлах лінії при вимірах k

По отриманим залежностям можна оцінити похибки визначення відносної кількості споживачів R_{HK}^* , втрата напруги до яких не перевищує заданого рівня з довірчою імовірністю β [3]. Достатньо для визначення R_{HK}^* провести лінію, паралельну до осі абсцис зі значенням ординати, яка дорівнює заданому. Проекції на вісь абсцис точок пересікання проведеної лінії з кривими математичного очікування і довірчих границь для різних R дадуть нам значення довірчих меж відносної кількості споживачів, які отримують живлення при напрузі вище від

розглядуваного рівня. Для оцінки можливої похибки розрахунку рівнів напруги в заданій точці необхідно проводити лінії паралельно до осі ординат.

На рисунку 4 приведено залежності можливої похибки розрахунку рівнів напруги з $\beta = 0,95$ для різного числа k споживачів, які отримують живлення по даній магістралі, в залежності від величини моменту $I_{\Sigma} Z_{\Sigma}$. В загальному випадку величина похибок досягає 1,0-1,5% U_H , а при $k < 8$ може приймати значення 3,0-3,5% U_H . Відповідно, при малих кількостях реальних вузлів споживання k застосування спрощених моделей може спричинити недопустимі похибки розрахунку рівнів напруги. Похибки такого ж порядку вносить в розрахунок наявність серед споживачів лінії зосередженого навантаження величиною 30% I_{Σ} і більше. Для підвищення точності в цьому випадку слід розрахункове навантаження представляти двома складовими: зосередженою та рівномірно розподіленою залишковою частиною I_{Σ} .

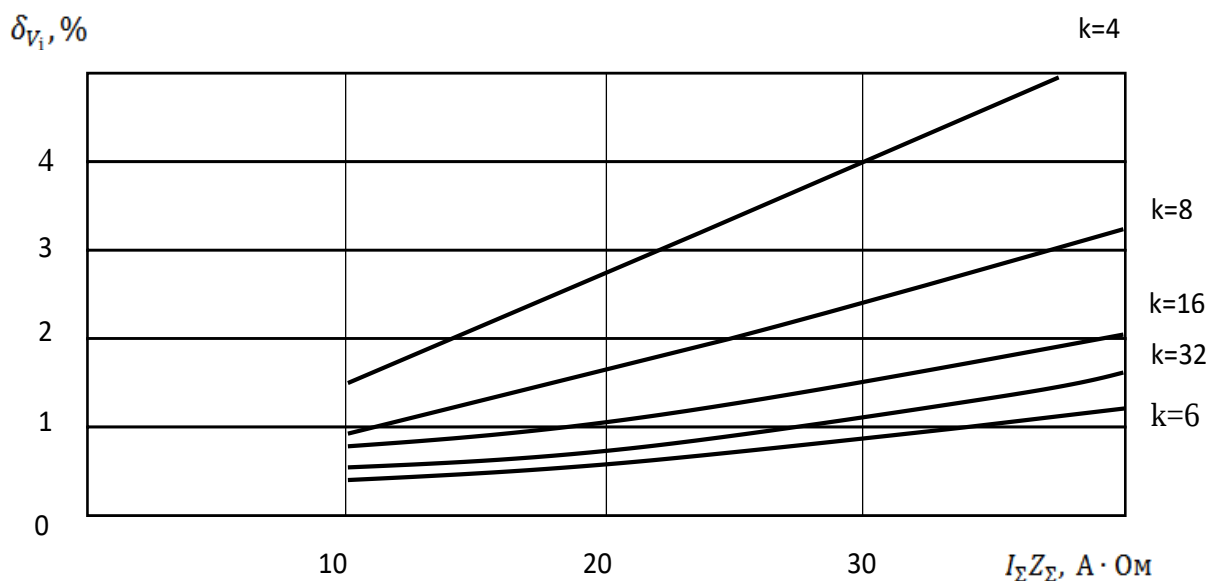


Рисунок 4. Залежності можливих похибок розрахунку рівнів напруги від величини моменту та кількості споживачів k на лінії

Таким чином, розглянуті моделі мережі 0,38 кВ можуть гарантувати необхідну практичну точність оцінки і ефективність оптимізації режимів напруги розподільної мережі. Їх використання дозволяє суттєво зменшити обсяги пам'яті в ЕОМ і полегшити розрахунки, а ще застосувати мінімальну кількість інформації про параметри ліній 0,38кВ і навантаження. Водночас, при невеликій кількості вузлів в лініях використання спрощених моделей може призвести до суттєвих похибок оцінок рівнів напруги на вводах споживачів, що слід приймати до уваги при аналізі результатів розрахунків.

Висновки. Проведено широкий аналіз імовірних похибок вихідних даних, законів їх розподілу, імовірнісних характеристик. В цілому вплив всіх факторів викликає суттєві похибки розрахунку МО рівнів напруги до 1,6% U_H на шинах 0,4 кВ ТП та до 3,5% U_H для віддалених споживачів мережі 0,38 кВ. До можливих шляхів підвищення достовірності оцінки режиму напруги в розподільних мережах слід віднести уточнення розрахункових навантажень, використання можливостей достатньо точної апаратури телевимірювань,

врахування фактичних значень u_k та $\Delta P_{k.з.}$ трансформаторів ТП.

Література

1. Электрические системы, т.2. Электрические сети / В. А.Веников, А. А. Глазунов, Л. А. Жуков, Л. А. Солдаткина. – М: Высшая школа, 1971. – 440 с.
2. ДСТУ EN 50160:2014 [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.loe.ant.lviv.ua/home/dokumenti/gost-dstu>.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика – М.: Высшая школа, 2002. – 363-379 с.
4. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М: Наука, 1968. – 355 с.
5. Холмский В. Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей / В. Г. Холмский. – М: Высшая школа, 1975. – 280 с.

UDC 621.311

H. Strelkova, PhD, Assoc. Prof.,
M. Strelkov, PhD, Assoc. Prof.,
I. Dango, Msc.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine.

DYNAMICS OF ACCESS TO ELECTRICITY AND EXPECTED DEMAND IN ELECTRICITY UNDER FULL ELECTRIFICATION IN SENEGAL

Abstract. *The research was devoted to the analysis of the dynamics of access to electricity to evaluate the expected annual demand in electricity under full electrification in Senegal. During the last decade, the moderately positive dynamics of the population's access to electricity were observed but the problem of access remains unresolved for most of the rural and remote regions. The expected annual demand in electricity for populations, which today stay without access to electricity, was evaluated by two methods. In the first method, the statistical data of average annual electricity consumption per capita were used. The second method was grounded on theoretically estimated annual electricity consumption for a household with minimal living standards. The most trustable value of expected annual demand was obtained by the first method. In the case on-grid connection the expected annual demand can be partially covered by a reduction of losses in transmission and distribution networks. In other cases, for populations in rural and remote areas, demand can be satisfied by renewable energy through connection consumers to mini-grids or standalone systems.*

Key words: *electrification, access to electricity, dynamics of electricity access, dynamic of population without access to electricity, demand in electricity.*

Introduction

The economic growth observed in recent years in developing countries of Sub-Saharan Africa increased the electricity demand. In Senegal, economic growth accelerated since 2014 and in 2018 reached 6.7%. For further sustainable economy and social development, covering rising demand in electricity, becomes a crucial issue for this country. Senegal has a significant potential for generating green electricity with renewable energy sources like solar, wind, and hydro. The Senegal electricity market design can also be considered as sufficient background for involving renewable generation in the market environment. Nevertheless, the National Electricity Company of Senegal (SENELEC) is granted the monopoly of wholesale buying and transport, there exist many opportunities for the private sector in production, distribution, and sale of electricity. The development of renewable energy is supported in Senegal by government policy and has a necessary regulatory framework. Among the main national decrees for implementation of the Renewable Energy Law are the Act No. 2010-21 on the framework law on renewable energy and the Decree No. 2011-2013 on conditions of electricity purchase and pricing produced by power plants from renewable energy sources, and the conditions of their connection to the grid [1-5].

Thus, by the combination of existing capacities of conventional power plants with potentials of renewable generation the problem with growing requests in electricity would be solved. However, among the main obstacles regarding this problem is limited access to electricity. The necessity of expanding access to electricity is deepened by the fact that in the next 10 years Senegal's population will grow up by 6 million. The country's integrated plan on improving access to electricity requires significant investment and changes in the electricity sector. The least costly option for most of the population, which today does not have access to electricity, is to expand access to the national electricity networks. For the population living in small communities in rural or remote areas, decentralized solutions with on-grid and off-grid power systems are foreseen [6-8].

But for practical measures on implementation of the integrated plan in Senegal the dynamics of access to electricity for the total, the urban and the rural populations must be studied. It is also needed

to evaluate the expected electricity demand under full electrification of the urban, rural, and remote areas.

Goal and tasks of research

The goal of the research was to conduct the analysis of the dynamics of access to electricity in Senegal to evaluate the expected electricity demand under the full electrification of the country.

To achieve the goal the next tasks were defined.

1. To analyze dynamics of access to electricity in Senegal.
2. To estimate total, urban and rural populations without access to electricity.
3. To evaluate the expected annual electricity demand under full electrification of areas without access to electricity.

Results and discussion

Analysis of dynamics of access to electricity in Senegal. To study the dynamics of access to electricity in Senegal the database provided by [9] was used, where the last available data on access to electricity were given for 2018. Dynamics of access to electricity in Senegal were studied for the last two decades. In general, in 2009-2018 the moderately positive dynamics of access to electricity were observed in the country. However, expanding electricity access has remained a challenging issue. The results of the investigation are given in Fig. 1.

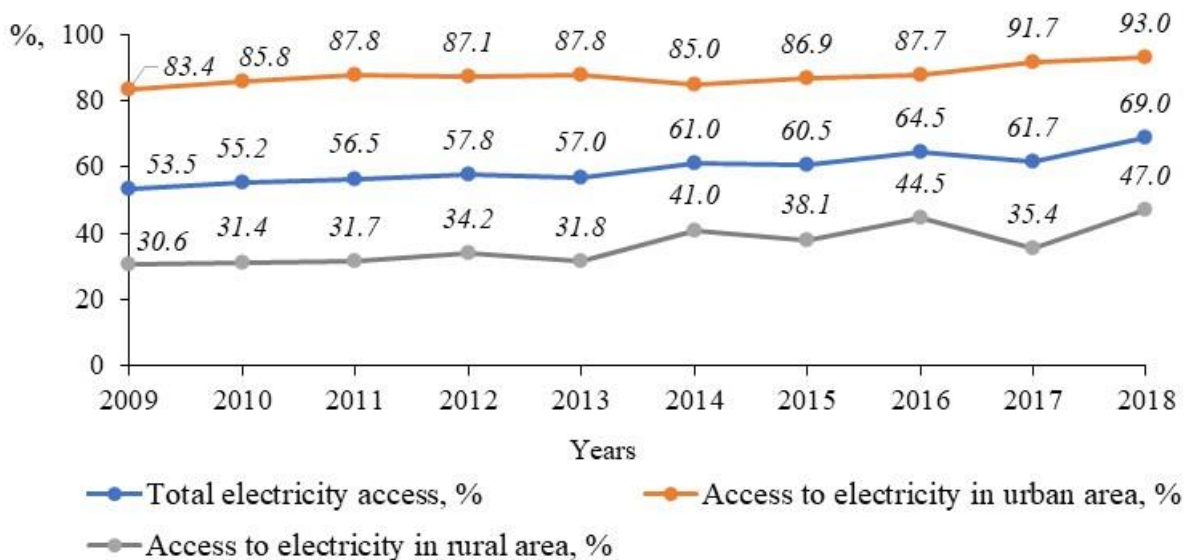


Figure 1 – Dynamics of access to electricity in Senegal, 2009-2018

As shown in Figure 1, during the decade the total access to electricity was increased by 15.5 %: the access to electricity in the urban areas was rose by 9.6 %, and in the rural areas - by 16.4 %. As a result, in 2018 the access in the urban areas reached 93 % and the level of total access rose to 69 %. But the problems of access to the infrastructure of electricity networks and service remains unresolved for most of the rural and remote regions, where the level of population access was only 47 %.

Estimation of total, urban and rural populations without access to electricity in Senegal.

There also were investigated the changes occurred in the number of the total population as well as the inhabitants in urban and rural areas without access to electricity. To provide this analysis the changes in the share of urban and total inhabitation in the total population of Senegal were studied for 2008-2018. To explore the changes in the pattern of the population a statistical database of the National Agency for Statistics and Demography [10] was used. The dynamics of changes in the number of populations without access to electricity are shown in Fig. 2.

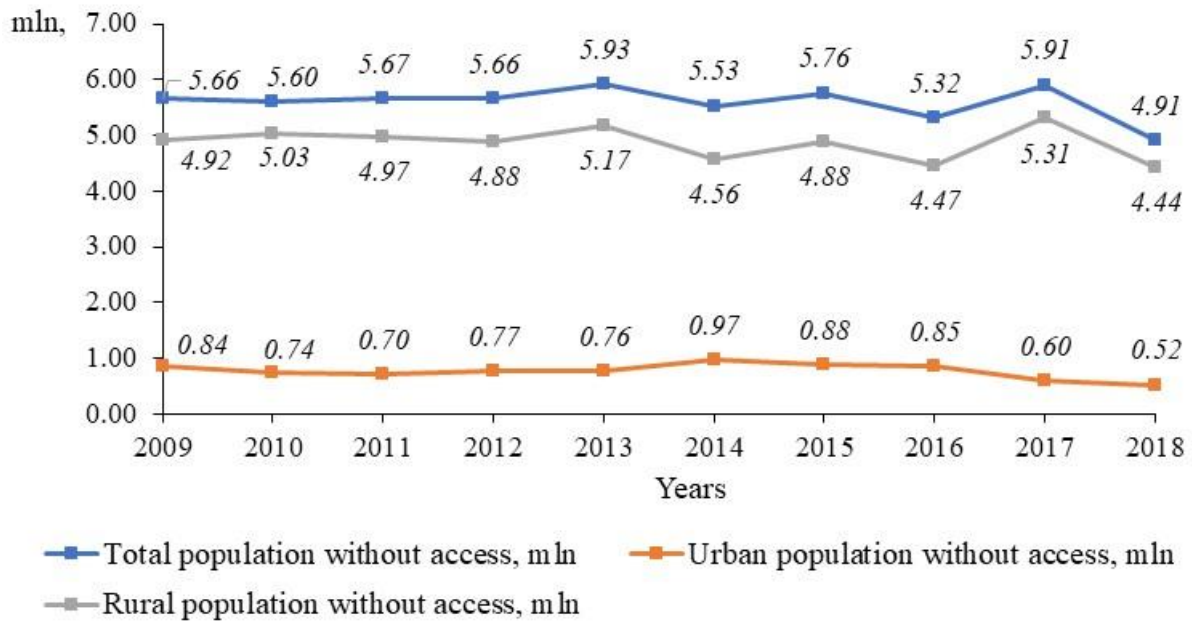


Figure 2 – Population without access to electricity in Senegal, 2009-2018

At the end of 2018, there were 4.91 million from 15.85 million total population of Senegal without access to electricity. Mostly because the access has remained on insufficient level for rural inhabitation. Although during a decade some moderate positive changes were observed. Compared to 2009, in 2018 the total population without access to electricity was decreased from 5.66 to 4.91 million; the urban population - from 0.84 to 0.52 million, and the rural population – from 4.92 to 4.44 million.

Evaluation expected electricity demand under full electrification in Senegal. The next task of the research was related to the evaluation of projected annual demand in electricity under full electrification of areas, which are today without access to electricity. There were a few different approaches used for solving this problem.

By the first method, the expected demand was estimated by multiplying the annual electricity consumption per capita and the number of populations in Senegal without access to electricity. To conduct the estimations the statistical data of average annual electricity consumption per capita were explored. According to [3], in 2014 in Africa it was equal to 483 kWh per person. This value was not found satisfactory enough for evaluation as it does not consider differences between developing countries in Africa. For this reason, the open statistical database of CIA was used [11]. According to this database, in 2016 the average annual electricity consumption per capita in Senegal was equal to 209 kWh per person. This value was taken for further calculation.

By the second method, the expected demand was estimated by multiplication of the annual electricity consumption per the household, necessary to satisfy the minimum living standards, and the number of households without access to electricity. This approach was grounded on the IEA methodology about the amount of annual electricity consumption per household [8]. By the IEA assumptions, the minimum demand for electricity should ensure the operation of the most necessary and typical home electrical appliances. The assumptions made by IEA the annual energy consumption of an average single household must cover needs the operation of one refrigerator, four lightbulbs operating five hours per day, a fan working 6 hours per day, a TV working 4 hours per day, and a mobile phone charger. For these minimum living standards, the energy consumption of a single household with standard electrical appliances was equal to 1250 kWh per year, and with efficient electrical appliances - 420 kWh per year.

In the frame of the second method, the number of households without access to electricity in

Senegal was defined by the division of the number of populations without access on the average household size (N). Information about the average household size in Senegal was varied between the sources. According to the United Nations comparative analysis of data for 2017 [12], the highest proportion of households as the number of members was observed in Senegal for $N = 8.3$. But by the World Bank Group evaluation [6], in 2018 the average household size in Senegal was even higher: $N = 9.9$. As these sources are the official ones, both values were used for calculations.

The evaluation of expected annual electricity demand under full electrification of areas that today are without access to electricity was defined by both methods. The results are given in Table 1. By the first method the Case 1 was calculated, and the Cases 2 and 3 - by the second method. For the Case 1 the expected annual demand in electricity was calculated for average annual electricity consumption per capita 209 kWh; for the Case 2 - for average annual electricity consumption per household with standard electrical appliances 1250 kWh, and for the Case 3 - for average annual electricity consumption per household with efficient electrical appliances 420 kWh. Cases 2 and 3 were also calculated for various values of N .

Table 1 - Expected annual demand in electricity under full electrification in Senegal

Population without access to electricity, million		Expected annual electricity demand, billion kWh				
		Case 1	Case 2 (a): $N = 8.3$	Case 2 (b): $N = 9.9$	Case 3 (a): $N = 8.3$	Case 3 (b): $N = 9.9$
Total	4.91	1.03	0.74	0.62	0.25	0.21
Urban	0.52	0.11	0.08	0.07	0.03	0.02
Rural	4.44	0.93	0.67	0.56	0.22	0.19

The expected annual demand for the Case 1, obtained with real statistical data on average annual electricity consumption per capita, was higher than results in Cases 2(a), 2(b), 3(a) and 3(b), obtained using the annual electricity consumption, which theoretically was estimated by IEA for a household with minimal living standards. The difference between results for Cases 1 and 2 (a) was 1.4 times and for Cases 1 and 3 (b) - almost 5 times. The maximum expected level of electricity demand under full electrification was obtained by the first method and was about one billion kWh per year. The minimum expected level of electricity demand was obtained by the second method and was about 200 million kWh per year. The demand can be covered in different ways. As stated by [12] in 2016 the annual electricity production in Senegal reached 4.17 billion kWh, but the annual electricity consumption was 3.50 billion kWh per year. The difference of 0.87 billion kWh was caused by electricity losses in transmission and distribution networks. In the case on-grid connection the part of expected annual demand can be covered due to the reduction of losses in networks. The remaining demand can be covered by renewable energy in the case of mini-grids or standalone systems.

Conclusions

The moderately positive dynamics of access to electricity were observed in Senegal during 2009-2018. The total access rose to 69 %. Though the level of access for rural and remote regions was increased by 16.4 % it reached only 47 %, thus for these regions, the problem of access has stayed unresolved. The positive changes in access to electricity were also observed for the total population and for the population in urban and rural areas. In 2018 the total population without access to electricity was decreased. But from 15.85 million of the country's population, there were 4.91 million without access to electricity. The expected annual demand in electricity under the full electrification was evaluated by two methods. From the practical point of view, most trustable values of expected annual demand were obtained using the real statistical value on average annual electricity consumption per capita. Under full electrification, the expected annual demand in electricity was evaluated approximately one billion kWh per year. There were also given recommendations about

the ways to cover the expected electricity demand. In case on-grid connection it can be partially covered by a reduction of losses in transmission and distribution networks. For other populations in rural and remote areas, it can be satisfied mostly by renewable energy through connection to mini-grids or standalone systems.

References

1. IEA (2019), Africa Energy Outlook 2019, IEA, Paris. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2019>
2. Hussain, Mustafa Zakir. 2019. Appraisal Program Information Document (PID) - Senegal - Third Multi-Sectoral Structural Reforms Development Policy Financing - P170366 (English). Washington, D.C.: World Bank Group. [Online]. Available: <http://documents.worldbank.org/curated/en/153431576344310957/Appraisal-Program-Information-Document-PID-Senegal-Third-Multi-Sectoral-Structural-Reforms-Development-Policy-Financing-P170366>
3. Blimpo, Moussa P., and Malcolm Cosgrove-Davies. Electricity Access in Sub-Saharan Africa: Uptake, Reliability, and Complementary Factors for Economic Impact. Africa Development Forum series. Washington, DC: World Bank, 2019. – 140 p. doi:10.1596/978-1-4648-1361-0.
4. [Topological approach to analysis of electricity market design / Strelkova H., Strelkov M., Dango I. // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць VI Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції у місті Києві 04-07 червня 2019 р. – Київ, КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 77-78.](#)
5. [D. Schwartz, Ed. The Energy Regulation and Markets Review. 6th ed., London, UK: Law Business Research Ltd, 2017. – 520 p.](#)
6. [SENEGAL'S SE4ALL. RURAL ELECTRIFICATION. ACTION AGENDA AND INVESTMENT PROSPECTUS 2018. The International Bank for Reconstruction and Development. / THE WORLD BANK GROUP, 2018. – 109 p.](#)
7. [IEA \(2019\), SDG7: Data and Projections, IEA, Paris. \[Online\]. Available: https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections](#)
8. Defining energy access: 2019 methodology. [Online]. Available: <https://www.iea.org/articles/defining-energy-access-2019-methodology>
9. The World Bank. Sustainable energy for all. [Online]. Available: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/sustainable-energy-all>
10. ANDS. Agence National de la Statistique et de la Démographie. [Online]. Available: http://www.ansd.sn/index.php?option=com_ands&view=theme&id=9
11. The Central Intelligence Agency. The World Factbook. [Online]. Available: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>
12. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. [Online]. Available: <https://population.un.org/Household/index.html#/countries/840>

UDC 621.311ⁱ**Rashed Almabrok**
Power Supply Department**THE STUDY OF MONTHLY TIME SERIES OF POWER CONSUMPTION OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE WITH A CONTINUOUS CYCLE OF WORK**

Abstract. *The scientific paper proposes the use of a combined data recovery method that combines local and global recovery methods. Nowadays, local and global data recovery methods are among the most widely used ways to recover lost information. The spread of these methods is concerned with the fact that, applying them, we can get the best result of data recovery. The proposed information recovery approach provides for optimization of the choice for solving the assigned problems. As an assessment of the results obtained, the source data are compared with the data obtained by local and global recovery methods using the relative error. It also compares the economic result of data recovery compared to the methods used by power supply organizations. The results of data recovery studies are proposed to be used as recommendations for the recovery of lost accounting values for energy consumption.*

Key words: *method, data recovery, local, global, diagrams of electrical loads, simulation, statistical method, approximation, relative error.*

Introduction. When entering metering values on the level of consumption of resources there can be operation failures in counter devices. In order to prevent data loss and reduce its negative consequences, it is necessary to find out the reasons for which they occur. The information stored in the counter devices is extremely vulnerable, and various factors can cause damage to it [1].

When accounting data are lost, there is a need to recover them. The difficulty of lost data recovery arises due to the diversity of consumption schedules. In order to solve this problem, it is necessary to develop a comprehensive approach to the process of recovery of unregistered values. The scientific paper proposes the use of a combined data recovery method that combines local and global recovery methods [2].

Purpose and objectives of the research. Based on the study of real graphs of electrical loads show all the possibilities of using arrays of credentials for solving various power supply and energy savings task (calculating losses, determining coefficients of electrical graphs ,calculating loads ,controlling maximum load, etc....) ,showing the degree ,the effectiveness of the use of samples of a certain duration

Research materials and results.

Data recovery with the use of local methods. Data recovery was carried out by sorting the volume of ammonia production from the minimum to the maximum value. Then the sample was evaluated for a smooth change in the levels of resource consumption (energy and gas). In the case of chaotic change in parameters, the initially distorted values were excluded (in our case, these are the 2 first indicators) [3].

Then, in each sample of values, deviations of samples from the initial value are determined within their limits.

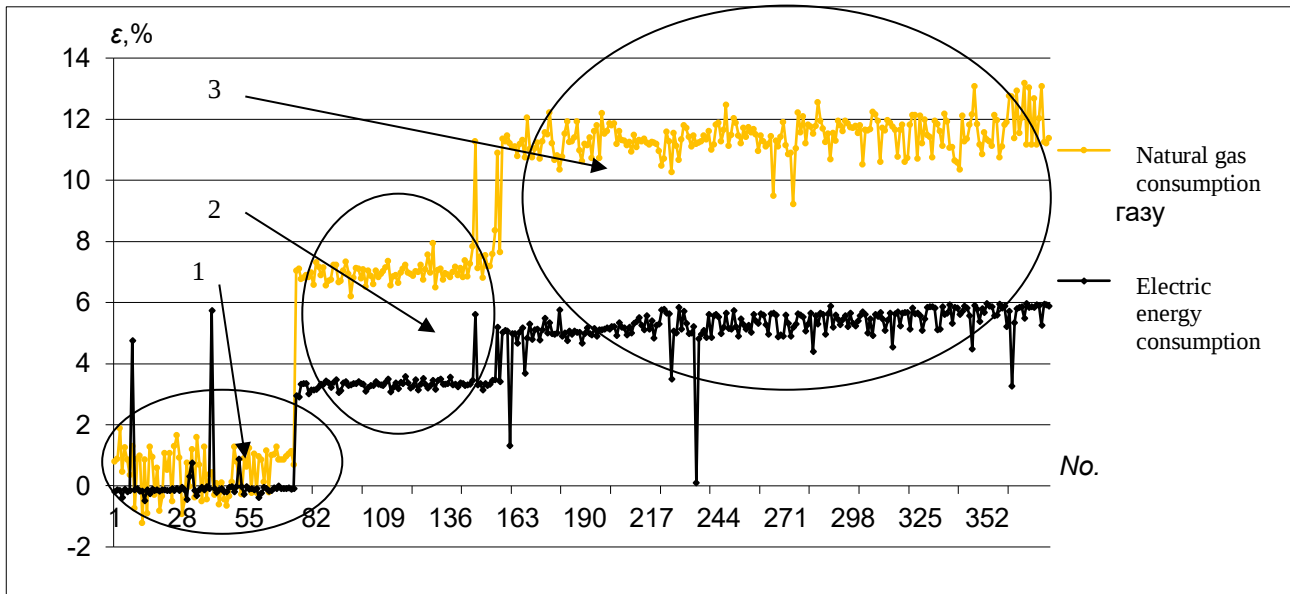


Figure 1 – Deviation of the values of the samples relative to the original value within the studied data sample

From Figure 1 it follows that the data is changing in discrete steps and it is necessary to sort the information by segments. Let us show them in a more representative form.

The description of the values of the first segment can be given as a range $[-1; 2]$, but the accuracy of the calculations will first decrease by 3% [4].

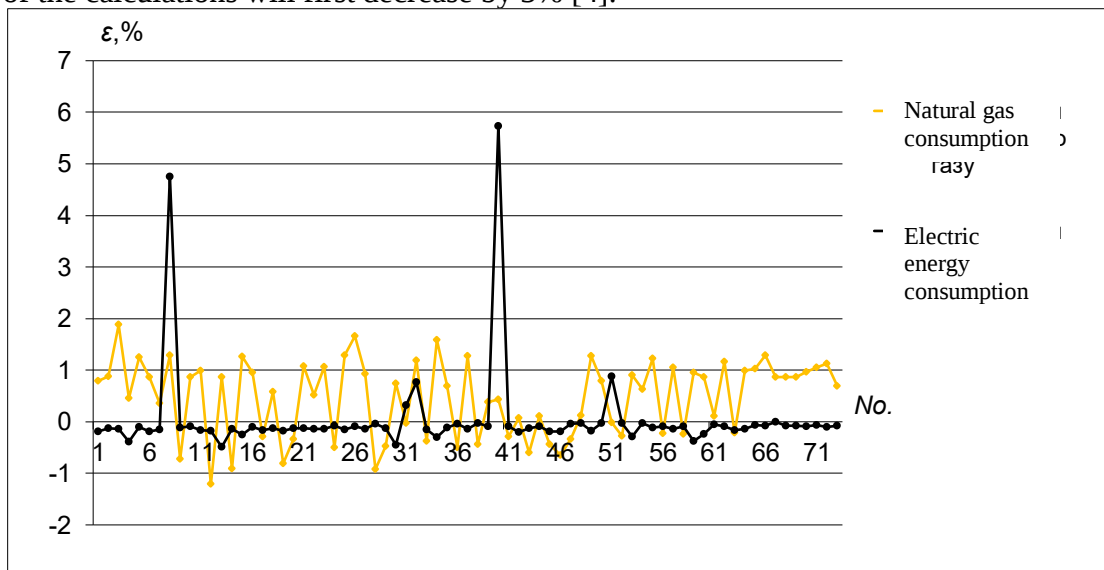


Figure 2 – Deviation of the values of the samples in relation to the initial value within the studied data sample when the ammonia production is changed from the minimum value to 5 tons (segment 1 of Figure 1)

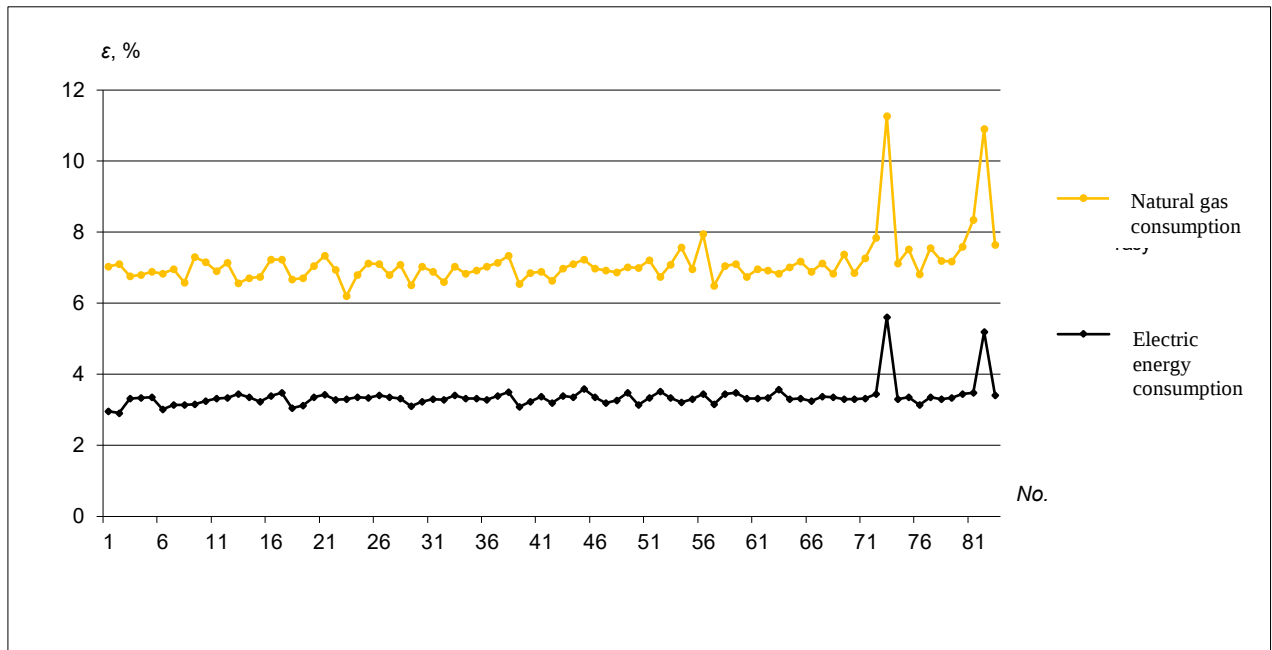


Figure 3 – Deviation of the values of the samples in relation to the initial value within the studied data sample when the ammonia production is changed from 5 to 10 tons (segment 2 of Figure 1)

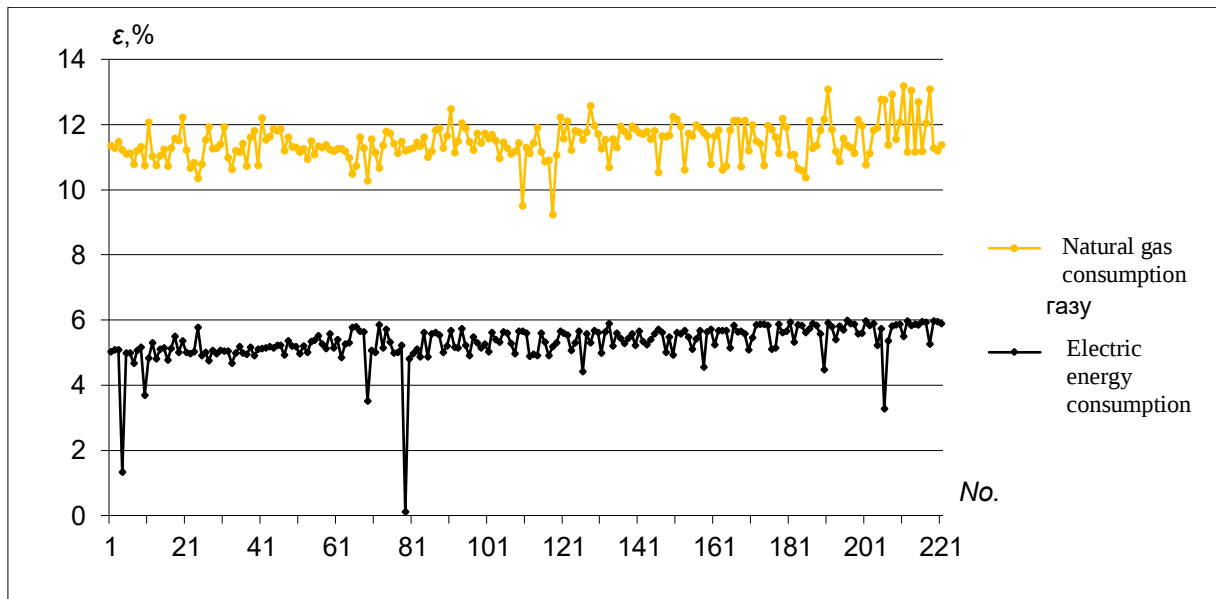


Figure 4 – Deviation of the values of the samples in relation to the initial value within the studied data sample when the ammonia production is changed from 10 tons through the maximum value (segment 3 of Figure 1)

From Figures 3 and 4 it follows that with a known sense of ammonia production, it is possible to determine the amount of electricity consumed and double-check the results by the amount of natural gas consumed. In these cases, the resource costs are described by a linear law [5].

Data recovery with the use of global methods. We have data for two periods about the enterprise that consumes natural gas and electricity and produces ammonia. During these periods, no technological changes have occurred, that is, the characteristics of production are similar [6].

In the first period (the spring period) there were no failures and all accounting data were recorded. However, in the second period (the summer period), part of the data on electricity consumption was lost. There was a need for their recovery. The technological process for a given

period has a similar character; then, having found the characteristics during the spring period, they can be used to recover data in the summer period.

Let us illustrate the dependence of the used power (see Figure 5) and the consumption of natural gas (see Figure 6) on the production of ammonia during the spring period.

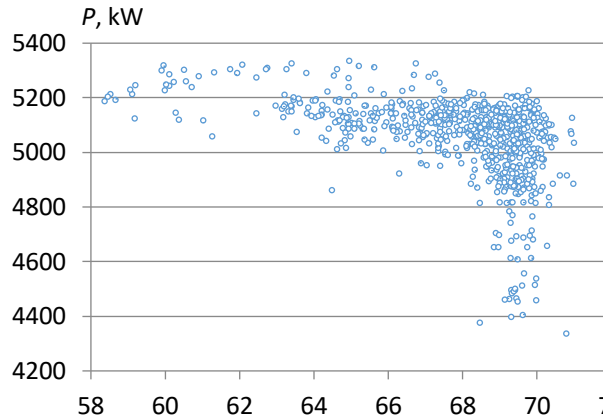


Figure 5 – Dependence of used power on ammonia production

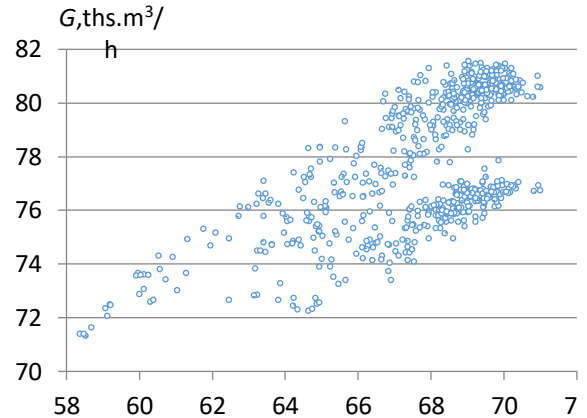


Figure 6 – Dependence of natural gas consumption on ammonia production

Since one value of the produced ammonia corresponds to a certain range of values of consumed natural gas and the power used, we will put in order the value of ammonia from minimum to maximum and for each of them we will find the range of values of natural gas and power. For convenience, we will work with dependences of minimum natural gas consumed on ammonia ($G_{min} = f(A)$), power used ($P_{min} = f(A)$), and dependences of the difference between the maximum and minimum value of natural gas on ammonia ($\Delta G = f(A)$) and power ($\Delta P = f(A)$). Figures 7 – 10 show the obtained dependences [7].

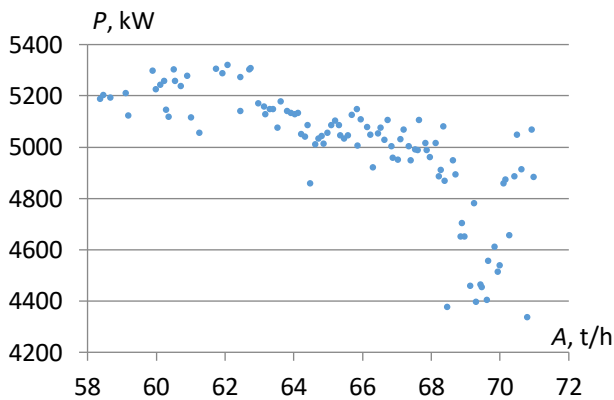


Figure 7 – Dependency $P_{min} = f(A)$

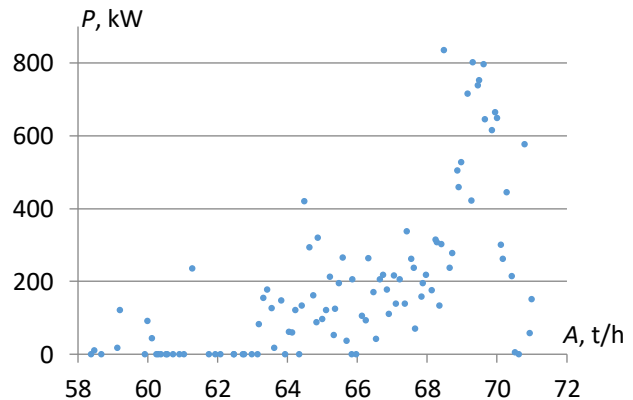
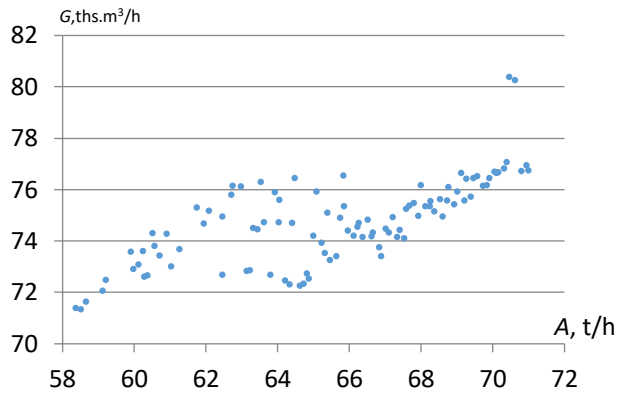
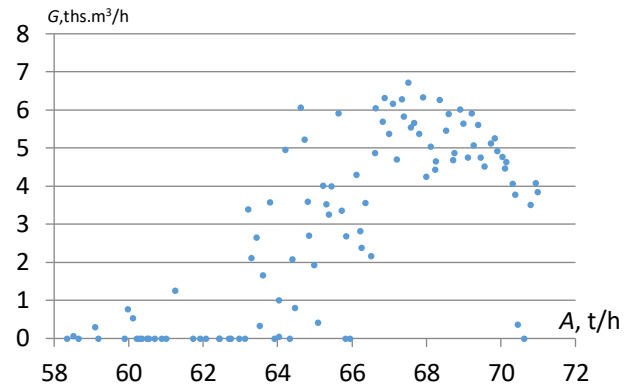


Figure 8 – Dependency $\Delta P = f(A)$

Figure 9 – Dependency $G_{min} = f(A)$ Figure 10 – Dependency $\Delta G = f(A)$

Conclusion. As a result of the research, it was found that at the enterprise there is no universal method for electricity consumption data recovery, which in all cases yields a result with minimal error. When recovering lost data, it is necessary to analyze the type of function.

References:

1. Zinkevich V. S. Informatsionnyye riski: analiz i kolichestvennaya otsenka [Information risks: analysis and quantification] / V. S. Zinkevich, D. K. Shtatov// Moscow: Bukhgalteriya i blanki. – No. 1. – 2007. – (240 p. – book, P. 36 – 42 – journal) [in Russian].
2. Pravyla korystuvannya elektrychnoyu enerhiyeyu. Zatverdzheno postanovoyu Natsional'noyi komisiyi z pytan' rehulyuvannya elektroenerhetyky Ukrayiny №28 vid 31 lypnya 1996 roku [Terms of use of electric energy. Approved by the resolution of the National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities No. 28 of July 31, 1996] // Biblioteka Zakon i biznes. – Kyiv, 1996, No. 109 [in Ukrainian].
3. Sayt Natsional'noyi komisiyi z pytan' rehulyuvannya elektroenerhetyky [Website of the National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities] <http://www.nerc.gov.ua/> [in Ukrainian].
4. Kavuniv V. V. Stvorenniya intehrovanoyi rozpodilenoyi ASU TP enerhopostavlyayuchoyi kompaniyi iz zastosuvannyam systemy Trace Mode. ASU dlya promyslovykh pidpryyemstv. Promyslovi ASU i kontrolery [Creation of an integrated distributed ACS TP for a power supply company using the Trace Mode system. ACS for industrial enterprises. Industrial ACS and controllers] / V. V. Kavuniv, A. M. Lakiza, I. A. Lytvynenko. // "Nauchtekhlitizdat", 2005. – 270 p. [in Ukrainian].
5. Osika L. M. Kommercheskiy uchet elektroenergii: uroki i perspektivy [Commercial accounting of electricity: lessons and perspectives] / L. M. Osika // EnergoRynok. – 2006. – Vol. 32. – No. 7. [in Russian].
6. Budanov P. F. Model' informatsiynoho zabezpechennya zavdan' obliku elektroenerhiyi [Model of information support for electricity accounting tasks] / P. F. Budanov, Z. Z. Beybutova, B. O. Korolyuk, T. V. Shurda, D. M. Shalyhin. // Systemy ozbroynennya i viys'kova tekhnika – No. 1 (25) – 2011. [in Ukrainian].
7. Tekhnichni ta orhanizatsiyni vymohy do pobudovy avtomatyzovanykh system obliku elektroenerhiyi na ob'yektakh NEK "Ukrenerho" [Technical and organizational requirements for the construction of automated electric energy accounting systems at the NPC "Ukrenergo" facilities] / Approved by the Sciences and Technical Council of the NPC "Ukrenergo", minutes No. 5 of March 29, 2000 [in Ukrainian].

UDC 621.311ⁱⁱ

Abdessamad Mesbahi

MSc at Power Supply Department, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

TECHNICAL AND ECONOMIC STOCHASTIC MODELING OF NEW GENERATING FACILITIES TO MITIGATE UNCERTAINTY IMPACTING THE FEASIBILITY STUDY PROJECTIONS

The research relates to the challenges on improving the accuracy of simulating objects with inaccurate/uncertain technical and nontechnical parameters where different deterministic and stochastic modeling techniques have been developed to deal with uncertainties in decision making for renewable energy sources RES, where is exploiting the probabilistic methods like Monte Carlo Simulation and Point Estimate methods.

The three-point estimation technique was employed to analyze the stochastic parameters of the model which is represented by the distribution functions of their probable value.

A synthetic skewed probability density function (PDF) was modeled based on the standard normal distribution, which is fitting for modeling the uncertain parameters for renewable energy in power systems.

Key words: *Three-point approximation simulation, stochastic parameters modeling, renewable energy sources in power systems, uncertainty modeling.*

Introduction. Unlike the traditional power systems studies whose were mostly deterministic; the stochastic issue is being fundamental nowadays and the future [1], due to the growth of randomness phenomena following the growth on the integration of the RESs in power systems, there still certain challenges, these can be considered technical and/or nontechnical; as the latest is related to the capital cost, energy market, economical, and financial issues. moreover, the first challenge is related to the high level of variability in the among of energy sources (solar irradiation, wind speed) in the first class [2], wherein factors and indices are characterized by some uncertainty.

Three-point estimation techniques are a suitable tool for modeling contemporary energy systems based on the integration of RESs [3], As practical techniques of the three-point approximation are used to construct the PDF of the stochastic parameters model which directly influences the modeling result like an event occurrence probability.

Purpose and objectives of the research. Applications of The Three-Point Probability Density Function Approximation for modeling technical and economic parameters on the power systems based on RES, to demonstrate the possibility of modeling the stochastic input parameters of the simulated system using PDFs by the use of three-point approximation techniques and to obtain analytical expressions/results.

Research materials and results.**I. IMPACT OF LEVELIZED COST OF ELECTRICITY ESTIMATION**

For known reasons, the Levelized Cost of Electricity (LCOE) is a measure of the generation cost of electricity, in constant currency, for a plant using a particular generating technology over its lifespan, wherein the major components of the LCOE equation are:

$$LCOE = \frac{Life \quad Cycle \quad Cost}{Life \quad Time \quad Energy \quad Production}$$

Due to the increasing penetration level of RESs in power systems, more accurate predict values of the "LCOE" are demanded. Unlike , the simple estimation methods which may give less precise results of the uncertain parameter under study; wherein [4] shows the variance under these conditions can reach almost 50% the computed value of the variance for the LCOE and/or tariff price estimates for the energy produced by solar photovoltaic power plants (PVPP) and small PV-installations.

II. CONCEPTUAL BASIS OF THE THREE-POINT PDF APPROXIMATION USED

To demonstrate the possibility of improving the accurate results, in [6] a comparable numerical results of cost estimates and prices for electricity produced by PVPP are obtained using Monte Carlo Method and Point Estimation Method given the impact of uncertain parameters with the PDF function graphically depicted in Fig.1.

A) Distribution Functions Features

The simplest three-point PDFs approximation used are the *normal distribution*, *uniform*, and the distribution with the *triangular* PDF and their standard characteristics of common distribution functions are given in Table 1.

Table 1 Standard Characteristics of The Distribution Functions Used

Descriptiv e statistics	Unifor m	<i>PERT</i> ^{*)} (Beta- distributio n)	Triangul ar	Normal
Expected value (mean, or first moment M_1)	$\frac{A+C}{2} =$ $= \frac{2b+c-a}{2}$	$\frac{A+4b+C}{6} =$ $= \frac{6b+c-a}{6}$	$\frac{A+b+C}{3} =$ $= \frac{3b+c-a}{3}$	b
Dispersion, D	$\frac{(C-A)^2}{12} =$ $= \frac{(a+c)^2}{12}$	$\frac{(C-A)^2}{36} =$ $= \frac{(a+c)^2}{36}$	$\frac{(A^2+b^2+C^2-Ab-bC-AC)}{18}$	$\frac{(C-A)^2}{36} =$ $= \frac{(a+c)^2}{36}$
The standard deviation σ	$\frac{C-A}{12^{1/2}} =$ $= \frac{a+c}{12^{1/2}}$	$\frac{(C-A)^2}{6} =$ $= \frac{(a+c)^2}{6}$	$D^{1/2}$	$\frac{C-A}{12^{1/2}} =$ $= \frac{a+c}{12^{1/2}}$
Most preferable	does not exist	b	b	b

^{*)}PERT – Program Evaluation and Review Technique.

The following notation of three points, which are characterizing the interval of possible values concerning the uncertain parameter:

$b = x_0$ is the "most desirable" value of the uncertain parameter;

while $A = x_0 - a$ is the minimum or pessimistic value of the interval parameter (may also be "worst" or "best");

and $C = x_0 + c$ is the most expected or optimistic value of the parameter (in contrast to the previous ones, it will be "best" or "worst").

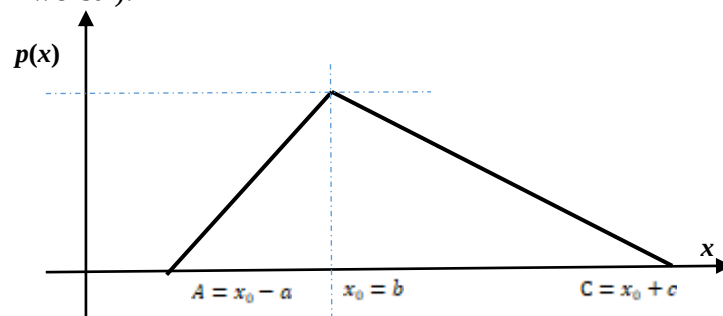


Figure 1 – General Diagram an asymmetric triangular PDF of uncertain parameter

Wherein, the triangular PDF is a proper tool for geometrical analysis, but it will not always represent the properties of the considered object adequately when the feasibility is to be studied. In [7] a proposition of a synthetic *Pseudo-normal* distribution PDF, which is asymmetrical to avoid the disadvantages inherent the PERT-Beta in estimating the time of service. This will alternatively serve like the Beta-PERT distribution function to represent uncertain parameters of the stochastic model.

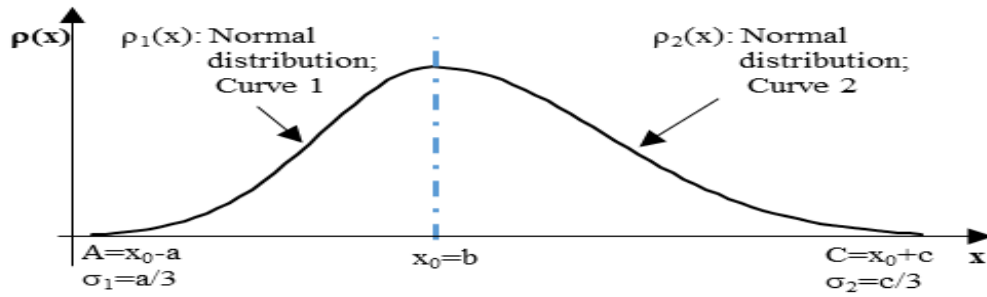


Figure 2 – The density of asymmetric normal probability distribution of the variable parameter. The synthetic curve of distribution in Figure 2 is formed by two shapes of the normal distribution curves with different values of the standard parameters M_1 and σ , where its probable density distribution function values are given in form of two fragments by the expression:

$$\rho(x) = \begin{cases} \rho_1(x) = Be^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_1^2}} & \forall x \in [x_0 - 3\sigma_1, x_0] \\ \rho_2(x) = Be^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_2^2}} & \forall x \in [x_0, x_0 + 3\sigma_2] \end{cases}$$

$$\text{with : } \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x) dx = 1 \quad (1)$$

$$\text{and : } B = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \frac{\rho_{norm}}{(\sigma_1 + \sigma_2)}.$$

Thus, for random values ξ of the parameter x , the values of the integral probability distribution function Cumulative Density Function (CDF) can be computed with the obtained expression (3) for computer computing:

$$\int_{x_0 - 3\sigma_1}^{x_0} \rho_1(x) dx + \int_{x_0}^{x_0 + 3\sigma_2} \rho_2(x) dx = -\Phi^*(-3) + \Phi^*(3) = 2\Phi^*(3) - 1 \quad (2)$$

$\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{\xi^2}{2}} d\xi$ – is a Laplace function with known properties, and $\Phi^*(-3) = 1 - \Phi^*(3)$.

And after interchanging, we got:

$$P_2(\xi \leq x) = \frac{2\sigma_1 \times \rho_{norm}}{(\sigma_1 + \sigma_2)} \left(\Phi^*(3) - \frac{1}{2} \right) + \frac{2\sigma_2}{(\sigma_1 + \sigma_2)} \left(\Phi^*\left(\frac{x - x_0}{\sigma_2}\right) - \frac{1}{2} \right). \quad (3)$$

In Figure 3, we presented graphical curves of the approximating functions of the variable parameter distributions computed by the use of the three-point estimation techniques. Figure 3 (a) – is positive, and Figure 3 (b) – is negative symmetry of distribution curves of some parameter with mode value $b = 15$. Figure 4 – shows the curves of these distributions for the case of the symmetric shape of the distribution of values of such a variable parameter of the model.

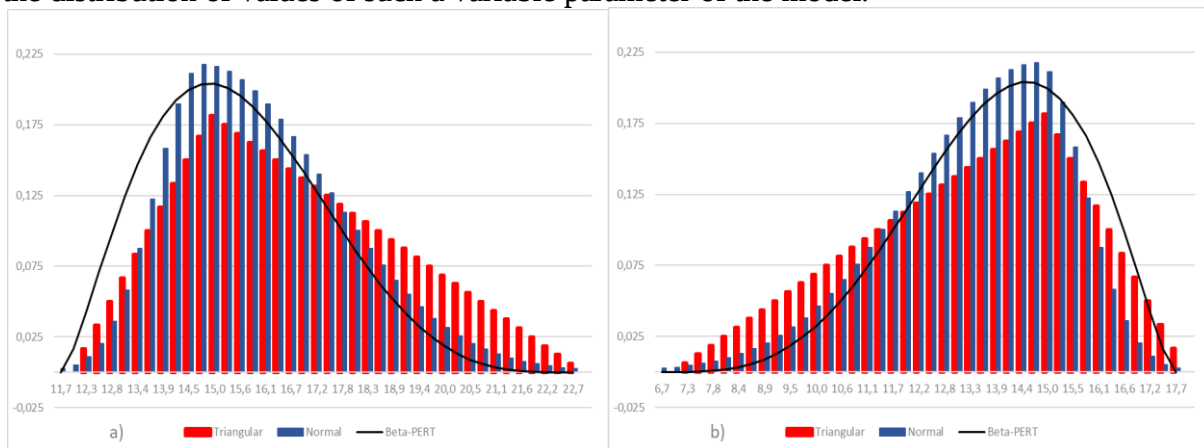


Figure 3 – Left & Right skewed PDFs: a) positive skewness ($A = 12, b = 15, C = 23$); b) positive skewness ($A = 7, b = 15, C = 18$)

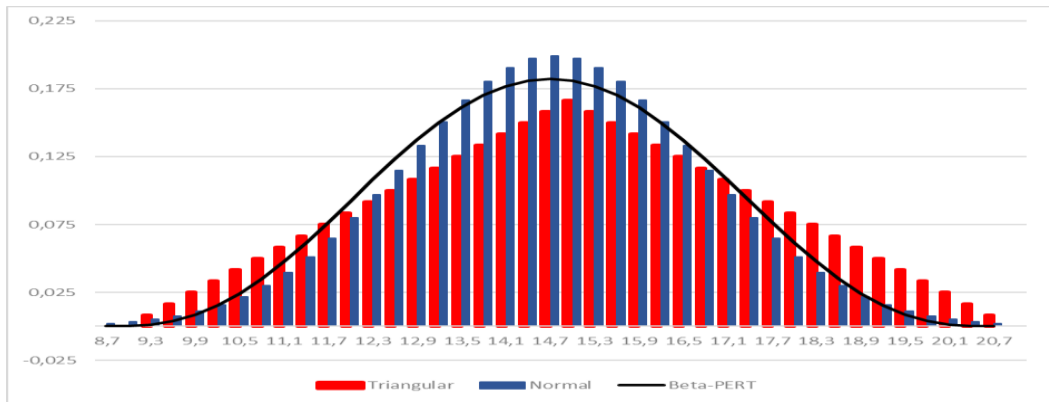


Figure 4 – Symmetric PDF curves: ($a = c = 6; A = 9, b = 15, C = 21$)

Practical Example: Model Information Support in Research [7 – 9] is based on data on the engineering and economic performance of the PV installation, The PDF used in Figure 5 is highly similar to the asymmetric PERT distribution with the PDF, given the sampling interval of uncertain System Degradation Rate (SDR) value limited by 3%, and the desired value is of 0.8% (the mode). The expected SDR value of the mode for practical computations, applicable for newly constructed objects in Ukraine, equals 1.2% (Fig. 5), while the sampling interval accepted to be within 4% and the approximated synthetic normal PDF function is used.

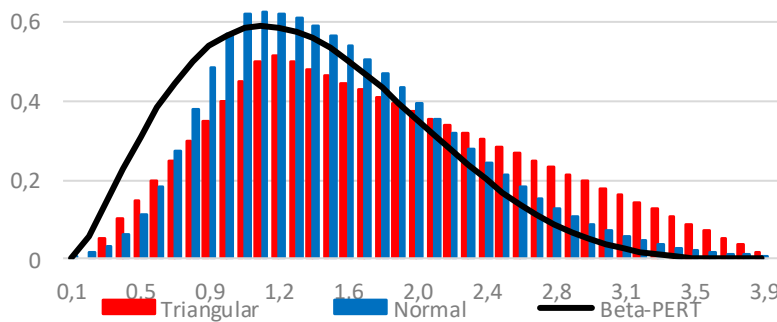


Figure 5 –Comparison of the approximation distribution functions curves for PV installation model "system degradation rate,%/year"

III. COMPUTATION OF THE INITIAL MOMENTS OF THE ASYMMETRIC NORMAL DISTRIBUTION FUNCTION

Algebraic expressions were presented to compute the Moments with the order -s- of a synthetic approximating function and determined by integrating:

$$\begin{aligned}
 M_s(x) &= \int_{-\infty}^{\infty} x^s \rho(x) dx = \int_{-\infty}^{x_0} x^s \rho_1(x) dx + \int_{x_0}^{\infty} x^s \rho_2(x) dx = \\
 &= B \left[\int_{x_0-3\sigma_1}^{x_0} x^s e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_1^2}} dx + \int_{x_0}^{x_0+3\sigma_2} x^s e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_2^2}} dx \right], \forall s = 1, 2, 3, \dots
 \end{aligned} \tag{4}$$

The first moment M_1 (mathematical expectation) of function (1):

$$\begin{aligned}
M_1(x) &= \int_{-\infty}^{\infty} x\rho(x)dx = \int_{-\infty}^{x_0} x\rho_1(x)dx + \int_{x_0}^{\infty} x\rho_2(x)dx = \\
&= B \left[\int_{x_0-3\sigma_1}^{x_0} xe^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_1^2}} dx + \int_{x_0}^{x_0+3\sigma_2} xe^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_2^2}} dx \right] = \\
&= B \int_{b-a}^b xe^{-\frac{(x-b)^2}{2\sigma_1^2}} dx + B \int_b^{b+c} xe^{-\frac{(x-b)^2}{2\sigma_2^2}} dx
\end{aligned} \tag{5}$$

The integrals in (5) can be determined by applying the traditional replacement of the integration variables:

$\frac{x-b}{\sigma_1} = t, dx = \sigma_1 dt, x = \sigma_1 t + b$ – for the first integral in (5).

$\frac{x-b}{\sigma_2} = t, dx = \sigma_2 dt, x = \sigma_2 t + b$ – for the second integral in (5).

$$\begin{aligned}
\int_0^c e^{-\frac{t^2}{2}} dt &= \sqrt{2\pi}(\Phi^*(3) - 0.5) \approx \sqrt{2\pi} / 2 \\
\int_{-a}^0 e^{-\frac{t^2}{2}} dt &= \sqrt{2\pi}(\Phi^*(3) - 0.5) \approx \sqrt{2\pi} / 2
\end{aligned}$$

Finally, given the approximation acceptable for practical computations $\Phi^*(3) \approx 1$, and therefore $p_{norm} = 1$

$$\begin{aligned}
M_1(x) &= B \left[\frac{b\sqrt{2\pi}}{2} (\sigma_1 + \sigma_2) + \sigma_2^2 - \sigma_1^2 + \sigma_1^2 e^{-\frac{a^2}{2}} - \sigma_2^2 e^{-\frac{c^2}{2}} \right] \\
B &= \frac{2}{\sqrt{2\pi} (\sigma_1 + \sigma_2)}
\end{aligned} \tag{6}$$

Using the same scheme, we consistently define expressions to compute the second and third initial moments in the form:

$$M_2(x) = B \left[\frac{\sqrt{2\pi}}{2} [b^2(\sigma_1 + \sigma_2) + \sigma_1^3 + \sigma_2^3] + 2b\sigma_1^2 \left(e^{-\frac{a^2}{2}} - 1 \right) - a\sigma_1^3 e^{-\frac{a^2}{2}} + 2b\sigma_2^2 \left(1 - e^{-\frac{c^2}{2}} \right) - c\sigma_2^3 e^{-\frac{c^2}{2}} \right] \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
M_3(x) &= B \left[\frac{b\sqrt{2\pi}}{2} [\sigma_1(b^2 + 3\sigma_1^2) + \sigma_2(b^2 + 3\sigma_2^2)] + \sigma_1^2(3b^2 + 2\sigma_1^2) \left(e^{-\frac{a^2}{2}} - 1 \right) + \right. \\
&\quad \left. + \sigma_2^2(3b^2 + 2\sigma_2^2) \left(1 - e^{-\frac{c^2}{2}} \right) + a\sigma_1^3(a\sigma_1 - 3b) e^{-\frac{a^2}{2}} - c\sigma_2^3(c\sigma_2 + 3b) e^{-\frac{c^2}{2}} \right]
\end{aligned} \tag{8}$$

By applying the "3 σ – rule" in terms of the notations a, b, and c in Figure 2 – and substituting, into formulas (6), (7) and (8), we obtain expressions for practical computations.

Though extra effort to interpret the results with variance analysis is usually needed, the analytical expressions (1)–(3) of the CDF integral probability function were used for simulation using the Monte Carlo simulation scheme in [8,9].

Concerning the expressions of Moments obtained, they would help to speed up computations based on the Point Estimation method to obtain the uncertain parameter value of the Deterministic and Stochastic Model set by PDF three-point approximation technique developed herein.

Conclusion. For the reason of improving the simulation results accuracy in the problems of estimating the technical and economic indicators for energy objects, the author proposed an approximate function of a synthetic normal distribution with asymmetry, analytical expressions for computing the characteristics which are suitable for the construction of deterministic and stochastic.

Combined with three-point approximation techniques for variable parameters and Point

Estimation Method (method of Moments) regarding D&SM, it gives significant computing resources savings while processing the numerical solutions of practical economic and mathematical problems.

References:

1. Ju, Ping. Stochastic Dynamics of Power Systems. Springer Singapore, 2019.
2. Erdinc, Ozan. Optimization in renewable energy systems: recent perspectives Butterworth-Heinemann, 2017
3. Covert R. P., COVARUS L. L. C. "Analytic method for probabilistic cost and schedule risk analysis," NASA Office of Program Analysis and Evaluation (PAE) Cost Analysis Division (CAD), pp. 186-187, 2013.
4. Shulzhenko S.V. "Methods and tools for determining the performance indicators of the peration and development of power plants in market conditions," Academic thesis. Institute for General Energy of NAS, Ukraine, Kyiv, 2011 [in Ukrainian].
5. Ventzel E.S. Probability Theory: Textbook. for universities. 6th ed. Moscow: Higher school, 1999.
6. Cost and performance data for power generation technologies. Black & Veatch Holding Company, prepared for National Renewable Energy Laboratory, US, 2012.
7. Kostiuk V.O. "The three-point approximations for a distribution function of uncertain parameter to estimate technical and economic indicators relevant for stochastic modelling," Kyiv: Problems of general energy, no. 2(45), pp. 26-33, 2016 [in Ukrainian].
8. Kostiuk V.O. "System review of the methods used to study units with variable process parameters and practical aspects of modeling," Kyiv: Problems of general energy, no. 2(41), pp. 39-47, 2015 [in Ukrainian].
9. Kostiuk V.O. "Deterministic and stochastic models of electrical power utility applicable for computation of levelized electricity pricing," Kyiv: Praci Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, no. 342, pp.42–47, 2015 [in Ukrainian].

UDC 621.311

Bader Faraj
Power Supply Department**PRECONDITIONS ANALYSIS OF SMART METERING SYSTEMS DEPLOYMENT IN LIBYA**

The article provides detailed analysis of situation of balance and condition of energy in Libya to cover all needs, the need demand side management. The article identify the smart metering systems deployment and its benefit. The benefits of smart metering systems was analyzed and the cost-benefit analyze of smart metering systems deployment in European member states was provided. The creation of an intelligent electricity smart metering system in Libya is a promising and important task for the development and improvement of the energy system, which contributes to increased transparency of electricity metering, reliability of energy supply and ensuring the country's energy security.

Key words: smart metering systems, Libya smart metering, Libya electricity, demand side management.

Introduction. Current trends in the development of the electricity market are based on improving energy-saving technologies, creating virtual power plants, power storage systems and intelligent systems.

Literature review. The development of smart metering systems abroad is considered in the works of R. Bayandyr, I. Kolak, G. Fuli, K. Demirtas [1], Gangale, F., Vasiljevska, J., Covrig, C., Mengolini A. [2], Malik F.H., Lehtonen M. [3], Remizova T.S., Koshelev D.B. [4] and is largely a result of the functioning of regulatory bodies and existing regulations.

Purpose and objectives of the research. The main aim is identify conditions of smart metering systems deployment in Libya based on cost-benefit analyze.

Materials and methods. The article uses data from the World Bank for 2000-2017 to analyze the Libyan electricity market. The report from the European Commission was used to provide cost-benefit analysis of smart metering systems deployment.

Results and discussion. An intelligent electricity smart metering systems (here and after referred to as the system) is understood as an accounting organization that provides a cost-effective, sustainable power supply system with low losses, a high level of quality and safety and effectively integrates the actions of all users connected to it – generating companies, consumers and other interested parties, in order to ensure.

Such a system allows to [4]:

- collection of measurement results from smart meters of electric energy and power with a given frequency and information about events (changing parameters, configuration of devices);
- storage of measurement results;
- providing measurement results with reference to time to all interested parties;
- analysis of measurement results, monitoring the integrity and completeness of the data provided;
- remote control of the mode of consumption of electric energy (full, partial restriction of consumption);
- protection of the collected data from uncontrolled interference.

Smart metering systems deployment will allow:

- increase the reliability of the power system;
- increase transparency of electricity metering;
- provide quick access to information on energy supply and energy conservation;

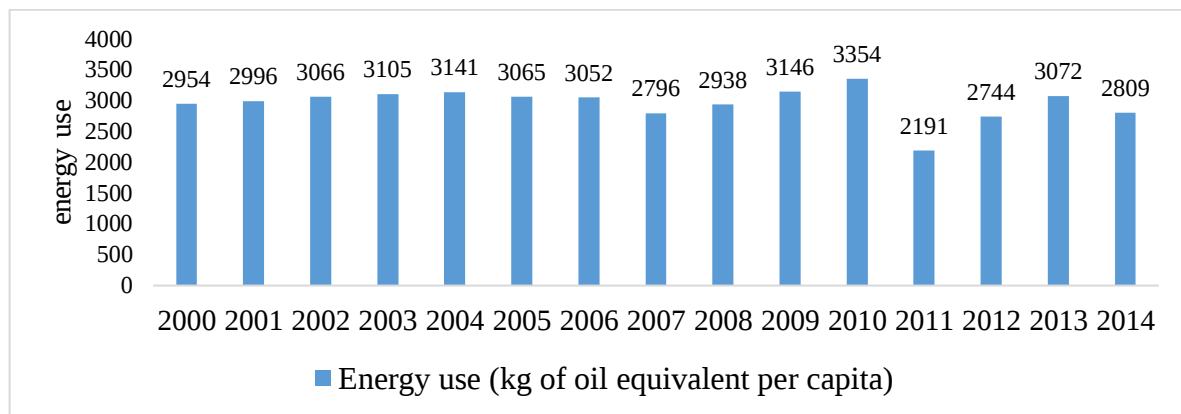
– improve the controllability of the energy system processes due to the possibility of operational consumption limitation.

Over the past decades, Libya has funded its electricity infrastructure. The investment was directly funded by the Libyan government through a development budget. However, GECOL, the General Electric Company, Libya's only national energy company, was a key institution for planning and organizing investments. The combination of oil in the country and a policy of universal electrification, energy supply with strict criteria for planning the expansion of the Libyan system led to the creation of a reliable power transmission network and ambitious projects for the construction of generating stations [9].

Libya's electricity market is still a complete monopoly. The price of electricity in Libya is very low. A fair and practical FiT should be in place. There is no energy regulator in Libya. Energy investment laws do not exist. The energy market in Libya is very fragmented, and it is not easy to come up with a risk assessment [9].

After the events of February 17, 2011, the state of GECOL changed, which began to affect the work of the main divisions of the company and the energy infrastructure of Libya. Insecurity and political instability led to a halt in most projects, consistent attacks on GECOL assets and personnel, a significant increase in thefts, especially conductors and electrical appliances, and a significant decrease in GECOL's ability to carry out maintenance work. As a result, some infrastructure assets, a drop in power grid capacity and a serious shortage of generating capacities were lost, which led to a prolonged blackout in many parts of the country, especially during peak periods in summer and winter [9].

In our research, we need to investigate the demand for energy in Libya.

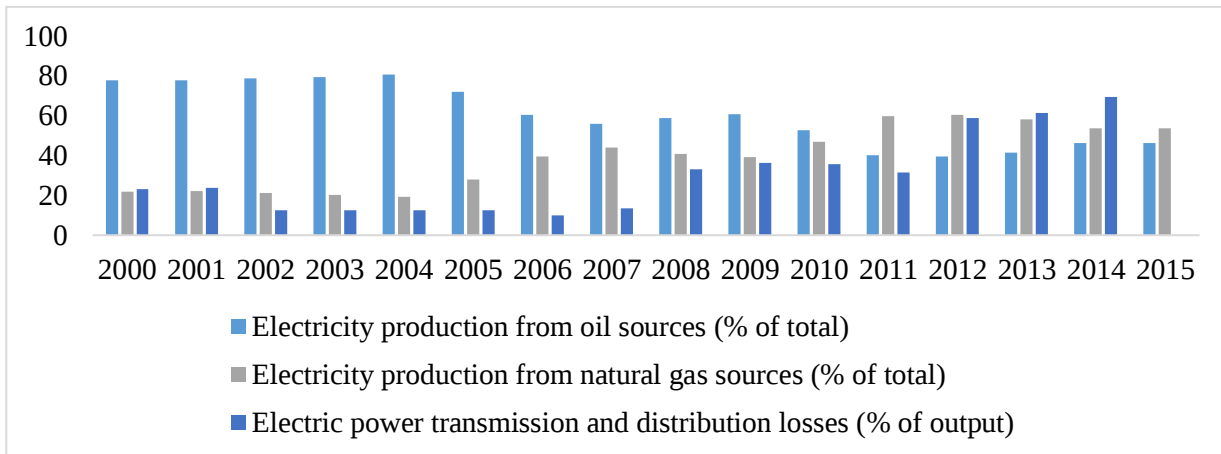


Source: World Bank.

Figure 1 – Energy use (kg of oil equivalent per capita) in Libya in 2000-2014 [7]

Energy use per capita rapidly decrease in Libya in 2011 and since 2012 increase slowly.

GECOL manages about 26 power plants, which contain 85 power units of various sizes, ages and technologies distributed throughout Libya. Most of the power plants are located on the Libyan coast of the Mediterranean Sea. GECOL's official installed capacity as of 2017 is 10.238 GW. Despite the fact that the power available for powering the mains is constantly changing in accordance with external and internal restrictions, as well as maintenance and other work, at the time of this study, the available power of GECOL was up to 5.35 GW, which amounted to 52% of the installed power.



Source: World Bank.

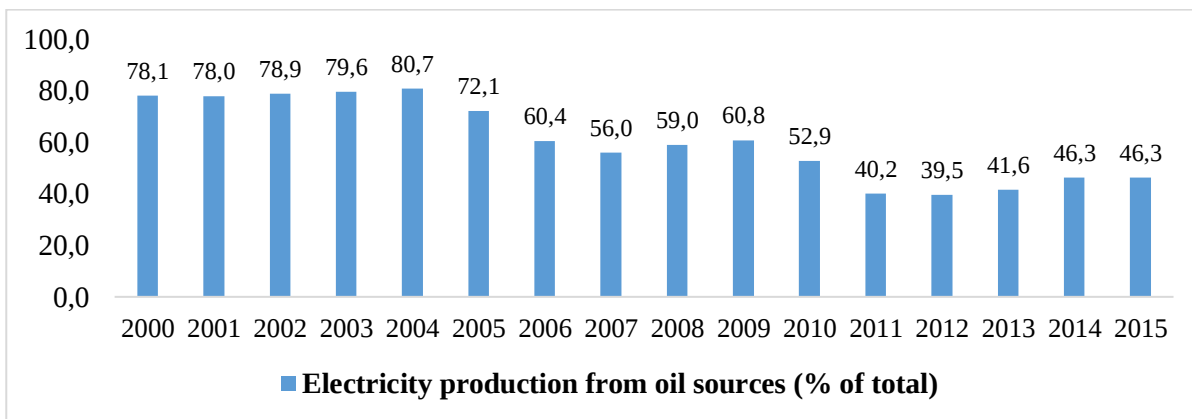
Figure 2 – Electricity production from different sources in Libya in 2000-2015[8]

Electricity production from oil sources in Libya decreases from 2005. Production of coal in 2017 was 3 773 421 ktoe, of crude oil was 4 477 212 ktoe. The import of crude oil was 2 453 086 ktoe, while export was – 2 381 804 ktoe. The import of oil products was 1 364 755 ktoe, while export was – 1 477 490 ktoe.

In 2010-2016, Libya availability of weighted average generating unit falls to 66% from 78,3% and the capacity available falls to 53,7% from 64,6% of installed capacity. In the other hand, demand growth near 4% per year [9].

In 2010-2016 GECOL's generation power thermal efficiency increased by 7,3% due to the steam units, that was introduced. It is associated with the gas turbine units combined cycle at Misurata and North Berghazi. It helps to increase generation operation of natural gas instead of liquid fuel. In 2016 energy production grew due to gas production from 40% in 2010 to 80% [9].

Despite all the difficulties of Libya's project environment since 2011, GECOL has commissioned 14 new generating units between 2012 and August 2017, total an addition of 2.295GW to the installed capacity.



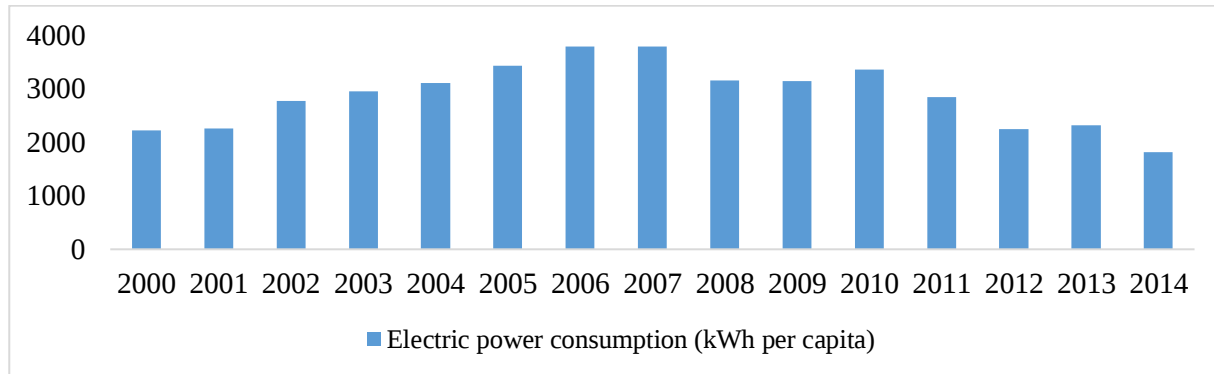
Source: World Bank.

Figure 3 – Electricity production from oil sources in Libya (% of total) [8]

The loss of installed capacity of more than 600 MW in Libya is due to several reasons. One of them is restrictions in the supply of fuel. Another problem is the loss or decommissioning of facilities due to maintenance problems. Lack of fuel and fuel reserves exacerbates the situation, because it limits the operation of capacities.

Libya's energy production depends on fuel. Instability and insecurity in Libya lead to a

permanent shutdown of power plants that supply fuel. Another problem is the dependence of the country's power plants on the main working fuel – gas. Gas production and infrastructure in the country are constraints to meet fuel needs. Disconnecting units from the network is also a problem in Libya due to the need for larger units in the country. The direct and indirect costs of using the LFO are also high. Thus, all these problems in the aggregate significantly affect losses [9].



Source: World Bank

Figure 4 – Electric power consumption* in Libya in 2000-2014 (kWh per capita) [6]

** Electric power consumption measures the production of power plants and combined heat and power plants less transmission, distribution, and transformation losses and own use by heat and power plants.*

Libya is one of the leading oil producing countries in the world. The leading industries are oil production, oil refining, petrochemical, metallurgical, transportation, cement, textile and food. The country accounts for 35% of all oil reserves in African countries. By this indicator, it ranks first on the continent and fifth among OPEC member countries (after Saudi Arabia, Kuwait, the United Arab Emirates and Iraq). The capacity generated by Libyan power plants is 86% of installed capacity and 94% of available capacity. Generating power is carried out by simple cycle and combined cycle units. GECOL has not supported the construction of a new steam power station since 1985. In fact, it was not until 2014 that the first unit of a new power station in the Gulf of the country was commissioned.

Libyan electricity is based on gas turbine generators. In accordance with the volumes of electricity consumption and production, the nationwide network of power plants (PS) with a total capacity of 5,000 MW is divided into 6 regional: Tripoli (32% of the total capacity of all PS), Benghazi (15%), the western region (20%; Zavia, Nelut, Zentan), central (18%; Hon, Sirte, Misrat), eastern (6%; Shahat, Tubrak, Salun), Southern (9%; Jalu, Saba, Kofra, Morsek) [1]. The entire nationwide network of power plants (ES) is divided into 6 regions in accordance with the volumes of electricity consumption and production.

Since the 1970s, GECOL has introduced monitoring centers to monitor generating plants and supply systems. The energy infrastructure control system includes the following institutions: National Control Center (NCC), two Regional Control Centers in Tripoli and Benghazi (TRCC and BRCC respectively), and Distribution Control Centers (DCC's) around the country.

Until 2011, NCC and TRCC worked at full capacity and functionality. BRCC was in the process of changing the system to integrate the software and hardware base with NCC and TRCC. A project was launched to create ten new DCCs, the purpose of which was to introduce mid-level voltage and distribution network management tools. Since that time, Distribution Control Centers focused on five of ten control centers that were highly advanced and could be commissioned. Distribution Control Centers in Tripoli were put into operation, but work ceased in 2014. Software and hardware systems are over 10 years old and require urgent updates. In control centers, network data is only 20%. In the communication network, decisions and concerted actions must be taken to eliminate problems in the

communication network and substations. The problems today are causing deterioration in the availability of data about the entire system for management engineers. Without data, it is not entirely possible to control the power system and are limitations for personnel with control. Of particular importance is the adoption of decisions and measures for the repair of fiber optic cables. Damage to the cables that transmit data in the network and between stations aggravates the system. The network is operating in a stressed state. To ensure its safety and stability, it is advisable to ensure the operation of reserves. GECOL should create a new backup control center outside the Tripoli region.

No system control and monitoring system is fully operational. And engineers are forced to solve performance problems in both systems.

Therefore, it is important to develop a new management system. Benghazi is facing the same difficulties. Only one third of the stations are visible in the control system, most of the data is missing. BRCC operators depend on the operators at each substation, so you need to ensure the restoration of the management functions of network distribution devices.

The roll-out of smart meters is a crucial modernization program which will bring major benefits also to enhance things in Libya. Smart meters are going to be subsequent generation of gas and electricity meters. they're going to offer a variety of intelligent functions and supply consumers with more accurate information, bringing an end to estimated billing. Consumers will have near real-time information on their energy consumption to assist them control and manage their energy use, economize and reduce emissions. Smart meters will facilitate demand side response (DSR) through variety of load control features supported by the smart metering system. DSR may give consumers other new options to assist them manage their electricity usage, allowing them to schedule usage for particular times or to vary it on demand to save lots of money. Widespread use of load control could also allow better and more cost effective balancing of supply and demand, reducing the prices related to predicted or unexpected peaks and helping to supply security of supply also as helping with the mixing of renewables. this might potentially reduce expenditure on building generation capacity and reinforcing the transmission and distribution networks, contributing to keeping energy bills as low as possible for households and businesses. it'll be the consumer's choice whether or not they plan to use load control services, or time of use tariffs. Access to any consumption data necessary to enable these services are going to be governed by the smart metering Data Access and Privacy Framework.

From 2002 to 2017, smart metering systems were created in 28 European countries, including Switzerland and Norway; for 2017, there are 950 projects with an average investment of one project from 3.3 to 9 million euros, depending on the type of project and a total volume of 5.5 billion euros. There are serious differences between the EU countries in the number of projects and the general level and rate of investment. Only 15% of the projects were funded exclusively by private investment, which is especially large in the UK and Luxembourg, as well as in Belgium and Denmark. The share of private investment in other projects ranges from 40 to 60%, the rest is national funding (within one country) and European Union funding, which have a significant impact on the project.

16 Member States (Austria, Denmark, Estonia, Finland, France, Greece, Ireland, Italy, Luxemburg, Malta, Netherlands, Poland, Romania, Spain, Sweden and the UK[5]) will proceed with large-scale roll-out of smart meters by 2020 or earlier, or have already done so. In seven Member States (Belgium, the Czech Republic, Germany, Latvia, Lithuania, Portugal, and Slovakia), the CBAs for large-scale roll-out by 2020 were negative or inconclusive, but in Germany, Latvia and Slovakia smart metering was found to be economically justified for particular groups of customers. In 15 out of the 16 Member States that have decided to proceed with a large-scale roll-out, the distribution system operators (DSOs) are responsible for implementation and own the meters, so the operation is to be financed through network tariffs.

While divergence in key roll-out parameters calls for caution (Table 1 and Table 2), available data indicate that a smart metering system could cost on average €200 to €250 per customer. Cost per metering point ranges from under €100 (€77 in Malta, €94 in Italy) to €766 in the Czech Republic.

Table 1. Summary statistics — key smart metering roll-out parameters for electricity (based on Member States' long-term economic assessments) [5]

Indicator	Range of values	Average based on data from positively assessed cases
Discount rate	3.1 to 10%	5.7% + 1.8% (70%[10])
Lifetime	8 to 20 years	15 + 4 years (56%)
Energy saving	0 to 5%	3% + 1.3% (67%)
Peak load shifting	0.8 to 9.9%	-
Cost per metering point	€77 to €766	€223 + €143 (80%)
Benefit per metering point	€18 to €654	€309 + €170 (75%)
Consumer benefits (as % of total benefits)	0.6% to 81%	-

Source: European Commission

Table 2. Summary statistics — key smart metering roll-out parameters for gas (based on Member States' long-term economic assessments) [5]

Indicator	Range of values	Average based on data from positively assessed cases
Discount rate	3.1 to 10%	-
Lifetime	10 to 20 years	15 - 20 years (75 %)
Energy saving	0 to 7%	1.7% + 1% (55%)
Cost per metering point	€100 to €268	€200 + €55 (65%)
Benefit per metering point	€140 to €1000	€160 + €30 (80%)

Source: European Commission

Smart metering systems are expected to deliver an overall benefit per customer of €160 for gas and €309 for electricity along with assumed energy savings of 3%. The latter range from 0% in the Czech Republic to 5% in Greece and Malta. Of the countries that have completed roll-outs, Finland and Sweden have indicated energy savings of the order of 1-3%, but no data were available for Italy.

Conclusion. Thus, the instability and low security level in Libya negatively affect the implementation of projects on network management systems in the country's energy sector. After 2011 in Libya, there are practically no changes in the operation of control and monitoring systems, the old and new systems do not fulfill all functions. The control system does not prevent fuel control and control of the operation of all units, substations. Government agencies should implement smart metering systems that provide benefits in energy consumption. The experience of European countries shows positive results after the introduction of smart metering systems: benefit per metering point is 80%, energy saving is 55%.

References:

1. Bayindir R., Colak I., Fulli G., Demirtas K. Smart grid technologies and application // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 66. P. 499–516. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.002>
2. Gangale, F., Vasiljevska, J., Covrig, C., Mengolini A. Smart Grid Projects Outlook 2017. Facts, Figures and Trends in Europe. URL: http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2017/sgp_outlook_2017-online.pdf [accessed April 04 2020].
3. Malik F.H., Lehtonen M. A review: agents in smart grids // Electric Power Systems Research. 2016. Vol. 131. P. 71–79. URL: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.10.004>

4. Remizova T.S., Koshelev D.B. Capabilities for Creating the Intelligent Electricity Metering System in Russia and Its Development Prospects. *National Interests: Priorities and Security*, 2018, vol. 14, iss. 2, pp. 347–363. <https://doi.org/10.24891/ni.14.2.347>
5. Report from the Commission. Benchmarking smart metering deployment in the EU-27 with a focus on electricity. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1403084595595&uri=COM:2014:356:FIN> [accessed April 04 2020].
6. The World Bank. Electric power consumption (kWh per capita) – Libya. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?locations=LY> [accessed April 04 2020].
7. The World Bank. Energy use (kg of oil equivalent per capita) – Libya. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE?locations=LY> [accessed April 04 2020].
8. The World Bank. Libya development indicators. URL: <https://data.worldbank.org/country/libya> [accessed April 04 2020].
9. The World Bank. Supporting electricity sector reform in Libya. 2017. 172 p. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/193171527061676535/pdf/08-Task-C-Improving-GECOL-Technical-Performance.pdf> [accessed April 04 2020].

СЕКЦІЯ 2.
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

УДК 621.316

М.С. Гнилокурєнко ORCID: 0000-0002-5912-4863Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Кафедра «Системне проектування»**ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ ГРІД-ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БАГАТОКВАРТИРНОГО БУДИНКУ**

Прогрес суспільства залежить від розвитку та впровадження новітніх технологій. Однією із важливих сфер є енергетична сфера, оптимізація якої безпосередньо пов'язана з використанням технології Smart Grid. Ця сучасна електроенергетична мережа заснована на цифрових технологіях і використовується для електропостачання споживачів за допомогою двостороннього цифрового зв'язку. За даними наукових досліджень інтеграція такої мережі інформаційних потоків для контролю над процесами і системами в багатоквартирних будівлях є складною проблемою, яка потребує комплексного підходу. Метою даної аналітичної роботи було дослідження можливості використання Grid-інфраструктури для оптимізації енергоспоживання у багатоквартирному будинку. У результаті роботи встановлено, що побудова інтелектуальних електромереж передбачає істотну зміну електрозабезпечення багатоквартирних будинків відповідно до перспективної концепції інтелектуального будинку. Визначені основні переваги Smart Grid мереж, які повинні забезпечувати безперебійну роботу електрообладнання, повне функціонування розумного будинку у разі відключення електроенергії. Розподілений інтелектуальний облік споживаної енергії засобами смарт-лічильників і автоматичний енергоменеджмент забезпечує оптимальну роботу та зниження енерговитрат. Було розглянуто японську модель системи автоматичного енергоменеджменту BEMS (Building Energy Management System) для багатоквартирного будинку. Встановлено, що вона враховує всі необхідні параметри приладів-споживачів електроенергії, дозволяє реагувати на потреби у режимі реального часу та розподіляти електроенергію всередині будинку. Зроблене припущення, що ця модель є перспективною для впровадження в Україні за умови реалізації наступних кроків: контролю якості поставленої електроенергії і повідомлення про наявність невідповідностей і аварійних ситуацій, реалізації інтелектуального обліку спожитої енергії та автоматичного енергоменеджменту і управління обладнанням розумного будинку.

Таким чином, встановлено можливість і перспективність використання Grid-інфраструктури для оптимізації енергоспоживання у багатоквартирному будинку.

Ключові слова: Грід-інфраструктура, грід-технології, багатоквартирний будинок, енергоспоживання

The progress of society depends on the development and implementation of the advanced technologies. One of the important areas is the energy sector, the optimization of which is directly related to the use of Smart Grid technology. This modern power network is digital-based and is used to supply power for consumers through two-way digital communication. According to the latest research, the integration of such a network of information flows to control processes and systems in apartment buildings is a complex problem that requires a comprehensive approach. The purpose of this analytical work was to investigate the possibility of using Grid infrastructure to optimize energy consumption in an apartment building. As a result of the work, it was found that the construction of Smart grid involves a significant change in the power supply of apartment buildings in accordance with the perspective concept of the smart house. The main advantages of Smart Grid networks are identified, which should ensure the uninterrupted operation of electrical equipment, the full functioning of a smart house in the event of a power outage.

Distributed smart metering of energy consumed with smart meters and automatic energy management ensures optimum performance and reduced power consumption. A Japanese model of the Building Energy Management System (BEMS) for an apartment building was considered in the paper. It is established that it takes into account all the necessary parameters of appliances-consumers of electricity, allows to respond to the needs in real time and to distribute electricity inside the house. The assumption is made that this model is promising for implementation in Ukraine, in case of the implementation of the following steps: quality control of the delivered electricity and notification of inconsistencies and emergencies, implementation of intelligent accounting of consumed energy and automatic energy management and management of smart house equipment.

Thus, the possibility and the prospect of using the Grid infrastructure for optimizing energy consumption in an apartment building was established.

Key words: Grid infrastructure, grid technology, apartment building, energy consumption

Вступ.

З розвитком нових технологій змінюється наш спосіб життя, але електричні мережі які підтримують подачу енергії в будинки, школи, лікарні і на робочі місця потребують значної модернізації. Тепер це стає можливим завдяки новим інвестиціям в енергетичну інфраструктуру нашої країни, яка називається розумною мережею (Smart Grid). Вона поєднує інформаційні технології з передачею електроенергії до будинку. Відомо, що початок розвитку концепції Smart Grid в світі з метою трансформації застарілої системи електропостачання розпочався після аварій енергосистем США та аварії на атомній електростанції Фукусіма [1].

Оптимізація системи енергоспоживання є актуальною задачею сьогодення. Наразі очікується, що протягом наступного десятиліття 50 країн інвестують 268 мільярдів доларів США в інфраструктуру інтелектуальних мереж, включаючи інтелектуальні вимірювання, автоматизацію розподілу енергії і інші сегменти ринку. До таких країн відносяться: Венесуела, Бахрейн, Домініканська Республіка, Йорданія, Казахстан, Колумбія, Латвія, Литва, Киргизстан, Словаччина, Словенія, Парагвай, Перу, Узбекистан, Хорватія, Чилі, Еквадор, Естонія, Індія, Пакистан, Шрі-Ланка, Індонезія, Малайзія, Сінгапур, Таїланд, В'єтнам, Гана, Нігерія і Південна Африка та ін. [2] Провідним завданням енергетичної політики країн ЄС, що визначено в «Директиві з електроенергії», є обладнання не менше 80% користувачів інтелектуальними вимірювальними системами в 2020 році [3].

Smart Grid або Розумна Мережа (Смарт-мережа) - це електроенергетична мережа, заснована на цифрових технологіях, яка використовується для електропостачання споживачів за допомогою двостороннього цифрового зв'язку. Існує декілька визначень поняття Smart Grid але спільним елементом для більшості визначень є застосування цифрової обробки даних і зв'язку до електричної мережі, що робить потік даних і управління інформацією ключовими технологіями розумних мереж [4,5].

Як відомо з літературних джерел термін Grid (сітка, грати) почав використовуватися з середини 90-х років і був обраний за аналогією з мережами передачі і розподілу електроенергії (Power Grids) [6]. В свою чергу, термін «розумна мережа» (Smart grid) став відомий з 2003 року, коли він з'явився в статті "Reliability demands drive automation investments" М.Т. Burr [4].

Ключовими технологіями при розробці розумних мереж є різні можливості щодо широкої інтеграції цифрових технологій, а також інтеграція нової мережі інформаційних потоків для контролю над процесами і системами. На даний момент впровадження розумних мереж в електроенергетиці розвивається в трьох напрямках: поліпшення інфраструктури; додавання цифрового шару, який є сутністю розумної мережі та перетворення бізнес-процесів, що роблять розумні мережі рентабельними. На думку іноземних вчених, найбільша частина робіт стосується модернізації електричних мереж, особливо розподілу і автоматизації підстанцій, які тепер будуть включені в загальну концепцію розумних мереж [4].

За дослідженнями J'son & Partners Consulting використання Smart Grid в багатоквартирних будівлях є складною проблемою, яка потребує комплексного підходу [3].

Мета та завдання.

Метою даної роботи було дослідити можливості використання Grid-інфраструктури для оптимізації енергоспоживання у багатоквартирному будинку.

Завданнями даної роботи було вибрати та охарактеризувати модель інтелектуальних мереж Smart Grid, визначити складові її структури і оцінити переваги з точки зору використання мережі для багатоквартирних будинків.

Матеріал і результати досліджень.

Дану роботу проводили шляхом аналізу іноземних та вітчизняних літературних джерел. За даними Eswar et al. [7] Smart Grid мережа дозволяє здійснювати моніторинг, аналіз, контроль і зв'язок у рамках виробничо-збутового ланцюжка з метою підвищення ефективності, скорочення енергоспоживання, витрат і забезпечення максимальної доступності та надійності ланцюга енергопостачання. Перевагами Смарт-мережі є повний набір поточних і пропонувані заходів щодо вирішення проблем енергопостачання. Характеристиками Смарт-мереж є: надійність, гнучкість в топології, ефективність, коригування або балансування навантаження, пікове скорочення або вирівнювання і час встановлення цін на використання, стійкість, підтримка реагування на попит, платформа для передових послуг [7, 8]. Отже, надійність характеризується використанням технологій, які покращують виявлення несправностей, дозволяють самовідновлюватися мережі без участі працівників і, таким чином, зменшують уразливість перед стихійними лихами або нападами. На даний момент класичні мережі розроблені для одностороннього потоку електроенергії. Але якщо локальна підмережа генерує більше енергії, ніж споживає, зворотний потік може викликати проблеми безпеки і надійності, тому розумна мережа покликана врегульовувати такі ситуації. Інфраструктура передачі і розподілу наступного покоління буде краще справлятися з можливими двосторонніми потоками енергії, дозволяючи розподіляти енергію між елементами мережі, що буде обумовлювати гнучкість в топології мережі.

Очікується, що впровадження інтелектуальної мережевої технології буде багато в чому сприяти загальному підвищенню ефективності енергетичної інфраструктури, зокрема з урахуванням управління попитом користувача. Загальний ефект полягає в зменшенні надмірності в лініях передачі і розподілу і більш широке використання генераторів, що веде до зниження цін на електроенергію. Завдяки постійному моніторингу навантаження в «інтелектуальній» мережі, використовуючи алгоритми математичного прогнозування, можна передбачити, скільки резервних генераторів потрібно використовувати, щоб досягти певної швидкості відмови. Це забезпечує коригування та балансування навантаження в мережі. Використання розумних пристроїв в домашніх умовах та на підприємствах за допомогою технології зв'язку та обліку дає можливість скоротити споживання енергії компаніям комунального обслуговування в періоди високого попиту за рахунок динамічного ціноутворення [7, 9]. Стійкість мережі досягається децентралізацією інтелектуальної енергосистеми та підключенням поновлювальних джерел енергії. Крім цього, за допомогою аналізу попиту та навантаження є можливість реагувати на зміни у режимі реального часу та автоматично усувати сплески електроенергії за рахунок пріоритезації включення пристроїв [9,10,11]. Використання надійного двостороннього зв'язку, сучасних датчиків і розподіленої комп'ютерної технології відкриває можливості для створення нових послуг та служб [7].

Структура Смарт-мереж починається з розробки, в якій беруть участь: Архітектор мережі, Імплементатор, Провайдер електроенергії, Споживач, Державні/приватні фінансові установи. При цьому кожен із зазначених учасників має свою сферу відповідальності, що

зазначено на Рис. 1.



Рис 1. Головні учасники розробки Smart Grid технології [12].

Перейшовши до інтелектуального електропостачання Smart Grid, енергетичні компанії зможуть керувати всією мережею як єдиною системою, споживачі – економно розподіляти витрати електроенергії, а влада країн – створювати інтелектуальну енергетичну інфраструктуру. За подібним сценарієм проходить реформування енергетичних мереж урядами різних країн як спосіб вирішення проблем енергетичної безпеки, екологічних проблем, надійності електропостачання [1,13,14].

Складові розумних мереж охоплюють широкий спектр технологій і додатків. Серед них технологія географічної інформаційної системи, спеціально розроблена для підприємств комунального обслуговування з метою моделювання, проектування та управління їх найважливішою інфраструктурою. Завдяки інтеграції комунальних даних і географічних карт дозволяє отримати графічне представлення про інфраструктуру, що забезпечує скорочення витрат за рахунок спрощеного планування [15]. В таблиці 1 наводиться опис систем та технологій, які в даний час застосовуються на практиці, із зазначенням можливих «вразливих місць» системи [16, 17].

Таблиця 1. Опис сервісних систем та структурних елементів Smart Grid.

Сервісні системи	Приклади функцій	Можливі «вразливі місця» системи
Комунікації	Передача даних по широкосмуговій лінії електропередач, стільникова, бездротова або супутникова мережа	Пасивне прослуховування, перехоплення та зміна даних, зчитування, підrobка інтернет протоколу (IP).
Складні компоненти	«Розумні» комутатори, пристрої зберігання інформації, домашні «розумні прилади», трансформатори	Атака маршрутизації, відмова в обслуговуванні, підрив вузла, повідомлення про пошкодження.

Автоматичні системи контролю	Системи моніторингу та контролю такі як регулятори напруги та підстанцій і децентралізоване обладнання	Ботнети, вразливість нульового дня, модифікації на контролерах, фішинг.
Сенсори та прилади для вимірювання	Смарт-лічильники та прилади для фазових вимірювань	Перехоплення Wi-Fi з'єднання, захоплення вузла, атака маршрутизації, підлив вузла
Система прийняття рішень	Операційні програми для керування електричною системою	Шкідлива SQL ін'єкція, переповнення буферу, крос-сайтовий скрипт, крос-сайтова підробка
Системи взаємодії з користувачем	Веб-додаток, який забезпечує доступ до облікових записів клієнта	Шкідлива SQL ін'єкція, крос-сайтовий скрипт, відмова в обслуговуванні, атака вторгнення.

Варто зазначити, що в Україні з метою стандартизації технології Smart Grid вже прийнято більшу частину технічних стандартів для автоматизації мереж. Їхнє впровадження – не регуляторна вимога, а поки що, власне бажання компаній-операторів електромереж, які мають самі вирішувати, наскільки вони відповідатимуть цим стандартам і, відповідно, наскільки якісними будуть їхні послуги та власна ефективність [13].

Головним засобом комунікацій електроенергетичних компаній та кінцевих споживачів є Smart-лічильники електричної енергії [18]. Смарт-лічильник - цифровий електричний вимірювач, який вимірює споживання енергії в реальному часі і зберігає історію використання електроенергії споживачі; потім комунальні компанії можуть зчитувати інформацію, що зберігається в смарт-лічильниках дистанційно і автоматично [11]. Системи автоматичного зчитування показань лічильника представляють собою перший крок до зниження витрат на збір даних [15]. В свою чергу управління даними лічильника забезпечує єдину точку інтеграції для всього діапазону даних лічильника. Це дозволяє використовувати ці дані для обміну з операційними програмами з метою підвищення ефективності та підтримки процесу прийняття рішень в масштабах підприємства [15].

За попередніми планами Європейського союзу вже у 2020 році 72% європейських споживачів матимуть смарт-лічильники для електрики, що дозволить зекономити 309 євро на електроенергію на кожен вимірювальний пункт (розподілений серед споживачів, постачальників, операторів розподільчих систем і т.д.), а також середню економію енергії в розмірі 3% [19]. Крім того, європейськими колегами опубліковані прогностичні дані впровадження Смарт-лічильників в країнах ЄС на 2020 рік (Рис. 2) [3].

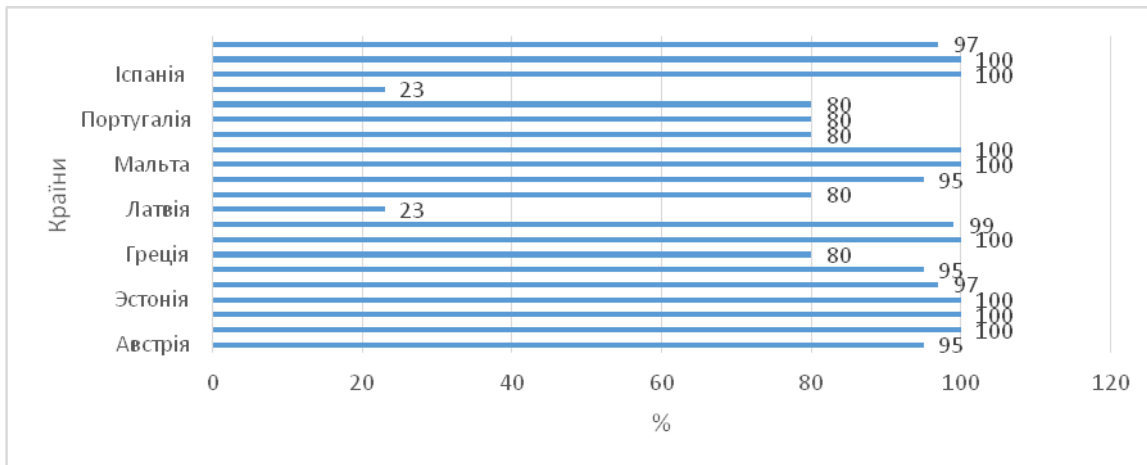


Рис. 2. Ступінь оснащення (%) смарт-лічильниками країн ЄС.

Впровадження Grid-технологій в багатоквартирні будинки може відбуватись при відповідності певним умовам, таким як: включення в систему смарт-лічильників, потенціал швидкого реагування на попит, розподілена архітектура, експлуатаційна сумісність [16].

Японськими вченими було запропоновано модель реалізації Smart Grid для багатоквартирних будинків [20]. Автори зосередили увагу на системі BEMS (Building Energy Management System), яка включає взаємозв'язок між приладами в квартирах, фотоелектричними установками на даху та транспортними акумуляторними батареями (Рис. 3).

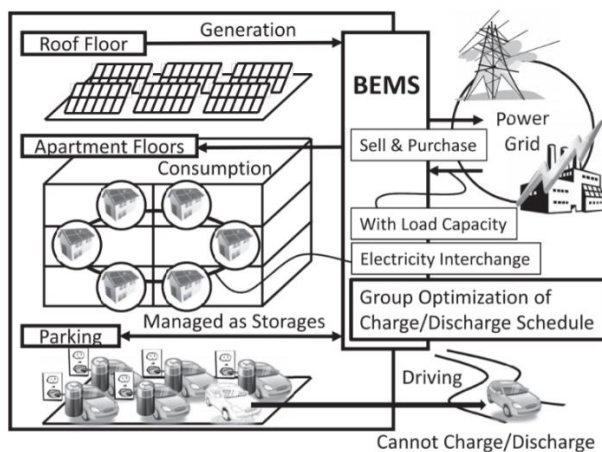


Рис. 3. Система BEMS (Building Energy Management System).

Важливим аспектом BEMS є її здатність справлятися з різними надходження енергії, включаючи поновлювані джерела енергії від сонячних, вітрових та геотермальних систем; з метою з урахуванням періодичності використання поновлюваних джерел енергії впровадження технологій зберігання електроенергії, які дозволять збільшити обсяг енергії; використання відновлюваних джерел енергії, зменшення залежності від викопних видів палива і підвищення гнучкості системи сітки. Але «зелена» енергетика, на відміну від традиційної є нестабільною, адже обсяги її генерації залежать від погодних умов [11,20,21].

Система BEMS складається з трьох важливих принципів: об'єднання в групи зарядних пристроїв, обмін електроенергією та відстеження загального навантаження. Об'єднання в групи дозволяє оптимізувати графік часу зарядження та розрядження для всіх акумуляторних батарей транспортних засобів. Для оптимізації споживання електроенергії, BEMS необхідно надавати всі прогнозовані характеристики споживання електроенергії, вироблення електроенергії всіх домашніх приладів та використання автотранспортних засобів. Обмін електроенергією серед усіх приладів у будинку забезпечується за допомогою енергетичного

комутатора і система BEMS має чітко визначений контроль перерозподілу електроенергії з урахуванням внутрішнього попиту будинку. Оскільки, потужність BEMS контрактом з провайдером, тому завдяки груповій оптимізації в межах будівлі BEMS може легко домогтися скорочення пікового споживання електроенергії, яке часто відбувається в той час, коли ціни на електроенергію низькі, що дозволяє накопичувати «дешеву» енергію в транспортних акумуляторних батареях [20, 22, 26].

У нашій країні постачання електричної енергії побутовим споживачам здійснюється постачальником універсальної послуги відповідно до статті 63 закону «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019 – VI. Відповідно до положень пункту 11.4.6 глави 11.4 розділу XI "Кодексу систем розподілу", затвердженому постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 310, параметри якості в точці розподілу на вході споживача повинні відповідати визначеним у ДСТУ EN 50160 : 2014. В нашій країні, на відміну від європейських, відсутня система штрафів за виникнення перебоїв в електропостачанні, порушення якості електроенергії або аварій в мережах. Законодавчо встановлені норми по якості в мережах часто не виконуються [13,23]. Відповідність параметрів якості електричної енергії є обов'язковою умовою постачальника, що зобов'язує споживача сплачувати за електроенергію в повному обсязі. Вартість електроенергії, залежить від витрат на її вироблення, пори року, днів тижня, часу доби та ін., тому визначити істину вартість електроенергії, оптимізувати її виробництво, поставку та використання можливо тільки при удосконаленні існуючої системи обліку з метою збору інформації про використання в реальному часі. Системи електрозабезпечення більшості багатоквартирних будинків України не відповідають вказаним умовам тому, що в них відсутні прилади, що вимірюють, контролюють та управляють, та прилади для збору та передачі інформації. Крім того, багатоквартирні будинки підключені до систем централізованого обігріву та гарячого водопостачання, що також не дозволяє реалізувати в повному обсязі складову Smart Grid реагування на попит (Demand Response) [24,26].

З огляду на зазначене вище необхідно реалізовувати комплексний підхід для модернізації інфраструктури енергоспоживання у багатоквартирному будинку з використанням новітніх технологій Smart Grid, модель однієї з яких було розглянуто у статті.

Висновки.

У результаті проведеного аналітичного дослідження встановлено, що побудова інтелектуальних електромереж передбачає істотну зміну електрозабезпечення багатоквартирних будинків відповідно до перспективної концепції інтелектуального будинку. Визначені основні переваги Smart Grid мереж, які повинні забезпечувати безперебійну роботу електрообладнання, повне функціонування розумного будинку у разі відключення електроенергії. При виникненні проблем з енергозабезпеченням повинна спрацювати система автоматичного оповіщення сервісних служб. Розподілення освітлення всередині приміщень повинно визначатися запрограмованими режимами, часом доби, наявністю людей. Повинен забезпечуватися розподілений інтелектуальний облік споживаної енергії засобами смарт-лічильників і автоматичний енергоменеджмент (управління споживанням) з метою оптимальної організації його роботи та зниження енерговикористання. У статті було розглянуто японську модель системи автоматичного енергоменеджменту BEMS (Building Energy Management System) для багатоквартирного будинку. Встановлено, що вона враховує всі необхідні параметри приладів-споживачів електроенергії, дозволяє реагувати на потреби у режимі реального часу та розподіляти електроенергію всередині будинку. Зроблене припущення, що ця модель є перспективною для впровадження в Україні за умови реалізації наступних кроків: контролю якості поставленої електроенергії і повідомлення про наявність невідповідностей і аварійних ситуацій, реалізації інтелектуального обліку спожитої енергії та автоматичного енергоменеджменту і управління обладнанням розумного будинку.

Таким чином, встановлено можливість і перспективність використання Grid-інфраструктури для оптимізації енергоспоживання у багатоквартирному будинку.

Список літератури

1. Ю.В. Степаненко, Ю.А. Папаїка, О.Г. Лисенко. Особливості впровадження інформаційних технологій smart grid для систем електропостачання України. Зб. наук. пр. XII міжнар. конф. «Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості». Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП». 2017. № 2. С. 152.
2. 50 COUNTRIES INVESTING IN SMART GRID. URL: <https://www.conexpoconagg.com/news/50-countries-investing-in-smart-grid/>
3. Smart Grid Умные Сети. Интеллектуальные сети электроснабжения. 2018. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_\(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8\)](http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8))
4. Michael T. Burr. Reliability demands drive automation investments. Public Utility Fortnightly. Nov. 1. 2003.
5. Kenneth C. Budka, Jayant G. Deshpande, Marina Thottan. Communication Networks for Smart Grids: Making Smart Grid Real. Springer. 2014. P. 312.
6. Мазур В.І., Іванкевич О.В. GRID-технології як ресурс сучасного етапу інформатизації суспільства. Проблеми інформатизації та управління. 2010. 2 (30). С. 123-130.
7. K.M.Ravi Eswar. Smart Grid-Future for Electrical Systems. International Journal of Electrical and Electronics Research. 2015. Vol. 3. Issue 2, P. 603-612.
8. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future / Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006. URL: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf
9. Smart Buildings Can Be 'The Nodes' Of The Smart Grid. 2016, June. URL: <https://memoori.com/smart-buildings-can-nodes-smart-grid/>
10. New 2016 Comprehensive Evaluation of the World Market for Building Performance Software in Non-Domestic Buildings, Making an Objective Assessment to 2020. URL: <http://memoori.com/portfolio/market-building-performance-software-2016-2020/>
11. Theresa Monypeny. Implementation of Smart Grid Technology in the United States. Papers & Publications: Interdisciplinary Journal of Undergraduate Research: 2013. Vol. 2 ,
12. Jacob R. Young. Smart grid technology in the developing world. 2017. URL: <https://digitalcommons.spu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1063&context=honorsprojects>
13. Особливості впровадження технологій smart grid в електроенергетичну галузь України. Scientific Journal «ScienceRise». 2015. №4/2(9). С. 27-31.
14. Vincenzo Giordano, Alexis Meletiou, Catalin Felix Covrig. Smart Grid projects in Europe: Lessons learned and current developments. JSR Scientific and Policy Report. 2013. URL: https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/documents/ld-na-25815-en-n_final_online_version_april_15_smart_grid_projects_in_europe_-_lessons_learned_and_current_developments_-2012_update.pdf
15. Prasad, Indrajeet. Smart Grid Technology: Application and Control. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. 2014. Vol. 3. Issue 5. P. 9533-9542.
16. Dionysia Kolokotsa. The role of smart grids in the building sector. Energy and Buildings. 2016. Vol. 116. P. 703-708.

17. Carol L. Stimmel. Big Data Analytics Strategies for the Smart Grid. CRC Press, London. 2016. P. 256.
18. О.В. Коцар. SMART GRID системи та технології. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2018. №2. С. 20-25.
19. An official website of the European Union. URL: https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters/overview_en
20. Akihiko KAWASHIMA, Takuma YAMAGUCHI, Ryosuke SASAKI, Shinkichi INAGAKI, Tatsuya SUZUKI, and Akira ITO. Apartment Building Energy Management System in Group Optimization with Electricity Interchange Using In-Vehicle Batteries. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 2015. Vol. 8. No. 1. p. 052–060.
21. Карпенко О. Чи існує інструмент для трансформації української енергетики. 2018. URL: <https://mind.ua/openmind/20185275-chi-issue-instrument-dlya-transformaciyi-ukrayinskoyi-energetiki>
22. Rebecca Herold, Christine Hertzog. Data Privacy for the Smart Grid. CRC Press, 2015 p. 250.
23. В.М.Ефременко, А.С. Шеварухин. Анализ потребления электроэнергии в жилых помещениях многоквартирных домов. Вестник Кузбасского Государственного технического университета. 2012. 5 (93). С. 76-77.
24. IoT-платформы для управления энергосетями (Smart Grid). 2019. URL: <http://www.robogeek.ru/analitika/json-partners-iot-platformy-dlya-upravleniya-energosityami-smart-grid>
25. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В. Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні. Технічна електродинаміка. 2012. №5. С. 52-67.
26. Thomas M. Lawrencea, Marie-Claude Boudreaub, Lieve Helsen et. all. Ten Questions Concerning Integrating Smart Buildings into the Smart Grid. Building and Environment. 2016. Vol. 108, P. 273-283.

УДК536.24; 62.971

Б.В.Олійник, 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

ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ І ФУНКЦІОНУВАННЯ КОЖУХОПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ

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 кожух пластинчастих теплообмінників в умовах різних рідин, газів, парів і двофазних сумішей .

Ключові слова – кожухопластинчастий теплообмінник, теплообмін, рифлені пластини.

B.V.Oliynyk 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 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

Від 20 до 70% теплової енергії, отриманої від спалювання палива, не доходять до споживача через втрати в теплоенергетичних установках і теплових мережах. Для надійного функціонування систем теплопостачання важливою є безперебійна робота всіх її елементів. Досягається це крім інших напрямків також шляхом підготовки теплоносія високої якості. На сьогодні вода є найбільш доступним і розповсюдженим теплоносієм у теплоенергетиці. Недотримання вимог її якості для живлення теплообмінних елементів систем призводить до утворення накипу і відкладень на внутрішніх поверхнях котельних агрегатів, теплообмінників, випаровувачів, підігрівачів

Аналіз стану питання

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.

Рух потоків можна створити за принципом прямого, протитоку і перехресного току. Приклад конструкції одно-, дво- і багатопотокового апарату.

Мета роботи

Дослідити особливості теплообміну сучасних теплоносіїв в кожухопластинчастих теплообмінниках порівняти кожухопластинчастий теплообмінник з кожухотрубними та пластинчастими апаратами і довести, що хороший опір до температурної втоми і втоми до тиску робить його поза конкуренцією перед вище згаданими теплообмінниками.

Результати досліджень

Теплоносії повинні бути недорогими, досить представленими в вітчизняних ресурсах, зручними при транспортуванні, стабільними в процесі тривалої роботи, володіти високою щільністю і теплоємністю, можливо великим коефіцієнтом теплопровідності і теплотою фазового переходу, малою в'язкістю [1]. Теплоносії класифікуються за призначенням, агрегатним станом і діапазоном робочих температур. За призначенням розрізняють гарячий теплоносій, охолоджуючий теплоносій (холодоносій), проміжні тепло- і холодоносії, холодоагенти (робоче тіло в холодильних циклах), сушильний агент та інші. За агрегатним станом теплоносії бувають однофазні та багатфазні (частіше двофазні). До однофазних відносяться низько-температурна плазма (полум'я), гази (в тому числі - димові), некондінсуючі пари і їх газові суміші, некиплячі і невиспаровуючі при робочому тиску рідини і їх суміші (розчини), тверді сипучі матеріали. До двофазних і багатфазних теплоносіїв відносяться киплячі, виспаровуючі і розпорошуючі газом рідини, пари, що конденсуються і парогазові суміші, що плавляться і затвердіваючі тверді речовини, газосуспензії, аерозолі, емульсії та інші заповнені газові потоки. За діапазоном робочих температур виділяють високотемпературні, середньотемпературні, низькотемпературні теплоносії і теплоносії, що застосовуються при криогенних процесах. До високотемпературних газоподібних теплоносіїв відносять димові або топкові гази. Їх температура може досягати 1500 °С. До високотемпературним теплоносія у вигляді крапельних рідин прийнято відносити речовини, температура кипіння яких за атмосферним тиском перевищує 200 °С. Це мінеральні масла, дифенільні з'єднання, гліцерин, розплави солей, рідкі метали та інші. До середньотемпературних теплоносіїв, в першу чергу, відносять водяну пару, воду і повітря. Пара використовується при температурах до 650 °С, вода - до 375 °С, повітря - до 100 °С. Низькотемпературними теплоносіями прийнято вважати такі, температура кипіння яких за атмосферним тиском, зазвичай не перевищує 0 °С. До них перш за все відносять холодильні агенти. Криогенними 17 теплоносіями називають зріджені гази (кисень, водень, азот, повітря та інші) та їх пари. Область їх застосування лежить нижче мінус 150 °С.

Найбільш поширеними в тепломасообмінних установках є газоподібні і рідкі теплоносії, а також водяна пара. Найчастіше в якості газоподібних теплоносіїв використовують повітря Табл.1, димові і топкові гази. Ці теплоносії, володіючи незаперечними перевагами, проте мають суттєві недоліки: низьку теплоємність і малу щільність. Тому коефіцієнти тепловіддачі від газового потоку до стінки порівняно невеликі, близько 10 – 100 Вт/(м²°С), і такі теплообмінні апарати мають велику поверхню теплообміну, значні витрати потужності на прокачування теплоносіїв і виходять вельми громіздкими. На противагу газовим теплоносія вода за своїми фізичними і термодинамічними властивостями істотно відрізняється від них, маючи високу теплоємність і велику щільність. Коефіцієнти тепловіддачі від води до стінки в робочому діапазоні швидкостей потоку становлять величину 1000 - 15000 Вт (м²°С)/. Тому теплообмінні апарати виходять більш компактними, вимагають значно менших поверхонь нагріву і витрат потужності на прокачування теплоносіїв в порівнянні з теплообмінними апаратами з газоподібними робочими середовищами. Істотний недолік води як теплоносія полягає в тому, що температура кипіння досить низька.

Підвищення температури кипіння пов'язано зі збільшенням тиску, що ускладнює конструкцію теплообмінного апарату. Тому вода використовується в теплообмінних апаратах як низькотемпературний теплоносій, головним чином для цілей опалення, охолодження робочих середовищ в технологічних процесах виробництва. Водяна пара як теплоносій широко використовується в якості гріючого середовища в теплообмінних апаратах різного призначення. При конденсації водяної пари коефіцієнти тепловіддачі зазвичай знаходяться в межах 3000 - 15000 Вт

Таблиця 1 - Залежність швидкості потоку від виду теплоносія

Вид теплоносія	Швидкість потоку, м/с
В'язкі рідини	<1
Малов'язкі рідини	1-3
Запиленні гази	5-10
Чисті гази	10-15
Насичений пар	30-50

Для оцінки ефективності застосування того чи іншого теплообмінника необхідно розглянути і порівняти вплив режимних параметрів роботи апарату. Шуканими параметрами будуть ті, що входять в загальне рівняння тепловіддачі, тобто включені в числа і критерії подібності такі, як Re, Pr, Gr, Ga тощо. При цьому необхідно враховувати, що деякі параметри являються визначальними, а решта - залежними від них.

Фактично при проведенні експерименту, побудові моделі, або при управлінні робочим процесом промислового апарату можливо міняти певні величини. До них відносять геометричні параметри та конструктивні особливості; робоче середовище, в т.ч. можливі добавки; початковий тиск і витрату середовища. Від цих величин залежать щільність теплового потоку q , швидкість руху робочого середовища W та ін. (див.Табл 2)

Таблиця 2. Значення середнього коефіцієнта теплопередачі в різних теплотехнічних апаратах

Процес теплопередачі	k , Вт/(м ² ·°С)
Від газу до газу (пластинчасті ТОА із вільним рухом середовищ)	10-25
Від газу до газу (будь-які ТОА з примусовим рухом середовищ)	20-50
Від газу до води (панельний повітряний теплообмінник)	60
Від газу до води (любі ТОА із примусовим рухом газу)	50-100
Від води до води (теплообмінники із рухом води по трубкам)	500 - 700
Від води до води (пластинчатий теплообмінник)	1000-1200

Від водяної пари, яка конденсується, до масел (горизонтальний кожухотрубний конденсатор)	~ 350
Від водяної пари, яка конденсується, до води (горизонтальний кожухотрубний конденсатор)	2900 - 3000
Від аміаку, який конденсується, до води (горизонтальний кожухотрубний конденсатор типу КТГ)	700-1000
Від аміаку, який конденсується, до води (вертикальний кожухотрубний конденсатор типу КТВ)	~ 1000
Від фреону, який конденсується, до води (горизонтальний кожухотрубний конденсатор)	- 700

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 (див.Табл. 3). Незаперечною перевагою таких теплообмінників є простота конструкції і повний доступ до поверхні теплообміну

Таблиця 3. Порівняльна характеристика різних типів теплообмінників

Параметр	Одиниці вимірювання	Вид ТОА				
		Кожухотрубні	Спіральні	Розбірні пластинчасті	Паяні пластинчасті	Кожухопластинчасті
Вага	кг	1000	800	500	300	400
Об'єм	м³	1.0	0.7	0.4	0.2	0.2
Тип теплоносія	-	Рідина/рідина рідина/газ газ/газ	Рідина/рідина рідина/газ газ/газ	Рідина/рідина пара/рідина	Рідина/рідина рідина/газ	Рідина/рідина рідина/газ
T _{max}	°C	300	300	-10/150	-40/220	-196/400
P _{max}	бар	~200	~16	~25	~40	~100
Тип	-	Труби	Пласкі пластини	Профільні пластини	Профільні пластини	Профільні пластини
Коефіцієнт К	$\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	200-1500	600-2500	Максимум 6000	Максимум 6000	Максимум 6000

Загальний вигляд рівнянь тепло- і масопереносу збігається, але для опису масовіддачі використовуються дифузійні критерії і числа подібності. Прийнято спрощувати критеріальні рівняння для можливості їх легкого використання в інженерних розрахунках. У такому випадку вплив поля зовнішніх масових сил позначається побічно, через зміну характерної швидкості потоку в числі Re.

З іншого боку, багато дослідників дотримуються принципу найбільш точного наукового опису досліджуваного процесу. Зазвичай це приводить до необхідності введення в критеріальне

рівняння додаткових множників, які дозволяють точніше врахувати характеристики досліджуваного процесу

ВИСНОВКИ

1. При збільшенні висоти гофрування, інтенсивність теплообміну поліпшується. Таким чином, виходячи з ряду формул, можна стверджувати, що коефіцієнт теплопередачі зростає і, для отримання потрібного теплового навантаження, необхідна площа теплопередачі є меншою.

2. За такого підходу створюється можливість для досягнення ефекту вирівнювання швидкостей в каналах. Як наслідок, може бути досягнуто зменшення площі поверхні теплопередачі апарату. В свою чергу, це призводить до оптимізації показника співвідношення ціна - якість.

3. Це дозволяє проектувати теплообмінники з меншою поверхнею пластини, але з великим їх числом.

4. Порівняно з кожухотрубними, кожухопластинчасті апарати мають більш складну форму поверхні теплообміну, що забезпечує турбулентний рух середовищ в щілинних каналах. При цьому знижується темп відкладення забруднень на стінках каналів і має місце високий коефіцієнт теплопередачі $K = 1900-5000 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$. Мінімальний перепад температури між теплоносіями може досягати 1-2 °C.

Література

1. Процессы и аппараты химической промышленности / П.Г. Романов, М.И. Курочкина, Ю.Я. Можерин и др. – Л.: Химия, 1989. – 560.
2. Кожухопластинчатый теплообменник [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://lhengineering.ru>.
3. Гавриш А.С. Особенности механизма капельной конденсации и перспективы применения нанотехнологий // Тепловые процессы в технике. - 2010. - Т.2, №10. - С.461-465.
4. Кириллов А.И., Рис В.В., Смирнов Е.М. Численное моделирование турбулентного течения и теплообмен в трубе с ленточным завихрителем // Труды ИРХТ. Москва, 26-30 окт. 1998г., Т.6: Интенсификация теплообмена. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – С.132-136.
5. Гавриш А.С., Урошлев В. В. Про використання сучасних трибосистемних покриттів в конденсаторах / III Науково-технічна конференція „ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА.” Збірник наукових праць, м. Київ, 24-25 травня 2011 р. – 2011. - № СЗ-З. – С.323-327.

УДК 697.1

І.О. Суходуб, П.Ю. Сердечний, Кафедра теплотехніки та енергозбереження
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗЕЛеної СЕРТИФІКАЦІЇ БУДІВЛІ З ТОЧКИ ЗОРУ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Мета. Дослідження проблематики різних підходів до оцінки рівня енергетичної ефективності будівель при проведенні їх енергетичної сертифікації та використанні систем зеленої сертифікації.

Методика. В процесі дослідження заявленої проблематики розглянуто декілька комплексних енергетичних моделей громадської будівлі, побудованих за допомогою спеціалізованих програмних продуктів для енергетичного моделювання.

Результати. У ході дослідницької роботи проаналізовано декілька типових функціональних станів енергетичних оболонок громадської будівлі, наведені основні характеристики, переваги, недоліки та складнощі, з якими можна зіштовхнутись при проведенні енергетичної сертифікації будівлі, а також при зеленій сертифікації.

Наукова новизна. Систематизовано наявний досвід щодо проведення енергетичного моделювання будівель та аналізу складнощів, які виникають при моделюванні, що дозволяє оптимізувати загальний процес проведення досліджень енергетичної ефективності будівель.

Практична значимість. В результаті проведення заявленого дослідження визначено відмінності у різних системах енергетичної сертифікації будівель, досліджено можливий потенціал використання програмних комплексів для проведення зеленої сертифікації.

Ключові слова. Зелена сертифікація, енергетичне моделювання, енергетична ефективність будівель, енергетична сертифікація будівель, динамічні моделі.

ANALYSIS OF SYSTEMS OF GREEN CERTIFICATION OF BUILDING FROM THE POINT OF VIEW OF THE ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY

I.O. Sukhodub, P.Yu. Serdechnyj, Department of Heat Engineering and Energy Saving
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Purpose. The study of the problems of various approaches to assessing the level of energy efficiency of buildings during its energy certification with using of green certification systems.

Methods. In the process of studying the stated problems, several integrated energy models of a public building, constructed using specialized software products for energy modeling, were considered.

Results. During the research work, several typical functional states of the energy shells of a public building were analyzed. The main characteristics, advantages, disadvantages and difficulties that can be encountered during energy certification of the building, as well as with green certification, are given.

Scientific novelty. The existing experience in conducting energy modeling of buildings and the analysis of difficulties that arise during modeling is systematized, which allows to optimize the overall process of conducting studies of the energy efficiency of buildings.

The practical significance. As a result of the study, the differences in some systems of energy certification of buildings were identified, the potential possibilities of using software systems for green certification was investigated.

Keywords. Green certification, energy modeling, energy efficiency of buildings, energy

certification of buildings, dynamic models.

Вступ. Зелене будівництво – це практика створення споруд та використання у них процесів, які є екологічно орієнтовними та ресурсоефективними протягом всього життєвого циклу будівлі, від розташування та проектування до будівництва, експлуатації, обслуговування, реконструкції та утилізації (знесення) [1]. Відповідно, системами зеленої сертифікації називають такі методики оцінки, які враховують великий спектр питань, пов'язаних з екологічністю будівлі. Системи зеленої сертифікації будівель активно розвиваються вже не один десяток років, проте в Україні практика такої оцінки будівель та проєктів їх будівництва не є поширеним явищем. На даний час в Україні діє лише одна методика визначення рівня енергетичної ефективності будівлі, яка базується на ДСТУ А.2.2-12:2015, який використовується як при визначенні класу енергетичної ефективності за енергопотребною згідно з ДБНВ.2.6-31:2016 [2], так і при проведенні енергетичної сертифікації будівель за енергоспоживанням згідно з Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» [3]. Динамічний розрахунок теплотехнічних параметрів оболонки та мікроклімату будівлі є досить важким та громіздким, тому потребує використання спеціалізованих програмних продуктів із застосуванням у них погодних файлів, наприклад, International Weather for Energy Calculations (IWEC), безкоштовна версія якого є для двох міст України (Київ та Одеса) [4] або інформація про сонячну радіацію [5]. Тому такі програмні продукти, як DesignBuilder та ін. стають все більш популярними серед українських науковців та інженерів. Такий програмний продукт зручно використовувати для прийняття рішень на етапі попереднього проєктування, оцінці вартості життєвого циклу будівель, при проведенні «зеленої» сертифікації будівель згідно міжнародних систем сертифікації LEED та BREEAM і т.д. [1, 6].

Мета та завдання:

- 1) Проаналізувати наявні програмні комплекси, що можуть бути використані для енергетичного моделювання будівель та, зокрема, зеленої сертифікації;
- 2) Навести результати моделювання при проведенні зеленої сертифікації громадської будівлі, а також порівняння методів визначення енергетичної ефективності, що використовувалися для дослідження громадської будівлі.

Матеріал і результати досліджень.

Для енергетичного моделювання будівель часто використовуються такі програмні комплекси, як: RETScreen, EnergyPlus, Excel, eQUEST, DesignBuilder та ін. Програма EnergyPlus широко використовується в дослідженнях енергетичних характеристик будівлі, проте не має власного графічного інтерфейсу й до того ж, в самій програмі досить складно створювати складні системи опалення, вентиляції та кондиціонування. Саме в цьому випадку є доцільним використовувати графічний інтерфейс DesignBuilder з можливістю зручного створення геометрії, інженерних системи будівлі та задання її теплотехнічних характеристик. Найбільш поширені рішення, що аналізуються в рамках проєктів з підвищення енергетичної ефективності:

- заходи щодо зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції будівлі;
- модернізація системи опалення будівлі;
- модернізація систем вентиляції з використанням механічних системи з теплоутилізацією;
- дослідження доцільності застосування різних типів систем з використанням поновлюваних та нетрадиційних джерел в громадських будівлях;
- моделювання параметрів теплового комфорту будівель з різним рівнем теплового захисту та типом системи опалення.

Процес використання програми DesignBuilder при аналізі проектів з підвищення енергетичної ефективності будівель розглянемо на прикладі громадської будівлі, а саме середньої загальноосвітньої школи, що розташована в м. Київ. Рік побудови об'єкту – 1963. Будівля закладу освіти виконана у Н-подібній формі з однією чотириповерховою та двома одноповерховими секціями. Детальні відомості про площу огорожувальних конструкцій будівлі та характеристики школи наведені в табл. 1 та в табл. 2 відповідно.

Таблиця 1 – Загальна інформація щодо огорожувальних конструкцій

Огородж. конструкція	Тип	Площа ОК, м ²	U _{пр} , Вт/м ² ·К
Зовнішні стіни	Цегляні ЗС	3069,4	0,847
Вікна	Металопластикові	458,9	1,698
	Дерев'яні	422,2	2,857
	Склоблоки	208,6	3,333
Двері	Дерев'яні	5,4	2,857
	Залізні	1,8	2,128
	Металопластикові	15,8	2,000
Дах	Над опалювальним приміщенням	1117,2	2,709
	Неопалювальне горище	978,9	0,71
Підлога	-	2092,2	-

Таблиця 2 – Загальна інформація про школу

Параметр	Показник
Температурний режим приміщень, °С	13 - 22
Кількість учнів та робітників, чол.	670
Графік роботи	з 8:00 до 18:00
Графік роботи системи опалення, год/добу	24
К-ть радіаторів, шт.	225

Енергетичне моделювання громадської будівлі було виконано в програмі DesignBuilder та моделі, створеної у програмному середовищі Excel відповідно до вимог [3] та [7].

Для верифікації/калібрування енергетичних моделей проводилося порівняння фактичних даних середнього споживання енергоносіїв за останні три роки з результатами моделювання. Саме тому створювалися три моделі будівлі:

- фактична модель (Actual) – відображає існуючі температурні умови та повітрообмін;
- базова модель (Baseline) – умови комфортності та повітрообміну доведені до нормативних показників (з рахунок впровадження механічної системи вентиляції);
- запропонована модель (Proposed) – теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій відповідають сучасним вимогам, впроваджується система припливно-витяжної вентиляції з теплоутилізацією.

При розрахунку моделі будівлі відповідно до [8] було визначено клас енергоефективності по розрахунковому рівню енергоспоживання (клас G, 60,91 кВт·год/м³), а також визначено рівень енергоспоживання будівлі після ряду впроваджених заходів з енергоефективності (клас B, 26,56 кВт·год/м³): утеплення фасадів, заміна вікон та дверей, утеплення даху, встановлено локальну припливно-витяжну вентиляцію з рекуперацією. Результати розрахунків наведено на рис. 1.

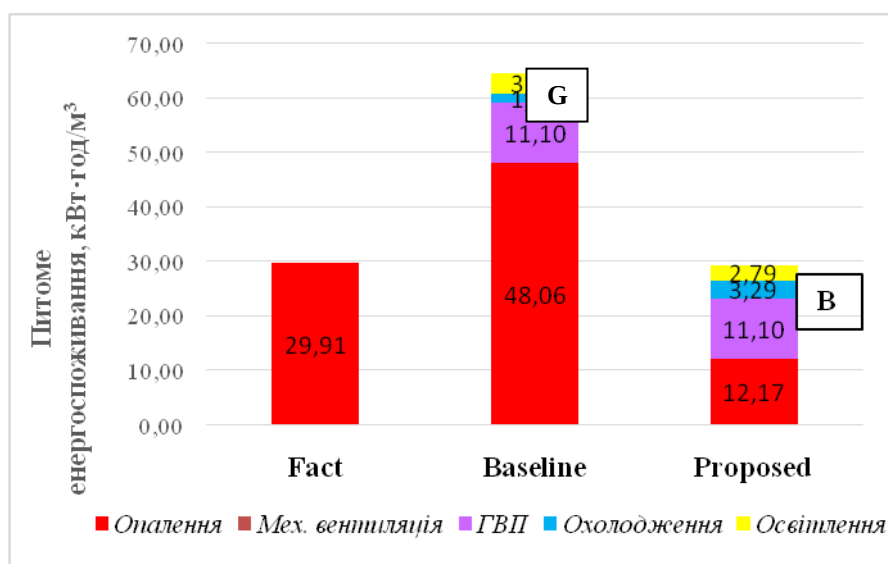


Рисунок 1–Результати енергетичної сертифікації згідно [8]

Побудована 3-D геометрія енергетичної моделі будівлі в DesignBuilder наведена на рис.

2.

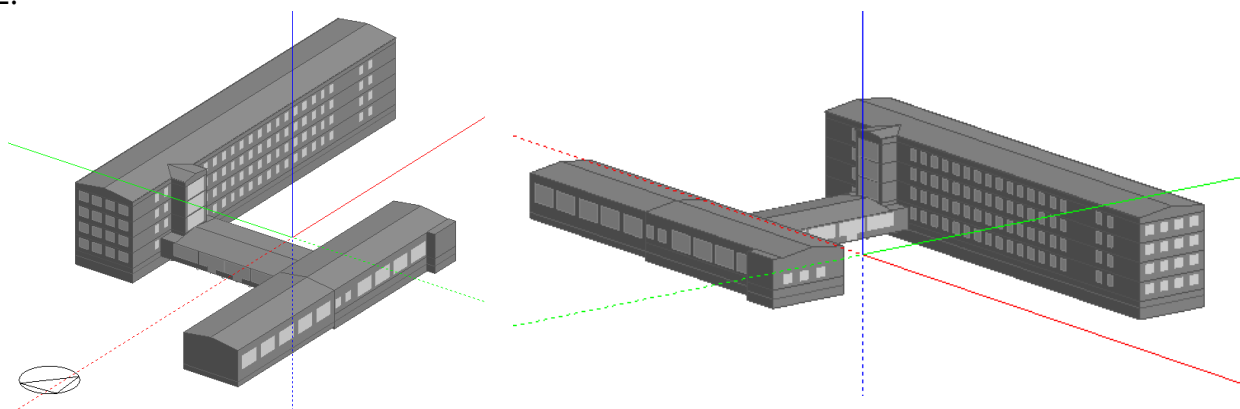


Рисунок 2 - Вигляд енергетичної моделі школи

В програмі DesignBuilder для запропонованої моделі застосовувалася водяна система опалення та припливно-витяжна система вентиляції з теплоутилізацією.

Результати моделювання енергоспоживання на потреби опалення, освітлення, обладнання, насосів та вентиляторів для трьох моделей наведені в табл. 3 та відображені на рис. 3.

Таблиця 3 – Моделювання будівлі у DesignBuilder

Показник споживання	Actual (фактична)	Baseline (базова)	Proposed (запропонована)
Опалення, кВт·год/рік	775706,1	962113,2	337409,3
Освітлення кВт·год/рік	42374,5	42374,5	42087,8
Обладнання, кВт·год/рік	19292,9	22508,5	22356,1
Насоси, кВт·год/рік	6787,1	12074,7	6802,6
Вентилятори, кВт·год/рік	-	72637,3	71190,1

Для розрахунку економії енергії при впровадженні проекту з підвищення енергоефективності доцільно порівнювати дані для базової та запропонованої моделей. В даному випадку загальне зниження енергоспоживання складає 55%.

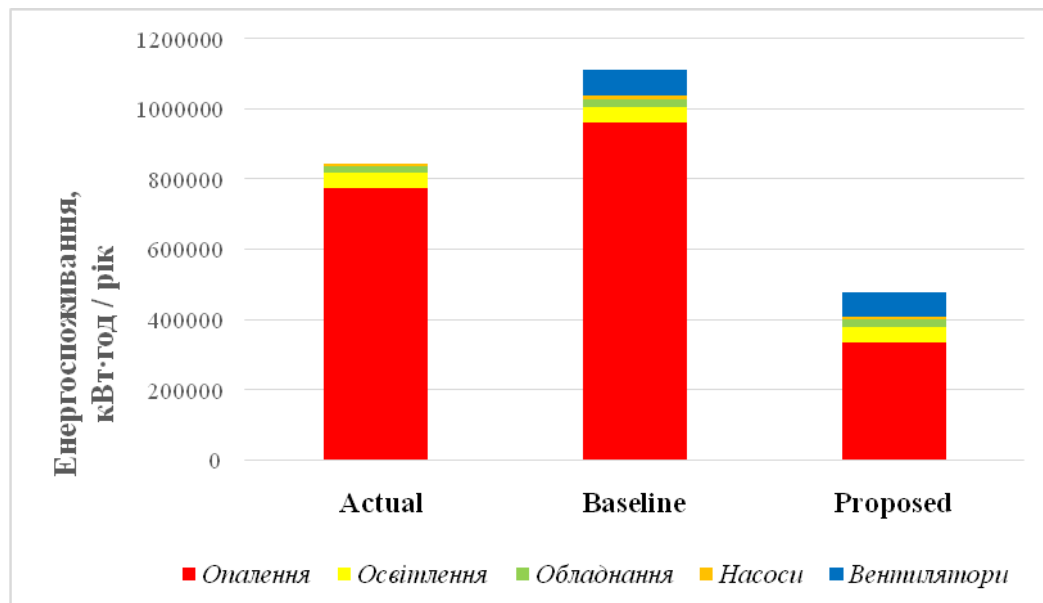


Рисунок 3 –Результати енергетичного моделювання

Для аналізу доцільності використання систем відновлювальних джерел аналізувалися такі системи: сонячна електростанція на базі ФЕМ та система ГВП на базі сонячних колекторів.

Пропонується на даху чотириповерхової секції освітнього закладу встановити фотоелектричну систему (ФЕС), яка задовольнятиме частину енергопотребы школи та буде підключена до загальної електромережі для продажу електроенергії при її надлишку. Моделювання ФЕС було здійснено в програмному середовищі PV*SOL. Пропонується розмістити 138 модулів виробництва компанії AEG моделі AS-P605-280, під'єднаних до двох інверторів Fronius Symo 20.0-3-M. Панелі розташовані на південній половині скатного даху у три ряди під кутом 30° до горизонту. Кінцеві результати симуляції роботи ФЕС наведені в табл.4 та на рис. 4.

Таблица 4 – Характеристики встановленої сонячної електростанції

Параметр ФЕС	Величина
Вихідна потужність системи, кВт	38,6
Коефіцієнт продуктивності (PR), %	81,8
Негативний вплив затінення, %/рік	5,2
Річна генерація (мережа змінного струму), (кВт·год)/рік	42157
Власне споживання, (кВт·год)/рік	18548
Подача в загальну мережу, (кВт·год)/рік	23609
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	25294
Споживання в режимі очікування (інвертор), (кВт·год)/рік	23
Загальний обсяг споживання:	76082
споживання від ФЕС	18548
споживання від загальної мережі	57534

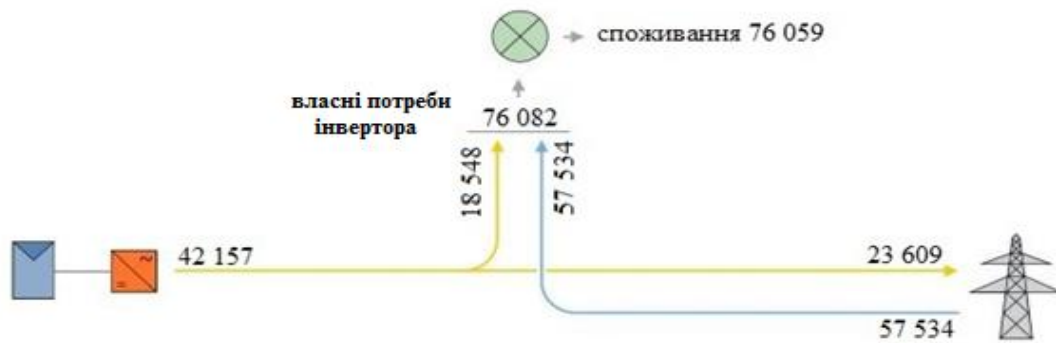


Рисунок 4 – Баланс споживання та генерації електроенергії освітнім закладом

Моделювання системи ГВП на базі сонячних колекторів було здійснено в програмі T*SOL.Пропонується розмістити 40 колекторів виробництва компанії Viessmann моделі Vitosol 100 -FM SH1F , під'єднаних до баку-акумулятору, який, у свою чергу, контактує з мережею централізованого водопостачання. Колектори розташовані на південній половині скатного даху під кутом 30° до горизонту.Кінцеві результати симуляції роботи СК наведені в табл.5 а відображені на рис. 5.

Таблиця 5 – Характеристики встановленої системи СК

Параметр системи СК	Величина
Теплова потужність системи, кВт	70,28
Загальна площа поверхні колекторів, м ²	100,4
Частка заміщення централізованого ГВП, %/рік	25,8
Річна генерація теплоти, (кВт·год)/рік	36597,9
Ефективність роботи системи, %	28,5
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	8461

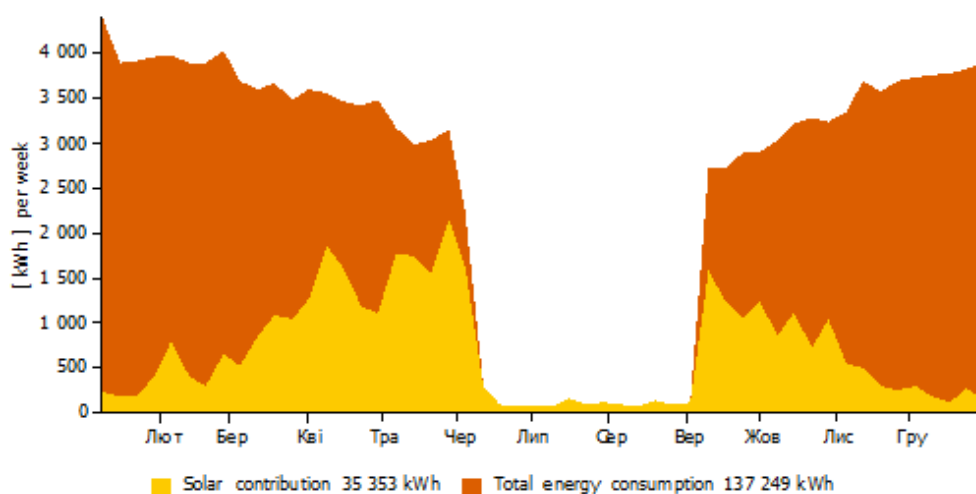


Рисунок 5 – Динаміка споживання теплоти від СК та централізованим ГВП

Відповідно до [9], у системі сертифікації LEED є ціла категорія, що пов'язана з

енергоспоживанням та навколишнім середовищем “Energy and Environment”. В рамках цієї кредитної категорії є два кредити, які пов’язані з енергетичною ефективністю та відновлювальними джерелами енергії – “Optimize energy performance” та “Renewable energy production” відповідно. Моделювання для обох кредитів повинно проводитися в програмних середовищах, що використовують часові кліматичні дані та динамічний підхід до моделювання. Базова будівля будується за підходами Appendix G ASHRAE Standard 90.1-2010, а запропонована – відповідно до прийнятих проектних рішень. Кількість балів обчислюється на базі скорочення витрат на оплату енергоносіїв у %.

До запропонованої моделі в DesignBuilder було додано систему охолодження Packaged Terminal Air Conditioner. Результати моделювання зображені на Рисунках 6, 7.

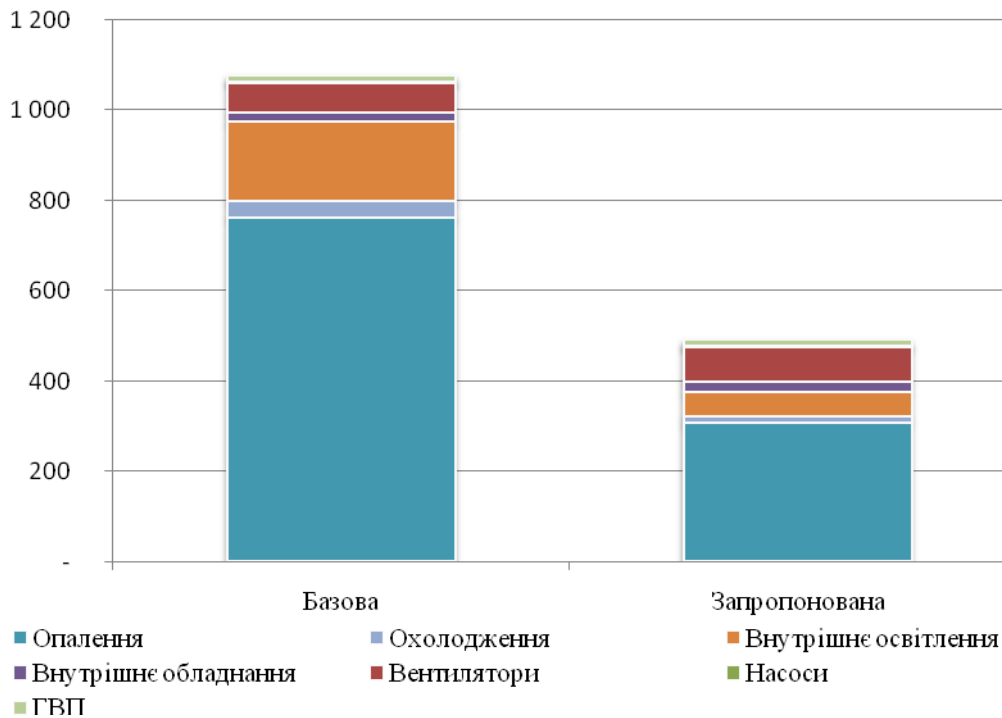


Рисунок 6 – Річне енергоспоживання моделей, МВт·год

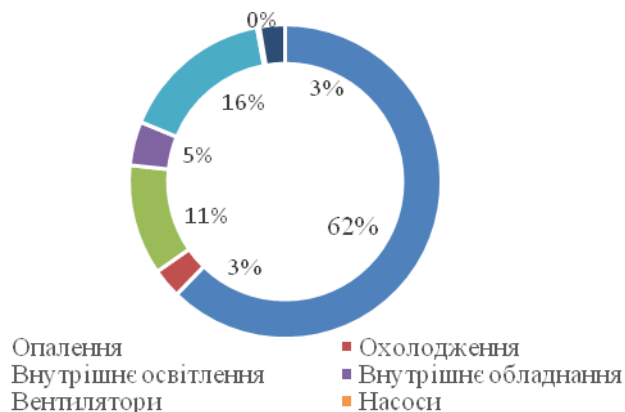


Рисунок 7 – Системи споживання енергії запропонованої будівлі, %

Отримавши такі результати щодо скорочення витрат на оплату енергоносіїв у % проект може отримати 16 з 16 балів в рамках кредиту “Optimize energy performance” для навчальних

закладів. Враховуючи результати моделювання відновлювальних джерел енергії, система на сонячних колекторах може принести 2 бали з 3 можливих в рамках кредиту “Renewable energy production”, а дахова сонячна електростанція – 1 бал.

Проаналізувавши результати моделювання для системи зеленої сертифікації LEED можна виокремити наступні переваги та недоліки оцінки енергоефективності будівлі:

Переваги	Недоліки
Використання динамічного підходу до енергетичного моделювання та погодинних кліматичних даних	При моделюванні не враховується погіршення ефективності інженерних систем з часом, неефективність системи розподілу та термостатичного контролю
Використання підходу з базовою та запропонованою будівлею, що дозволяє враховувати форму та розміри будівлі	Використання ASHRAE Standard 90.1-2010 Appendix G, не врахування локальної специфіки щодо енергоефективності будівель та інженерних систем
Врахування відсотку застосування, орієнтації будівлі, більш складних заходів підвищення енергетичної ефективності	Використання підходу бази скорочення витрат на оплату енергоносіїв, а не первинної енергії, або викидів CO ₂

Висновки. Різні підходи до оцінки рівня енергетичної ефективності будівель при проведенні їх енергетичної сертифікації зумовлені особливостями аналізу не тільки інженерних систем, а й навколишнього середовища. Використання систем зеленої сертифікації будівель можна розглядати як реальний засіб, який зменшує негативний вплив будівлі та її систем на навколишнє середовище. Серед основних проблем, що виникають при енергетичному моделюванні слід відмітити складність верифікації/калібрування моделі та налаштування інженерних систем будівлі. Також важливо знаходити техніко-економічний баланс при проектуванні нових або реконструкції існуючих будівель.

Список використаних джерел

1. TheEPA’sWebArchive. BasicInformation[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/about.html>
2. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2016. – [Чинні від 2016–10–08, на заміну ДБН В.2.6–31:2006.] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2016. – 33 с. – (Державні будівельні норми України)
3. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 р. №2118-VIII. Голос України. 2017. 22 липня. (№134)
4. Сайт з погодними файлами програмного забезпечення EnergyPlus [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/UKR%20%20
5. Сайт з даними про сонячну радіацію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://meteonorm.com/en/>
6. Перспективы сертификации жилых зданий по "зеленым" стандартам в Украине / Е. А. Тимошенко, Н. В. Савицкий // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - 2016. - № 4. - С. 26-34. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia_2016_4_5
7. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ-Н Б А.2.2-12: 2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 199 с
8. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального

господарства України від 11.07.2018 р. №169. [Офіційний вісник України](#) від 20.07.2018, № (55) 2017. 22 липня. (№134)

9. LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION // U.S. Green Building Council, (updated July 25, 2019, USA)

Deshko V., Kuzmyna Y.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Institute of Energy Saving and Energy Management**BUILDING RATING SYSTEMS IN UKRAINE – A COMPARATIVE ANALYSIS
BETWEEN LEED AND ENERGY CERTIFICATION IN UKRAINE****Abstract**

This article presents a comparative analysis between LEED and energy certification in Ukraine. In this study, each of them is analyzed under the aspects of certification process, ecological impact and the variety of categories. SWOT method is further applied to extract the strengths, weaknesses, opportunities and threats of each of the rating system in a direct and indirect manner, making it clearer to choose among various options when considering the individual needs of each project variety of categories.

Keywords: building energy performance, energy certificate, green building certification, LEED.

1. Introduction

All buildings are designed, planned, constructed and managed according to certain codes and regulations, governed by experts and government bodies for human's safety and comfort. Certification methods are different in different countries and have own main goals and points. For economy of energy use and reducing ecological impact from energy consumption the methods of certification can be improved by scientific development and experience of other countries. In Ukraine the development of the main provisions and norms, the purpose of which is to reduce energy consumption in buildings, has begun in 2016. It was reported by the Ukrainian Association of Energy Service Companies. In the first half of 2017, with the participation of the State Agency on Energy Efficiency, the development of a draft law on energy efficiency of buildings was conducted [1]. Its main provisions were aimed at creating conditions for the rational consumption of energy resources in them. The Law “On Energy Efficiency of Buildings” No.2118-VIII was adopted on 22.06.2017 [2]. It defines the legal, socio-economic and organizational framework for activities in the field of ensuring the energy efficiency of buildings and is aimed at reducing energy consumption in buildings. It entered into force on July 23, 2018. The law provides for the main energy efficient measures in buildings, the regulatory framework for independent monitoring of energy performance certificates for buildings, etc. From July 1, 2019 energy certification is mandatory for a certain list of objects. Energy certification has to be carried out only by certified energy auditors to ensure the appropriate level of results obtained [1].

The Energy Efficiency Directive (EED 2012) and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD 2010) are the main European pieces of legislation for reaching energy efficiency. The Article 7 of the EED defines that each Member State (MS) must develop an Energy Efficiency Obligation (EEO) scheme, in order to achieve cumulative energy saving targets from 1st January 2014 to 31st December 2020. The certification of buildings has shown itself to be reasonable and is successfully working in the European Union. Among the EU countries in which they are used are Germany, France, Italy, Norway, Sweden, Hungary, Latvia, Lithuania, and Estonia [3]. In Ukraine, it is now proposed to conduct energy audits of buildings, the results of which have to be enshrined in the energy certificates of a building. The energy certificate of a building is a document that contains general information about the building, its correspondence to the minimum requirements, and class of energy efficiency as well as the recommendations for increasing it, if needed.

Building assessment tools are being developed worldwide with a considerable amount of success, one of them is the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). These

assessment tools provide an effective framework to measure the environmental performance of the building and construction process. Considerable research has been put into development of effective assessment tools for different localities [4].

This article compares 2 types for building certification: Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) and Ukrainian certification of energy efficiency of buildings.

Nomenclature

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design.

SWOT - Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats.

2. Purpose and objectives

Extensive review has been done on the assessment documentations of the Ukrainian certification system (Energy certificate), and LEED in order to understand how each of them works and operates. To enable the comparison, energy and ecological aspects are considered. A SWOT analysis is further carried out in order to know how each of the two building rating systems positions itself, to evaluate and design strategies. In a simple way, it shows how a business has positioned itself in relation to the rest of the industry and on its own. The framework is composed of strengths, weaknesses, opportunities and threats.

The article aims to identify the main disadvantages and advantages of certification methods.

3. Material and research results

Description of considered certification types

LEED, which stands for Leadership in Energy and Environmental Design, is a certification program focused primarily on new, commercial-building projects and based upon a points system. To earn LEED certification, project teams must earn points outlined in the rating system by adhering to prerequisites and credits across nine measurements for building excellence from integrative processes to building materials; to indoor air quality [4].

LEED consists of nine categories namely: integration process, location and transportation, sustainable site, water efficiency, energy and atmosphere, materials and resources, indoor environmental quality, innovation in design, and regional priority [1]. Here, building grades are classified as follows: Certified (40-49points), Silver (50-59 points), Gold (60-79 points), and Platinum (80-above points) [4].

Energy certificate in Ukraine is established by a Law of Ukraine “About the energy efficiency of buildings” (Verkhovna Rada, Bulletin, 2017, No. 33, p. 359). This Law defines the legal, socio-economic and organizational principles of activity in the field of energy efficiency of buildings and aims at reducing energy consumption in buildings.

Energy efficiency is the main ratio in Ukrainian energy certificate of building. It is divided into classes that show how efficiently a building consumes energy during its operation. Class A is the most efficient building. Class BC -high energy efficiency. Class D - normal energy efficiency. Class E-F-G - low energy efficiency [2].

The Law of Ukraine “On energy efficiency of buildings” was adopted on June 26, 2017 and entered into force on July 23, 2018. The Law draws special attention to the instrument of the energy certificate of buildings [1].

Having an energy certificate on the purchase or lease of premises is just as important as when we buy electronics and look through its energy efficiency class. Each time we choose an electric device in a store, we are interested in the amount of electricity it consumes, and, usually, we choose a device with energy consumption of class A. The same idea is applied in the sphere of real estate – the less energy is spent on housing, the less are the expenditures on communal services, the higher are chances to sell or lease the premises.

According to the Law, from July 1, 2019 the provisions shall be brought into action on mandatory energy efficiency certification for the following buildings:

1) construction objects (new construction, reconstruction, capital repair), which according to the class of consequences (liability) are objects with average (CC2) and significant (CC3)

consequences, which are determined in accordance with the Law of Ukraine “On the regulation of urban development activity”;

2) state-owned buildings with a heated area of more than 250 square meters, frequently visited premises, and in all premises where state authorities are located;

3) buildings with a heated area of more than 250 square meters, in all premises where municipal offices are located (in the case of the thermal modernization of such buildings);

4) buildings where thermal modernization is carried out, for which state support has been granted and which results in achieving a class of energy efficiency for the building not lower than the minimum requirements for the energy efficiency of the building [2].

In order to establish an explicit understanding of these systems, each is examined comprehensively highlighting their respective strengths and potential as listed in Table 1 and described in what follows.

Each certificate system frames the rating categories in different areas. For this study, categories of energy efficiency and ecological impact are listed for the two building rating systems as below Table 1. Scoring is applied in all the certifications that has requirements as to the related category.

Table 1. Different categories of the certification systems

Category	Energy certificate (Ukraine)	LEED
<i>Sustainable site and Ecology</i>		
<i>Ecological status</i>		
Biodiversity protection	-	+
Contaminated Land	-	+
Enhancing site Ecology	-	+
Ecological impact	+	+
<i>Construction site</i>		
Site protection	-	+
Site selection	-	+
Site Development	-	+
<i>Energy</i>		
Energy consumption	+	+
Renewable energy strategy	+	+
<i>Energy performance</i>		
HVAC	+	+
Lighting (internal)	+	-
Lighting (external)	-	+
Ventilation	+	+
Heat transmission	+	+
<i>Operational</i>		
Energy monitoring	+	+
Optimizing energy	+	+
CO2 reduction	+	+
<i>Water and Waste management</i>		
<i>Water</i>		
Water consumption	+	+
Indoor water reduction	+	+
Outdoor water reduction	-	+
Irrigation system	-	+
Rain water harvesting	-	+
Water conservation/metering	-	+
Grey water recycling	-	+

Waste water technology	-	+
<i>Waste</i>		
Construction waste management	-	+
Waste treatment	-	+
Recycling Activities	-	+
<i>Materials</i>		
Low environmental impact materials	+	+
Renewable natural materials	-	+
Insulation	+	+
Source of raw material	-	+
Re –use of structural material	-	+
Use of non- structural frame material	-	+
Use of finishing material	+	+
Efficient use of material over life cycle	+	+
<i>Economic Aspect</i>		
Operation and maintenance cost	+	+
<i>Pollution</i>		
Prevention of refrigerant leakage	-	+
NOx emission	-	+
CO2 emission	+	+
Night light	-	+
Noise pollution	-	+
Watercourse pollution	-	+
Natural disasters	-	+
<i>Indoor Environment & Health</i>		
<i>Ventilation</i>		
CO2 monitoring	+	+
Provision of natural ventilation	+	+
Ventilation system	+	+
Fresh air supply	+	+
<i>Lighting</i>		
Daylight	+	+
View out and Glare control	-	+
Lighting control	-	+
Illumination level	+	+
<i>Noise and acoustics</i>		
Noise level	-	+
Sound insulation	-	-
<i>Contaminate level</i>		
Volatile organic compounds (VOC)	-	+
Microbiological contaminate level	-	+
<i>Thermal comfort</i>		
Cooling/heating and humidity control	+	+
Proper zoned control	+	+
<i>Management</i>		
Commissioning	-	+

Construction site management	-	-
Consultancy	-	-
User guide	-	-
Security	-	-

SWOT-analysis of considered certification types

SWOT analysis has been widely used as the basis of management and strategic planning in several areas of activity, and the case of the construction and energy efficiency sectors is no exception. The companies and professionals use this analysis to make an environmental analysis, since it consists of making a complete diagnosis about the business and the environment that surrounds. It can be used for any type of scenario analysis, from the creation a new project to the management of a multinational. This is an example of a simple system to position or verify the strategic position of the company/institution in the environment in question. The information was summarized based on criticism of leading organizations in Ukraine and Europe [5], [6]. SWOT Analysis of Ukrainian energy certificate and LEED rating systems are presented in Table 1 and Table 2 respectively.

Table 2. SWOT Analysis of Ukrainian energy certificate rating system

Energy certificate (Ukraine)	
Strengths 1. Focused on energy aspects. 2. Adapted to Ukrainian legislation. 3. Evaluates many inner buildings parameters. 4. Designed to meet the local needs of Ukrainian people. 5. Fast and cheap certification. 6. Ecological impact is included.	Weaknesses 1. Ecological impact has only Co2 parameter. 2. Lack of material requirement for special buildings. 3. Only for post-constructed buildings. 4. Not suitable for all types of buildings. 5. Not mandatory for many types of building and has a lot of limitation (area, outside facades, building`s destination). 6. No single database of certificates.
Opportunities Has strong place in Ukrainian market, provides fast certification of all residential and administrative buildings.	Threats 1. It is no world market recognized and strong in business. 2. Data presents in short version (results of calculations, rather than sending documents and excel forms). 3. Corruption risks (require a significant increase in the number of employees involved in the inspections). 4. No specialized software with standardized input forms and a calculation module to make a quality test is almost impossible.

Table 3. SWOT Analysis of LEED rating system

LEED	
Strengths 1. Market recognized. 2. Global adapted for different realities. 3. Provides active training for stakeholders. 4. Conduct detailed analysis.	Weaknesses 1. No follow up post-construction phase of building. 2. Expensive.

5. Evaluated the building from the construction stage. 6. Strongly focused on energy aspects. 7. LEED draws attention to the benefits of reusing old buildings.	3. Points for energy conservation are based on a computer energy model and not on actual post-occupancy energy use. 4. LEED is indiscriminate in its weighting of credit points.
Opportunities Thanks for huge amount of different aspects can rise occupants' comfort, to point attention on waste control, to implement more clean energy.	Threats 1. Many bureaucracies, long and expensive procedure of certification. 2. LEED-certified buildings actually consumed more energy per square foot than comparable non-LEED buildings (in the U.S.). For Ukraine this information is unavailable.

4. Conclusions

Today it becomes fundamental to be aware of the differences and also advantages and disadvantages of one certificate for another since the many differences can bring benefits when it comes to the certification of a building. A careful evaluation should be made to understand which of the certificates available in the market can bring more benefits, both for the building itself, for investors, and for local society and daily users.

For further analysis, advantages and disadvantages pointing the quantitative comparison on typical models and objects is needed, to find out the possible reasons for the decrease in energy efficiency of LEED.

Literature

1. Methodology for determining the energy efficiency of buildings (Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine July 11, 2018, No. 169)
2. The procedure for certification of energy efficiency (Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine July 11, 2018, No. 172)
3. Energy performance certificates [Internet source]. URL: <https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings>.
4. Leed [Internet source]. URL: <https://new.usgbc.org/leed>
5. Comments of the Association of Energy Auditors to the draft resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine on the procedure for exchanging information in the process of professional certification of energy auditors [Internet source]. URL: <https://aea.org.ua/>.
6. Is LEED Tough Enough for the Climate-Change Era? Brian Barth [Internet source]. URL: <https://www.citylab.com/environment/2018/>

УДК536.24; 62.971

Д.С. Ключко, студентка, 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 ВИСОКОШВИДКІСНІ ТЕПЛООБМІННІ АПАРАТИ

Анотація – Розглянуті сучасні високошвидкісні теплообмінники. Їх відмінною рисою є саме велика швидкість проходження середовища. Існує три групи таких апаратів. А саме, швидкісні теплообмінники труба в трубі, швидкісні кожухотрубні теплообмінники, і апарати із інтенсифікованими теплообмінними поверхнями. Наведені переваги і недоліки високошвидкісних теплообмінників порівняно із традиційними апаратами.

Ключові слова – високошвидкісний теплообмінник, кожухопластинчастий теплообмінник, теплообмін.

D.S. Klochko 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 HIGH SPEED HEAT EXCHANGERS

Annotation– Modern high speed heat exchangers were considered. Also high speed flow is the main its particularity. There are three main groups for such apparatus. Just high speed tube in tube apparatus, high speed housing plate heat exchangers, and ones with intensive heat exchange surfaces. The advantages and defect of high speed heat exchangers results in comparison with traditional ones.

Key words – high speed heat exchanger, casing lamellar heat exchanger, heat exchange.

Вступ

Гелікоїдний теплообмінник - клас теплообмінних апаратів, відмінною рисою яких є велика швидкість проходження середовища. За принципом дії вони діляться на три групи: швидкісні теплообмінники труба в трубі, швидкісні кожухотрубні теплообмінники, і апарати із інтенсифікованими теплообмінними поверхнями. У професійній сфері також використовується назва швидкісний теплообмінник. Всі гелікоїдні теплообмінні апарати є по суті рекуператорами, так як теплота передається від одного теплоносія до іншого безперервно через стінку.

Аналіз стану питання

Сучасні теплообмінні апарати являють собою пристрої, у яких здійснюється теплообмін між двома або декількома твердими, рідкими, газоподібними середовищами у різних комбінаціях. Застосовують теплообмінні апарати у побуті, промисловості, сільському господарстві. У якості теплоносіїв може виступати газ, пара, рідина або тверде тіло. Типові побутові прилади, у яких здійснюється теплообмін — кондиціонери, холодильники, повітрянагрівачі, випарник, економайзери, льодогенератор. Типові промислові прилади — теплоаккумулятори, градирні, атомні реактори тощо.

За способом передачі теплоти розрізняють апарати:

1. Поверхневі, де відсутній безпосередній контакт теплоносіїв, а передача тепла відбувається через стінку приладу. Поверхневі теплообмінники у свою чергу підрозділяються на рекуперативні й регенеративні, залежно від одночасного або почергового контакту теплоносіїв зі стінкою, яка їх розділяє;

2. Змішувальні, де теплоносії контактують безпосередньо.

Найчастіше використовуваний у промисловості рекуперативний теплообмінник – теплообмінник, у якому гарячий і холодний теплоносії рухаються в різних каналах, у стінці між якими відбувається теплообмін. Залежно від напрямку руху теплоносіїв рекуперативні теплообмінники можуть бути прототечійними при паралельному русі в одному напрямку, протитечійними при паралельному зустрічному русі, а також перехреснотечійними при взаємно перпендикулярному русі двох діючих середовищ. Залежно від призначення теплообмінні апарати використовують як нагрівачі, і як охолоджувачі.

Мета роботи

Проаналізувати особливості конструкції і теплообміну сучасних теплоносіїв у високошвидкісних теплообмінниках, порівняти їх із традиційними теплообмінниками. Розглянути переваги і недоліки гелікоїдних апаратів, їх класифікацію.

Результати досліджень

В сучасному світі розрізняють такі групи гелікоїдних теплообмінників, як: гелікоїдний теплообмінник труба в трубі, гелікоїдний кожухотрубний теплообмінник та гелікоїдний інтенсифікований теплообмінник. Третій тип цих апаратів фактично являють собою теплообмінники із інтенсифікованими теплообмінними поверхнями. Наприклад із закрутою потоку теплоносія, або обох теплоносіїв. Розглянемо послідовно три основні типи гелікоїдних теплообмінних апаратів.

Гелікоїдний теплообмінник труба в трубі - являє собою найпростіший теплообмінний апарат, часто зібраний з двох труб різних діаметрів, вставлених один в одну. Всі теплообмінники труба в трубі є швидкісними за рахунок відсутності перешкод і, як наслідок, низького гідравлічного опору. Принцип дії такого апарату полягає в проходженні теплоносія під великим тиском по внутрішній трубі, в той час як середовище, яке нагрівається проходить по зовнішній трубі. Приклад креслення гелікоїдного теплообмінника труба в трубі див. рисунок 1.

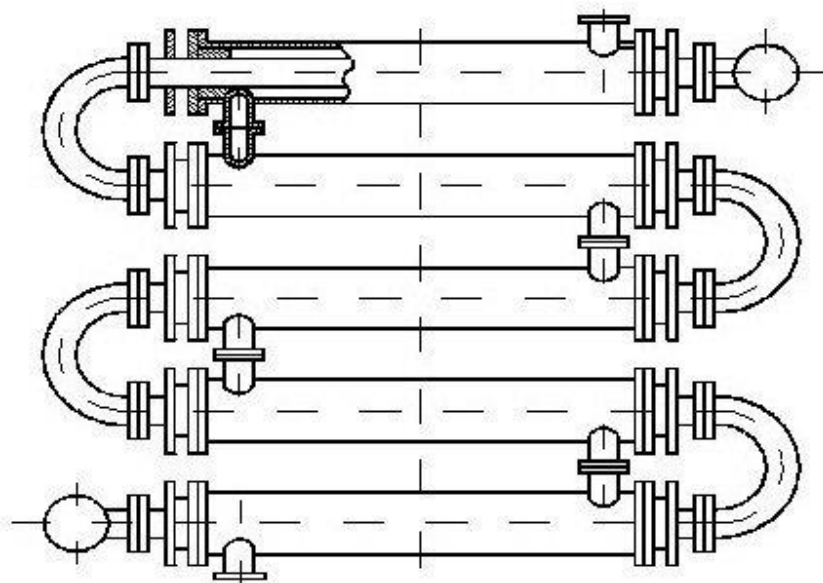


Рисунок 1. Гелікоїдний теплообмінник типу «труба в трубі».

Гелікоїдний кожухотрубний теплообмінник - цей тип теплообмінників складається з трьох частин: корпус (кожух), трубний пучок і перегородки. Трубний пучок приварений через трубні решітки до торців кожуха. Основною відмінністю від звичайних кожухотрубних апаратів є наявність перегородок, які збільшують швидкість теплоносія. Приклад гелікоїдного кожухотрубного теплообмінника див. на рисунку 2.

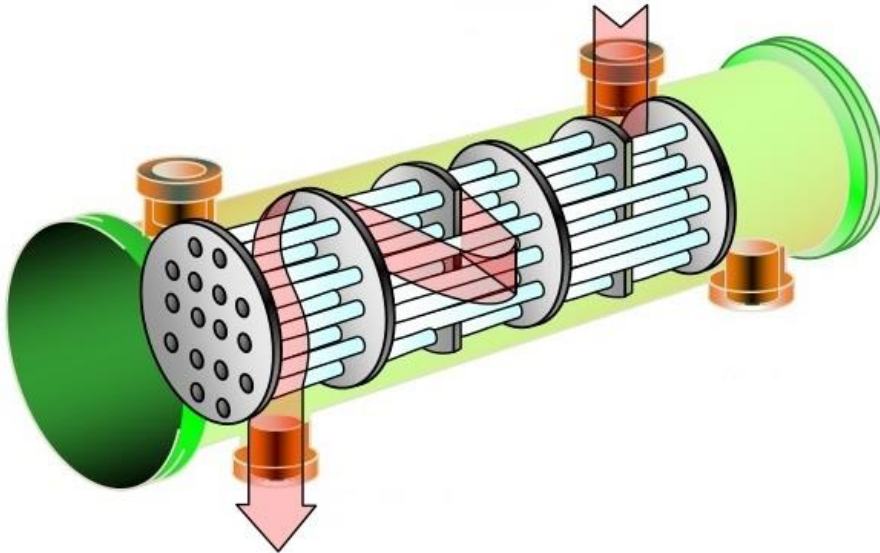


Рисунок 2. Гелікоїдний кожухотрубний теплообмінник.

Гелікоїдний інтенсифікований теплообмінник - це теплообмінник, який представляє собою закріплений в спіральшовному корпусі пучок профільованих трубок із корозійностійкого матеріалу (нержавіючої сталі або титану), через стінки яких здійснюється теплопередача від потоку гріючого середовища до потоку води, що нагрівається. Трубки мають гелікоїдний профіль (див. рисунок 3). Основна відмінність теплообмінників такої конструкції, полягає саме в профільованій теплообмінній поверхні трубок.



Рисунок 3. Трубки з гелікоїдним профілем.

Принцип дії швидкісних теплообмінних апаратів заснований на явищі інтенсифікації теплообміну між рухомими потоками теплоносіїв при їх одночасному закручуванні. Закручування швидкісних потоків призводить до зміни їх гідравлічного стану, підвищує кінетичну енергію руху, створює турбулізацію і додаткове перемішування шарів всередині теплоносіїв, що призводить до оптимальних значень показників теплопередачі. Вихровий рух потоку супроводжується зниженням гідравлічних опорів апарату і ефектом самоочищення поверхонь нагріву від відкладень.

Закручування потоку середовища, що проходить по трубному простору, здійснюється за допомогою зміни профілю труб (гелікоїдна поверхня). Закручування потоку середовища, що проходить по міжтрубному простору, здійснюється за рахунок спіралепоподібного шва корпусу та нерегулярного компонування труб трубного пучка.

Крім функції закручування потоків, гвинтові складові трубок і корпусу є своєрідними ребрами жорсткості конструкції. Можливість застосування тонколистової сталі при виготовленні корпусу і трубок трубного пучка призводить до зниження ваги апарату. Таке рішення є нетрадиційним у виробництві стандартних теплообмінних апаратів, що використовують товщину стінок для посилення міцності властивостей конструкцій.

За рахунок полегшення і ущільнення трубного пучка в опорних елементах (трубних дошках) з полімерних матеріалів в швидкісних апаратах досягається максимально можлива поверхня теплообміну.

До переваг гелікоїдних теплообмінників порівняно з традиційними апаратами:

1) Мала вага – наприклад, завдання нагріву 10 м^3 до однакової температури еквівалентно вирішують 129-ти кілограмовий традиційний теплообмінник і 16-ти кілограмовий гелікоїдний апарат;

2) Компактність - при одноступінчастій схемі нагріву, займає до 10-ти разів менше місця, ніж традиційний теплообмінник, що дає можливість розміщення апаратів в умовах малогабаритних приміщень. Також є можливість здійснення двоступеневої схеми нагріву з використанням єдиного апарату;

3) Високий коефіцієнт ефективності (ексергетичний ККД) - півтораразова перевага теплообмінників в порівнянні з типовим традиційним теплообмінником;

4) Легкі в обслуговуванні.

До недоліків можна віднести велику чутливість до середовища - при невірно підібраних характеристиках істотно падає його ефективність дії.

Висновки

1. Гелікоїдний теплообмінник - клас теплообмінних апаратів, відмінною рисою яких є велика швидкість проходження середовища. За принципом дії вони діляться на три групи: швидкісні теплообмінники труба в трубі, швидкісні кожухотрубно-трубні теплообмінники, і інтенсифіковані теплообмінники. Всі гелікоїдні теплообмінні апарати є по суті рекуператорами.

2. Принцип дії швидкісних теплообмінних апаратів заснований на явищі інтенсифікації теплообміну між рухомими потоками теплоносіїв при їх одночасному закручуванні. Закручування швидкісних потоків призводить до зміни їх гідравлічного стану, підвищує кінетичну енергію руху, створює турбулізацію і додаткове перемішування шарів всередині теплоносіїв, що призводить до оптимальних значень показників теплопередачі. В гелікоїдних теплообмінних апаратах досягається максимально ефективна робота всієї поверхні теплообміну.

3. Розрахунок гелікоїдного теплообмінника є ідентичним до кожухотрубного теплообмінного апарата. Суттєво будуть відрізнятися швидкості теплоносіїв, так як гелікоїдні теплообмінники є швидкісними на відміну від кожухотрубних.

Література

1. Розрахунок теплообмінного апарата [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://works.doklad.ru/view/sB7Mn5lejOM/all>.

2. Гелікоїдний теплообмінник [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org>.

УДК 621.472

Бондаренко В.В., 0000-0001-9589-3873

Науковий керівник: Студенець В.П., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АКУМУЛЯТОРІВ СОНЯЧНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ
ДЛЯ ДВИГУНА СТІРЛІНГА НА БАЗІ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ З ФАЗОВИМ
ПЕРЕХОДОМ**

Виконано порівняння енергетичних характеристик різних матеріалів з фазовим переходом, що використовуються для акумулювання теплової енергії. Розраховано конструктивні розміри акумуляторів за заданої тривалості роботи двигуна Стірлінга.

Ключові слова: тепловий акумулятор, матеріали з фазовим переходом, двигун Стірлінга.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF SOLAR HEAT BATTERIES FOR A STIRLING ENGINE
BASED ON DIFFERENT PHASE TRANSITION MATERIALS.**

A comparison of the energy characteristics of different materials with a phase transition used for the accumulation of thermal energy is performed. The design dimensions of the batteries for a given duration of operation of the Stirling engine are calculated.

Keywords: energy storage, phase-change material, Stirling engine.

Вступ

Робота енергетичних установок, джерелом енергії в яких є сонце, потребують акумулювання енергії, оскільки рівень сонячної інсоляції не є постійним у часі. У попередніх роботах енергетичну установку “Сонячний концентратор – двигун Стірлінга” було обладнано тепловим акумулятором, що подовжував роботу установки за відсутності сонячного випромінювання [1]. Попередні роботи мали певні недоліки:

- Неспівпадіння робочого інтервалу температур двигуна та температури фазового переходу акумулятора, що унеможливлювало використання енергії фазового переходу;
- Недостатній час роботи двигуна від акумулятора.

Мета роботи

Пошук та порівняння матеріалів для теплового акумулятора, що мають температуру фазового переходу в інтервалі робочих температур двигуна Стірлінга УДС-1. Конструктивний розрахунок теплового акумулятора.

Аналіз стану питання

Акумулювання енергії є важливим елементом енергетичних систем, особливо за наявності джерел енергії, що є непостійними у часі, таких як сонячна енергія.

Акумулювання у сонячних енергоустановках необхідно для продовження генерації електроенергії у нічний час та під час зменшення інтенсивності сонячного випромінювання вдень. Енергія у сонячних енергетичних установках може бути закумульована як до генерації електроенергії (у вигляді теплової енергії), так і після (у вигляді електричної енергії).

Сучасні технології акумуляції тепла переважно застосовують РСМ-матеріали, що дозволяють суттєво збільшити ємність акумулятора за рахунок теплоти фазового переходу.

РСМ, що використовуються для зберігання теплової енергії - це, як правило, органічні сполуки, неорганічні солі та їх евтектики [2].

Органічні сполуки, що використовуються як РСМ, включають парафінові воски, складні ефіри, кислоти та спирти. Неорганічні матеріали включають гідрати солей, евтектики неорганічних солей, метали та їх евтектики. РСМ з органічних сполук, як правило, мають низькі температури плавлення і можуть використовуватися лише для теплового акумулювання у системах опалення та водопостачання будівель. Для високотемпературного теплового зберігання найбільш широко використовуються розплави солей.

Також розвивається використання металів та металевих сплавів як РСМ. Зазвичай вони мають великі значення густини та теплопровідності. Такі матеріали дозволяють проектувати більш компактні акумулятори, що швидше поглинають та віддають теплову енергію [3].

Матеріал і результати досліджень

Для порівняння були обрані декілька матеріалів, використання яких у сонячних теплових акумуляторах досліджувалося останнім часом [3, 4]. Матеріали представлені у таблиці 1.

Також до порівняння додані кілька стандартних теплоакумулюючих матеріалів з високою температурою фазового переходу [5]. Матеріали представлені у таблиці 2.

Таблиця 1 – Характеристики теплоакумулюючих матеріалів (частина 1).

	Tm	ΔH_m	ρ	Cm	ΔH_v
	°C	кДж/кг	кг/м ³	Дж/кг/К	МДж/м ³
Mg70Zn24.9Al5.1	340	157	2820	830	442,74
Zn85.8Al8.2Mg6	400	104	6190	530	643,76
Mg72Zn22	342	155	2850	711	441,75
Mg13Bi87	546	181	3090	530	559,29
NaCl/MgCl ₂	450	429	2240	960	960,96
NaCl/CaCl ₂ /MgCl ₂	424	190	2500	1190	475
MgCl ₂ -SrCl ₂	500	281	2100	670	590,1

Таблиця 2 – Характеристики теплоакумулюючих матеріалів (частина 2).

	Tm	ΔH_m	ρ	Csol	Clig	ΔH_v
	°C	кДж/кг	кг/м ³	Дж/кг/К	Дж/кг/К	МДж/м ³
Al	660	390	2699	1255,8	1176,7	1052,61
54Al-22Cu-18Mg-6Zn	520	305	3140	1510	1130	957,7
65Al-30Cu-5Si	571	422	2730	1300	1200	1152,06
88Al-12Si	576	560	2700	1038	1741	1512
Mg	648	365	1740	1270	1370	635,1

Експериментальний стенд “Сонячний концентратор – двигун Стірлінга” з двигуном моделі УДС-1 може працювати у різних температурних діапазонах, але існує нижня межа температурного інтервалу, що визначається достатньою температурою для роботи двигуна (400-450 °C), та верхня межа інтервалу, що визначається допустимою температурою роботи двигуна протягом тривалого періоду.

Аналіз та порівняння матеріалів було проведено у кількох температурних діапазонах: 400-700 °C, 450-750 °C, 500-800 °C, 500-700 °C, 400-800 °C.

Для кожного інтервалу було розраховано масову та об’ємну енергетичну ємність

акумулятора, що складається з кількості теплоти, що поглинає матеріал у твердій фазі, теплоти фазового переходу та кількості теплоти, що поглинає матеріал у рідкій фазі. Результати розрахунків представлені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Кількість теплоти, що може бути закумуляована матеріалом.

	$\Delta T, ^\circ C$		$\Delta T, ^\circ C$		$\Delta T, ^\circ C$	
	400 - 700		450 - 750		500 -800	
	Qm	Qv	Qm	Qv	Qm	Qv
	кДж/кг	МДж/м ³	кДж/кг	МДж/м ³	кДж/кг	МДж/м ³
Zn85.8Al8.2Mg6	263	1628				
Mg13Bi87	340	1051	340	1051	340	1051
NaCl/MgCl ₂	717	1606	717	1606		
NaCl/CaCl ₂ /MgCl ₂	547	1368				
MgCl ₂ -SrCl ₂	482	1012	482	1012	482	1012
Al	764	2061	760	2050	756	2040
54Al-22Cu-18Mg-6Zn	690	2165	671	2106	652	2046
65Al-30Cu-5Si	799	2182	794	2168	789	2154
88Al-12Si	959	2588	994	2683	1029	2778
Mg	751	1307	756	1316	761	1324
	$\Delta T, ^\circ C$		$\Delta T, ^\circ C$			
	500 -700		400 -800			
	Qm	Qv	Qm	Qv		
	кДж/кг	МДж/м ³	кДж/кг	МДж/м ³		
Zn85.8Al8.2Mg6			316	1956		
Mg13Bi87	287	887	393	1214		
NaCl/MgCl ₂			813	1821		
NaCl/CaCl ₂ /MgCl ₂			666	1665		
MgCl ₂ -SrCl ₂	415	872	549	1153		
Al	638	1722	881	2378		
54Al-22Cu-18Mg-6Zn	539	1691	803	2520		
65Al-30Cu-5Si	669	1827	919	2509		
88Al-12Si	855	2308	1133	3058		
Mg	624	1086	888	1545		

Результати розрахунків представлені у вигляді діаграм на рисунках 1-4.

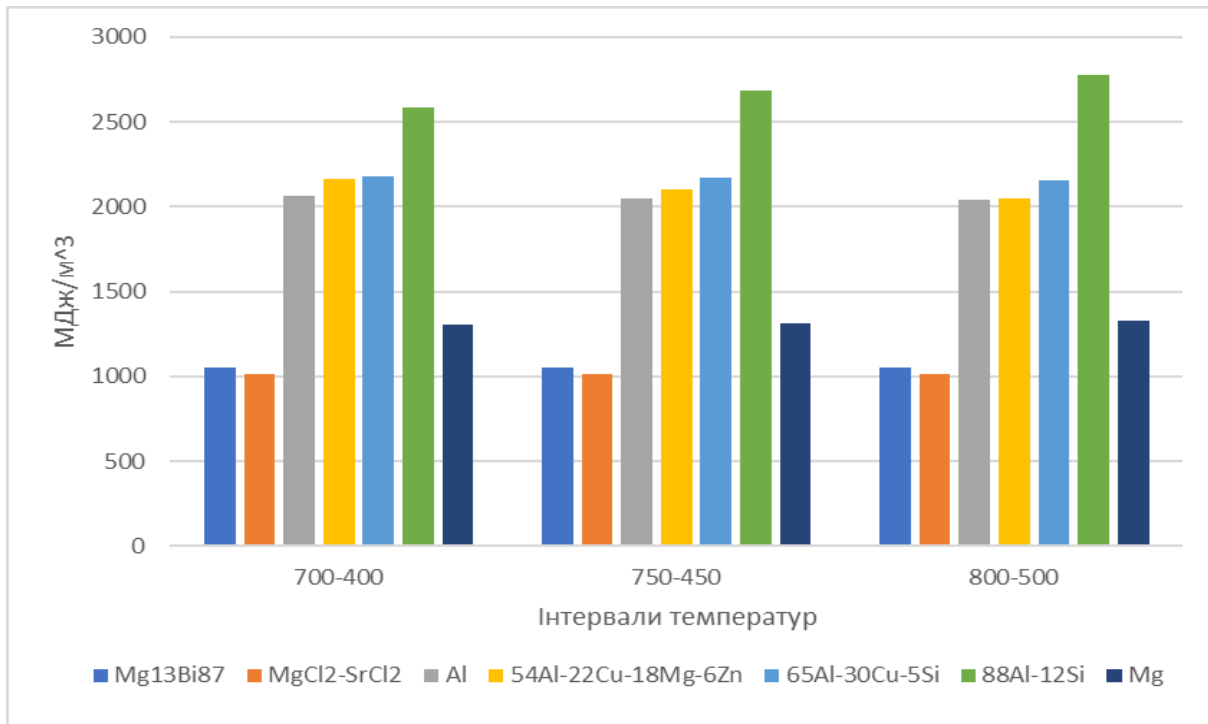


Рис. 1 – Питома об'ємна ємність акумулятора при зміщенні інтервалу робочих температур.

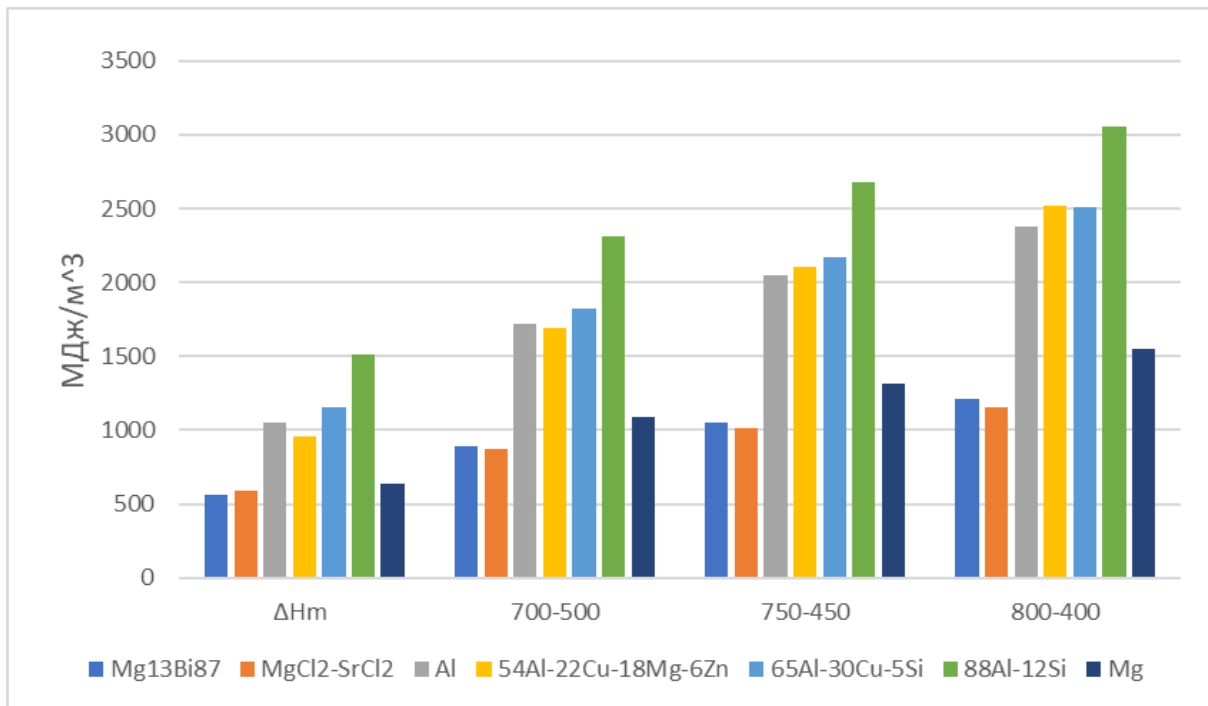


Рис. 2 – Питома об'ємна ємність акумулятора при збільшенні інтервалу робочих температур.

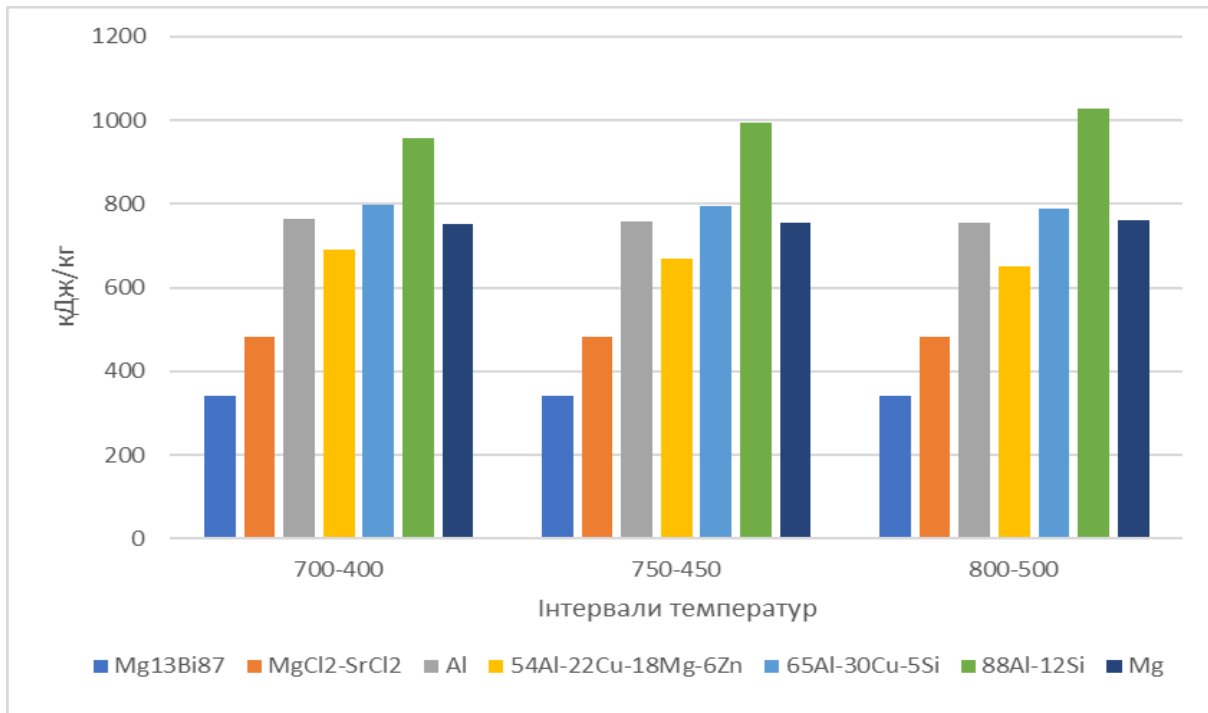


Рис. 3 – Питома масова ємність акумулятора при зміщенні інтервалу робочих температур.

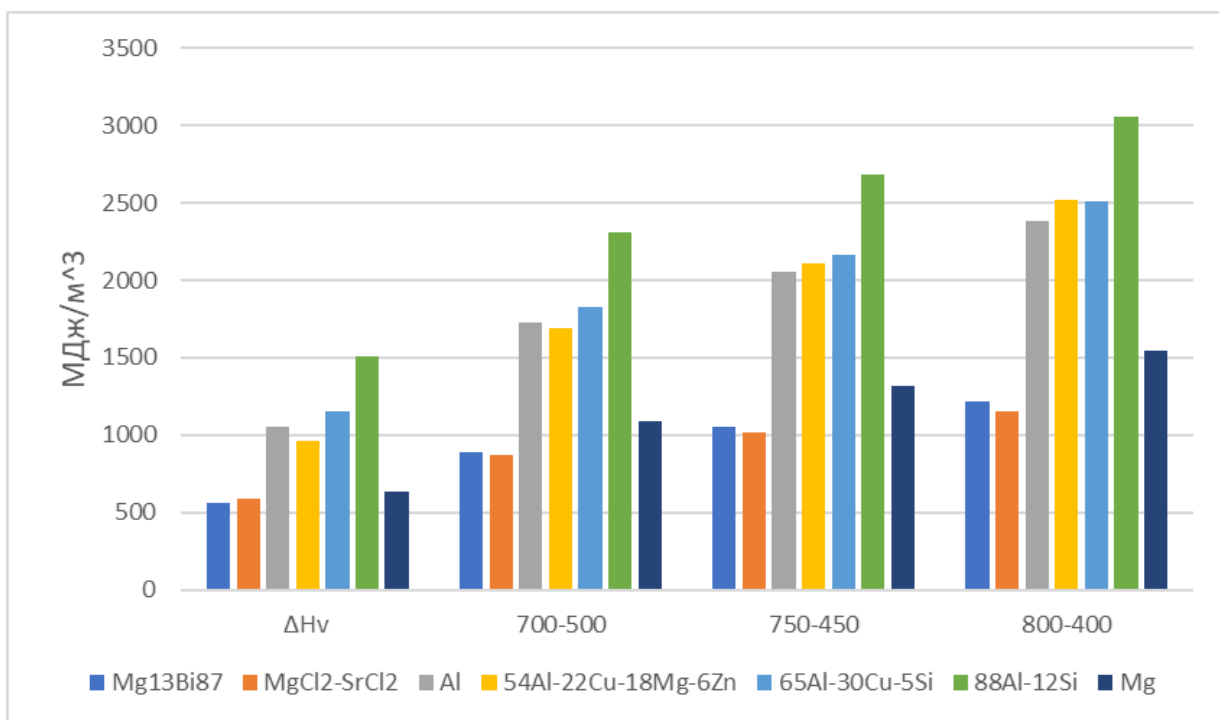


Рис. 4 – Питома масова ємність акумулятора при збільшенні інтервалу робочих температур.

Робота має на меті виконати попередній конструктивний розрахунок теплового акумулятора для експериментального стенду “Сонячний концентратор – двигун Стірлінга”, що дозволить двигуну працювати 1 годину, використовуючи енергію акумулятора.

Акумулятор являє собою два концентричних циліндра з дном. Внутрішній циліндр при цьому повторює зовнішню форму поршню двигуна Стірлінга, тобто має діаметр та висоту

70 мм.

Задача конструктивного розрахунку – визначити відстань між стінками зовнішнього та внутрішнього циліндру акумулятора.

На основі попередніх даних було розраховано масу та об'єм РСМ-матеріалу, що є необхідним для роботи двигуна Стірлінга УДС-1 за умови, що двигун споживає 0,7 кВт теплової енергії [1]. З отриманого необхідного об'єму матеріалу було визначено відстань між стінками зовнішнього та внутрішнього циліндру акумулятора. Розрахунки виконано для інтервалу температур 500-800 °С. Результати представлені у таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати конструктивного розрахунку акумулятора.

	m	V	X
	кг	см ³	см
Mg13Bi87	7,41	2398	3,34
MgCl2-SrCl2	5,23	2489	3,43
Al	3,33	1235	2,03
54Al-22Cu-18Mg-6Zn	3,87	1231	2,02
65Al-30Cu-5Si	3,19	1169	1,94
88Al-12Si	2,45	907	1,58
Mg	3,31	1902	2,82

Висновки

У роботі було визначено та порівняно енергетичні характеристики теплоакумуючих матеріалів з фазовим переходом у різних інтервалах температур, що відповідають інтервалу робочих температур двигуна Стірлінга УДС-1. Також було виконано попередній конструктивний розрахунок теплового акумулятора, що передбачає автономну роботу двигуна Стірлінга протягом 1 години.

Література

1. Бондаренко В.В, Студенець В.П. Дослідження теплового акумулятора для сонячної енергоустановки на базі двигуна Стірлінга // Енергетика. Екологія. Людина. Зб. наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2018. – с. 165-171.
2. Huili Zhang, Jan Baeyens, Gustavo Cáceres, Jan Degève, Yongqin Lv. Thermal energy storage: Recent developments and practical aspects / Progress in Energy and Combustion Science 53 (2016) 1–40.
3. Elena Risueno, Stefania Doppiu, Javier Rodríguez-Aseguinolaza, Pablo Blanco, Antoni Gil, Manuel Tello, Abdessamad Faik, Bruno D'Aguanno. Experimental investigation of Mg-Zn-Al metal alloys for latent heat storage application/ Journal of Alloys and Compounds 685 (2016) 724-732
4. E. Risueño, A. Faika, J. Rodríguez-Aseguinolaza, P. Blanco-Rodríguez, A. Gila, M. Tello and B. D'Aguanno. Mg-Zn-Al eutectic alloys as phase change material for latent heat thermal energy storage / Energy Procedia 69 (2015) 1006 – 1013.
5. A. Inés Fernández, Camila Barreneche, Martin Belusko, Mercè Segarra, Frank Bruno, Luisa F. Cabeza. Considerations for the use of metal alloys as phase change materials for high temperature applications / cc-by-nc-nd, (c) Elsevier, 2017.

УДК 620.9

Закревський М.А., магістрант, кафедра теплотехніки та енергозбереження
Шкляр В.І., к.т.н., доц., кафедра теплотехніки та енергозбереження
Дубровська В.В., к.т.н., доц., кафедра теплотехніки та енергозбереження
 НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

В роботі розглянуто необхідність модернізації ліфтових систем та своєчасного моніторингу споживання різних груп споживачів у багатоповерховому житловому будинку.

Ключові слова: енергоефективність будівлі, модернізація, заощадження, доцільність.

The report examined the need for modernization of elevator systems and the timely monitoring of living group of the living in a bagatovoshnuyuzhitlovyboudinok.

Keywords: energy efficiency, modernization, zashchadzhenniya, dotsilnist.

Вступ. Енергозбереження є одним з найважливіших питань сьогодення. Важко переоцінити важливість сфери енергетики у розвитку нашої країни. Існує необхідність у пошуку варіантів вирішення цієї проблеми. На прикладі лідируючих держав необхідно не тільки уникнути зайвих витрат, але й проводити систематичну роботу зі споживачами, у законотворчій сфері, а також стимулювати та заохочувати усі ланки споживання енергії до енергозбереження.

Мета роботи: зменшення енергоспоживання житлової будівлі.

В роботі розглянуто багатоповерховий житловий будинок у м. Київ, який має 24 поверхи, 1 під'їзд, неопалювальний підвал та горище. В будинку налічується 108 квартир.

Загальна опалювальна площа складає 10548 м². Зовнішні стіни будівлі виконані з силікатної цегли товщиною 640 мм, зовнішнього опоряджувального шару товщиною 10 мм, пінополістирольного утеплювача товщиною 80 мм, розчину вапняно-піщаного товщиною 20 мм. Цокольний поверх утеплено, виконано з силікатної цегли. При візуальному огляді стін руйнувань (тріщин) не виявлено, але у подальшому обстеженні тепловізором стали помітні проблемні точкові отвори у зовнішній стіні, утворені при монтажі систем кондиціонування повітря житлових приміщень.

Наразі потреби в утепленні цей будинок не має. Для зменшення втрат теплоти з інфільтраційним повітрям пропонується встановити доводчики на входні двері поверхів, що дозволить значно зменшити витрати при невеликій собівартості.

До основних груп обладнання, що споживають електричну енергію у житловому будинку в місцях загального користування, можна віднести:

- освітлення;
- ліфтові установки;
- насоси на потреби опалення, гарячого та холодного водопостачання.

Розрахунок проводимо згідно [2]. Технічні показники будинкового обладнання наведено табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні показники будинкового обладнання

Група навантаження	Тип обладнання	К-ть, шт.	Встановлена потужність, кВт	Загальна потужність, кВт	Тривалість роботи, год
Освітлення (місць загального користування)	Лампи світлодіодні	324	0,075	24,3	24

Обладнання	Ліфт пасажирський	1	6,5	6,5	5
	Ліфт вантажний	1	9	9	3
	Насоси	3	4	12	6
Загалом:				32	

Оскільки нам не відома кількість електроприладів у кожній квартирі, а відомий лише тип приготування їжі – за допомогою електричних плит, розрахуємо навантаження у житловому будинку, використовуючи довідникові матеріали. Слід зазначити, що через особливу геометрію сходової клітини, енергоефективністю ламп (світлодіодні лампи Philips CorePro LED bulb E27 10-75W 230V 4000K), наявності датчиків руху – система освітлення у місцях загального користування не потребує модернізації.

Розрахуємо активне навантаження за формулою:

$$P_{ж.б.} = P_{кв} + 0,9P_{ліфт}$$

Визначимо силове навантаження:

$$P_{ліфт} = n_{л} P_{л} k_{л}$$

де $n_{л}$ – кількість ліфтів,

$P_{л}$ – потужність ліфтів,

$k_{л}$ – коефіцієнт попиту для ліфтових установок.

Розрахуємо навантаження квартир:

$$P_{кв} = n_{кв} \cdot p_{пит.кв}$$

де $n_{кв}$ – кількість квартир;

$p_{пит.кв}$ – питоме розрахункове електричне навантаження.

Реактивне навантаження для житлових будинків розраховуємо за формулою:

$$Q_{ж/б} = P_{кв} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{кв} + 0,9 \cdot P_{ліфт} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{ліфт}$$

де $\operatorname{tg}\varphi_{кв}, \operatorname{tg}\varphi_{ліфт}$ – розрахункові коефіцієнти реактивного навантаження.

Підрахуємо усі необхідні навантаження за приведеними вище формулами:

$$P_{кв} = 108 \cdot 0,87 = 93,96 \text{ кВт}$$

$$P_{ж/б} = 93,96 + 0,9 \cdot 1,95 = 95,715 \text{ кВт}$$

$$Q_{ж/б} = 93,96 \cdot 0,29 + 0,9 \cdot 7,89 = 34,36 \text{ квар}$$

Розрахуємо повне навантаження:

$$S_{ж/б} = \sqrt{P_{ж/б}^2 + Q_{ж/б}^2} = \sqrt{95,715^2 + 34,36^2} = 101,9 \text{ кВА.}$$

Визначимо втрати електроенергії в системі електропостачання в КЛ ААШВ 4х95 + 1х25 від ТП4788 до житлового будинку за формулами:

$$\Delta P_{кл} = \frac{S_{ж/б}^2}{U_H^2} \cdot r_{кл} \cdot L_{кл} \cdot 10^{-3} = \frac{101,9^2}{0,38^2} \cdot 0,125 \cdot 0,329 \cdot 10^{-3} = 2,96 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{кл} = \frac{S_{ж/б}^2}{U_H^2} \cdot x_{кл} \cdot L_{кл} \cdot 10^{-3} = \frac{101,9^2}{0,38^2} \cdot 0,0083 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} = 0,075 \text{ квар.}$$

Втрати не перебільшують допустиме значення.

Таблиця 2 – Споживання електроенергії насосами за 2017, 2018 та 2019 роки.

Рік	Споживання, кВт*год	Тариф, грн за кВт*год	Сума, грн
2017	12791	1,4	17907
2018	14745	1,63	24034
2019	15008	1,68	25213

Таблиця 3 – Споживання електроенергії ліфтами за 2017, 2018 та 2019 роки.

Рік	Споживання, кВт*год	Тариф, грн за кВт*год	Сума, грн
2017	20785	1,40	29099
2018	23960	1,63	39055
2019	26907	1,68	45205

Таблиця 4 – Споживання сходової клітини за 2017, 2018 та 2019 роки.

Рік	Споживання, кВт*год	Тариф, грн за кВт*год	Сума, грн
2017	1003	1,4	1404
2018	5680	1,63	9258
2019	6650	1,68	11172



Рисунок 1 – Баланс споживання електричної енергії

Як ми бачимо з вище наведених таблиць електроспоживання за останні 3 роки, існує тенденція збільшення споживання електроенергії у ліфтовій установці. Проведений аудит вказує на те, що у ліфтах досить застаріле обладнання яке з плином часу вийде з ладу. Вантажний ліфт було капітально відремонтовано, та був замінений двигун через неякісне обладнання яке встановив забудовник.

Для зменшення електроспоживання пропонується заміна двигуна у пасажирському ліфті на двигун з кращими характеристиками. Шляхом моніторингу ринку послуг було обрано двигун АІР 100 S4 із наступними характеристиками: тип двигуна – асинхронний; кліматичне виконання – У3; клас енергоефективності – ІЕ2; клас захисту – ІР54; матеріал корпусу двигуна – чавун; кількість полюсів – 4. Потужність двигуна складає 3 кВт.

До таблиці 5 зведемо усі технічні характеристики обраного двигуна.

Таблиця 5– Технічні характеристики двигуна АІР100 S4.

Модель	Гц	n, об./хв	ККД, %	cosφ	I _н (А)	I _{пуск} / I _н	M _{max} / M _н	M _{пуск} / M _н	Вага, кг
АІР100S	50	1500	85	0,82	6,8	7,3	2,3	2,2	21

Розрахуємо економію від впровадження даного заходу та термін окупності. Вважаємо, що ліфт працює в пікові години навантаження 4 години зранку (з 7:00 до 11:00) та 5 годин ввечері (з 17:00 до 23:00) .

$$W_{\text{рік}} = (4 \cdot 1 + 1 \cdot 5) \cdot 350 = 3150 \text{ грн/рік}$$

Економія у натуральних одиницях:

$$\Delta W = 26907 - 3150 = 23757 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Економія коштів після впровадження даного заходу складе:

$$E = 23757 \cdot 1,68 = 39912 \text{ грн/рік}$$

Мабуть $\Delta W \cdot 1,68$

Встановлення електродвигуна разом із ціною на двигун буде коштувати 26000 грн.

Знаходимо термін окупності:

$$T_{\text{ок}}^{\text{пр}} = \frac{26000}{39912} = 0,65 \approx 8 \text{ місяців}.$$

Висновок

Виходячи з того, термін окупності є малим і витрати на закупівлю обладнання та виконання монтажних робіт є відносно невеликими - економічно є доцільним заміна двигуна пасажирського ліфта та встановлення доводчиків на входні двері поверхів.

Перелік використаних джерел

1. Енергетичні системи та комплекси. В.В.Дубровська, В.І Шкляр. – К.: НТУУ«КПІ», 2010. – 112 с.
2. БУДІВЕЛЬНА КЛІМАТОЛОГІЯ.. ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010.
3. ДБН В.2.5-23:2010.
- Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення
4. ДБН В.2.5-28-2006. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення.

УДК 532.5

Лептюхов І.І., аспірант, кафедра теплотехніки та енергозбереження, ІЕЕ

МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ПЛІВКИ РІДИНИ ГЛАДКОЮ ПОВЕРХНЕЮ НА БАЗІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Робота стосується CFD-моделювання в'язкісно-гравітаційної плівкової течії рідини на твердій поверхні з кутом нахилу 90° , за основу якого взято експериментальні дослідження. Моделювання проведено в програмному пакеті ANSYS з використанням вбудованих програм Fluent і CFD-Post. Отримано значення відсотку змоченої поверхні, яке порівнюється з експериментальними даними.

Спираючись на експериментальні дані потоку плівкової течії декількох авторів, виконано аналіз, пов'язаний з визначенням основних параметрів, що впливають на плівковий потік.

Результати моделювання зведено в табличну форму та проаналізовано. Отримані висновки свідчать про необхідність подальшого дослідження процесу гравітаційно-в'язкої плівкової течії рідини гладкою поверхнею з крайовим кутом змочування.

Ключові слова: плівкова течія, крайовий кут змочування, в'язкісно-гравітаційний потік, CFD-моделювання.

The work concerns CFD-modeling of viscous-gravitational film flow of a liquid on a solid surface with an angle of inclination of 90° , which is based on experimental studies. The simulation was performed in the ANSYS software package using the built-in Fluent and CFD-Post programs. The value of the percentage of wetted surface is obtained, which is compared with the experimental data.

Based on the experimental data of the film flow of several authors, the analysis was performed to determine the main parameters that affect the film flow.

The simulation results are summarized in tabular form and analyzed. The obtained conclusions indicate the need for further study of the process of gravitational-viscous film flow of a liquid with a smooth surface with a contact angle.

Keywords: film flow, contact angle, viscosity-gravity flow, CFD modeling.

Вступ

Спираючись на інформаційні технології, простіше, ефективніше та дешевше провести аналіз апарату за допомоги комп'ютерної моделі, не виконуючи його попереднього конструювання. Сучасне програмне забезпечення дозволяє створити моделі, які максимально наближені до реальності. Теоретичні спроби опису даного виду потоку були зроблені Хоблером [1-5], Хартлі [6], Трела [7, 8] та іншими дослідниками в даній галузі. Дана робота є продовженням попередніх робіт авторів [9] у напрямку CFD-моделювання плівкової течії рідини.

Мета роботи:

Моделювання потоку плівки рідини гладкою поверхнею на базі експериментальних досліджень, порівняння результатів та отримання стандартного набору вхідних даних для подальшого моделювання з крайовим кутом змочування.

Проведене дослідження має вивчити вплив яких саме параметрів має найбільший вклад

у розвиток в'язкісно-гравітаційного потоку плівки рідини. Використовуючи CFD-моделювання було виконано перевірку вбудованої теоретичної моделі у ANSYS. Модель порівнювалася з експериментальними даними [10] за допомоги відсотку змоченої поверхні установки. Дослідження проводиться з геометричною моделлю, яка представлена у вигляді каналу прямокутної форми. Отримані результати, які представляють собою аналіз експериментальних даних, було проаналізовано та визначено, які ж з фізичних параметрів мають найбільший вплив на в'язкісно-гравітаційний потік.

Матеріал і результати досліджень

Автор [10], з результатами публікації якого було проведено порівняння розробив модель для імітації руху водяної плівки по твердому тілу. Порівняння моделі плівки також проводилося з експериментальним вимірюванням товщини плівки, швидкості руху та масової витрати рідини. Отримано залежності для визначення товщини (1) та швидкості руху плівки рідини (2):

$$\delta = \left(\frac{3\nu^2}{g \sin \theta_{inc}} \right)^{1/3} Re_f^{1/3} \quad (1)$$

$$U = \left(\frac{\nu g \sin \theta_{inc}}{3} \right)^{1/3} Re_f^{2/3} \quad (2)$$

де: ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості води, м²/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

θ_{inc} – кут нахилу установки.

Експеримент виконувався з різними значеннями витрати рідини та з двома варіантами кута нахилу потоку до горизонту.

Основні параметри експериментального стенду можна побачити у табл. 1

Таблиця 1 – Основні параметри експериментальної установки за [10]

Розміри моделі	610 мм – ширина; 1220 мм – довжина
Матеріал стінки	Акрил
Середній кут змочування	75°
Нахил стінки	5° та 90°
Витрата рідини	50, 150, 200, 400 г/м/с
Ширина щілини входу рідини	1 мм

На основі даних параметрів було побудовано 3D модель установки у програмному комплексі ANSYS Fluent, сітку якої зображено на рис. 1.

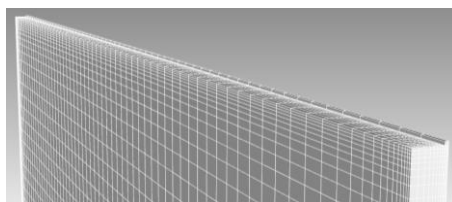


Рисунок 1 – Загальний вигляд розрахункової сітки моделі

Для проведення моделювання було обрано 2 варіанти вхідних даних: кут нахилу моделі – 90° з витратами 150 г/м/с та 400 г/м/с. Решта параметрів аналогічні тим, що вказані у табл.

1.

Результати експерименту

На рис. 2 зображено результати моделі автора (e-f) у порівнянні з експериментом (a-d).

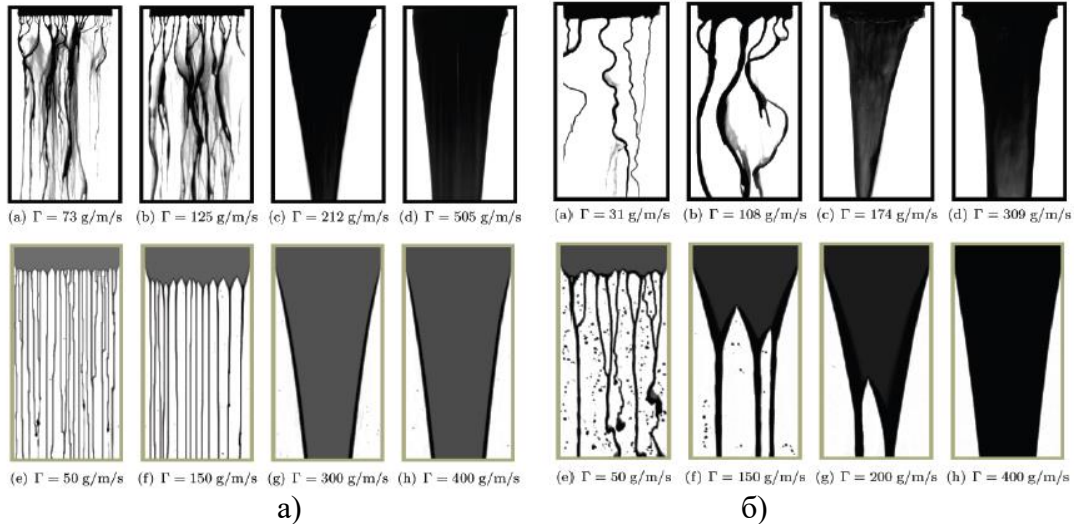


Рисунок 2 – Порівняння результатів моделювання з експериментом
а) нахил моделі 90°; б) нахил моделі 5°

Як видно з рис. 1, змочена поверхня відображена чорним кольором, а суха – білим. При малих витратах у обох випадках спостерігається часткове змочування поверхні, спричинене струмковим потоком. Через збільшення масової витрати до критичної точки та подальше її зростання поверхня стає змоченою. Перехід від струмкового потоку до нерозривного потоку плівки відбувається між 108 г/м/с та 174 г/м/с (рис. 2б), і 125 г/м/с та 212 г/м/с (рис. 2а).

Результати моделювання

На рис. 3 зображено результати моделювання у програмному комплексі ANSYS Fluent.

Для якісної перевірки результатів порівняно результати моделювання з даними експерименту за допомогою відсотка змоченої поверхні рідиною. Результати зведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняння даних моделювання з результатами автора [10]

Витрата, г/м/с	Модел ь [10]	Експеримент [10]	Модел ь
400	73%	69%	75,1%
150	18%	29%	28,2%

Похибки відносно експерименту – 2,8% та 8,8% для витрати 150 г/м/с та 400 г/м/с відповідно.

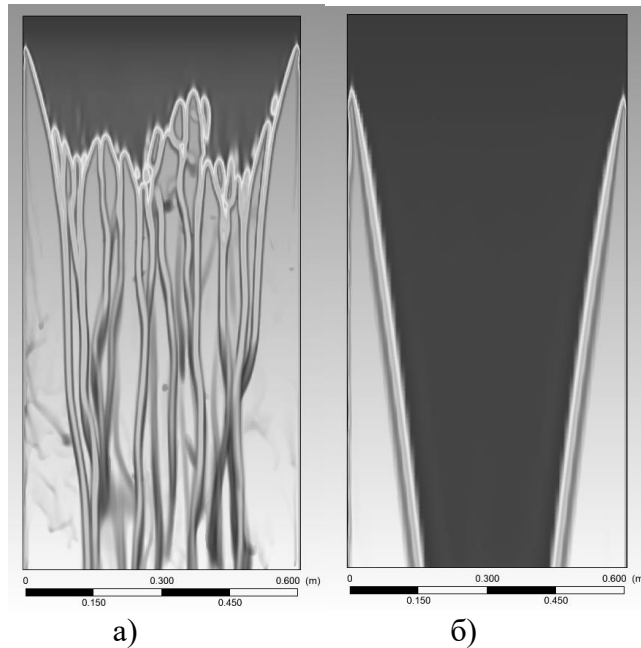


Рисунок 3 – Результати моделювання у ANSYS Fluent за різної витрати
а) 150 г/м/с; б) 400 г/м/с

Кут змочування

Автор у своїй роботі [10] не змінював кут змочування поверхні рідиною, який відіграє важливу роль у розтіканні рідини по поверхні на ряду з коефіцієнтом шорсткості поверхні.

Математична модель для даного параметру має значну вагу для подальшої роботи.

Оглянувши публікації не було знайдено моделей, але ряд науковців проводили експериментальні дослідження [11] [12] [13]. Вищезгадані автори також займались дослідженням $\Gamma_{\min}$ [кг/м/с] – критичної густини змочування, яка в свою чергу є також важливим параметром при проектуванні плівкових апаратів. Дана величина характеризує певну мінімальну масову витрату рідини, при якій буде відбуватися розрив плівки. Як видно з рис. 4а, було виконано дослідження, пов'язане з визначенням

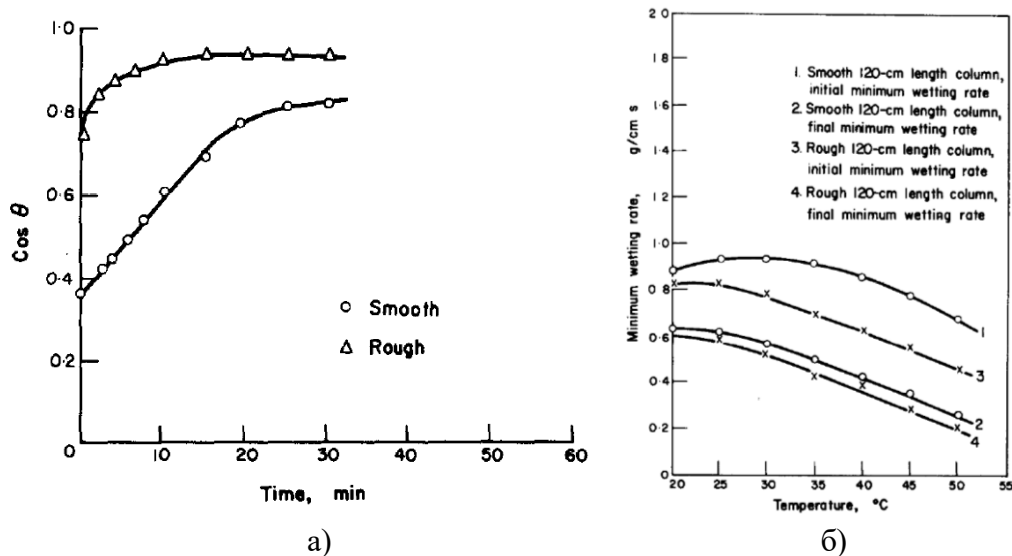


Рисунок 4 – Експериментальні дані кута (а) та критичної густини (б) змочування [11]
кута змочування сталюї пластини водою при шорсткій та гладкій поверхні. Спостерігається

зміна кута змочування у часі. Заміри виконувались за температури 20°C.

На рисунку 4б зображено залежність величини критичної густини змочування від температури плівки на гладкій та шорсткій поверхні.

Автор у своїй публікації [13] виконав огляд математичних моделей які були отримані різними вченими для параметру критичної густини змочування. Усі рівняння зведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Критична густина змочування

Workers	Equation		Basis of derivation of the Equation	Applicability
Hartley and Murgatroyd ³⁾	$\Gamma/\mu=0.803 (\rho\sigma^3/\mu^4g)^{0.2}$	(1)	Minimum total energy rate, theoretical	Case I, II
Ponter, Davies, Ross and Thornley ⁴⁾	$\Gamma/\mu=1.116 (1-\cos \theta)^{0.6} (\rho\sigma^3/\mu^4g)^{0.2}$	(2)	Momentum balance, theoretical	Case I, II
Hobler and Czajka ⁴⁾	$4\Gamma/\mu=0.6513 (1-\cos \theta)^{0.6} (\rho\sigma^3/\mu^4g)^{0.325}(\sin \beta)^{2/3}$	(3)	Correlation of experimental data, semitheoretical	Case II
Iijima and Kuzuoka ⁵⁾	$m\rho^2/\mu^{0.4}=0.11 \log(\sigma/7.0)$ [CGS]	(4)	Correlation of experimental data, empirical	Case I

Існує декілька математичних моделей для даного параметру.

Також розглянуто останню по хронології публікацію з подібною тематикою [14]. Автор досліджував власну експериментальну модель плівкової течії та порівнював її з математичними моделями вказаними у табл. 3. Було виведено рівняння для критичної густини змочування на базі досліджень [14]:

$$\Gamma_{\min} = 0.13((1 - \cos \theta)\sigma)^{0.764} \rho^{0.255} \mu^{-0.018} \quad (3)$$

Автор наголошує, що дана модель потребує додаткової перевірки.

Висновки

Виконавши моделювання отримано похибки з експериментом [10] 2,8% та 8,8% для витрати 150 г/м/с та 400 г/м/с відповідно. В подальшій роботі великий інтерес має дослідження впливу кута змочування на плівковий потік.

Розглянувши велику кількість математичних моделей для параметру критичної густини змочування можна зробити висновок, що досі немає уніфікованої моделі.

З вищезгаданих рівнянь отримано, що найбільший вплив на параметр критичної густини змочування має шорсткість поверхні, коефіцієнт поверхневого натягу та крайовий кут змочування поверхні рідиною.

Отримані результати свідчать про необхідність подальшого удосконалення як теоретичного, так і модельного опису процесу гравітаційно-в'язкої плівкової течії рідини гладкою поверхнею з кутом нахилу та крайовим кутом змочування.

Список використаної літератури

1. Hobler, T. Wetting minimum of a surface (in Polish). Chemia. Stosowana., Ser. B 1. 1964, pp.145-159.
2. Hobler, T., and J. Czajka. Experimental verification of the theory of minimum spraying of a surface (in Polish), Chemia Stosowana., Ser. 1965, pp.201-214.
3. Hobler, T., and J. Czajka. Minimum wetting of a flat surface (in Polish). Chemia Stosowana 2. 1968, pp.169-186.
4. Воронцов Е.Г., Тананайко Ю.М. Теплообмен в жидкостных пленках. – К.: Техніка. – 1972. – 196 с.

5. Кутепов А.М., Полянин А.Д., Запрянов З.Д., Вязьмин А.В., Казенин Д.А. Химическая гидродинамика: справочное пособие. – М.: Квантум. – 1996. – 336 с.
6. Hartley DE, Murgatroyd W. Criteria for the break-up of thin liquid layers flowing isothermally over solid surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1964, 7(9), pp.1003-1015.
7. Trela M. Minimum wetting rate for a decelerating liquid film. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 1988, 9(4), pp.415-420.
8. Trela M. A semi-theoretical model of stability of vertical falling liquid films. *Chemical Engineering Science*. 1994, 49(7), pp.1007-1013.
9. Лептюхов І.І., Баранюк О.В., Студенець В.П. Модель в'язкістно-гравітаційної течії водяної плівки на гладкій поверхні у середовищі ANSYS Fluent // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина», Київ, ІЕЕ, КІП ім. Ігоря Сікорського; 2018, с.177-184.
10. K. V. Meredith, A. Heather, J. de Vries & Y.Xin A numerical model for partially-wetted flow of thin liquid films. *FM Global, Research Division, USA OpenCFD, UK*, 2011.
11. A. B. Ponter, G. A. Davies, T. K. Ross and P. G. Thornley, The influence of mass transfer on liquid film breakdown, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 10(3), pp. 349-352, 1967.
12. Ponter, A.B. & Aswald, K.M., Minimum thickness of a liquid film flowing down a vertical surface—validity of Mikielewicz and Moszynski equation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 20(5), pp. 575 – 576, 1977.
13. Kazunori Watanabe, Tsuyoshi Munakata, Akira Matsuda, Minimum wetting rate on wetted-wall column. 1975.
14. K. R. Morison, Q. A. G. Worth, N. P. O'dea, Minimum wetting and distribution rates in falling film evaporators. *University of Canterbury, Christchurch, New Zealand*, 2006.

УДК 697.12

Мороз М.В. аспірант, Басок Б.І. член-кореспондент НАН України
Інститут технічної теплофізики НАН України

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ТЕРМОІЗОЛЯЦІЙНИХ ФАСАДНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті представлені результати експериментальних досліджень температурного стану приміщення при різних варіантах утеплювачів стінових огорожувальних конструкцій в реальних умовах. Отримані експериментальні дані дозволяють визначити вплив різних факторів на температуру повітря в приміщенні та на поверхні стінової конструкції.

Ключові слова: температурний стан, термореновація, огорожувальні конструкції, теплоізоляційні покриття

The article presents the results of experimental studies of the temperature state of the room with various options for insulation of wall envelopes in real conditions.

The obtained experimental data allow to determine the influence of various factors on the air temperature in the room and on the surface of the wall structure.

Keywords: temperature conditions, thermorenovation, building envelopes, thermal insulation coatings

Вступ

Збереження енергії та підвищення рівня теплового комфорту людини в будівлях є актуальною проблемою сучасного будівництва та являються одними з основних факторів забезпечення життєво необхідних санітарно-гігієнічних умов перебування людини у приміщенні. Вимоги до підвищення енергоефективності в будинках повинні забезпечуватися на всіх стадіях життєвого циклу будівлі, що знаходиться на стадії проектування, будівництва та обслуговування будівель.

Сьогодні зі стрімкою швидкістю розвиваються будівельні норми та правила, посилюються вимоги теплозахисту будинків і споруд. Як наслідок, житлові будівлі 1960-1980 рр. забудови перестали відповідати сучасним вимогам енергоефективності та теплозахисту. Відповідно до сучасних норм, а також з тим, що житлові будинки мають не тільки моральний, а й фізичний знос огорожувальних конструкцій і вузлів з'єднання їх між собою, все актуальнішими стають проблеми вивчення і поліпшення теплотехнічних показників цих елементів будівель. Тому технічні рішення щодо термомодернізації житлових будівель та споруд повинно ґрунтуватися на розумінні складних взаємопов'язаних теплофізичних процесів, які в них протікають. Одним з таких рішень є вибір теплофізичних покриттів з оптимальними теплотехнічними характеристиками, які будуть відповідати екологічним вимогам і вимогам соціального комфорту. Нині на вітчизняному ринку пропонується широка гамма теплоізоляційних матеріалів. У зв'язку з цим, необхідно мати перевірені дані про їх поведінку в реальних погодних умовах при довгостроковій експлуатації. Для розв'язання цього питання в Інституті технічної теплофізики НАН України була проведена поліваріантна термомодернізація зовнішніх огорожувальних конструкцій північної частини адміністративної будівлі ІТТФ НАНУ.

Мета та завдання

Метою даної роботи є експериментальні дослідження температурного стану приміщення при різних варіантах утеплювачів стінових огорожувальних конструкцій в реальних умовах тривалої експлуатації.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

– проведення заходів термомодернізації;
 – проведення довготривалих експериментальних досліджень у реальному часі з вимірюванням основних параметрів: температур поверхонь шарів ОК та повітря внутрішнього та зовнішнього середовища; значень густин теплових потоків через термомодернізовану стінову огорожувальну конструкцію (ОК);

– дослідження температурного стану приміщення при різних варіантах покриттів, визначення їх головних переваг і недоліків.

Об'єктом дослідження є теплоізолююча спроможність огорожувальних конструкцій будівлі корпусу №1 Інституту технічної теплофізики НАН України по вул. Булаховського, 2 (м. Київ), при встановленні на зовнішніх поверхнях огорож різноваріантних теплоізоляційних покриттів. Для виключення впливу даху без горища та підлоги без підвального приміщення, заходи проводилися на північній стороні другого поверху досліджуваної будівлі.

Матеріали і результати досліджень

З метою визначення найбільш ефективних з теплотехнічної та економічної точок зору варіантів теплозахисних покриттів застосовуються різні типи матеріалів на окремих ділянках зовнішніх поверхонь огорож які відрізняються за коефіцієнтами теплопровідності та іншими теплофізичними властивостями (Рис.1).

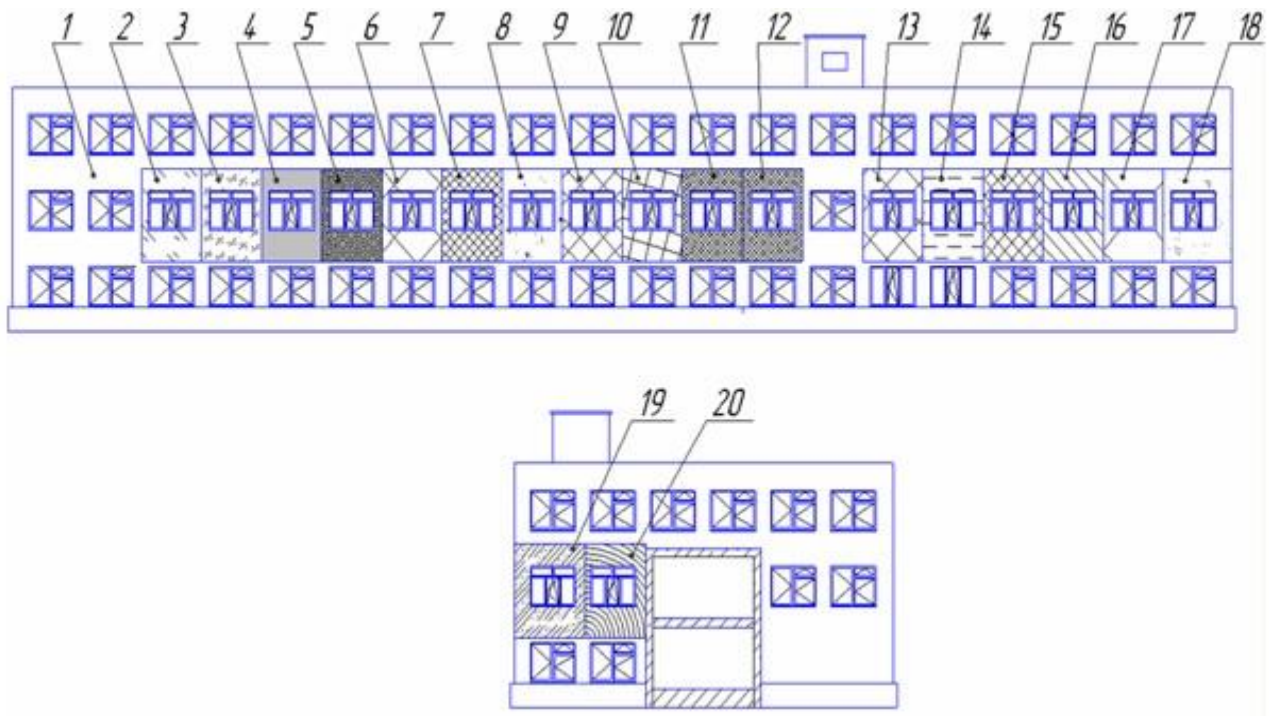


Рис. 1. Схема різноваріантної термомодернізації огорожувальних конструкцій частини поверху північного фасаду адміністративної будівлі: 1 – кімната 209; 2, 3 – кімната 208; 4 – кімната 207; 5 – кімната 206; 6, 7 – кімната 205; 8, 9 – кімнати 204, 204а; 10 – кімната 203; 11, 12 – кімнати загального користування; 13 – кімната 202; 14 – кімната 202а; 15 – кімната 201; 16, 17 – кімната 222; 18, 19, 20 – кімната 221.

В таблиці наведено теплоізоляційні матеріали, які використовувалися при термомодернізації, та їх теплофізичні властивості [1-3]:

№ кімнати	Варіант теплоізоляційного шару	Щільність, кг/м ³	Теплопровідність _{плост} , Вт/(м·К)
201	Пінополістирольні екструзійні плити Техноплекс («Техноніколь»)	26-35 кг	0,032 (при 25±5 °С)
202	Напилений пінополіуретан системи «Еластопор Н»	35	0,022 (при 25±5 °С)
202а	Пінополістирольні плити (ППС-35)	35	0,037 (при +25 °С)
203	Теплоізоляційні сендвіч-панелі зі скловатою (2 мм алюмінієва пластина - 100 мм шар скловати - 2 мм алюмінієва пластина)	130	0,35 (при 25±5 °С)
204	Скловата	130	0,35 (при 25±5 °С)
204а	Базальтова вата	131-159	0,038 (при +25 °С)
205	Базальтові плити (ліва сторона кімнати) та мати (права сторона) виробництва Чернівецького заводу теплоізоляційних матеріалів «РОТІС»	130	0,040 (при +25 °С)
206	Базальтова вата товщиною 100 мм	131-159	0,038 (при +25 °С)
207	Плити піноскла завтовшки 100 мм	110-150	0,045-0,052 (при +20 °С)
208	Полікарбонатний лист з щепленням всередині повітряним прошарком (ліва сторона) та скловата товщиною 100 мм (права сторона).	130	0,35 (при 25±5 °С)
209	Без теплоізоляційного покриття	-	-
221	Піноскло (північний фасад), вермікуліт-перлітова штукатурка «Тепловер» (ліва сторона торцевої стіни) та енергозберігаюча фарба «Ізоллат» (права сторона торцевої стіни).	110-150 350	0,045-0,052 (при +20 °С) 0,090 (при +20 °С)
222	Базальтова вата	зліва – 145 справа – 90	0,038 (при +25 °С)
МЗК	Пінополістирольні плити (ППС-15)	15	0,042 (при +25 °С)
МЗК	Пінополістирольні плити (ППС-25)	25	0,039 (при +25 °С)

Шляхом порівняльного аналізу літературних даних про теплотехнічні характеристики теплоізоляційних покриттів найбільш оптимальними з точки зору мінімізації тепловтрат можна утеплювачі з піноскла та базальтової вати з високою щільністю для варіанту утеплення скріпленої теплоізоляції, або базальтова вата низькою щільністю Чернівецького заводу теплоізоляційних матеріалів «РОТІС» використана для вентиляованого фасаду. Вказані матеріали характеризуються найбільш високими показниками з екологічної та пожежної безпеки, хоча за теплоізоляційною здатністю дещо поступаються органічним матеріалам, таким, як пінополістирол та пінополіуретан.

Для експериментального визначення залежності від погодних умов температурного стану будівельних конструкцій з шаром утеплювача застосовується вимірювальний комплекс, який включає в себе датчики, вторинні пристрої, конвектор та персональний комп'ютер, облаштований спеціальним програмним забезпеченням для подальшої обробки даних[4].

Кількісна оцінка тепловтрат стінових огорожувальних конструкцій визначається шляхом встановлення перетворювачів теплових потоків з вмонтованим платиновим термометром опору (ПТП-ПТО) та мідних термометрів опору ТСМ-205, які використовувалися для фіксації температурних показників. Дані датчики встановлені між

стіною та утеплювачем і на зовнішній поверхні утеплювача. Вони розташовувались практично на одній осі, перпендикулярній поверхні стіни таким чином, щоб уникнути впливу джерел теплоти та вологовиділення, а також припливних та витяжних отворів у центрі характерної термічно однорідної ділянки (Рис.2).



Рис. 2. Установка датчиків ПТП ПТО та ТСМ

Так як система працює в режимі постійної фіксації значень густин теплового потоку через термомодернізовану огорожувальну конструкцію, температур поверхонь шарів ОК та повітря внутрішнього та зовнішнього середовища, аналіз одержаної таким чином інформації за весь період дає можливість визначити ефективність різних теплоізоляційних матеріалів в плані зменшення тепловтрат через огорожі будинку та поліпшення температурних режимів кожного з приміщень. Значення температури та теплового потоку фіксувались та записувались через кожні 10 хвилин.

Результати експериментальних досліджень температурних характеристик стінових конструкцій, що утеплені різними теплоізоляційними матеріалами наведено на рис. 3-10. Експериментальні дані відносяться до періоду з 13 по 17 січня протягом 2015-2018рр.

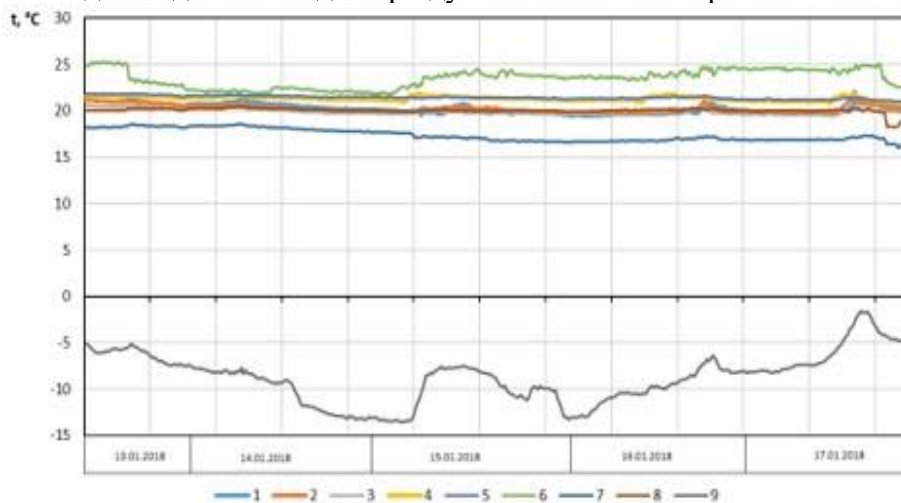


Рис. 3. Залежність від часу температури повітря всередині приміщень: 1 – кабінет (утеплювач – вермікуліт-перлітова штукатурка та піноскло); 2 – лабораторія (базальтова вата); 3 – кабінет (пінополістирольні плити щільністю 35 кг/м³); 4 – кабінет (пінополістирольні плити щільністю 25 кг/м³); 5 – кабінет (пінополістирольні екструзійні плити); 6 – місця загального користування; 7,8 – санітарно-побутові приміщення (пінополістирольні плити щільністю 15 кг/м³ та пінополіуретан); 9 – температура зовнішнього повітря

На рис. 3 представлено залежність від часу температури повітря всередині приміщень. Температура повітря всередині приміщення достатньо стабільна при зміні температури зовнішнього повітря в межах $-0,2 \dots -13,9$ °C. Як видно з графіку, при однаковій температурі зовнішнього повітря (крива 9) температури повітря в приміщеннях відрізняються. Для кабінетів та лабораторних приміщень змінюється у межах $+19,4 \dots +22,2$ °C, для соціально-побутових приміщень – $+16,0 \dots +20,4$ °C. Це пояснюється в першу чергу особливостями приміщення; відносною вологістю повітря та його швидкістю руху; кількістю теплових втрат; типу радіаторів та їх місткості. На температурний режим у приміщеннях також впливає

використання будівельних матеріалів із теплоізоляційними властивостями під час проведення реконструкцій, ремонтів та проведення заходів із збереження тепла (скління та утеплення вікон, дверей, ліквідація щілин). Згідно наведено графіку, найбільша температура повітря в приміщенні прослідковується в кабінетах, де в ролі утеплювачів застосовуються пінополістирольніекструзійні плити (крива 5) та ППС-25 (крива 4). Ці матеріали характеризуються високою міцністю і жорсткістю, низьким водопоглинанням і довговічністю.

На рис. 4-9 представлено залежності від часу температурних характеристик приміщення та стінової конструкції, а саме: 1 – температури повітря всередині приміщення; 2 – температури на внутрішній поверхні зовнішньоїстіни; 3 – температури зовнішньої поверхні під утеплювачем; 4 – температури зовнішньої поверхні утеплювача; 5 – температури зовнішнього повітряного середовища.

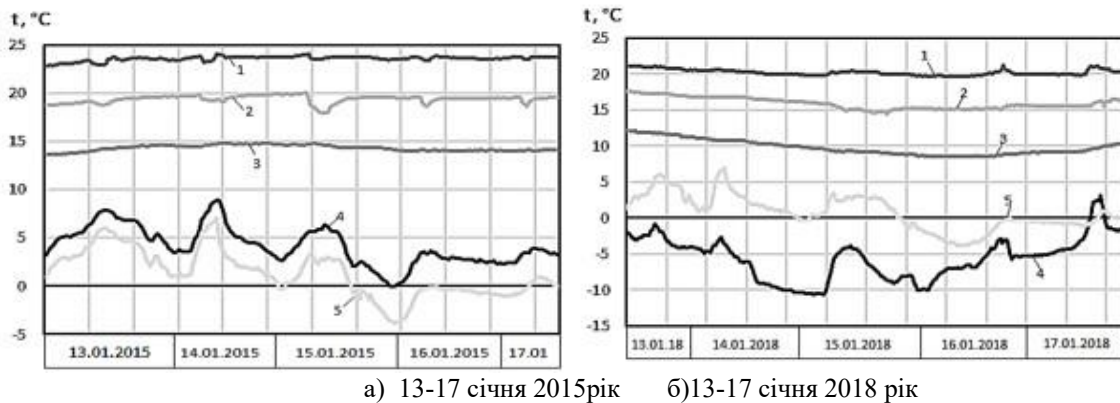


Рис. 4. Залежність від часу температурних характеристик приміщення і стінової конструкції при використанні вермікуліт-перлітової штукатурки в якості теплоізолюючого матеріалу

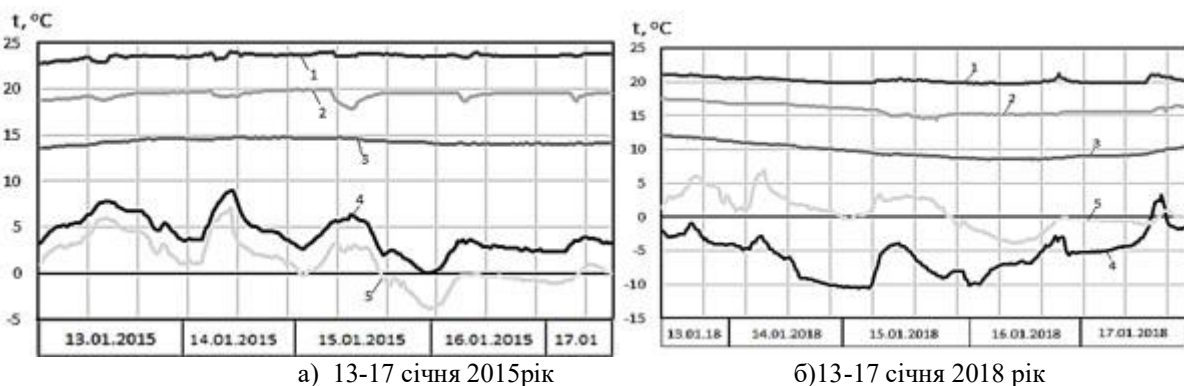


Рис. 5. Залежність від часу температурних характеристик приміщення і стінової конструкції при використанні піногазоскла в якості теплоізолюючого матеріалу

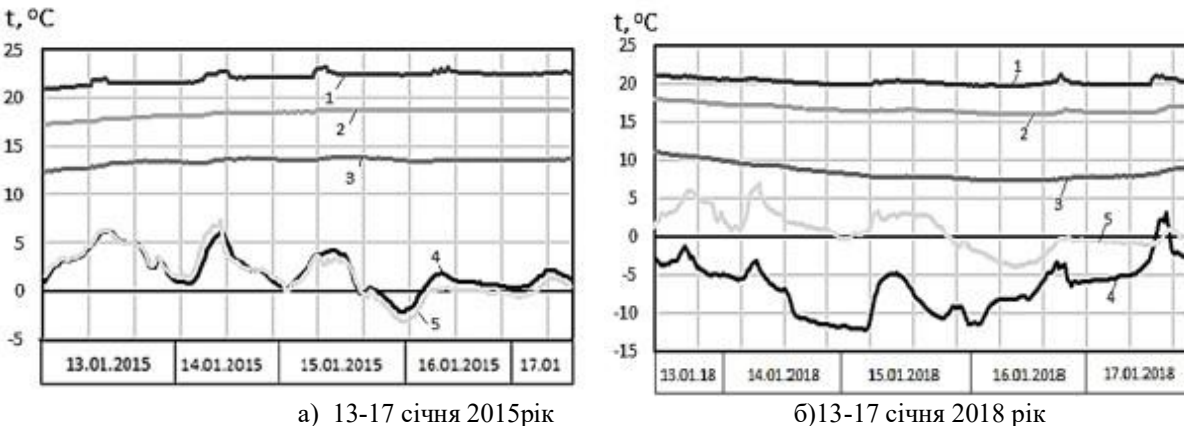


Рис. 6. Залежність від часу температурних характеристик приміщення і стінової конструкції при використанні базальтової вати в якості теплоізолюючого матеріалу

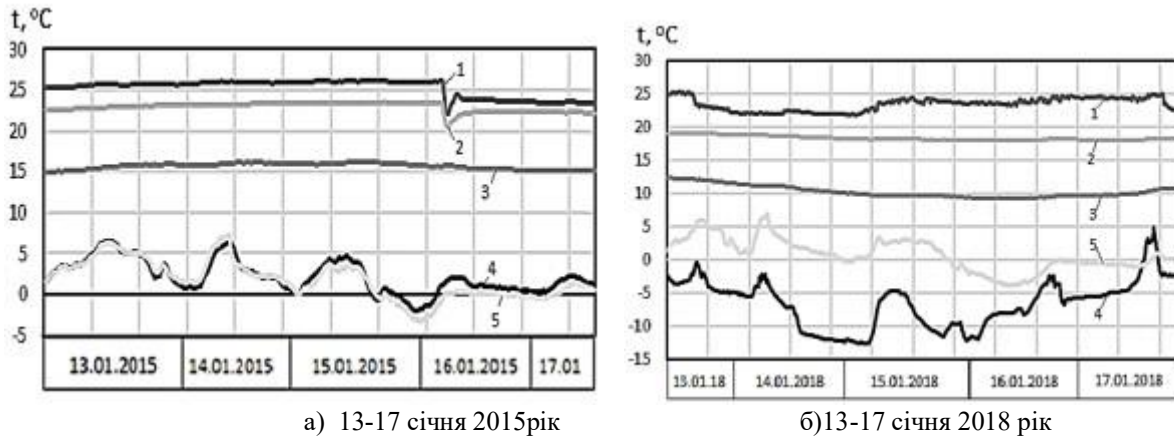


Рис. 7. Залежність від часу температурних характеристик приміщення і стінової конструкції при використанні пінополістирольніекструзійні плити в якості теплоізолюючого матеріалу

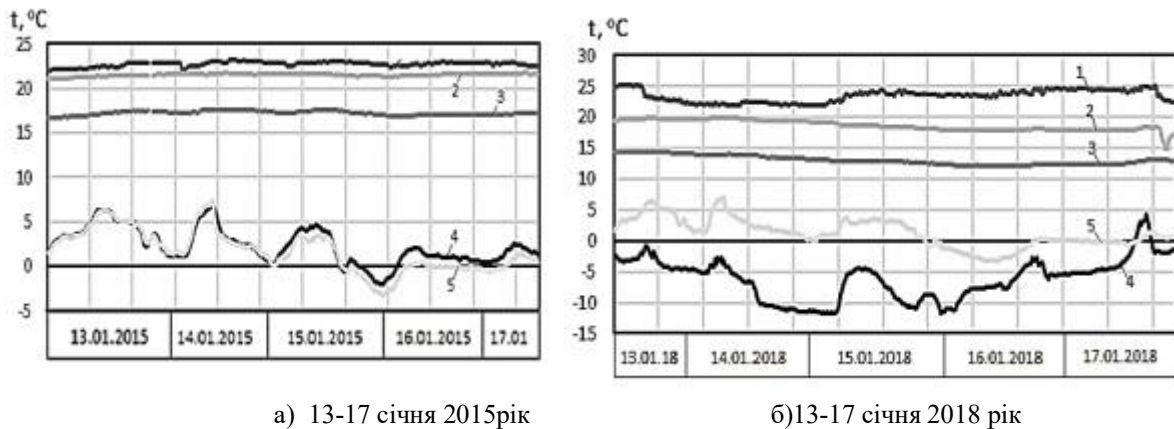


Рис. 8. Залежність від часу температурних характеристик приміщення і стінової конструкції при використанні пінополістирольні плити в якості теплоізолюючого матеріалу

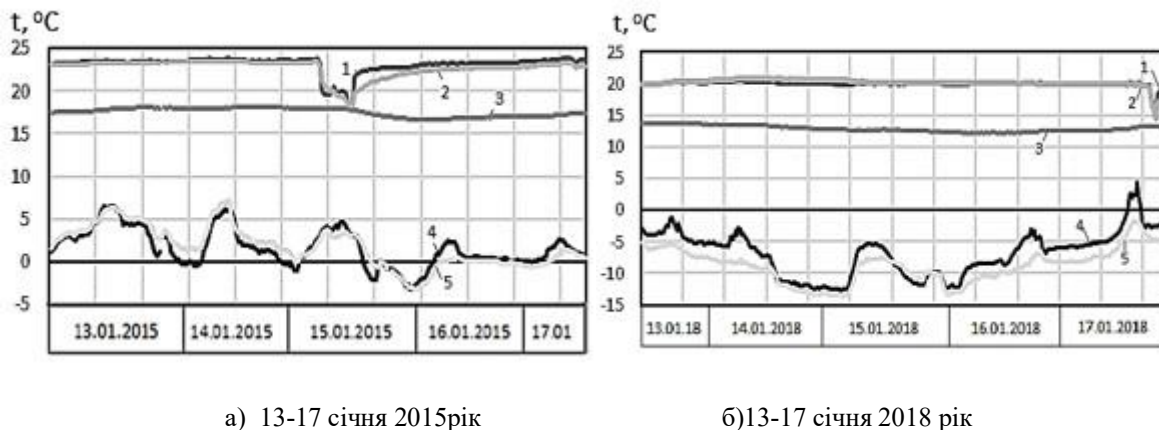


Рис. 9. Залежність від часу температурних характеристик приміщення і стінової конструкції при використанні пінополіуретану в якості теплоізолюючого матеріалу

Згідно з наведеними графіками температура на зовнішній поверхні утеплювача змінюється майже синхронно з температурою зовнішнього повітря. Різниця між цими значеннями температури змінюється в межах $\Delta t = -1,5^{\circ}\text{C} \dots +2,2^{\circ}\text{C}$ (на період 2015 року) та $\Delta t = -11,7^{\circ}\text{C} \dots +6,4^{\circ}\text{C}$ (на період 2018 року). Температура поверхні утеплювача у цілому вища, ніж температура зовнішнього повітря. Якщо порівняти графіки, можна зробити висновок, що при інтенсивному зростанні температури зовнішнього повітря температура поверхні

утеплювача, внаслідок теплової інерції стіни з утеплювачем, виявилася нижчою, ніж температура повітря.

Також, з графіків видно, що при незначній зміні температури зовнішнього повітря, температура повітря в приміщенні (крива 1) не суттєво відрізняється від температури повітря на внутрішній стіні (крива 2). Температура внутрішньої поверхні утеплювача (крива 3) вища, ніж температура зовнішньої поверхні утеплювача (крива 4) і змінюється в меншому інтервалі ніж температура на поверхні утеплювача. Як видно з наведених експериментальних результатів, при тривалій експлуатації теплоізоляційного шару, поведінка температурних показників змінюється при однаковій температурі зовнішнього повітря. При температурі зовнішнього повітря $t=+1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.7) різниця температур в приміщенні складає $3,4^{\circ}\text{C}$, а різниця повітря під утеплювачем – $5,1^{\circ}\text{C}$. Також прослідковується зменшення різниці між температурою зовнішнього повітря (5) та температурою під утеплювачем (3). Це пояснюється вологісним режимом всередині теплоізоляційного матеріалу та його паропроникністю. Волога потрапляє всередину матеріалів з приміщення через процеси дифузії водяної пари та через процеси атмосферного зволоження. Збільшення вологи, у свою чергу, приводить до зміни теплопровідності а зменшення строку експлуатації матеріалу.

Для запобігання накопичення вологи в стіні з полімерним утеплювачем необхідно виключити конденсацію пари на межі стіни та утеплювача. Для цього необхідно забезпечити виконання умови, що опір теплопередачі шару утеплювача буде помітно більше, ніж у стіни.

Надалі, за отриманими даними вимірювань густин теплових потоків та температур будуть визначатись тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції на кожній ділянці огорож з окремим утеплювачем та визначення коефіцієнту теплопровідності теплоізоляційного шару конструкції, а також відповідне значення термічного опору. Порівняння цих показників дасть змогу визначити експериментальним шляхом найбільш оптимальні з теплотехнічної та економічної точок зору варіанти утеплення.

Висновки

Теплоізоляція фасадів будівель – важлива частина сучасної енергетики, тому її вибір і застосування – важлива проблема, яка потребує вирішення. Особливе місце у розв'язанні проблеми енергозбереження відводиться зовнішнім стінам будівель, теплотехнічні характеристики яких не відповідають необхідному рівню теплозахисту. Комплекс заходів з утеплення будівлі дозволяє взимку не лише економити енергію, але й підвищує комфорт шляхом підвищення температури повітря й стін, уникнення потоків повітря із зовні.

З результатів експериментальних досліджень випливає, що додатковий шар утеплювача на зовнішній поверхні опорної стінової конструкції сприяє як підвищенню температури цієї поверхні, так і зменшенню діапазону її коливань при суттєвій зміні температури навколишнього середовища.

Також при тривалій експлуатації, теплоізоляційні матеріали постійно піддаються сезонним температурним циклічним впливам та перебувають в деякому зволоженому стані. Це призводить до погіршення теплофізичних характеристик цих матеріалів, особливо коефіцієнта теплопровідності. Цей вплив для різних теплоізоляційних матеріалів та різних густин виробів може сильно відрізнятися. Тому дані впливи потрібно враховувати при використанні теплоізоляційного матеріалу.

Бібліографічний список:

1. «Теплоізоляція поліуретановими пінами для наплення «Еластопор Н» – [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.elastogran.com.
2. Альбом технічних рішень теплоізоляції огорожувальних конструкцій житлових, громадських та промислових будинків на основі виробів з піноскла виробництва ТОВ «НПП Технологія» /Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» ТОВ «НПП Технологія». – Київ, 2011 – 122с.

3.[Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://tehnonikol.com.ua/>.

4. Різноваріантнатормореновація огорожувальних конструкцій частини поверху існуючої адміністративної будівлі та моніторинг тепловтрат при її тривалій експлуатації / Б.І. Басок, Б.В. Давиденко, С.М. Гончарук // Наука та інновації. — 2013. — Т. 9, № 2. — С. 18-21. — укр.

УДК 621.3

Наумчук О.С., Яценко О.І., Дешко В.І.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ БУДІВЛЯМИ

Анотація. В статті подано варіанти економічної оцінки заходів енергозбереження на прикладі конкретної будівлі в м. Київ та проведено порівняння між методами економічного розрахунку.

Ключові слова. Енергозбереження, енергопотреба, енергоефективність, економічний ефект, економія.

Naumchuk O.S., Yatsenko O.I., Deshko V.I.

FEATURES OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF ENERGY CONSUMPTION BY BUILDINGS

Abstract. The article presents options for the economic evaluation of energy saving measures on the example of a particular building in Kiev. A comparison is made between the methods of economic calculation.

Keywords. Energy saving, energy consumption, energy efficiency, economic effect, economy.

Вступ. На даний момент, коли тема збереження викопних ресурсів та забезпечення виробництва чистої енергії [1] є як ніколи актуальною, все більша увага приділяється розвитку у сфері енергозбереження та енергоменеджменту. Більшість господарств, підприємств та громадських установ зацікавлені у зменшенні витрат за використану енергію та якісну оцінку споживання енергії. Величезна кількість іноземних праць щодо аналізу енергоспоживання [2] та впливу різноманітних факторів на витрати енергії [3] дасть змогу, в подальшому, порівняти методологію та результати досліджень.

Завдання. 1. Розрахунок енергопотреби та енергоспоживання конкретної будівлі згідно [4].

2. Розрахунок економічних витрат згідно [4] та [5].

3. Порівняння методів оцінки економічних витрат.

Мета дослідження. Порівняння початкових економічних витрат з економічними витратами протягом життєвого циклу проекту.

Методи дослідження. До основних загальнонаукових методів дослідження, які використані, відносяться: логічний та формально логічний методи; метод порівняння, узагальнення, математичний.

Теоретико - інформаційну основу становлять Державні стандарти України та Європи у сфері енергетики та енергоефективності, матеріали огляду розрахункового об'єкту.

Результати дослідження. Аналіз будівлі з метою підвищення її енергоефективності та досягнення економії відбувається в декілька етапів:

1. Визначення енергопотреби та енергоспоживання згідно [4].
2. Порівняння фактичних даних з розрахунковими.
3. Визначення енергетичної ефективності заходу, що дасть можливість зекономити.
4. Визначення економічного ефекту запропонованого заходу.
5. Аналіз чутливості проекту.

Виконання поставлених задач виконується на прикладі розрахунку багатоповерхової будівлі (14 поверхів) у м. Київ. Вихідні дані для розрахунку:

- Місто – Київ
- Кількість поверхів – 14
- Рік побудови – 1972

- Опалювальна площа – 14892 м²
- Огороджувальні конструкції не утеплені.
- 82% світлопрозорих конструкцій замінено на енергоефективні.
- Система теплопостачання – централізована. Схема приєднання – незалежна з ІТП.
- Система опалення – однотрубна, з нижньою подачею теплоносія

Для нормального та сталого функціонування системи опалення будівлі загальна кількість теплоносія повинна розподілятися по паралельних циркуляційних контурах таким чином, щоб втрати тиску в контурах були рівні між собою. Тож для розподілу теплоносія відповідно до теплових навантажень циркуляційних контурів системи опалення, необхідно виконати гідравлічне балансування за рахунок забезпечення однакових втрат тиску в контурах.

Гідравлічне балансування системи опалення дозволить нормалізувати температуру в приміщеннях будівлі, покращить комфортні умови перебування людей, а також дозволить зменшити перевитрати теплової енергії.[6],[7]

Також на радіаторах системи опалення передбачається встановлення термостатичних радіаторних регуляторів. Терморегулятори опалення встановлюються безпосередньо на опалювальному пристрої або перед ним на трубопроводі, що подає в пристрій теплоносії.

В рамках реалізації заходу передбачається встановлення автоматичних балансувальних клапанів на 64 стояки системи опалення, а також термостатичних клапанів з термоголовками на 252 радіатори системи опалення.

Розрахунок ефективності запропонованого заходу виконано згідно [4]. Результати розрахунку представлено у таблиці 1.

Таблиця 1. Енергетичні показники реалізації заходу для будівлі

Розрахункове енергоспоживання будівлі до впровадження заходу, кВт·год	1 568077
Розрахункове енергоспоживання будівлі до впровадження заходу, кВт·год	1 508928
Економія, кВт·год	59149
Економія, %	3,77

*Примітка. Розрахунки виконано у відповідності з [4]

Загальні витрати на впровадження проекту, розраховані згідно [4], наведені у таблиці 2.

Таблиця 2. Витрати коштів на впровадження проекту

	Кількість обладнання, шт	Вартість обладнання, грн/шт	Монтаж обладнання, грн/шт	Загальна вартість заходу, грн
Балансувальні клапани та монтажне обладнання	64	3656	500	265 984
Клапан для однотрубноі системи опалення, dn20	252	843,6	450	326 088
Радіаторні терморегулятори	252	490,8	0	123 480
Загальна вартість заходу, грн				715 552

Загальна вартість заходу, розрахована згідно [4], являє собою витрати на впровадження проекту на момент вводу в експлуатацію. Відповідно до [5], вартість проекту доцільно розраховувати з урахуванням життєвого циклу систем, які включені у проект. Вартість життєвого циклу проекту є необхідною при залученні інвестиційних коштів, оскільки дана величина дає повне уявлення про затрати на увесь період експлуатації. Результати розрахунку

вартості життєвого циклу вищевказаного заходу наведено у таблиці 3. Варто зазначити, що розрахована величина враховує початкові інвестиції в проект, витрати на період експлуатації кожного елементу системи [8], тривалість експлуатації та кількість замін елементів системи протягом вказаного періоду експлуатації.

Таблиця 3. Вартість проекту енергоефективності з урахуванням життєвого циклу системи

	Кількість обладнання, шт	Вартість обладнання, грн/шт	Монтаж обладнання, грн/шт	Кінцева вартість, грн
Балансувальні клапани та монтажне обладнання	64	3656	500	467 244
Клапан для одноконтурної системи опалення, dn20	252	843,6	450	572 828
Радіаторні терморегулятори	252	490,8	0	216 900
Загальна вартість заходу, грн				1 256 972

Величина вартості проекту, розрахована згідно [4] та [5] є загальноприйнятою для конкретних умов та може бути використана за попередньою домовленістю з інвесторами.

При необхідності загальної економічної оцінки, коли розглядається довготривалий період інвестування та експлуатації декількох систем одночасно, доцільно використовувати результат, отриманий згідно [5].

Висновок

Економічна оцінка заходів енергоефективності є одним із ключових параметрів при прийнятті рішення щодо впровадження такого заходу на об'єкті. Даний параметр дає змогу оцінити чутливість проекту (термін окупності при зміні ставки дисконтування) та визначити доцільність його впровадження.

Аналізуючи різницю величини економічних витрат на впровадження заходу, варто зазначити суттєву відмінність двох методів розрахунку. Розглянуті у роботі методи економічної оцінки заходу, що дозволять економити енергію, дозволяють оцінити величину витрат на момент впровадження заходу (вартість монтажу та обладнання) та протягом усього життєвого циклу системи (включаючи початкову вартість, вартість з урахуванням зміни коштів у часі, вартість з урахуванням кількості систем, вартість з урахуванням числа заміни елементів систем).

Перелік посилань

1. Цілі сталого розвитку ООН [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://radnyk.org/noviny/czili-stalogo-rozvytku-onn/>.
2. Explore energy data by category, indicator, country or region [Електронний ресурс] // Data and statistics – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy>.
3. Копцев А. И. Основные факторы, формирующие эффективность производства электроэнергии / А. И. Копцев. // Оренбургский государственный университет. – С. 37–42.
4. ДСТУ А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. // Мінрегіон України. – 2015.
5. ДСТУ Б EN 15459:2014 Енергетична ефективність будівель. Процедура економічної оцінки енергетичних систем будівлі.

6. Любарець О. П. Проектування систем водяного опалення / О. П. Любарець, О. М. Зайцев, В. О. Любарець. – Відень - Київ - Сімферополь, 2010. – 200 с.
7. Наказ Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>.
8. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. // Мінрегіонбуд України. – 2013.

UDC 691.1

Zekeriya Gumus

Heat engineering and energy saving department
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**COMPARISON OF BUILDING ENERGY PERFORMANCE NORMS IN TURKEY AND UKRAINE**

The paper presents the current state of building energy performance norms in Turkey and Ukraine with regards to EPBD and green building certification systems. The two most important things to be considered are building energy modelling techniques and creation of local norms for implementation of nearly zero energy building (nZEB) concept. In this case building energy modelling (BEM) using dynamic approach can be a powerful instrument for creating the reference buildings of each use type in order to obtain quantitative and economically justified performance indicators for both countries.

Key words: *building energy performance, building performance certificate, nZEB, energy modelling, green buildings*

Introduction. Energy consumption, energy conservation and energy efficiency in buildings have been important research areas for countries due to increasing energy demand, lack of the natural sources caused by use of fossil fuel and environmental issues. The contribution of building to environmental problems is increasing significantly. A considerable amount of energy is being used for the heating and cooling of a building to maintain its resident's thermal comfort. Turkey and Ukraine have a large energy potential for CO₂ emissions reduction in commercial, public and residential buildings with the use of sustainable building design and renewable energy systems. Both countries are on their way to the implementation of Energy Performance Building Directive (EPBD) and respective European standards and norms.

Purpose and objectives of the research. One of the objectives of the paper is to analyze the current state of building energy performance norms in Turkey and Ukraine. The other one is to see how building energy modelling using dynamic approach and sophisticated software products can help in implementation of advanced building energy performance approaches such as nZEB for both countries and green building certification systems.

Research materials and results.

Regulations regarding energy conservation and saving issues are not sufficient or detailed in Turkey [1]. Due to Turkey's application for EU membership, in recent years the country has reviewed and followed EU regulations and directives for member countries. Many legislative actions and energy directives are going to be/are harmonized and adapted from EU rules about energy efficiency in buildings.

Regulations regarding building energy performance in Ukraine have been reviewed and are continuously being improved during the last years to follow the EU regulations and directives. A lot of European Norms of Energy Performance of Building series are adapted as local standards and norms.

In Turkey and Ukraine there is a set of standards and laws that regulate the building energy performance, the short information on some of them is presented in the Figures 1 and 2 below [2-7]. As we can see Standards on building thermal insulation have some similar features, as building envelope regulations, but Ukrainian norms takes into account also cooling and DHW in addition to heating. The idea behind the EPC is similar in both countries.

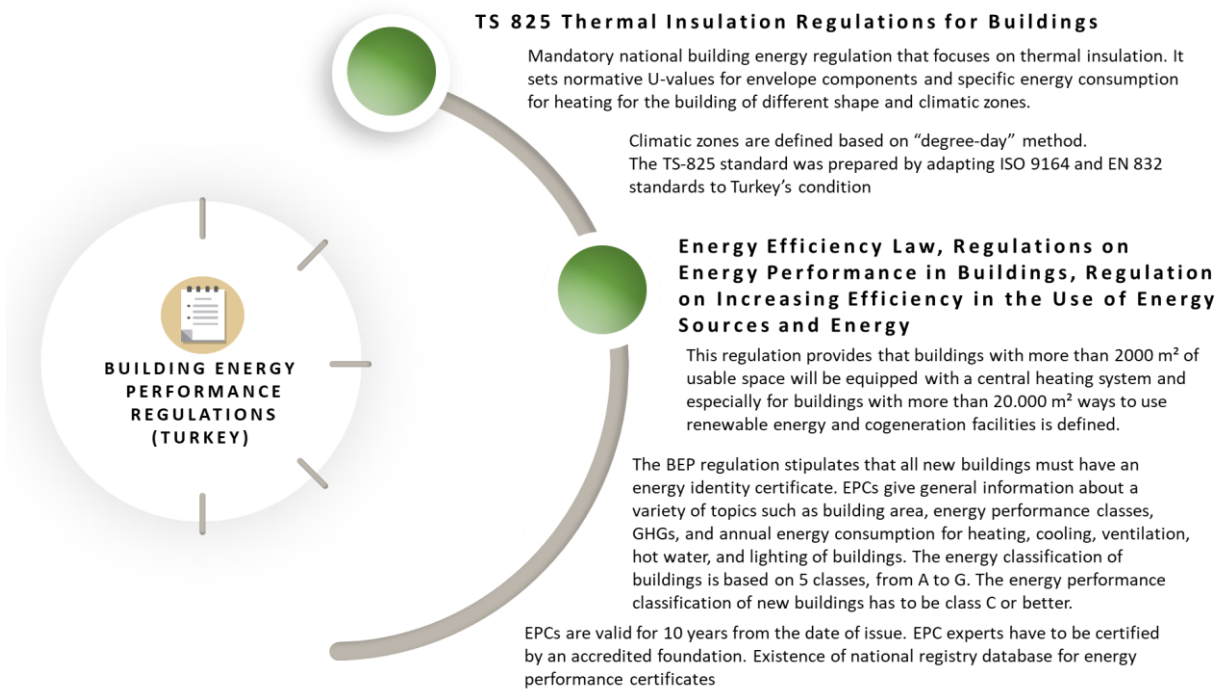


Figure 1 – Relevant building energy performance regulations in Turkey

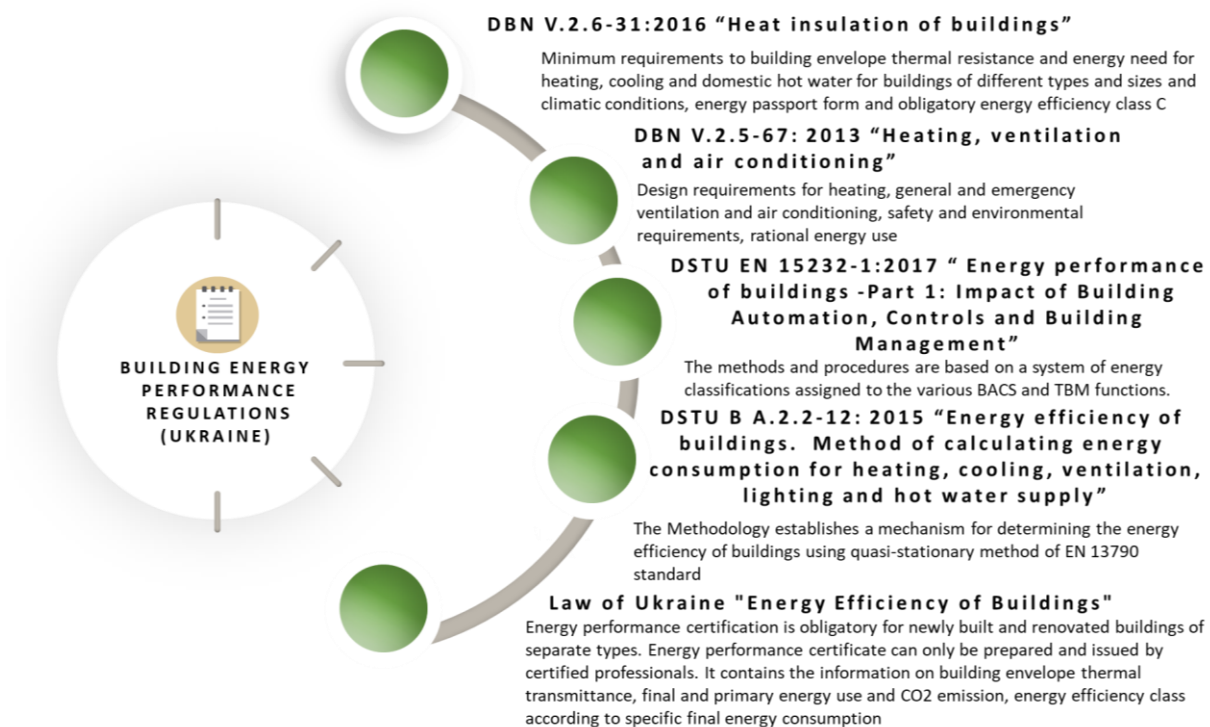


Figure 2 – Relevant building energy performance regulations in Ukraine

The EPBD requires all new buildings in Member States from 2021 (public buildings from 2019) to be nearly zero-energy buildings (nZEB) [8]. According to Article 2 "nearly zero-energy building" means a building that has a very high energy performance. The nearly zero or very low amount of energy required should be covered to a very significant extent from renewable sources, including sources produced on-site or nearby.

As concrete numeric thresholds or ranges are not defined in the EPBD, these requirements leave

room for interpretation and thus allow Member States to define their nearly zero-energy buildings (NZEB) in a flexible way, taking into account their country-specific climate conditions, primary energy factors, ambition levels, calculation methodologies and building traditions. This is also the main reason why existing nearly zero-energy buildings (NZEB) definitions differ significantly from country to country. Among the most frequently used performance indicators are:

- Energy demand/final energy use
- Primary energy and CO₂ emissions
- Renewable energy share.

The other approach that can be used for building performance evaluation is green building certification systems. The most frequently used ones are LEED, BREEAM, DGBN, etc. [9, 10]. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) is a voluntary certification system developed in the UK. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) was developed by USGBC in the USA. Both systems have assessment category that is related to building energy use and efficiency. The modelling is done using ASHRAE Standard 90.1-2013 for BREEAM International New Construction 2016 and ASHRAE Standard 90.1-2010 for LEED BD+C v4 certification schemes.

BREEAM takes into consideration the following building metrics:

- The building's heating and cooling energy demand
- The building's primary energy consumption
- The total resulting CO₂ emissions

Three scenarios can be considered

- Notional building (NCM or Appendix G, ASHRAE Standard 90.1-2013)
- Actual or as-designed building
- BREEAM best practice building

LEED takes into consideration the following building metrics:

- Performance rating method / Energy cost reduction (%)
- Percentage of renewable energy

Three scenarios can be considered

- Baseline building (Appendix G, ASHRAE Standard 90.1-2010)
- Actual or as-designed building
- Renewable energy systems modelled within actual building model using the same simulation software

In order to perform the analysis for creation of nZEB concept or during the green building certification process dynamic building energy modelling (BEM) should be applied. The most developed and frequently used BEM software are DOE-2, eQuest, EnergyPlus, TRNSYS, etc. Those programs use the International Weather for Energy Calculations (IWEC) files that are available for three locations in Turkey (Ankara, Istanbul, Izmir) and two locations in Ukraine (Kyiv, Odesa) [11]. The meteorological data for other locations can be obtained from Meteonorm web-site on a paid basis [12]. BEM can be used for/during:

- Pre-design phase (before we put pencil to paper) to optimize energy use or to compare design options
- Green building certification process (BREEAM, LEED etc.)
- Advanced energy audit
- Renovation planning
- LCA and LCC
- Daylight modelling
- Thermal comfort modelling (PMV, PPD)

Conclusion. There is still a gap between Turkish and Ukrainian and European Norms or international approaches regarding the building energy performance. The two most important things

to be considered are building energy modelling techniques and creation of local norms for implementation of nZEB concept. In this case building energy modelling using dynamic approach can be a powerful instrument for creating the reference buildings of each use type in order to obtain quantitative and economically justified performance indicators that can be used for nZEB concept in both countries. The next steps will include the choose of the office and/or residential building projects to be used as reference ones and analysis of building energy modelling results with different envelope solutions, HVAC design options and renewable energy systems in different climates within Ukraine and Turkey.

References:

8. Esiyok U. Energy consumption and thermal performance of typical residential buildings in Turkey. Dissertation for the Degree of Doctor of Science in Engineering. 2006. University of Dortmund
9. Yiğit K., Acarkan B. Assessment of energy performance certificate systems: a case study for residential buildings in Turkey. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences 2016, 24, 4839 – 4848
10. Sağlam, N.G.; Yılmaz, A.Z. Progress towards EPBD Recast Targets in Turkey: Application of Cost-optimality Calculations to a Residential Building. Energy Procedia 2015, 78, 973–978
11. Teplova izoliatsiia budivel [Thermal insulation of buildings]. (2016) DBN V.2.6–31:2016. Kyiv: Minrehion Ukrainy [in Ukrainian].
12. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel. [About the energy efficiency of buildings]. Law of Ukraine (22.06.2017) №2118-VIII. Kyiv: Holos Ukrainy [in Ukrainian].
13. Enerhoefektyvnist budivel. Rozrakhunok enerhospozhyvannia pry opalenni ta okholodzhenni [Energy efficiency of buildings. Calculation of energy consumption for heating and cooling]. (2011) DSTU B EN ISO 13790:2011 from 1 January 2013. Kyiv: NDIBK [in Ukrainian].
14. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvitlenni ta hariachomu vodopostachanni [Energy performance of buildings. Method for calculation of energy use for space heating, cooling, ventilation, lighting and domestic hot water]. (2015) DSTU-N B A.2.2-12: 2015 – Kyiv: Minrehion Ukrainy [in Ukrainian].
15. https://ec.europa.eu/energy/content/nzeb-24_en
16. E. A. Timoshenko & N. V. Savitskiy (2016). Perspektivy sertifikatsii zhilykh zdaniy po "zelenym" standartam v Ukraine [Prospects for certification of buildings according to the “green” standards in Ukraine]. Dnipro: Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia_2016_4_5 [in Russian].
17. Dmytrochenkova E.I. (2018). Analiz mizhnarodnykh system sertyfikatsii «zelenoho» budvinytstva [Analysis of international building certification systems of the “green” construction]. Kyiv: Naukovo – praktychnyi zhurnal «Ekolohichni nauky». Retrieved from: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_1/29.pdf [in Ukrainian].
18. <https://energyplus.net/weather>
19. <https://meteonorm.com/en/>

СЕКЦІЯ 3.
ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

УДК 62-505

Набок С.С., магістрант,
Торопов А.В., к.т.н., доц., науковий керівник
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

КВАЗІОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ ПОЗИЦІОНУВАННЯ «ЛІТЮЧОЇ» ПИЛИ

Анотація

В роботі здійснена процедура аналітичного конструювання оптимального регулятора із використанням концепції метода Пірсона. Запропонована функціональна схема системи керування із використанням програмованого логічного контролера із Codesys 3.5. Здійснено дослідження системи із синтезованим регулятором методом математичного моделювання із використанням програмного середовища MATLAB, здійснено порівняння із класичним LQR - регулятором.

Ключові слова: квазіоптимальний регулятор, метод Пірсона, програмований логічний контролер, аналітичне конструювання, «літуча» пила.

Abstract

The procedure of analytical design of the optimal controller using the concept of the Pearson method is carried out. Functional diagram of a control system using a programmable logic controller with Codesys 3.5 is proposed. The system with the synthesized controller was investigated by the method of mathematical modeling using the MATLAB software environment; the comparison with the classical LQR controller was made.

Keywords: quasi-optimal controller, Pearson method, programmable logic controller, analytical design, "flying" saw.

Вступ. В теперішній час все більш актуальною стає задача підвищення продуктивності промислового обладнання. Одним з напрямів, де ця задача є найбільш актуальною є відріз «на льоту» без зупинки вихідного матеріалу без зниження точності різку. Так, наприклад, для «літучої» пили, що забезпечує відріз металевих труб похибка відпрацювання положення не повинна перевищувати 0,5мм при змінному завданні за положенням. При цьому завдання за положенням змінюється зі швидкістю вище 1м/с внаслідок необхідності жорсткої синхронізації переміщення труби та «літучої» пили під час різку. Використання стандартного ПІ – регулятора положення при великих швидкостях різку є неможливим, оскільки зміна завдання за положенням є лінійною функцією, та при використанні ПІ – регулятора в системі не буде забезпечуватися нульова статична похибка за вихідною координатою. Тому, в сучасних електромеханічних системах знаходять широке розповсюдження приводи «літучої» пили на базі синхронного двигуна з постійними магнітами. Система керування цими приводами будується за принципом підпорядкованого керування із зовнішнім контуром керування положенням, що містить нелінійний або комбінований адаптивний регулятор. Так, наприклад, для вирішення задач синхронного переміщення двох приводів більшість виробників обладнання рекомендують використовувати випереджувальне керування (feed forward) [1,2]. Недоліком цього керування є можливість компенсації лише статичної похибки за положенням і неможливість компенсувати інші нелінійні впливи, зумовлені пуском та гальмуванням приводу пили, наявністю люфту у виконавчому механізмі. Також, досить часто використовуються модальні регулятори [3], що забезпечують високу швидкодію електромеханічних системи, однак досить складні в налаштуванні, внаслідок складності вибору поліному якості при наявності нелінійностей.

Мета і завдання. Метою роботи є розробка регулятора, що забезпечить високу точність

позиціонування при наявності нелінійної зміни сигналу завдання за положенням з можливістю досить простого налаштування під конкретний об'єкт. Для цього треба виділити основні нелінійності, що містяться в контурі регулювання положенням, та використати процедуру синтезу регулятора з урахуванням цих нелінійностей.

Матеріал і результати досліджень. Оскільки електропривод на базі вентильного двигуна наближається за характеристиками до двигуна постійного струму, використовуємо математичну модель контуру швидкості у вигляді коливальної ланки, що є коректним при використанні ПІ – регулятора струму, що формує момент, та П – регулятора швидкості. Оскільки під час різу пили необхідна синхронізація за положенням, а не за швидкістю, використання П – регулятора положення є допустимим.

При аналізі контуру положення можна визначити, що на динаміку відпрацювання переміщення приводом пили впливає люфт виконавчого механізму, особливо під час повертання пили у вихідне положення, на обмеження на швидкість, що має місце оскільки двигун працює на максимальних обертах. Виходячи з цього структурна схема електроприводу пили має вигляд:

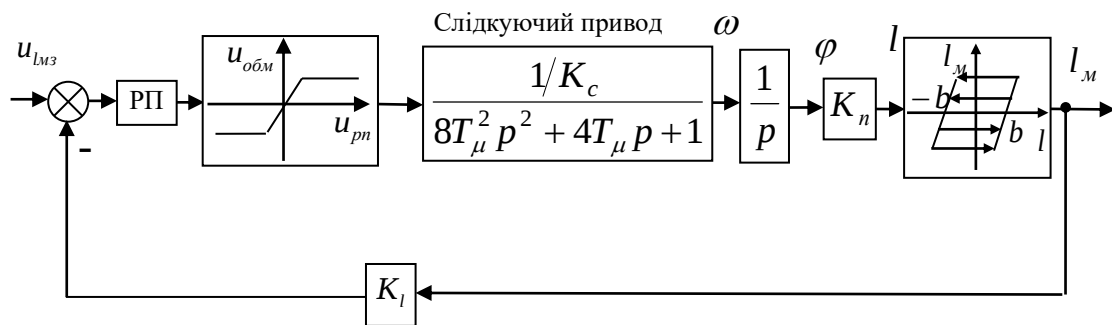


Рис.1. Структурна схема контуру регулювання переміщення механізму із врахуванням «люфту» та «обмеження на швидкість».

На рис.1 введені наступні позначення: $u_{лмз}$ - завдання лінійного переміщення пили; u_{pn} - керуючий сигнал регулятора переміщення; $u_{обм}$ - керуючий сигнал регулятора переміщення із врахуванням обмеження; ω - швидкість обертання; φ - кут обертання валу слідкуючого електроприводу; l - лінійне переміщення пили; l_m - лінійне переміщення пили із врахування «люфту»; K_ω - коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю; T_μ - стала часу перетворювача; K_l - коефіцієнт зворотного зв'язку за переміщенням, K_n - коефіцієнт механічної передачі; РП - регулятор переміщення; b - величина люфту виконавчого механізму.

Оскільки основною вимогою до цієї системи електроприводу є динамічна точність, доцільно використати для синтезу системи керування процедуру аналітичного конструювання регуляторів.

Недоліком процедури аналітичного конструювання є можливість синтезу тільки для лінійних систем та квадратичного функціоналу якості, при якому обмежується середньоквадратична похибка на змінні стану системи. В нашому випадку система є суттєво нелінійною та містить неоднозначну нелінійність, в якій одному значенню аргументу відповідають декілька значень функції.

Сформуємо функціонал якості, який повинен мінімізувати бажаний регулятор переміщення:

$$J = \int_0^\infty \left[\left(\frac{x_1}{x_{1\max}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{x_n}{x_{n\max}} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_{\max}} \right)^2 \right] dt, \quad (1)$$

де x_1, x_n, u - змінні стану системи та керуючий вплив; $x_{1\max}, x_{n\max}$ - максимальні значення змінних стану та керуючого впливу.

Використовуючи модель люфта, представлену в роботі [4], можна перейти від неоднозначної до однозначної нелінійності. При цьому «люфт» представляється функцією

$$l_m = l - b \cdot \text{sign}\left(\frac{dl_m}{dt}\right),$$

Переходячи від структурної схеми до системи диференціальних рівнянь, що описують динаміку контуру керування положенням, отримуємо:

$$\begin{cases} l_m = l - b \cdot \text{sign}\left(\frac{dl_m}{dt}\right); \\ l = K_{\Pi} \varphi; \\ \frac{d\varphi}{dt} = \omega; \\ \frac{d\omega}{dt} = -\frac{1}{8T_{\mu}^2} \omega - \frac{1}{2T_{\mu}} \varepsilon + \frac{1}{8K_u T_{\mu}^2} u_{обм} \end{cases} \quad (2)$$

Для здійснення процедур синтезу замінимо нелінійність сигнатурного типу та насичення на функції $\text{sign}\left(\frac{dl_m}{dt}\right) \approx K_{\text{лін}}\left(\frac{dl_m}{dt}\right) \cdot \frac{dl_m}{dt}$, $u_{обм} = \text{sat}(u_{pn}) = K_{\text{лін}}(u_{pn}) \cdot u_{pn}$, $K_{\text{лін}}\left(\frac{dl_m}{dt}\right)$ - коефіцієнт лінеаризації, що залежить від зміни переміщення виконавчого механізму; $K_{\text{лін}}(u_{pn})$ - коефіцієнт лінеаризації, що залежить від сигналу керування за переміщенням.

Враховуючи таку апроксимацію система рівнянь, що описує динаміку приводу переміщення запишеться:

$$\begin{cases} \frac{dl_m}{dt} = \frac{1}{K_{\text{лін}}\left(\frac{dl_m}{dt}\right)} \left(\frac{l_m - l}{b} \right); \\ \frac{dl}{dt} = K_{\Pi} \omega; \\ \frac{d\omega}{dt} = -\frac{1}{8T_{\mu}^2} \omega - \frac{1}{2T_{\mu}} \varepsilon + \frac{1}{8K_u T_{\mu}^2} K_{\text{лін}}(u_{pn}) u_{pn}. \end{cases} \quad (3)$$

При переводі математичної моделі системи в нормальній формі Коші отримуємо:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{bK_{\text{лін}}\left(\frac{dl_m}{dt}\right)} (x_1 - x_2); \\ \frac{dx_2}{dt} = K_{\Pi} x_3; \\ \frac{dx_3}{dt} = -\frac{1}{8T_{\mu}^2} x_3 - \frac{1}{2T_{\mu}} x_4 + \frac{K_{\text{лін}}(u_{pn})}{8K_u T_{\mu}^2} u_{pn}; \\ \frac{dx_3}{dt} = x_4; \end{cases} \quad (4)$$

де $x_1 = l_m$, $x_2 = l$, $x_3 = \omega$, $x_4 = \varepsilon$.

Отже, використовуючи процедуру лінеаризації за змінними коефіцієнтами можливо оптимізувати умовно лінійну математичну модель об'єкта. При цьому квадратичний функціонал

якості, що зумовлює обмеження на середньоквадратичну похибку матиме вигляд:

$$J = \int_0^{\infty} \left[\left(\frac{x_1}{x_{1\max}} \right)^2 + \left(\frac{x_2}{x_{2\max}} \right)^2 + \left(\frac{x_3}{x_{3\max}} \right)^2 + \left(\frac{x_4}{x_{4\max}} \right)^2 + \left(\frac{u_{pn}}{u_{pn\max}} \right)^2 \right] dt. \quad (5)$$

Використовуючи процедуру синтезу аналітичного конструювання із використанням концепції методу Пірсона, що набула подальшого розвитку в роботах [5],[6] можна отримати квазіоптимальний регулятор переміщення. Ідея цього методу полягає в тому, що в кожний момент часу вирішується задача аналітичного конструювання оптимального регулятора для лінійної моделі і квадратичного функціоналу якості. Така задача може бути вирішена на базі програмованого логічного контролера з урахуванням можливості вимірювання кожної із сталих стану. При цьому в контролері оброблюється сигнал із датчика пили, а саме магнітної стрічки, вимірюється швидкість зміни переміщення та обчислюються $K_{\text{лін}} \left(\frac{dl_m}{dt} \right)$ та $K_{\text{лін}}(u_{pn})$.

Ця бібліотека досить просто реалізується на контролері із можливістю програмування на текстових мовах програмування. Досить складною задачею є задача обчислення коефіцієнтів регулятора із системи нелінійних алгебраїчних рівнянь Ріккаті. Тому, в роботах [5], [6] запропонована модернізація квадратичного функціоналу якості та введенням обмеження на оптимальне керування:

$$J = \int_0^{\infty} \left[\left(\frac{x_1}{x_{1\max}} \right)^2 + \left(\frac{x_2}{x_{2\max}} \right)^2 + \left(\frac{x_3}{x_{3\max}} \right)^2 + \left(\frac{x_4}{x_{4\max}} \right)^2 + \left(\frac{u_{pn}}{u_{pn\max}} \right)^2 + \left(\frac{u_{\text{оптим}}}{u_{\text{оптим}\max}} \right)^2 \right] dt. \quad (6)$$

Це не призводить до якісної зміни алгоритму керування, проте дає можливість вирішувати не систему нелінійних рівнянь Ріккаті, а алгебраїчну систему рівнянь. При використанні середовища програмування Codesys 3.5 вирішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь можливо за допомогою бібліотеки OScat32.

Практична реалізація запропонованої системи керування можлива на базі програмованого логічного контролера від компанії lenze L-force 3200c, датчика лінійного переміщення із інтерфейсом CAN, та підтримкою протоколу CANopen та сервоперетворювача Lenze 8400 topline. Підтримка швидкості передачі даних до 1Мб/с та циклу обчислення 1мс забезпечує достатню швидкодію контуру регулювання переміщення. Функціональна схема такої системи керування представлена на рис.2.

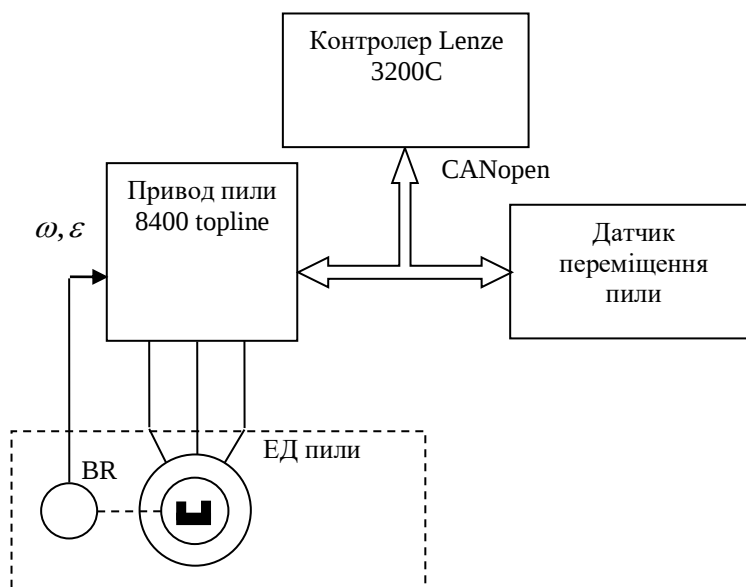


Рис.2. Функціональна схема запропонованої квазіоптимальної системи керування.

Загальний вигляд алгоритму керування описується формулою:

$$u_{pn} = K_1\left(\frac{dl_m}{dt}, u_{pn}\right) \cdot \Delta l_m + K_2\left(\frac{dl_m}{dt}, u_{pn}\right) \cdot \Delta l + K_3\left(\frac{dl_m}{dt}, u_{pn}\right) \cdot \Delta \omega + K_4\left(\frac{dl_m}{dt}, u_{pn}\right) \cdot \Delta \varepsilon, \quad (7)$$

де $K_1\left(\frac{dl_m}{dt}, u_{pn}\right), K_2\left(\frac{dl_m}{dt}, u_{pn}\right), K_3\left(\frac{dl_m}{dt}, u_{pn}\right), K_4\left(\frac{dl_m}{dt}, u_{pn}\right)$ - коефіцієнти регулятора, Δ - визначає відхилення від заданого значення змінної стану.

Дослідження системи керування проводилось із використанням програмного середовища Matlab, та його додатку Simulink. При цьому для спрощення процедури обчислення коефіцієнтів лінеаризації була реалізована функціональна залежність зміни коефіцієнтів квазіоптимального регулятора, отриманих для деякої області зміни $\frac{dl_m}{dt}$ та u_{pn} , відповідно. Графік перехідних процесів для класичного лінійно – квадратичного регулятора та отриманого квазіоптимального регулятора мають вигляд, представлений на рис.3 та на рис.4, відповідно.

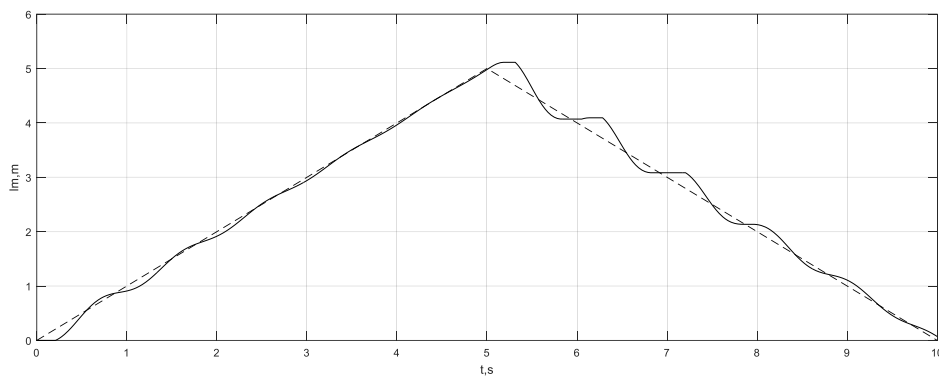


Рис.3. Графік перехідного процесу за переміщенням «летючої» пили при використанні LQR – регулятора.

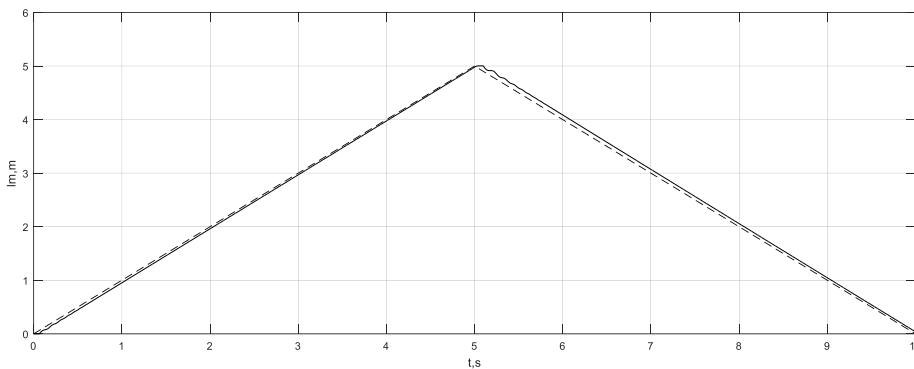


Рис.4. Графік перехідного процесу за переміщенням «летючої» пили при використанні запропонованого квазіоптимального регулятора.

Слід відзначити, що при моделюванні використовувалось дещо збільшене значення люфту для можливості наглядного представлення працездатності запропонованого алгоритму керування. Сигнал завдання формувався як лінійна функція, що відповідає завданню від зовнішнього контролера, що керує всією технологічним процесом.

Висновки.

1. Запропонований алгоритм квазіоптимального керування забезпечує значно якісніші динамічні показники електромеханічної системи.
2. Практична реалізація такого алгоритму керування можлива з використанням сучасних мікропроцесорних пристроїв керування, що широко використовуються у промисловості.

3. Подальший розвиток таких алгоритмів керування можливий з урахуванням зусиль тертя та інших суттєвих нелінійностей.

Перелік використаної літератури

1. Servo drives and servo motors for machines from 0.4 to 6 kW. Режим доступу: <https://www.se.com/ww/en/product-range-download/1162-lexium-05-%26-motors/> Дата доступу: 25.04.2020р.
2. Servo Drives 9400 HighLine. Reference manual. Режим доступу: [http://download.lenze.com/TD/E94AxHE_Servo%20Drives%209400%20HighLine%20\(from%20Firmware%2001-50\)_v15-0_EN.pdf](http://download.lenze.com/TD/E94AxHE_Servo%20Drives%209400%20HighLine%20(from%20Firmware%2001-50)_v15-0_EN.pdf) Дата доступу: 25.04.2020р.
3. Sigma-7 Servo Products Режим доступу: <https://www.yaskawa.com/products/motion/sigma-7-servo-products> Дата доступу: 25.04.2020р.
4. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К. Компенсация естественных нелинейностей по автоматике. М., Энергоатомиздат, 1982г. – 96с.
5. Торопов А. В. Оптимальное управление электродвигателем роторного колеса на базе ПЛК с применением концепции метода Пирсона / А. В. Торопов, Л. В. Торопова // Вісник НТУУ «КПІ». Гірництво : збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 25. – С. 144–149.
6. Торопов А. В. Синтез квазиоптимального регулятора загрузки конвейера горнодобывающего предприятия с использованием концепции метода Пирсона/ А. В. Торопов, Л. В. Торопова // Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки". – 2018. – Вип. 1(81). – С. 287–292.

Робота виконана під керівництвом доц. к.т.н. Торопова А.В.

УДК 62.83.52

О.В. Чевельча, магістрант

А.В. Босак, к.т.н., ст. викл., науковий керівник

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

АЛЬТЕРНАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ІНДУКЦІЙНИМ НАГРІВАЧЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ З РЕЗОНАНСНИМ ІНВЕРТОРОМ СТРУМУ

В даній роботі представлено структуру управління індукційним нагрівачем пара за допомогою перетворювача частоти з резонансним інвертором струму. Розкрито особливості використання систем з резонансним інвертором струму. Наведено приклад схеми реалізації управління.

Ключові слова. Індукційний нагрів, вихрові струми, перетворювач частоти, інвертор струму.

This paper presents the control structure of an induction steam heater by means of a frequency converter with a current inverter. Features of use of systems with a current inverter are revealed. An example of a scheme of management implementation is given.

Keywords. Induction heating, eddy currents, frequency converter, current inverter.

Вступ. Індукційний нагрів являється прямим і безконтактним. Дозволяє досягати високих температур, при використанні феромагнітного корпусу та наповнення з матеріалу, що намагнічується, являється альтернативним варіантом для нагріву пара, води, повітря. В класичному вигляді управління виконується за допомогою ПЧ на основі інверторів напруги.

Основою всього процесу індукційного нагріву є протікання в предметі, що нагрівається вихрових струмів. Вихрові струми створюються в провідному тілі, вміщеному в магнітне поле, якщо хоча б частина замкнутих контурів, які можна виділити в обсязі цього тіла, пронизує змінним в часі магнітним потоком. Миттєве значення ЕРС e , що виникає в контурі, що охоплює потік Φ , рівне:

$$e = -d\Phi / dt \quad (1)$$

Під дією цієї ЕРС виникає струм i , що викликає нагрівання тіла відповідно до закону Джоуля-Ленца [1].

Управління індуктором залежить від схеми його підключення, тобто послідовне або паралельне підключення накопичувача індуктивної енергії. В залежності від підключення в коливальному контурі спостерігається або резонанс напруги або резонанс струму. Для отримання резонансу напруги необхідно мати джерело прямокутної напруги, а для резонансу струму - джерело струму.

Мета та завдання. Розглянути принцип роботи перетворювача частоти з резонансним інвертором струму. Описати алгоритм застосування розглянутого ПЧ для пристроїв індуктивного нагріву.

Матеріал і результат досліджень. Інвертор струму - історично перший тип автономного інвертора - характеризується двома відмінними енергетичними ознаками. По-перше, вхідний ланцюг інвертора струму є ланцюг з властивостями джерела постійного струму, а функція вентилів інвертора зводиться до періодичного переключення напрямку цього струму в вихідному ланцюгу інвертора. Значить, на виході вентиляльного комутатора буде змінний струм (або, образно кажучи, періодично перемикається у напрямку постійний струм), тобто ланцюг з властивостями джерела змінного струму. По-друге, навантаженням інвертора струму повинен бути ланцюг з властивостями, близькими до джерела напруги, з близьким до нульового внутрішнім динамічним опором, допускає протікання через нього стрибкоподібного мінливого струму. Практично це забезпечується включенням на вихід

вентильного комутатора конденсатора, що дозволить вже підключити після нього будь-яке реальне навантаження з індуктивністю, що не допускає стрибків струму. Ще однією специфікою схем інверторів струму є обов'язкова наявність дроселя в ланцюзі живлення, що працює в режимі безперервного струму. Ключі інвертора, періодично перемикаючись, змінюють напрямок струму в навантаженні, таким чином, на виході інвертора формується знакозмінний струм [2].

Ще однією специфікою схем інверторів струму є обов'язкова наявність дроселя в ланцюзі харчування, що працює в режимі безперервного струму. Ключі інвертора, періодично перемикаючись, змінюють напрямок струму в навантаженні, таким чином, на виході інвертора формується знакозмінний струм.

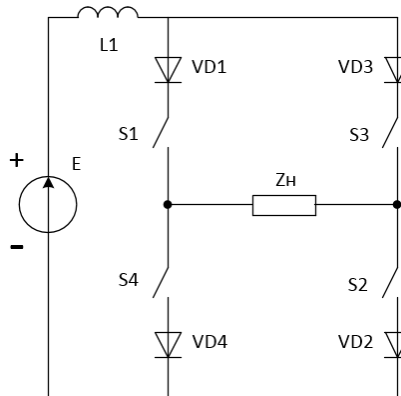


Рисунок 1 - Інвертор струму

Найпростіша схема інвертора струму представлена на рис. 1. Для формування змінного струму в навантаженні, підключеної до діагоналі моста, утвореного силовими ключами S1-S4, ключі S1 і S2 перемикаються синхронно і протифазно з ключами S3, S4. Недоліком «класичного» інвертора струму є відносно великі динамічні втрати в силових ключах, обумовлені їх «жорсткою» комутацією. У зв'язку з цим на практиці набули широкого поширення резонансні інвертори струму, у яких втрати на перемикання зведені до мінімуму.

Один з варіантів реалізації ПЧ на основі резонансного інвертора струму представлений на рис. 2. Тут безпосередньо інвертор струму складається з дроселя L1 і ключів моста VT2 - VT5. Діоди VD8 -VD11 забезпечують зворотню блокуючу здатність. Конденсатор C2 компенсує індуктивну складову імпедансу системи «індуктор - об'єкт що нагрівається» і утворює разом з індуктором паралельний коливальний контур. При роботі ключів інвертора на частоті резонансу коливального контуру відбувається «м'яка комутація» ключів інвертора [3].

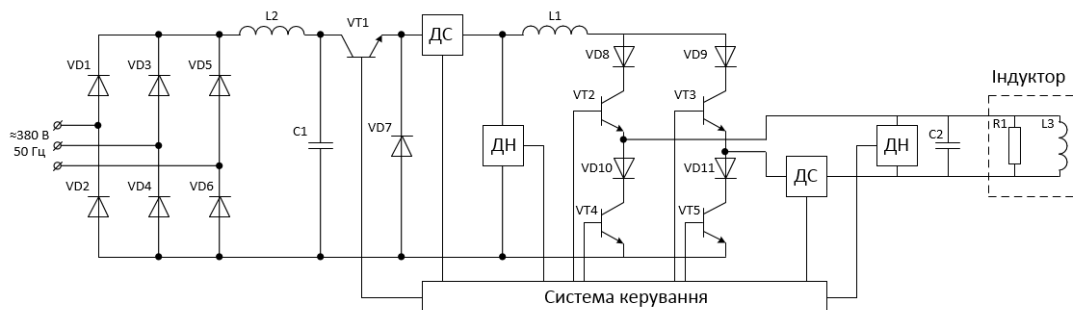


Рисунок 2 - Структурна схема ПЧ на основі резонансного інвертора струму

В даній схемі не враховується паразитна індуктивність в діагоналі моста інвертора. Ця індуктивність складається з паразитної індуктивності сполучних проводів і, якщо в схемі

присутній трансформатор, з індуктивності розсіювання цього трансформатора. Практика показує, що навіть при вдалій конструкції трансформатора і мінімальній довжині підвідних кабелів величина паразитної індуктивності досить значна і суттєво впливає на електромагнітні процеси в силовій частині перетворювача частоти. Негативним фактором цього впливу є перенапруження на ключових елементах інвертора, що виникає при комутації ключів, для обмеження яких застосовуються активні або пасивні обмежувачі напруги – клампи [4].

Для установок індукційного нагріву необхідна регулювання вихідної потужності, обумовлена як вимогою забезпечення необхідного технологічного процесу, так і зміною параметрів навантаження під час нагрівання. Регулювання вихідної потужності в УВП на основі ІТ можна здійснювати різними способами. Досить простим способом регулюванням вихідної потужності ПЧ на основі ІС є регулювання напруги живлення інвертора струму, тобто на вхід інвертора струму встановлюється регулятор напруги. Це може бути керований випрямляч, перетворювач постійної напруги або ін.

Збільшення вихідної потужності перетворювача на основі резонансного інвертора струму можливо із застосуванням багатозонної дискретної імпульсної модуляції.

Висновки. Найбільш універсальною схемою ПЧ на основі інвертора струму є класична мостова схема, в якій на вході моста інвертора присутній обмежувач напруги, а інвертор працює в резонансному режимі. У резонансному інверторі динамічні втрати зведені до мінімуму, внаслідок того, що ключі перемикаються практично при нульовій напрузі.

Головною перевагою перетворювача частоти на основі ІС є простота його реалізації на практиці. Саме для індукційного нагріву краще використовувати багато зонне дискретне регулювання, в якому використовувати одну секцію з ЧШІМ регулюванням з інвертором струму.

Перелік використаної літератури

1. Богданов В. Н., Рыскин С. Е. Применение сквозного индукционного нагрева в промышленности. М.—Л., «Машиностроение», 2005. 96 ст.
2. Шпіка М. І. Силові перетворювачі для автоматизованого електроприводу (для студентів 4, 5 курсів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка») Харків - ХНАМГ – 2012.
3. Шамов А.Н., Бодажков В.А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок.-Изд. 2-е доп., "Машиностроение" Ленинградское отделение., 2014. –71 ст.
4. Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок/ Е.И. Беркович, Г.В. Ивенский, Ю.С. Иоффе, А.Т. Матчак, В.В.Моргун.–2-е изд., перераб. и доп.–Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 2013.–208 ст.

УДК 62-50

Д. С. Матушкін, магістрант,
А. В. Босак, к.т.н., ст. викл., науковий керівник

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ СИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

Останнім часом схема векторного керування СДПМ отримала широке визнання у високоефективних застосуваннях. Векторне керування володіє чудовими характеристиками крутного моменту і потоку. Однак ефективність приводів обмежується через невизначеність параметрів. Однак застосування лінійних ПД-регуляторів в системах управління нелінійними об'єктами часто призводить до низької якості процесу регулювання, яке характеризується великими значеннями перерегулювання, статичної помилки і / або часу перехідного процесу. Для вирішення цих проблем використовуються оптимальні, робастні та адаптивні алгоритми управління. Робота, представлена в цій статті, базується на нових оптимальних та адаптивних стратегіях, включаючи нечітке управління з механізмом адаптації для подолання недоліків звичайних стратегій управління.

Ключові слова: СДПМ, векторне керування, нечітке управління, механізм адаптації, динамічні показники якості.

Recently, the Field Oriented Control scheme for PMSM has gained wide acceptance in high performance applications. The FOC has remarkable characteristics of decoupling torque and flux. However, the performance of drives is limited due to uncertainties of parameters. However, the use of linear PID-controller in the control systems of nonlinear objects often leads to low quality of the adjustment process, which is characterized by large values of overshoot, static error and / or transition time. To solve these problems optimal, robust and adaptive control algorithms are used. The work presented in this paper is based on new optimal and adaptive strategies, including fuzzy control with an adaptation mechanism to overcoming the disadvantages of the ordinary control strategies.

Keywords: PMSM, Field Oriented Control, fuzzy control, adaptation mechanism, dynamic quality indicators.

Вступ. З розвитком технології керування силовою електронікою та конструкції двигунів, СДПМ отримав широке застосування в багатьох системах управління. У типових приводах використовуються класичні ПІ- або ПІД-регулятори разом із методом векторного керування. Однак ефективність сильно залежить від параметрів двигуна [1], які змінюються в часі. Таким чином, бажано мати надійний регулятор для зменшення чутливості параметрів. Адаптивний контроль – це ефективний метод боротьби з великими варіаціями параметрів. Різні алгоритми управління потребують станів системи, тому їх непросто реалізувати. Для подолання цієї проблеми та підвищення гнучкості зміни алгоритму управління використовується нечіткий регулятор, який реалізує механізм адаптації. Це дозволяє якісно змінити процес управління, врахувати параметри сигналів в системі (швидкість зміни сигналу, прискорення), а також зробити процес управління більш адаптивним.

Основна перевага нечіткого регулятора полягає в тому, що для його розробки не потрібно математичного моделювання. Він має набір правил управління, який по суті заснований на знаннях поведінки системи та досвіді оператора.

Підвищення ефективності управління є актуальною проблемою в умовах зростаючої складності технологічного обладнання, процесів і систем. Для проектування систем управління складними об'єктами важливу роль відіграє вирішення завдань побудови адекватних математичних або імітаційних моделей і синтезу алгоритмів управління, які

забезпечують вирішення завдань в умовах невизначеності.

Мета дослідження. Розробка схеми управління, що має швидший динамічний відгук, надійну роботу при невизначеності параметрів та зміні швидкості, а також максимальний крутний момент.

Матеріал і результати дослідження. Для управління СДПМ вибрана структура векторного керування, яка використовує принцип модуляції просторового вектора. Повна структура моделі наведена в [2].

Суть векторного керування полягає в тому, що вектор струму статора, в двоосевій синхронній системі відліку, має дві складові: струм намагнічування і струм, який створює момент [3].

Створений крутний момент двигуна є результатом дії цих струмів. При підтриманні струму намагнічування на постійній номінальній величині ($I_d = 0$), момент двигуна лінійно пропорційний струму, який створює момент (I_q), що є подібним до управління двигунами постійного струму незалежного збудження.

При побудові математичної моделі СДПМ приймаються такі припущення:

- насичення магнітного кола відсутнє;
- втрати в сталі, обмотки статора симетричні;
- індуктивність розсіювання не залежить від положення ротора в просторі.

Для побудови структурної схеми СДПМ в d-q-осях скористаємося математичною моделлю СДПМ [4]:

$$\begin{aligned} \frac{dI_d}{dt} &= \frac{1}{L_d} (U_d - R_s I_d + \omega_e L_q I_q); \\ \frac{dI_q}{dt} &= \frac{1}{L_q} (U_q - R_s I_q + \omega_e L_d I_d - \omega_e \Psi_f); \\ J \frac{d\omega}{dt} &= M - M_c; \\ M &= \frac{3}{2} Z_p [\Psi_f \cdot I_q + (L_d - L_q) I_d I_q], \end{aligned} \quad (1)$$

де I_d, I_q – струми статора d-q-осей; U_d, U_q – напруги статора d-q-осей; R_s – опір фази статора; $L_d = L_q = L_s$ – індуктивності d-q-осей і статора; ω_e – електрична швидкість обертання фазних струмів статора, ел. рад/с; Ψ_f – потокозчеплення, яке створюється постійними магнітами ротора; J – момент інерції ротора; ω – швидкість обертання ротора; M – електромагнітний момент двигуна; M_c – момент навантаження двигуна.

Рівняння СДПМ в обертовій системі координат (1) забезпечують більшу наочність протікаючих в обмотках статора процесах.

У традиційній системі векторного керування використовуються зворотні зв'язки за швидкістю та струмом, що обробляються ПІД-регуляторами, регулятор швидкості не може створювати умови для точного відпрацювання сигналу завдання за умови впливу моменту навантаження під час його різкої зміни. Для успішного вирішення поставленого завдання необхідно побудувати систему за збуренням та відхиленням, розглядаючи момент навантаження, що оцінюється адаптивним механізмом нечіткого регулятора, як сигнал збурення.

Нечітка поведінка регулятора залежить від функцій приналежності, їх розподілу та правил, що впливають на нечітку зміну в системі. Не існує чіткого методу, щоб точно визначити його параметри. Налаштування нечіткого регулятора – це ітераційний процес, який вимагає випробування кількох комбінацій функцій приналежності та бази правил. Налаштування можна здійснити за допомогою спостереження за реакцією регулятора та

змінною нечітких наборів вхідної змінної за помилкою регулювання швидкості $e(t)$ та вихідної змінної u до тих пір, поки не буде отримано задовільного відгуку. В [5] наведено такий спосіб налаштування нечіткого регулятора.

Нелінійні адаптуючі в процесі функціонування коефіцієнти в нечіткому регуляторі дозволяють стійко формувати сигнали управління при зміні параметрів системи в процесі функціонування.

Результати моделювання системи управління СДПМ з використанням ПД-регулятора і нечіткого регулятора з механізмом адаптації наведені на рис. 1.

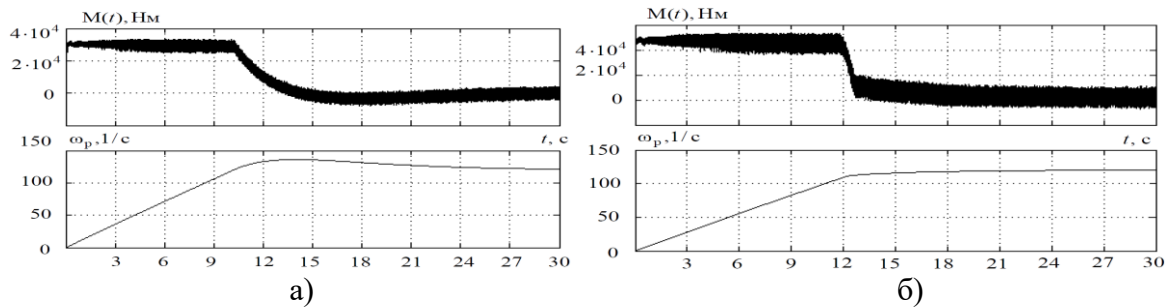


Рисунок 1 – Перехідні процеси за моментом та швидкістю:

а) ПД-регулятор; б) нечіткий регулятор

Проведені дослідження синтезованої системи векторного керування підтвердили ефективність застосування методів нечіткої логіки при проектуванні регуляторів.

Перерегулювання за швидкістю в разі використання стандартного ПД-регулятора становить 14%, при використанні нечіткого регулятора – практично відсутнє, при цьому зменшився час регулювання моменту. До того ж, в першому випадку в перехідному режимі двигун може перейти в генераторний режим, що є недопустимим в процесі функціонування системи.

Висновки. Суть виконаних досліджень полягає в впровадженні у систему управління нечіткого регулятора з механізмом адаптації, що дозволяє покращити показники якості управління.

Отримані результати показують, що:

1. Стратегія управління забезпечує стабільну систему із задовільними показниками роботи з/або без зміни навантаження.
2. Результати моделювання підтвердили ефективність запропонованої схеми адаптації у підтримці гарних показників управління під дією збурюючих впливів.

Перелік використаної літератури

1. Ying Shich Koing, and Pin Ging Huang: High performance position controller for permanent magnet synchronous motor drives based on TM5320F2818 DSP, Proc. Of the 2004 IEEE Int. Conf. on Control applications. Torpei, Taiwan, pp.290-295 Sept.2-4, 2004.
2. Б. Г. Любарський, О. В. Демидов, Т. В. Парфенюк, М. Л. Глєбова: Моделирование тягового привода на основе сдпм / Б. // Світлотехніка та електроенергетика / Б. Г. Любарський, О. В. Демидов, Т. В. Парфенюк, М. Л. Глєбова. – 2014. – № 2. – С. 41–45.
3. Фираго, Б. И. Теория электропривода: Учеб.пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик // Мн.: Техноперспектива, 2004.
4. Виноградов А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А. Б. Виноградов. – Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2008. – 298 с.
5. Матушкін Д. С. Застосування алгоритму нечіткої логіки для налаштування адаптивного ПД-регулятора / Д. С. Матушкін, А. В. Босак // Автоматизація, енергетика та енергетичні системи / Д. С. Матушкін, А. В. Босак. – Кременчук, 2019. – С. 87–91.

УДК 62-83:621.313.3

Майстренко Л.Ю., магістрант,
Дубовик В.Г., ст. викл. науковий керівник.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕЖИМИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ

У статті представлено результати досліджень режимів частотного асинхронного електроприводу, проведено оцінювання інтервалів енергоефективної його роботи шляхом використання моніторингу значень параметрів та їх аналізу з використанням експериментально-дослідницького стенда.

Ключові слова: електропривод, асинхронний двигун, енергоефективність.

The article presents the results of studies of the modes of frequency asynchronous electric drive, the estimation of the intervals of energy efficient operation by using the monitoring of parameter values and their analysis with the use of an experimental research stand.

Keywords: electric drive, asynchronous motor, energy efficiency.

Численні публікації і конструкторські розробки показують, що розширення застосування регульованих електроприводів за допомогою перетворювачів частоти (ПЧ) приводить до появи в мережі живлення вищих гармонік та додаткових втрат енергії. Обмін енергією між мережею живлення й навантаженням, реалізація спеціальних режимів керування потоком електроенергії від джерела до приймача й у зворотньому напрямку дозволяють впливати на показники якості електроенергії засобами перетворювальної техніки.

Проблема енергозбереження здобуває особливу актуальність і має велике практичне значення. Оскільки електроприводи споживають більше 60% вироблюваної електроенергії, то підвищення їх енергоефективності є дуже важливими та актуальними питаннями в сучасних умовах.

Метою роботи є дослідження режимів частотного асинхронного електроприводу, оцінювання інтервалів енергоефективної його роботи шляхом проведення досліджень з використанням експериментально-дослідницького стенда.

Експериментально-дослідницький стенд, дозволяє здійснювати дослідження енергетичних режимів системи електроприводу ПЧ-АД шляхом вимірювання реальних параметрів її роботи, а також оцінити усталені уявлення про енергоефективність та потенціал енергозбереження. Для виконання досліджень використовувалось програмне забезпечення. Вимірювання значень електричних параметрів у ланцюгах напруги живлення проводились за допомогою вимірювача параметрів мережі, який дозволяє контролювати фазні й лінійні напруги, струми, потужність й інші параметри. За допомогою програми «Oscilloscope», яка являє собою віртуальний осцилограф, забезпечується візуалізація сигналів з виходів двох датчиків струму на ефекті Хола, що встановлені, відповідно, на вході та виході ПЧ.

Активна потужність P_p дорівнює середньому значенню миттєвої потужності за період зміни живлячої напруги й визначає кількість електромагнітної енергії, що незворотно перетворюється в інші форми енергії.

Повна потужність S завжди більше активної, фактично переданої навантаженню, через існування неактивних складових потужності, які не створюють корисного ефекту, приводять у той же час до збільшення втрат у живильній мережі й у джерелі живлення [1].

За результатами проведення вимірювань визначають значення споживаної енергії за значеннями активної електричної потужності, а також трьох складових: реактивна потужність, потужність спотворень й потужність несиметрії.

Потужність спотворень D_u обумовлена вищими гармоніками струму. Середнє значення миттєвої потужності, пов'язаної із цими гармоніками, за період дорівнює нулю, однак вона викликає додаткові втрати енергії в мережі. Потужність несиметрії T ураховує додаткові втрати енергії, викликані нерівномірним розподілом струмів по фазах.

Можна визначати S і D_u по співвідношеннях:

$$S = U_{RMS} \cdot I_{RMS} = \sqrt{P^2 + Q^2 + D_u^2}$$

$$D_u = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)}. \quad (1),$$

де S – повна електрична потужність, P – активна потужність, Q – реактивна потужність, D_u – потужність спотворень, U_{RMS} , I_{RMS} – діючі значення напруги, струму джерела живлення.

Потужність спотворень можна також визначити по виразу

$$D_u = k_{THD} U_{RMS} I_{RMS} = 0,5 k_{THD} U_1 I_1, \quad (2),$$

де U_{RMS} , I_{RMS} — діючі значення першої гармоніки напруги й струм первинного джерела живлення, U_1 , I_1 , — амплітудні значення першої гармоніки напруги й струму первинного джерела живлення, k_{THD} — коефіцієнт несинусоїдальності, $k_{THD} = I_{\Sigma} / I_{(1)}$, де $I(1)$ – ефективне значення струму першої гармоніки, I_{Σ} — ефективний струм всіх вищих гармонік.

Використання в складі електропривода перетворювача частоти дозволяє:

- підмикати асинхронний електродвигун до перетворювача частоти в необхідному діапазоні частот обертання;
- одержати високе, близьке до одиниці значення коефіцієнта активної потужності PF (power factor) в усіх режимах роботи;
- одержати близький до синусоїди вихідний струм;
- забезпечити високі динамічні показники електропривода, обумовлені високою швидкодією ШІМ керування.
- збільшити термін служби двигуна й механізму навантаження;
- забезпечити м'який, програмований пуск двигуна;
- забезпечити можливість автоматизації й керування.

Були проведені вимірювання параметрів в електричних ланцюгах перетворювача частоти на експериментально-дослідницькому стенді за різних навантажень за допомогою програми віртуального осцилографа «Oscilloscope». Це дозволило одержати графіки зміни струму та визначити коефіцієнти несинусоїдальності THD_I на вході та виході ПЧ. Ця програма дозволяє одержувати Excel файли графіків.

Гармонійний склад вхідного струму випрямляча приведений на рис. 1, де видно відносні амплітуди гармонік, починаючи з другої.

Крім канонічних гармонік, вхідні струми частотного електропривода містять складові, частота яких не кратна частоті основної гармоніки, так звані інтергармонік. Ці складові проходять через ПЧ з ланцюга статора. Особливо істотно це проявляється в ПЧ на основі циклоконвертера та складає суттєвий їх недолік. В сучасних ПЧ з ШІМ це явище повністю не усунуте. Вхідні струми електропривода і напруги на шинах вузла навантаження не є періодичними процесами через інтергармонік. Як приклад, на рис. 2 показана частина спектра відхилення напруги в вузлі навантаження при роботі електропривода на основі інвертора струму з ШІМ випрямлячем і вхідним фільтром.

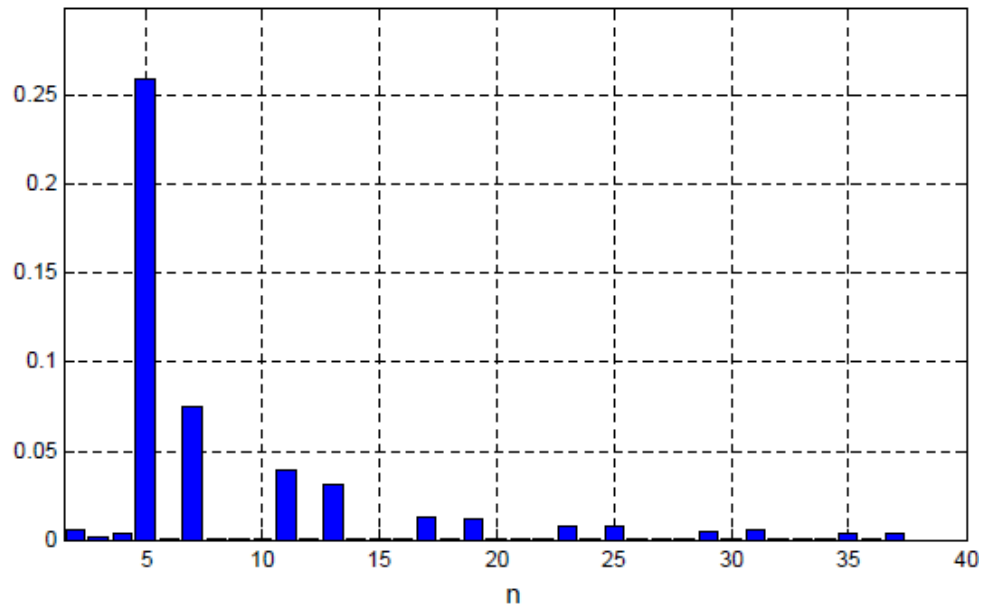


Рисунок 1 - Гармонійний склад вхідного струму випрямляча.

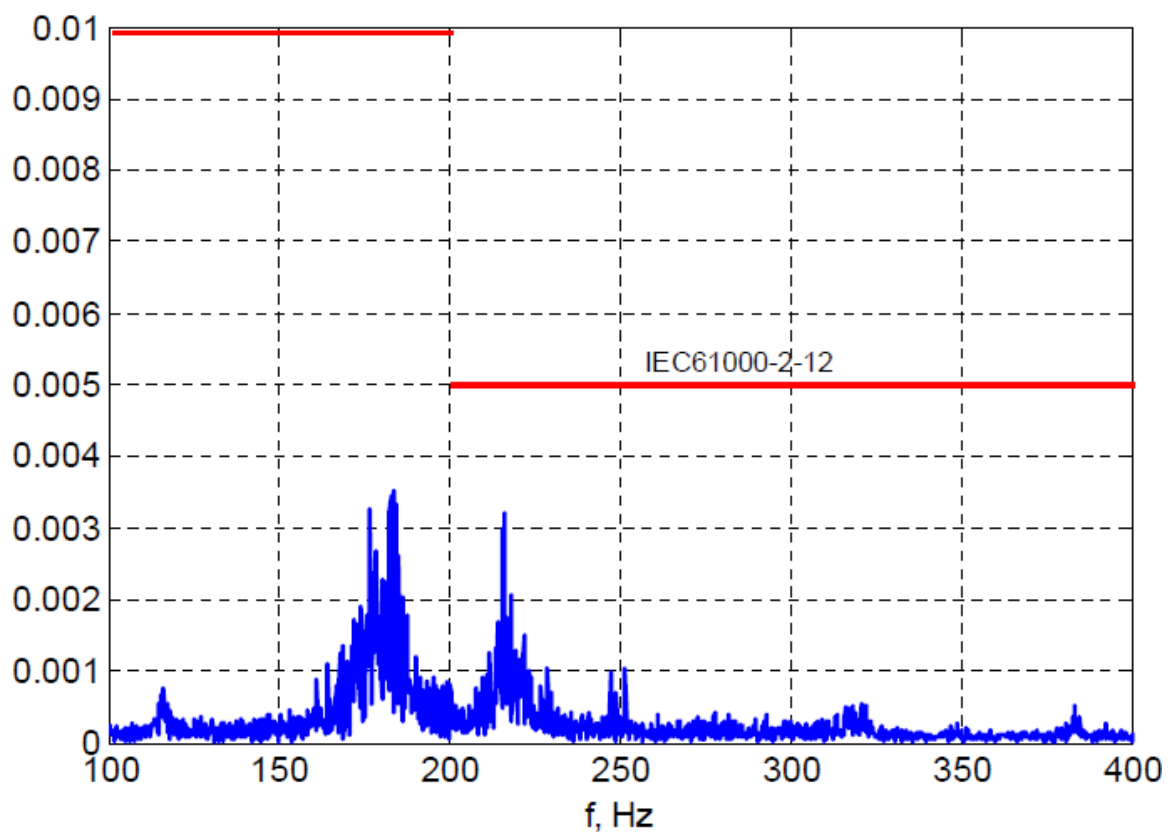


Рисунок 2 – Графік зміни спектра напруги

Графіки зміни струму мережі живлення при холостому ході на вході однієї фази на виході перетворювача частоти зі струмом $I_{RMS}=0,95$ А і частотою обертання 1420 об/хв, зображені на рис. 3 та рис. 4. Коефіцієнт несинусоїдальності по струму THD_I дорівнює 137,01%, а по амплітуді виділяються 5, 7, 11 гармоніки.

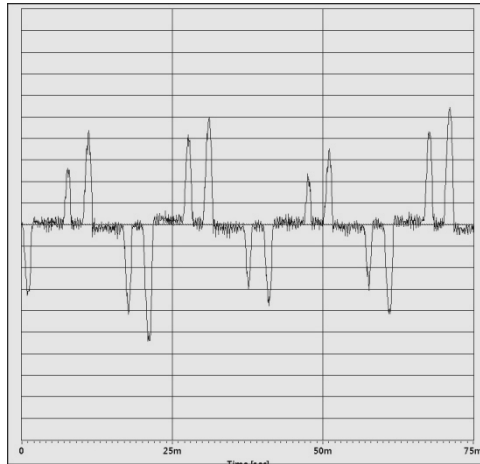


Рисунок 3 – Форма струму в одній фазі на вході ПЧ

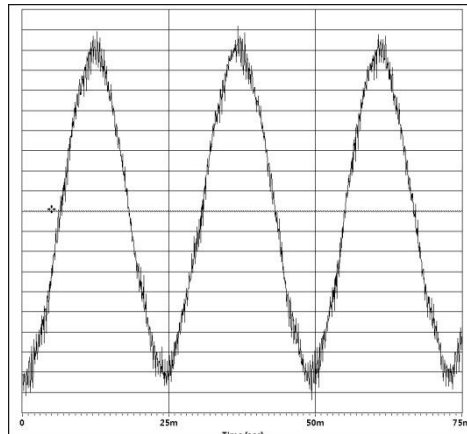


Рисунок 4 – Форма струму в одній фазі на виході ПЧ

Графіки зміни параметрів мережі живлення на вході перетворювача частоти зі струмом $I_{RMS}=1,39$ А, частотою обертання вала електродвигуна 700 об/хв, зображені на рис. 5. Коефіцієнт несинусоїдальності по струму $THD_I = 127,17\%$, а по амплітуді виділяються 5, 7, 11 гармоніки. При сталому значенні навантаження та збільшенні частоти обертання вала відбувається зменшення коефіцієнта несинусоїдальності по струму THD_I до 104,47%.

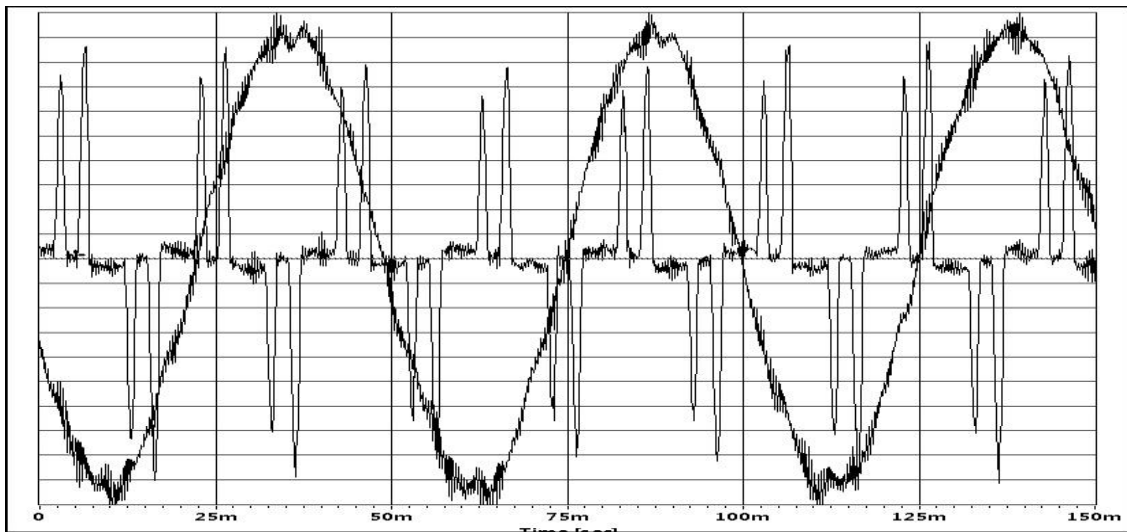


Рисунок 5 – Форма струму в одній фазі на вході і виході ПЧ при $I_{RMS}=1,39$ А

При підключенні універсального приладу PM172 для моніторингу параметрів електричної мережі використовувалась конфігураційна програма PAS, яка безкоштовно поставляється та призначена для роботи з приладами фірми SATEC. Вона дозволяє результати вимірювань записувати в вигляді окремих файлів. Були проведені вимірювання параметрів електричної мережі живлення частотного електропривода. Результати вимірювань описані далі.

При зменшенні частоти перетворювача до 20 Гц відбувається не лише зменшення значення струму, але також і невелике зменшення коефіцієнта несинусоїдальності по струму THD_I до 94%. При зменшенні навантаження й частоти перетворювача до 15 Гц відбувається збільшення коефіцієнта несинусоїдальності по струму THD_I до 105%.

Графіки зміни напруги та струму живильної мережі з трифазною катушкою індуктивності на вході перетворювача частоти зі струмом $I_{RMS}=1,16$ А наведені на рис. 6. Відбувається збільшення зсуву між струмом і напругою до $26,5^\circ$, що спричиняє зменшення $\cos \phi$ на вході ПЧ.

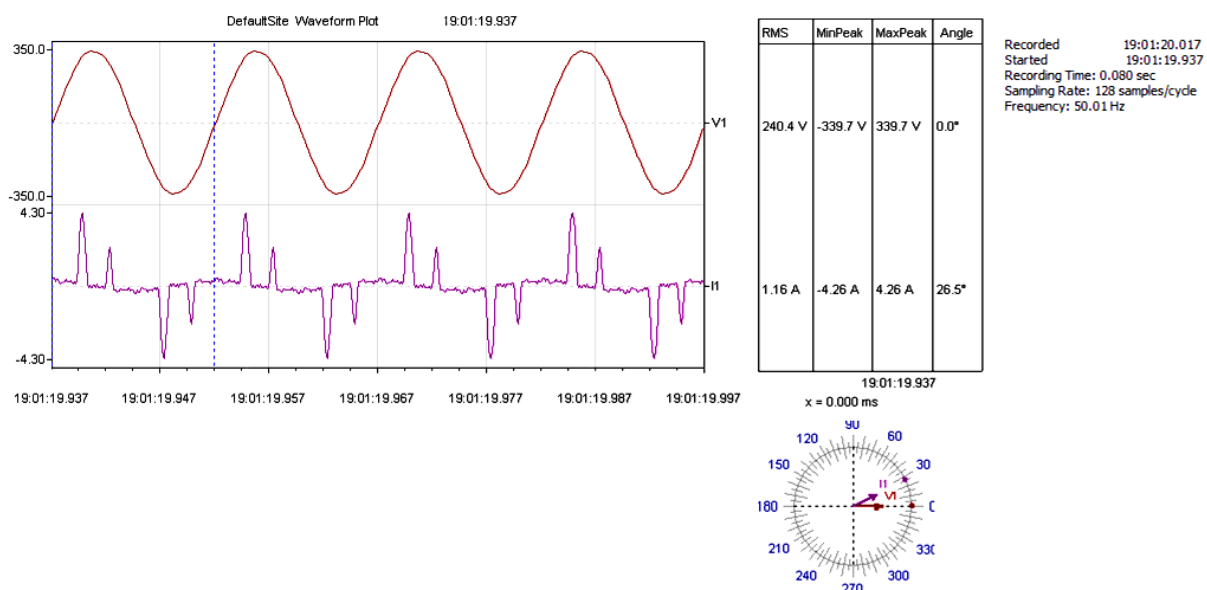


Рисунок 6 - Форма напруги й струму в одній фазі на вході системи ПЧ

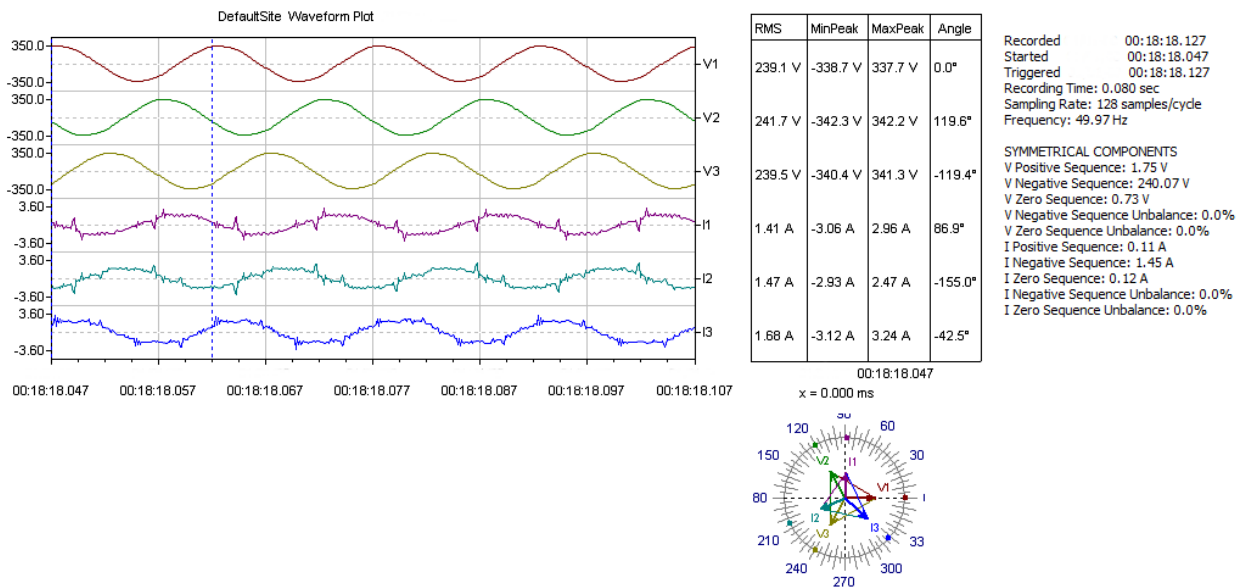


Рисунок 7 - Форма напруги й струму у трьох фазах на вході системи ПЧ-АД

Таким чином, експериментальні дані, отримані в результаті дослідів, підтверджують, що спотворення кривих струму при використанні ПЧ мають місце і можуть впливати на режими енергоспоживання установки.

Крім переваг структури електропривода на основі ПЧ-АД мають недоліки:

- спотворення кривої напруги та струму, досить високий рівень радіоперешкод, силові кабелі необхідно прокладати в заземлених трубах;
- неекономічність прокладання довгих живильних кабельних ліній між ПЧ і двигуном через значні струми високочастотного витоку на нуль, що приводить до зменшення моменту;
- необхідність встановлювання спеціальних фільтрів як на вході, так і на виході інвертора, застосування звичайних фільтрів неприпустиме;
- неприпустимість застосування будь-якої комутуючої апаратури на виході ПЧ при роботі електродвигуна [2].

Відхилення напруги для живлення асинхронних двигунів (АД) викликають збитки U_{AP} через додаткові втрати ΔP активної потужності, через додаткове споживання ними реактивної потужності (U_{AQ}); через скорочення терміну служби ізоляції (U_U); через зниження продуктивності механізмів (U_{II}) і збитки через додатковий час роботи у зв'язку зі зміною продуктивності механізмів (U_{At}). Значення шкоди для АД залежить від коефіцієнта його завантаження β . Додаткові втрати активної потужності в АД мають місце при негативних значеннях відхилення напруги внаслідок збільшення споживання струму пропорційно зниженню напруги. У разі підвищення напруги на 1% реактивна потужність, споживана АД, підвищується в середньому на 3%. Термін служби ізоляції скорочується в основному в результаті додаткового нагріву збільшеними струмами. В загальному випадку зміна частоти обертання АД при відключенні напруги порівняно невеликі. Однак для поточного виробництва навіть невеликі зміни частоти обертання позначаються на продуктивності механізмів. Збиток U_{II} по недовипуску продукції в зв'язку з пониженням продуктивності поточного виробництва ($\beta=0,9\div 1$) можна визначити:

$$U_{II} = (0,55\div 0,58 K_U) N_n c t \quad (3)$$

де $K_U = U/U_n$ – відносне значення напруги на затискачах двигуна; N_n – годинна продуктивність ділянки, (шт/год; т/год); c – собівартість продукції; t – час роботи установки при понижених напругах.

В більшості випадків збиток U_{At} , викликаний додатковим часом роботи АД невеликий

і складає 0,5% від значення U_{Π} , тобто ним можна знехтувати. Зміни напруги впливають на обертовий момент АД та пов'язані виразом $M = kU^2$. При зменшенні напруги пуск двигуна ускладнюється. На затискачах АД допустиме відхилення напруги в період пуску визначається виразом

$$K_{Uk} = (\beta / \lambda)^{1/2} \quad (4)$$

де $K_{Uk} = U_k/U$ – відносне значення критичної напруги; β – коефіцієнт завантаження; λ – кратність перекидального моменту АД.

Таблиця 1

Кратність максимального моменту, λ	Коефіцієнт завантаження, β			Кратність максимального моменту, λ	Коефіцієнт завантаження, β		
	1,0	0,8	0,6		1,0	0,8	0,6
1,6	0,79	0,71	0,61	2,0	0,71	0,63	0,55
1,8	0,76	0,67	0,58	2,5	0,63	0,57	0,49

В табл. 1 наведені відносні значення K_{Uk} гранично допустимого зниження напруги для АД з постійним моментом опору при різних коефіцієнтах завантаження β в залежності від кратності λ максимального моменту.

Висновки

1. Визначені значення складових електричної потужності при використанні перетворювача частоти з ланкою постійного струму, що дозволяє розрахувати потужність спотворень у складі неактивної потужності та оцінити її вплив на енергоспоживання насосної установки шляхом розрахунку фактичного потенціалу енергозбереження в випадку переходу на керований електропривод для підтримки постійного тиску в трубопроводі за допомогою системи ПЧ-АД.

2. Встановлено явище високочастотного витоку струму на нуль електродвигуна, вплив неактивної потужності, потужності викривлень на значення коефіцієнта несинусоїдальності по струму в ланцюгах підключення ПЧ до мережі живлення, який може перевищувати 100%, його зниження дозволяє згладжувати криву струму, вона стає більш близькою за формою до синусоїди та заощаджувати електроенергію, для чого необхідно застосовувати фільтри електромагнітної сумісності.

3. Умови електромагнітної сумісності з мережею живлення багато в чому визначають вибір виду і параметрів потужного регульованого електроприводу змінного струму. У ряді випадків ці вимоги впливають на вибір системи електропостачання.

4. Збурення в системі електропостачання є найважчими режимами для регульованого електроприводу через їх непередбачуваність і практично миттєвий характеру зміни. Досить досконалий регульований електропривод працює з його специфікованими якостями при нормально допустимих збурення в мережі.

Перелік використаних джерел

1. Системы автоматизированного управления электропривода: Учебник / В.В. Москаленко. – М.: Инфра – М, 2004. – 208 с.

2. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності.

3. Патент України на корисну модель №131943 від 11.02.2019 р. Лебедев Л. М., Дубовик В. Г., Горобець А.М., Кірзенко О.В. Спосіб захисту електродвигуна від перевантажень. МПК H02H 7/08. Бюлетень "Промислова власність", №3, 2019 р.

4. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006.

5. Лезнов Б.С. Методика оценки эффективности применения регулируемого электропривода в водопроводных и канализационных насосных установках. М.: Машиностроение, 2011.

УДК: 621.311

С.Д. Докшина, аспірант

В. П. Розен, д-р техн. наук, проф.

Г. І. Сторожилова, кандидат техн. наук, доцент

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

БЕНЧМАРКІНГ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Розглянуто питання підвищення рівня енергоефективності країни шляхом бенчмаркінгу регіонів. Запропоновано методiku формування рейтингів регіонів за допомогою задачі відстані до цілі. Використання даного методу дозволить наочно оцінити стан енергоефективності кожного регіону у порівнянні з іншими; визначити регіони, на які потрібно звернути більше уваги у напрямку покращення енергоефективності.

Ключові слова: бенчмаркінг, енергоефективність, завдання відстані до ідеалу, рейтинг енергоефективності, рейтинг регіонів.

The benchmarking of the regions as an issue of improvement of the energy efficiency of the country is considered. The method of creation of ratings of the regions by using the task of distance to the goal is offered. By using this method it will be possible to visually estimate the energy efficiency of each region in terms of improving the energy efficiency.

Keywords: benchmarking, energy efficiency, the task of distance to the ideal, the rating of the energy efficiency, the rating of the regions.

Вступ. Разом із загрозою вичерпності первинних джерел енергії в світі, з кліматичними змінами, починаючи з «Нафтової кризи» у 1973 році, світ стурбований питанням енергоефективності. Так, починаючи з 70-х років, у світі виникали різноманітні агентства та служби з питання енергоефективності. Наприклад, у 1974 році було засноване Міжнародне енергетичне агентство (ІЕА) [1], яке налічує 29 країн-учасниць, у тому числі і Україну. Головне агентство з питань енергоефективності в Україні – «[Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України](#)» (або Держенергоефективності) було засноване в 2014 році [2].

Оцінювання енергоефективності може бути здійснено на різних рівнях. Наприклад: на рівні країни, на обласному/регіональному рівні та на рівні підприємства.

Для визначення орієнтирів підвищення рівня енергоефективності на вищому рівні, потрібно проаналізувати рівень нижче. Так, для покращення стану енергоефективності на рівні країни, важливо дати оцінку на обласному/регіональному рівні.

Бенчмаркінг регіонів України дозволяє здійснити порівняльний аналіз регіонів загалом та за окремими індикаторами. Задачу бенчмаркінгу можна розподілити на три етапи: визначення еталонного значення, порівняння з еталонним значенням, прийняття рішень стосовно напрямків покращення.

Мета статті. Підвищення адекватності прийняття рішень шляхом розроблення рекомендацій щодо формування рейтингів енергоефективності регіонів України.

Змістове формулювання задачі. Нехай досліджувана складна система оцінювання рівня енергоефективності регіонів України містить скінченну множину індикаторів, що різняться своїми властивостями, характеристиками та методами розрахунку.

Особливістю даної задачі є визначення регіонів з гіршими показниками енергоефективності, які мають безпосередній вплив на енергоефективність країни в цілому. Тому виникає необхідність розробки якісних методів формування рейтингів енергоефективності регіонів України.

Основні матеріали дослідження. Нехай досліджувана система оцінки енергоефективності регіонів України складається зі скінченної множини O_0 регіонів O_n , $O_0 = \{O_n | n = \overline{1, N}\}$. Кожен регіон $O_n \in O_0$ характеризує скінченна множина Q_0 індикаторів Q_j , $Q_0 = \{Q_j | j = \overline{1, J}\}$.

Для оцінки регіону за окремим індикатором енергоефективності з множини фактичних індикаторів регіонів вибираємо найкраще (ідеальне) значення j -го індикатора $x_j^{\text{ідеал}}$.

Формування загального рейтингу регіонів України за всіма індикаторами здійснюється за показником відстані до ідеалу:

$$d_{nj} = \sqrt{\sum_{n=1}^N (x_j^{\text{ідеал}} - x_{nj}^{\text{факт.}})^2}, \quad (2)$$

де:

$x_j^{\text{ідеал}}$ – ідеальне значення j -го індикатора;

$x_{nj}^{\text{факт.}}$ – фактичне значення j -го індикатора n -го регіону.

Потрібно визначити оцінки для всіх регіонів $O_n, n = \overline{1, N}$, множини O_0 за відстанями до ідеалу d_{nj} .

Визначимо етапи розв'язання даної задачі:

1. Формування масиву індикаторів за регіонами. Визначення ідеалу;
2. Розрахунок відстаней до ідеалу;
3. Створення рейтингу енергоефективності регіонів.

Результати розрахунків. Масив індикаторів регіонів наведений у таблиці 1.

Таблиця 1 Регіони та їх індикатори енергоефективності за 2017 рік

Індикатори	Густина населення, осіб/тис. га	ВРП на душу населення, млн. грн.[3]	Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення, тис. т. [3]	Пасажирооборот автомобільного транспорту (автобусів), (млн.пас.км) [4]	Використання свіжої води на душу населення, м ³	Утилізовано відходів по відношенню до утворених, %
Регіони	1	2	3	4	5	6
Вінницька обл.	598	92427	155,8	1508	62	15,0
Волинська обл.	515	51972	5,1	1894	56	15,3
Дніпропетровська обл.	1011	313830	657,3	2185	249	34,5
Донецька обл.	1596	166404	784,8	1342	216	23,7
Житомирська обл.	416	61470	10,3	1063	54	14,8
Закарпатська обл.	985	43043	3,2	673	18	0,1
Запорізька обл.	640	130377	180,9	982	705	52,7
Івано-Франківська	989	63850	198,3	1179	54	33,4

обл.						
Київська обл.	615	157043	48,2	2495	178	1,2
Кіровоградська обл.	390	53031	12,2	681	56	3,9
Луганська обл.	821	30285	75,1	222	23	14,2
Львівська обл.	1152	147404	109,1	2489	49	24,3
Миколаївська обл.	468	69371	14,2	1197	155	2,4
Одеська обл.	713	149530	29,6	4341	105	1,3
Полтавська обл.	494	150904	55,9	1046	65	7,9
Рівненська обл.	579	48836	9,6	1501	84	5,1
Сумська обл.	463	56530	20,3	590	58	35,4
Тернопільська обл.	764	40747	10,6	819	35	4,6
Харківська обл.	855	187454	45	1416	79	6,6
Херсонська обл.	370	47868	9,6	1324	1210	7,0
Хмельницька обл.	622	63882	21,1	878	61	42,9
Черкаська обл.	587	73176	48,3	740	116	59,2
Чернівецька обл.	1118	28591	3,3	733	55	30,3
Чернігівська обл.	321	56672	31,6	563	91	17,8
м. Київ	34997	699185	45,5	3648	167	0,9

За ідеальні значення приймемо:

- 1) «Густина населення» – 34997 осіб/тис. га.
- 2) «ВРП на душу населення» [3] – 699185 млн грн.
- 3) «Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення» [3] – 3,2 тис тон.
- 4) «Пасажирооборот автомобільного транспорту (автобусів)» [4] – 4341 млн.пас.км.
- 5) «Використання свіжої води на душу населення» – 1210 м³.
- 6) «Частка утилізованих відходів у порівнянні з утвореними, %» – 59,2 %.

Усі статистичні дані узяті з Державної служби статистики України. Показники, що розраховувались додатково:

1) «Густина населення». Для розрахунку цього індикатора дані «Населення, осіб» [3] поділені на «Площа, тис. га» [3]. За чисельність населення взято постійне населення. Усі значення усереднені за місяцями.

2) «Використання свіжої води на душу населення». Для розрахунку цього індикатора дані «Використання свіжої води, млн. м³» [3] поділені на «Населення, осіб» [3].

3) «Частка утилізованих відходів у порівнянні з утвореними, %». Цей показник розрахований так:

$$x = \frac{x_2 * 100\%}{x_1},$$

де :

x – частка утилізованих відходів у порівнянні з утвореними, %;

x₁ – утворено відходів (IV-й клас небезпеки), тис. т [3];

x₂ – утилізовано відходів (IV-й клас небезпеки), тис. т [3].

Для точніших результатів можна розрахувати показники запропоновані у [5]. Також, можна розподіляти показники за секторами споживання: житловий сектор, послуги, промисловість, транспорт, інше, як запропоновано в [6].

Рейтинг регіонів за відстанню до ідеалу наведений у таблиці 2. Діаграма відстаней до ідеалу наведена на рисунку 1.

Таблиця 2 Рейтинг регіонів за відстанню до ідеалу

Регіони	Відстані до ідеалу
м. Київ	1254
Дніпропетровська обл.	386857
Харківська обл.	512878
Донецька обл.	533837
Київська обл.	543235
Полтавська обл.	549377
Одеська обл.	550724
Львівська обл.	552822
Запорізька обл.	569855
Вінницька обл.	607740
Черкаська обл.	626965
Миколаївська обл.	630769
Хмельницька обл.	636243
Івано-Франківська обл.	636253
Житомирська обл.	638661
Чернігівська обл.	643460
Сумська обл.	643594
Кіровоградська обл.	647091
Волинська обл.	648137
Рівненська обл.	651266
Херсонська обл.	652244
Закарпатська обл.	657034
Тернопільська обл.	659338
Луганська обл.	669786
Чернівецька обл.	671460

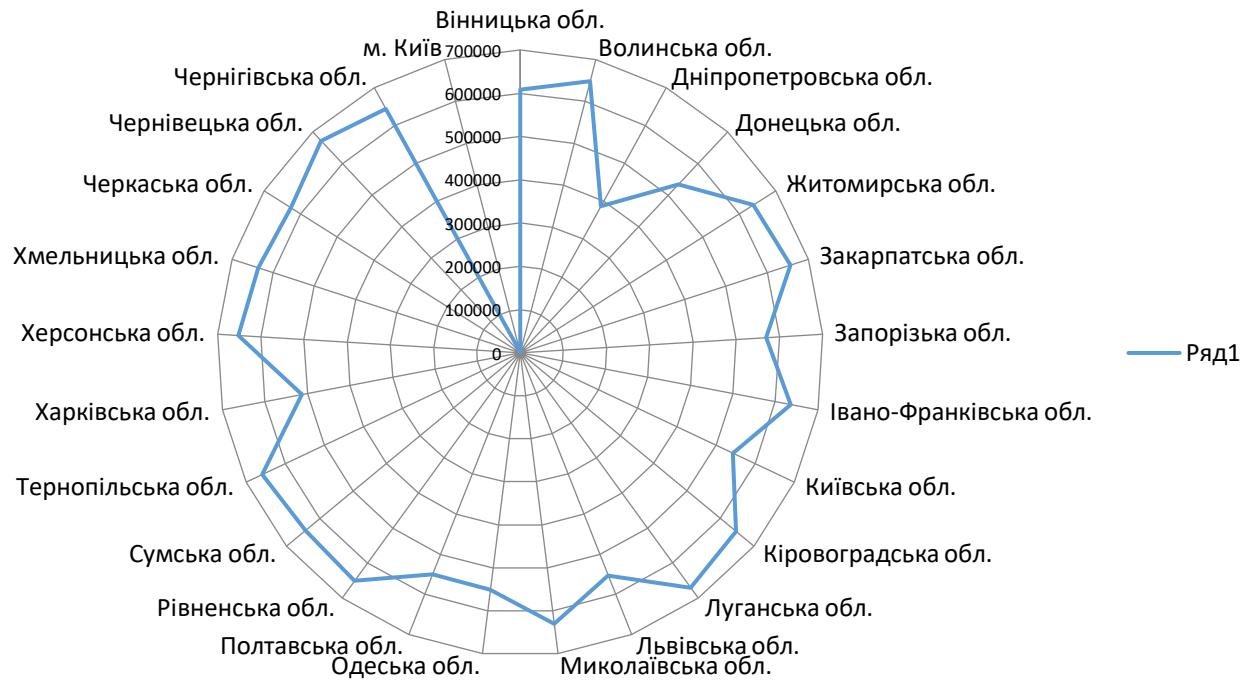


Рисунок 1 Діаграма відстаней до ідеалу регіонів України

За результатами розрахунків перше місце здобуло м. Київ, а останнє – Чернівецька область.

Висновок. Запропонована методика формування рейтингу енергоефективності регіонів України дозволить оцінити стан енергоефективності кожного регіону та допоможе у визначенні орієнтирів підвищення рівня енергоефективності країни.

Перелік використаних джерел:

1. From oil security to steering the world toward secure and sustainable energy transitions / International Energy Agency [Електронний ресурс] // — Режим доступу: <https://www.iea.org/about/history>
2. Положення про Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України: Постанова Кабінету Міністрів України від 26 листопада 2014 р. № 676. – Київ, 2014. – № 676.
3. Регіони України 2019. Частина I : Статистичний збірник / Державна служба статистики України. – Київ, 2019. – 309 с.
4. Регіони України 2019. Частина II : Статистичний збірник / Державна служба статистики України. – Київ, 2019. – 657 с.
5. ДСТУ ISO 17742:2017. Розрахунок енергоефективності та обсягів енергозбереження для країн, регіонів і міст. – Введ. 13.07.18. – ДП «УкрНДНЦ». – Київ, 2018. – 44 с.
6. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики/ Международное энергетическое агентство. – 2014. – 181 с.

УДК 621.311

Кальніцький О.П., магістрант,
Розен В.П., д.т.н., проф. керівник.

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ КІНЕТИЧНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Наведено результати досліджень керування електричним навантаженням промислових споживачів у часі з використанням кінетичних накопичувачів. Перевірено ефективність управління графіками електричних навантажень при використанні кінетичних накопичувачів енергії.

CONTROL OF ELECTRIC LOAD USING KINETIC ENERGY STORAGE

Presented the results of studies of management of electric loading of industrial consumers in time with use of kinetic accumulators are resulted. The efficiency of control of electric load schedules when using kinetic energy storage devices is checked.

Вступ. Добовий графік навантаження об'єднаної енергосистеми України має два піки – ранковий та вечірній, а також характеризується зниженням навантаження на систему в нічні години [1]. Вирівнювання графіку електричного навантаження сприятиме підтриманню балансу енергосистеми, заощадженню паливно-енергетичних ресурсів, зменшенню втрат електричної енергії. На практиці [2], важелів, що застосовуються на сьогодні для вирішення проблеми нерівномірності графіка електричних навантажень не вистачає. Ця проблема є актуальною для сучасного стану енергосистеми, так як є брак маневрових та мобільних джерел енергії.

Мета та завдання. Дослідження можливості використання кінетичних акумуляторів енергії (КНЕ) для вирівнювання графіка добового навантаження енергосистеми. Розрахунок раціональності впровадження каскаду КНЕ в енергосистему підприємства та знаходження терміну окупності.

Матеріал та результати досліджень. Маневрові та мобільні джерела енергії є важливою складовою для постійної та незалежної роботи підприємства та енергетичної системи всієї держави [3]. Розглянемо приклад впровадження каскаду кінетичних накопичувачів енергії на підприємстві легкої промисловості. Для розрахунку за основу візьмемо каскад кінетичних накопичувачів енергії компанії «BEACON POWER» з максимальною потужністю 98 кВт з 10 КНЕ з сумарною відданою потужністю 65 кВт до 5 год та каскад з 6 КНЕ виробництва «Amber Kinetics» 75 кВт споживання, та віддачею 40 кВт до 4 годин.

На рисунку 1 зображено графік добового споживання електроенергії підприємством в штатному режимі без впровадження каскаду кінетичних накопичувачів енергії.

Встановивши КНЕ від компанії beacon power отримуємо можливість обійти години пік вирівнявши споживання електроенергії до нічного режиму. У період з 23.00 акумулятори починають накопичувати енергію, активно споживаючи її з енергосистеми. Добове споживання електроенергії підприємством після встановлення КНЕ «BEACON POWER» зображено на рис. 2.

Максимальне споживання з урахуванням розгону маховика припадає на період з 0.30 до 1.30 години. У період з 6.00 до 11.00 система віддає накопичену енергію тим самим

згладжує стрибок споживання. Згладжування вечірнього скачка підприємство не потребує, так як робочий день закінчений.

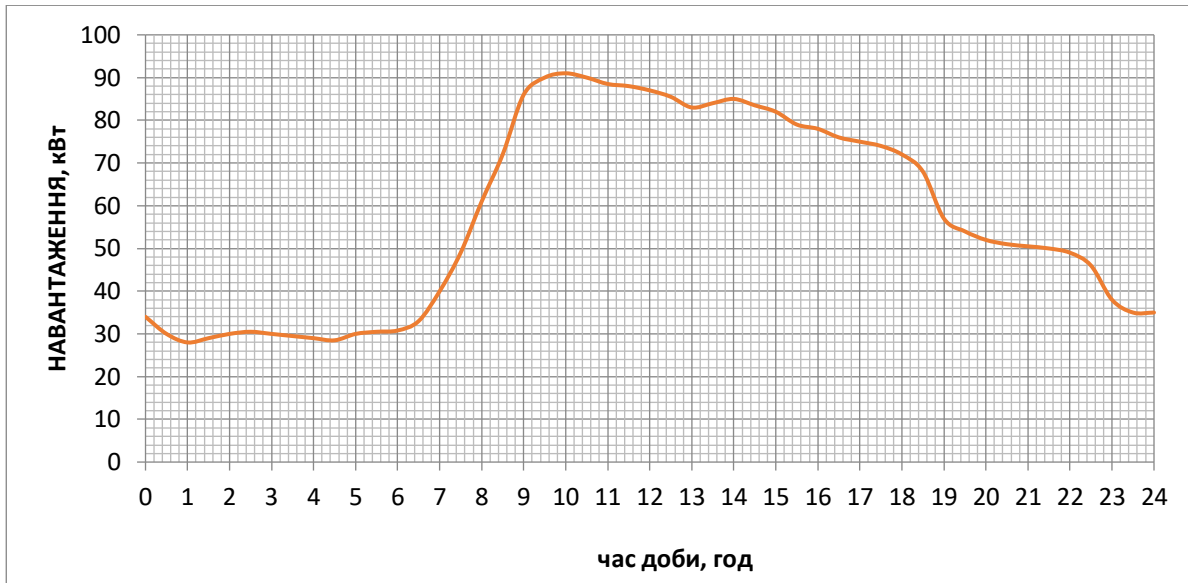


Рис. 1 – Графік добового споживання електроенергії підприємством легкої промисловості

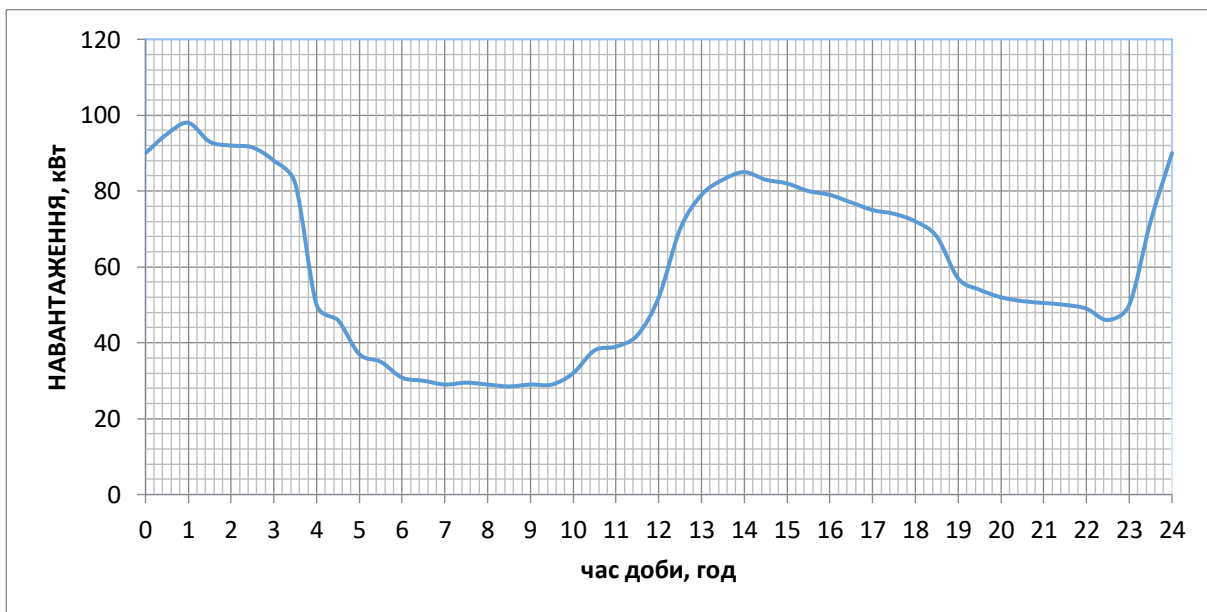


Рис. 2 – Графік добового споживання електроенергії підприємством легкої промисловості після встановлення КНЕ «BEACON POWER»

Встановивши меншу установку КНЕ «Amber Kinetics» на 6 кінетичних акумуляторів енергії отримаємо компенсацію пікового навантаження на 40 кВт та менший час дії (всього 4 години). Це не дає можливості повністю згладити стрибок споживання за той самий термін накопичення енергії. Графік добового споживання електроенергії підприємством легкої промисловості після встановлення КНЕ «Amber Kinetics» зображено на рис. 3.

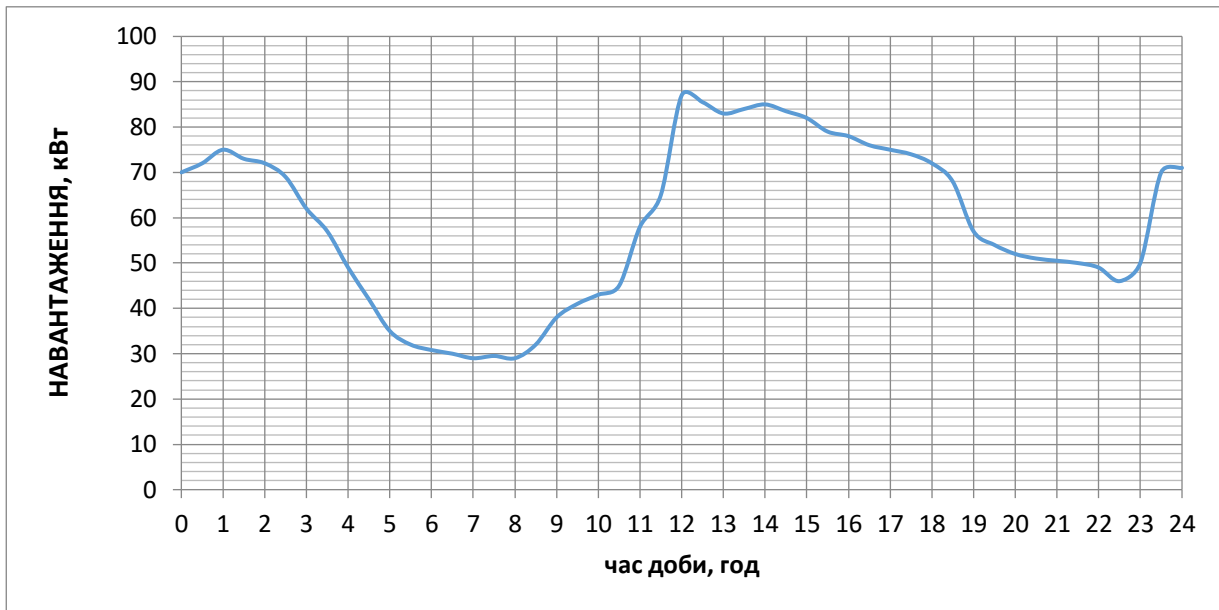


Рис. 3 – Графік добового споживання електроенергії підприємством легкої промисловості після встановлення КНЕ «Amber Kinetics»

Розрахунок економічної доцільності для підприємства

$$\Pi = a_1 \cdot W_1 + a_2 W_2 + a_3 W_3,$$

де $a_1 = [1,68; 1,68 \cdot 0,4; 1,68 \cdot 1,5]$ – вартість електрики, [грн/кВт · год];

W_1 – кількість енергії, що споживається [кВт · год].

Вартість спожитої енергії без встановлення КНЕ

$$\Pi = (1,68 \cdot 0,4) \cdot 2350 + 1,68 \cdot 7820 + (1,68 \cdot 1,5) \cdot 3820 = 24345 \text{ (грн)}.$$

Вартість спожитої енергії з встановлення КНЕ від «BEACON POWER»

$$\Pi = (1,68 \cdot 0,4) \cdot 5270 + 1,68 \cdot 7520 + (1,68 \cdot 1,5) \cdot 1200 = 19199 \text{ (грн)}.$$

Вартість спожитої енергії з встановлення КНЕ від «Amber Kinetics»

$$\Pi = (1,68 \cdot 0,4) \cdot 4140 + 1,68 \cdot 7700 + (1,68 \cdot 1,5) \cdot 2150 = 21136 \text{ (грн)}.$$

Результати розрахунку економічної доцільності зображено в таблиці 1.

Таблиця 1. Економічна доцільність впровадження КНЕ на базі «BEACON POWER» та «Amber Kinetics»

	Без КНЕ	КНЕ «Amber Kinetics»	КНЕ «Beacon Power»
Вартість спожитої електроенергії	24700	21136	19199
Вартість установки		8370000	9500000
Економії в день		3564	5501
Економії в рік		1069200	1650300
Термін окупності		7,828282828	5,756529116
Термін експлуатації		до 15 років	до 15 років

Висновки.

1. Доведено ефективність керування графіком електричних навантажень за допомогою кінетичних накопичувачі енергії;
2. Порівнянно два накопичувача та розрахунок економічної доцільності впровадження КНЕ;
3. Головною перевагою КНЕ над іншими методами управління графіком навантажень є відсутність потреби змінювати графік роботи підприємства, відносно невелика площа розміщення, простота у використанні, автономність.

Перелік використаних джерел

1. ДП НЕК «Укренерго» [Електронний ресурс] / М-во палива та енергетики України. – К. : Укренерго, 2012. – Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/>. – Назва з екрану.
2. Находов В.Ф. Методологія аналізу та корегування впливу диференційованих тарифів на конфігурацію графіків навантаження енергосистеми України / В.Ф. Находов, Т.В. Яроцька, А.О. Горбоненко // Вісник Вінницького політехнічного університету. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – № 6. – С. 72 – 75.
3. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей/М-во палива та енергетики України. – К. : Укренерго, 2018.- Режим доступу: <https://ua.energy/wpcontent/uploads/2019/04/>

УДК 62-50

Бровко В., аспірант,
Чермалих О.В., к.т.н., доц., науковий керівник.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПОВІТРООБМІНУ В ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ ЗА РАХУНОК ПІДТРИМАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ

***Анотація.** Розглянуто підхід та методика контролю й регулювання одного з основних параметрів повітря, а саме його температури, котрий впливає на комфортні умови перебування глядачів в глядацькій залі кінотеатру. Для отримання кількісних показників синтезована імітаційна модель для дослідження каналу управління температурним режимом в залі кінотеатру.*

***Ключові слова:** мікроклімат, повітрообмін, температура повітря, кількість повітря, імітаційна модель.*

***Abstract.** The approach and methods of control and regulation of one of the main parameters of air, namely its temperature, which affects the comfortable conditions of the audience in the visual hall of the cinema. To obtain quantitative indicators, a simulation model was synthesized for the study of the temperature control channel in the cinema hall.*

***Keywords:** microclimate, air exchange, air temperature, amount of air, simulation model.*

Вступ. Забезпечення потрібного кліматичного режиму в залі для глядачів кінотеатру є заходом, що вимагає особливого підходу, оскільки велика кількість людей достатньо довгий час знаходиться в одному закритому приміщенні.

Основними параметрами, котрі впливають на комфортні кліматичні умови перебування глядачів в залі кінотеатру являються якість повітря (його газовий склад), температура й вологість.

Мета та завдання. Мета роботи полягає в підвищенні безпеки та життєдіяльності людей за рахунок регулювання повітрообміну в громадських приміщеннях з урахуванням фактичної кількості присутніх й підтримки необхідних комфортних умов.

Основні завдання наступні:

- визначити основні показники якості повітря, які впливають на мікроклімат в громадських приміщеннях;
- розробити імітаційну модель для дослідження каналу управління температури повітря з урахуванням змін цього параметру;

Матеріал і результати досліджень. Чисте тепле повітря в кінотеатрі дозволить почувати себе глядачеві затишно і комфортно. Це особливо важливо, якщо передбачається, що перед сеансом глядач повинен залишати свій верхній одяг у гардеробі. Тому необхідно приділити особливу увагу вентиляції глядацького залу, в тому числі, враховуючи кліматичні умови регіону, його обігріву теплим повітрям. Для комфортного знаходження глядачів у залах кінотеатру існують встановлені норми показників температури. Рекомендовані значення температури повітря в громадських приміщеннях згідно з вітчизняними нормами знаходяться в межах 20-22 °С - в холодний період року і 22-25 °С - в теплий період року [1].

З використанням системи MATLAB на базі пакету Simulink [2, 3, 4] синтезована імітаційна модель для дослідження каналу управління температурним режимом в залі кінотеатру, яка представлена на рис.1.

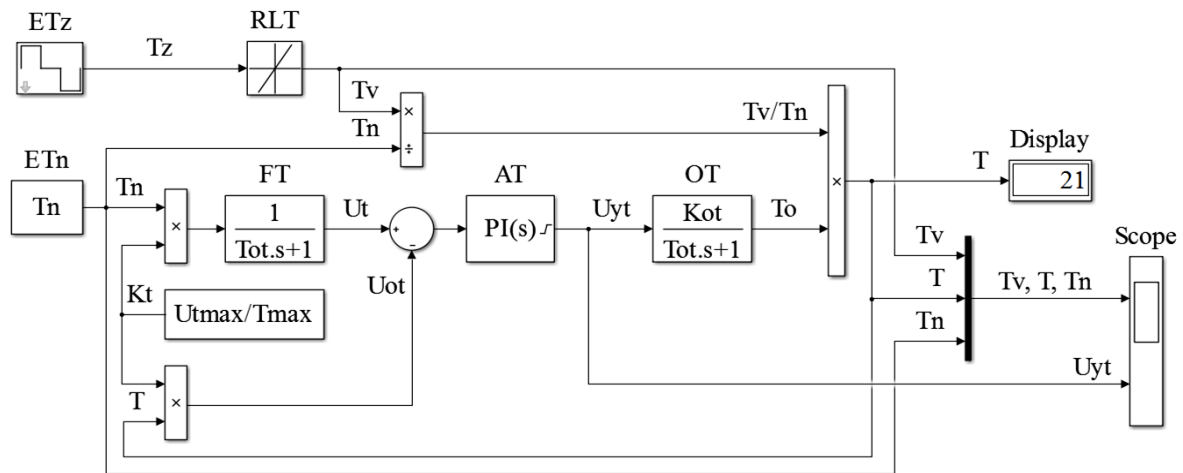


Рисунок 1 – Модель каналу регулювання температури повітря в залі кінотеатру

Основні функціональні елементи моделі каналу управління температурою повітря T :

OT – об'єкт каналу регулювання температури повітря з загальним коефіцієнтом передачі $K_{ot} = T_{nom} / U_{y\max}$ й сталою часу $T_{ot} = 320$ с (значна інерційність зміни температури), де $T_{nom} =$

21°C – номінальна нормована величина температури повітря для комфортних умов перебування людей (припустимий діапазон зміни температури від $T_{\min} = 19^\circ\text{C}$ до $T_{\max} = 23^\circ\text{C}$), $U_{y\max} = 10$ В – максимальне значення сигналу управління;

AT – пропорційно-інтегруючий регулятор витрати повітря з коефіцієнтами пропорційної частини $K_{pt} = 16$ та інтегруючої $K_{it} = 0,05$;

FT – фільтр на вході системи управління для зменшення перерегулювання за температурою;

ETn – блок завдання нормованого оптимального значення температури в залі кінотеатру $T_n = 21^\circ\text{C}$;

ETz – блок імітації ступеневої зміни температури в залі $T = 21,0; 22,5; 21,0; 19,5; 21,0^\circ\text{C}$.

RLT – елемент формування лінійної залежності зміни температури T_v за часом.

Алгоритм функціонування моделі:

$0 \leq t < 3000$ с – поступове зростання температури до номінального значення 21°C ;

$3000 \leq t < 4000$ с – збільшення температур в залі до $22,5^\circ\text{C}$;

$4000 \leq t < 5000$ с – зменшення температури до номінальної;

$5000 \leq t < 6000$ с – зменшення температури до $19,5^\circ\text{C}$;

$6000 \leq t < 7000$ с – збільшення температури до номінальної;

$t = 7000$ с – закінчення процесу моделювання.

Двоканальний осцилограф *Scope* дозволяє відстежити динаміку поведінки системи регулювання температури за зміною в часі: температури в залі T_v , фактичної температури T та її нормованого значення T_n , а також сигналу U_{yt} на виході регулятора температури. Зазначені залежності зображені на рис. 2 у вигляді графіків.

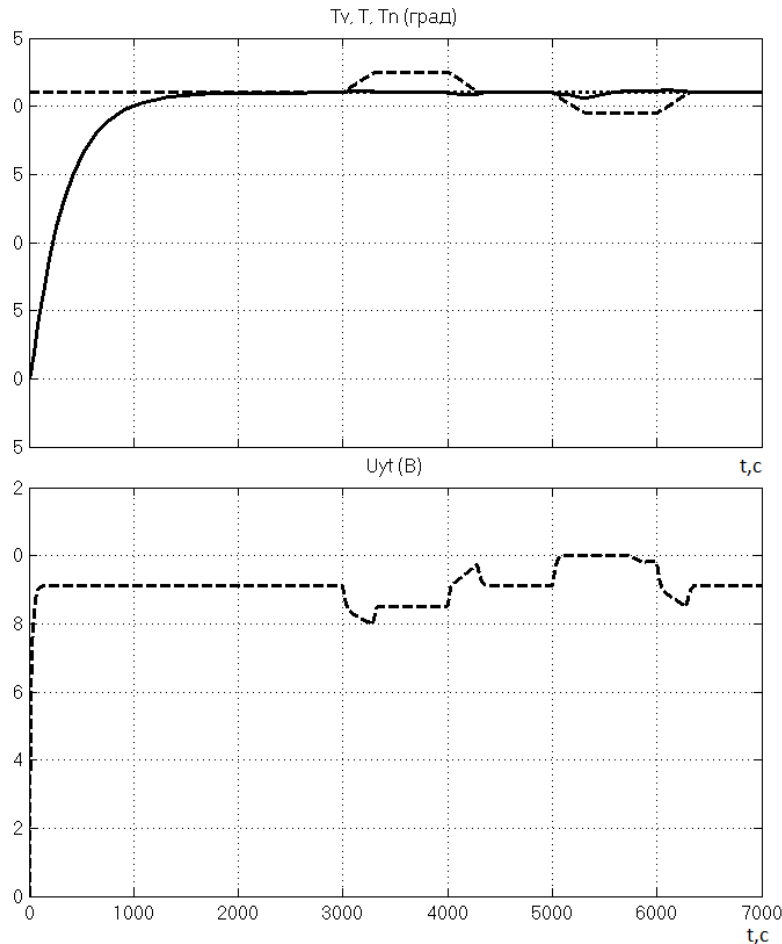


Рисунок 2 – Графіки зміни перемінних каналу регулювання температури: $T_v(t)$, $T(t)$, $T_n(t)$, $U_{yt}(t)$

На першому вході: $T_v(t)$ – пунктирна лінія, $T(t)$ – суцільна лінія, $T_n(t)$ – штрих-пунктирна лінія. На другому вході: $U_{yt}(t)$ – пунктирна лінія.

Діаграми температур наочно відображають можливість настроювання системи таким чином, щоб забезпечити в кожний момент часу підтримання необхідної нормованої температури, що становить $21^\circ C$. Це підтверджують показання цифрового вимірювача *Display* (див. рис. 1).

Графічна залежність $U_{yt}(t)$ показує характер зміни сигналу управління на виході регулятора температури, котрий в реальній системі фактично подається на вхід електроприводу клапана регулювання кількості теплоносія на вході калорифера.

Висновки

1. Системи регульованої вентиляції та кондиціонування забезпечують необхідні умови повітряного середовища в приміщеннях, підвищення надійності роботи систем, включення й

відключення їх за спеціальними умовами при аварійних ситуаціях, скорочення обслуговуючого персоналу, економію тепла й електроенергії.

2. Канал регулювання температури дозволяє підтримувати постійне нормоване значення за рахунок зміни кількості теплоносія на вході калорифера.

Перелік використаних джерел

1. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 141 с.
2. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.
3. Дьяконов В.П. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник [Текст] / В.П. Дьяконов, А.А. Пеньков. – М.: Горячая линия, 2009. – 816 с.
4. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

УДК 621.3.078.3

Харкевич Р.В. Прядко С.Л.

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОВІДЛИВНОЇ УСТАНОВКИ
КАР'ЕРУ**

Проведено аналіз сучасного стану проектування водовідливних установок кар'єру, методів зниження енергоспоживання насосних установок кар'єру. Запропонована система управління водовідливною установкою на базі нечіткої логіки.

Ключові слова: Енергозбереження, регулювання частоти, система управління, нечітка логіка.

Харкевич Р.В. Прядко С.Л.

**ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ
КАРЬЕРА**

Проведен анализ современного состояния проектирования водоотливных установок карьеру, методов снижения энергопотребления насосных установок карьеру. Предложенная система управления водоотливной установкой на базе нечеткой логики.

Ключевые слова: Энергосбережение, регулирование частоты, система управления, нечеткая логика.

Kharkevich R.V. Pryadko S.L.

**IMPROVING THE LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF A QUARRY DRAINAGE
INSTALLATION**

An analysis of the current state of design of quarry drainage systems, methods of reducing energy consumption of pumping quarries. A drainage system control system based on fuzzy logic is proposed.

Keywords: Energy saving, frequency control, control system, fuzzy logic.

Вступ

Ефективність схем водовідливу кар'єрів в період їх будівництва і експлуатації встановлюється відповідними технічними і гідрогеологічними розрахунками за критерієм відповідності продуктивності насосів і максимального розрахункового добового припливу дощових і підземних вод. У той же час, в існуючих розрахункових методиках не враховуються такі важливі технологічні характеристики схем водовідливу, як рівень зайнятості кар'єрного простору під комплексом водовідливних споруд (КВС), можливі простоти водовідливу в період монтажу-демонтажу і кількість перестановок КВС у взаємозв'язку з глибиною відпрацювання кар'єрів та фронтом гірських робіт, продуктивністю екскаваторів, порядком і умовами формування робочих зон для гірничо-транспортного обладнання. Всі виробничі процеси на гірських роботах є взаємопов'язаними, тому показники ефективності технологічної схеми водовідливу необхідно розглядати з точки зору єдиної системи «водовідлив-кар'єр». Правильне управління притоками води та її водовідведення на відкритих розробках завжди були і залишаються одним з основних умов успішної розробки родовища - будь то водопониження в кар'єрі або подача технологічної води для підготовки і збагачення корисних копалин

Основні завдання:

- Визначення основних причин низької ефективності насосного устаткування, яке використовується на кар'єрах;
- Аналіз методів підвищення енергоефективності водовідливної установки кар'єру;
- Вибір способу регулювання подачі рідини і тиску та системи контролю параметрів водовідливу;

Мета та постановка задачі

Дане дослідження присвячене питанням підвищення рівня енергоефективності водовідливної установки кар'єру за рахунок впровадження сучасних типів насосів та використання раціональної системи електроприводу.

Сучасні напрями модернізації водовідливних установок кар'єрів.

Схеми, методи і прийоми, які використовуються в технології осушення кар'єрів, значною мірою визначаються водопріпливом до гірничих виробок, проникністю дренажних порід і необхідним зниженням рівня підземних вод. При виборі способу осушення враховується так само і технологія гірничих робіт. На даний момент найбільш поширені рішення на базі поверхневих насосів з двостороннім входом (типу Д) і багатоступеневих насосів (типу ЦНС). Одним з основних недоліків поверхневих насосів є необхідність забезпечення достатнього підпору на вході насосів. Це завдання ускладнюється в зв'язку і тим, що рівень води в водозбірнику як правило змінний і коливається в широких межах (більшість відцентрових насосів дуже чутливі до зміни рівня на вході в межах 1-2 метрів). На відміну від шахтного водовідливу, кар'єрний водовідлив має високу залежність від опадів, які обумовлюють швидкого підвищення рівня води у водозбірниках, що в свою чергу призводить до аварійних ситуацій (затоплення гірничовидобувного обладнання). На цей час для схем водовідведення на гірничодобувних підприємствах все більше застосовуються занурювальні та напівзаглиблювальні насоси [1,2]. Застосування занурювальних та насосів на відкритих гірничих роботах обумовлюється високою виробничою надійністю і економічністю. Основними перевагами їх застосування є:

- роботи по осушенню і водовідливу не заважають проведенню основних гірничих робіт;
- простота монтажу і демонтажу заглиблених насосів при відкритих гірничих роботах;
- відсутність небезпеки при підвищенні рівня ґрунтових вод, так як електронасоси повністю занурені в воду;

Переваги та недоліки різних типів насосів наведені у таблиці 1

Таблиця 1 Порівняння типів насосів

Типи насосів	Переваги	Недоліки
Поверхневі	рівномірна подача і постійний натиск при незмінному режимі; простота пристрою і легкість обслуговування; швидкохідні, легкість; простота регулювання; досить висока висота всмоктування; можливість перекачування забруднених рідин; широкі межі зміни подачі і напору.	потрібна попередня заливка рідини; потрібна висока герметизація всмоктуючої лінії; нерозривний зв'язок подачі і напору; залежність ККД від подачі і напору; малий ККД при малих значеннях подачі.
Напівзаглиблювальні	менш сприйнятливі до коливання рівня води в водозбірнику; мають досить великий запас по NPSH; висока надійність, двигун і ущільнення повністю захищені від контакту з рідиною; віддалене розташування двигуна дозволяє перекачувати рідини як з низькими, так і з високими температурами; забезпечення стабільного напору, здатність до перекачування великих об'ємів рідини; відсутність необхідності в монтажі довгого всмоктуючого патрубку, призначеного для викачування рідини з дна водозбірника.	складний процес монтажу і висока металоємність
Занурювальні	можливість точного регулювання ґрунтових (шахтних) вод; простота монтажу і демонтажу при відкритих гірничих роботах; можливість насосів і двигунів в змонтованому вигляді; відсутність небезпеки при підвищенні рівня так як електро-насоси повністю занурені в воду; немає необхідності в спеціальних пристроях для заливки насоса перед пуском; створюваний напір до 1200 м забезпечує можливість прямого перекачування води на поверхню без проміжних насосних станцій.	висока вартість в порівнянні з поверхневим насосним обладнанням, складність обслуговування; теплота, що виділяється електродвигуном, не відводиться при високих температурах рідини, що транспортується

Таким чином, обґрунтування і вибір раціональної схеми водовідведення, використання сучасних типів насосів забезпечує підвищення виробничої потужності кар'єру, ритмічність роботи і скорочення терміну його відпрацювання, є актуальною науковою і практичною задачею.

Основні причини низької ефективності насосного устаткування

Основними причинами низької ефективності насосного устаткування є:

- невідповідність робочих характеристик обладнання і системи в цілому;
- некоректне управління водовідливною установкою;
- зношування обладнання.
- низькі енергетичні показники системи.

Дуже важливим є ККД всієї водовідливної установки. ККД установки часто виявляється нижче ККД встановлених на ній окремих насосів. Нерідкі випадки, коли ККД систем не перевищує 10-20%, в той час як ККД встановлених у них насосів становить 60-90% [3]. Її основна проблема при розробці енергозберігаючих заходів пов'язана з тим, що реальні параметри мережі часто невідомі або подані не в повному обсязі і сильно відрізняються від проектних параметрів. Відмінності, як правило, пов'язані з корозією трубопроводів, зміною схем та обсягів водовідведення. Для визначення реальних режимів роботи насосів і параметрів мережі виникає необхідність у здійсненні замірів безпосередньо на об'єкті з використанням спеціального контрольно-вимірювального обладнання, тобто технічного аудиту гідравлічної системи

Аналіз методів підвищення енергоефективності насосної системи

Підвищення енергоефективності є зниження енергоспоживання. Цього можна досягнути різними методами (таблиця 2).

Таблиця 2. Методи зниження енергоспоживання насосних систем

Причини високого енергоспоживання	Рекомендовані заходи щодо зниження енергоспоживання
1. Наявність в системах періодичної дії насосів, що працюють в постійному режимі незалежно від потреб системи, технологічного процесу.	- Визначення необхідності в постійній роботі насосів. - Включення і виключення насоса в ручному або автоматичному режимі.
2. Системи з мінливою у часі величиною необхідної витрати.	- Використання приводу з регульованою частотою обертання для систем з переважними втратами на тертя - Застосування насосних установок з двома і більше паралельно встановленими насосами для систем з переважно статичної складової характеристики.
3. Знос основних елементів насоса	- Ремонт та заміна елементів насоса в разі зниження його робочих параметрів.
4. Засмічення і корозія труб.	- Очищення труб - Застосування фільтрів, сепараторів і подібної арматури для запобігання засмічення. - Заміна трубопроводів на труби з сучасних полімерних матеріалів, труби із захисним покриттям
5. Робота насоса за межами робочої зони.	Застосування електродвигунів з меншою частотою обертання або редукторів в тих випадках, коли параметри насоса не відповідають умовам роботи

З наведених методів підвищення енергоефективності водовідливної установки найчастіше вибираються перший та другий: використання приводу з регульованою частотою та система автоматизації. Саме ці методи дозволяють різко підвищити енергоефективність роботи, та істотно знизити аварійність системи.

Системи автоматизації водовідливних установок

Системи автоматизації водовідливних установок, які експлуатуються зараз на гірничовидобувних підприємствах реалізують виключно функцію захисту від аварійних режимів, а не управління насосами водовідливу і здійснюють контроль тільки основних аварійних режимів. Жодна з існуючих систем автоматизації не розглядає головну водовідливну установку як багатовимірний, багатопов'язаний об'єкт і не враховує взаємовпливу параметрів водовідливу. В останній час виріс інтерес до завдань аналізу і синтезу енергозберігаючого управління множинними об'єктами, до яких відносяться і водовідливні установки. Найбільш важливі вимоги - знаходження характеристик насосів всередині робочих інтервалів, тобто дотримання оптимального енергозберігаючого режиму роботи обладнання. Крім критичних режимів роботи обладнання, при яких необхідно його відключення, аналізуються також різні інші режими, які характеризуються ступенем прийнятності відхилень характеристик, а також значущості самих характеристик при визначенні режиму. Тому доцільно в цьому випадку використати інтелектуальний підхід в вигляді нечіткої логіки для формування рекомендацій [4,5]. Нечітка модель повинна на основі значень різних робочих параметрів, рівня води та стану технологічного обладнання визначити необхідність включення і виключення насосів (управління). Наприклад, при знаходженні всіх параметрів (подача, температура, зниження рівня, струм двигуна-перетворювача) в низьких або нульових зонах - необхідність виключення насоса повинна бути також низькою або нульовою. При середніх значеннях відповідних параметрів - необхідність середня, при високих і критичних - висока і критична відповідно. Слід прийняти до уваги один важливий факт - при знаходженні хоча б одного з параметрів в області високих і критичних значень, навіть при нульових значеннях всіх інших параметрів, підсумкове значення ступеня виключення насоса має перебувати в високих і критичних зонах відповідно. Це вимога критичного режиму роботи. Так у таблиці 3 наведена база правил нечіткої системи з вагами для роботи насосної установки. База правил складається всього з п'яти правил, що спрощує її розуміння і підвищує швидкість роботи моделі, при цьому модель, яка побудована на основі такої бази правил, буде повною, так як кожному вхідному стані буде порівнювати деякий вихідний [6].

Для виконання вимоги критичного режиму роботи правила бази мають різну вагу. Так, правила нульових - середніх значень мають вагу 0,1. Для того щоб відзначити внесок критичних значень в виконання критичної умови виключення, відповідному правилу присвоєно найвищий вага 1.

Таблиця 3

База правил нечіткої системи

правило	вага
Якщо зниження подачі = нульове або температура = нульова або зниження рівня = нульове або струм = нульовий , то відключення = нульове	0,1
Якщо зниження подачі = низька або температура = низька або зниження рівня = низька або струм = низький , то відключення = низька	0,1
Якщо зниження подачі = середнє або температура = середня або зниження рівня = середнє або струм = середній , то відключення = середнє	0,1
Якщо зниження подачі = висока або температура = висока або зниження рівня = висока або струм = високий , то відключення = висока	0,2
Якщо зниження подачі = критичне або температура = критична або зниження рівня = критичне або струм = критичний , то відключення = критичне	1

База правил складається всього з 5 правил, що спрощує її розуміння і підвищує швидкість роботи моделі, при цьому модель, яка побудована на основі такої бази правил, буде повною, так як кожному вхідному стані буде порівнювати деякий вихідний [5].

Для виконання вимоги критичного режиму роботи правила бази мають різну вагу. Так, правила нульових - середніх значень мають вагу 0,1. Для того щоб відзначити внесок критичних значень в виконання критичної умови виключення, відповідному правилу

присвоєно найвищий вага 1. В якості оператора твори нечітких множин обраний оператор (PROD), що дозволяє отримати більш гладку поверхню моделі і знизити її нечутливість [5]. В якості операторів об'єднання нечітких множин, імплікації та агрегації використовувалися оператори MAX, MIN (оператор імплікації Мамдані), MAX відповідно . В якості методу дефазифікації використовувався метод центру тяжіння . Дані оператори обрані по наступним причинам: простота, популярність [5], а також використання їх за замовчуванням в MATLAB. У таблиці 4 представлені різні стани входів нечіткої моделі і відповідні їхні виходи , взяті з аналізу функціонування водовідливної установки кар'єру . Як видно з таблиці , модель задовольняє пропонованим до неї вимогам .

Таблиця 4

Стани моделі з параметрами

Вхід				Вихід	коментар
Зниження подачі	відхилення струму	Зниження рівня	Температура двигуна		
0,25	0	0	0	0,241	Низька необхідність відключення – один з параметрів в низькій зоні
0,5	0	0	0	0,37	Середня необхідність відключення - один з параметрів в середній зоні
0,75	0	0	0	0,553	Не відключаємо- у високій зоні, лише один з параметрів, критичної зони немає
0,85	0	0	0	0,703	Відключення (вихід > 0,7) - один з параметрів в критичній зоні
1	0	0	0	0,794	Відключення (вихід > 0,7) - один з параметрів в критичній зоні
0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	Низька необхідність виключення всі параметри в низькій зоні
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	Середня - всі в середній зоні
0,75	0,5	0,5	0,5	0,62	Середня , але бажано вимикання (Вихід > 0,6) - все в середній , один в високій
0,5	0,75	0,5	0,5	0,62	Середня , але бажано вимикання (Вихід > 0,6) - все в середньої , один в високою
0,75	0,75	0,75	0,75	0,7	Відключення (вихід > 0,7) - все в високою зоні
0,75	0,5	0,9	0,33	0,713	Відключення (вихід > 0,7) - один вхід в критичній зоні , решта в різних
0,33	0,25	0,25	0,9	0,7	Відключення (вихід > 0,7) - один вхід в критичній зоні , решта в різних

Висновки:

1. Обґрунтування і вибір раціональної схеми водовідведення, використання сучасних типів насосів забезпечує підвищення виробничої потужності кар'єру.
2. Підвищення енергоефективності водовідливної установки потребує використання приводу з регульованою частотою та системи автоматизації з функціями управління. Саме це дозволяє підвищити енергоефективність роботи, та істотно знизити аварійність системи.

Перелік посилань

1. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – 2-е изд. – М.: Недра, 1983. – 304 с.
2. Апфельбахер, Р. Погружные насосы фирмы KSB AG для горнодобывающей промышленности / Р. Апфельбахер // Горная промышленность.- 1998.-№2.- С. 10-11.
3. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод насосных установок. М.: ИК "Ягорба" Биоинформсервис. 1998, 180с.
4. Шевчук С.П. Повышение эффективности водоотливных установок. Учебное пособие.

- Киев, УМК ВО, 1990, 104 с.

5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. □ 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

6.Н.В. Замятин, Е.О. Иванов Нечеткая советующая система контроля артезианских Скважин. Доклады ТУСУРа, № 4 (38), декабрь 2015

7.Fuzzylite: библиотека для управления с помощью нечеткой логики [Электронный ресурс].URL: <http://www.fuzzylite.com/>

**СЕКЦІЯ 4.
МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

УДК 622.276

О. В. Лотонова, аспірантка

Л. К. Лістовщик, канд. техн. наук., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**АНАЛІЗ МЕТОДІВ БОРОТЬБИ З ПАРАФІНОВИМИ ВІДКЛАДЕННЯМИ ПРИ
ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ ТА ЗАПОБІГАННЯ ПОДАЛЬШОГО ЇХ УТВОРЕННЯ
НА СТІНКАХ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ**

Проаналізовано методи боротьби з парафіновими відкладеннями та запобігання процесу утворення парафінових відкладень на стінках нафтової свердловини та на поверхні нафтогазовидобувного обладнання, систематизовано та надано перелік основних способів та засобів. Наведено механічні способи видалення вже утворених відкладень, хімічні, з використанням різного роду реагентів, теплові з класичними нагрівачами у вигляді парової установки та індукційні. Джерелом енергії для таких пристроїв може бути як традиційні енергоносії так і альтернативні у вигляді електроенергії, яка отримана із сонячних батарей. Основними методами запобігання утворенню парафінових відкладень є хімічні методи з застосуванням спеціальних реагентів-змочувачів, модифікаторів, депресаторів та деспергаторів, фізичні методи - такі як вібраційні, ультразвукові та методи дії електромагнітного, магнітного, електричного полів, а також теплові з використанням спеціальних нагрівальних кабелів. У випадку запобігання відкладенню парафінів метою є утримати парафіни у рідкому стані аж до виходу їх на поверхню в спеціальні пристрої – холодильники, де рідина примусово охолоджується з метою видалення парафінових домішок. При такому способі стінки нафтових свердловин залишаються вільними від відкладень, зменшення поперечного перерізу труб не відбувається і рідина вільно виходить на поверхню. Встановлено чинники, які впливають на раціональний вибір методу боротьби з парафіновими відкладеннями, основними з яких є спосіб експлуатації свердловини, її параметри та характеристики вихідної продукції. З точки зору ефективності найбільш поширеними є профілактичні методи, які спрямовані на запобігання утворення кристалів парафінів, а не на їх видаленні. Це сприяє збільшенню тривалості міжремонтного періоду, підвищенню ефективності в боротьбі з відкладеннями та зменшенню капітальних витрат. Визначення умов раціонального енергоощадного використання певної системи запобігання відкладенню парафінів на стінках нафтових свердловин з різними умовами експлуатації є актуальною задачею, яка потребує комплексного підходу до її вирішення.

Ключові слова: НКТ, нафтова свердловина, асфальтено-смолисто-парафінові відкладення, парафін, шкребки, інгібітори, нагрівачі.

Вступ. Протягом багатьох років нафтогазовидобувна промисловість стикається з проблемою відкладення парафінів на промисловому обладнанні та на стінках трубопровідних комунікацій. Перші відомості та публікації на тему відкладення парафінів з'явилися ще в 60-тих роках 20-го століття у США, а в 1964 р. була проведена перша конференція з вирішення проблем утворення асфальтено-смолисто-парафінових відкладень (АСПВ) у СРСР. Розробці методів та засобів боротьби з небажаним відкладанням парафінів присвячені роботи радянських вчених Тронова В.П., Персіянцева М.Н., Бабаляна Г.А., а також закордонних вчених M.S. Keys, G.R. Marshal та ін. Цю проблему вчені намагаються вирішити й по сьогоднішній день.

Існує велика кількість методів, способів, технічних рішень різного ступеню завершеності для боротьби з парафіновими відкладеннями, але відмінність умов розробки родовищ,

способів експлуатації свердловин та характеристик продукції часто вимагають індивідуального підходу і розробки нових перспективних технологій [1].

Тому вибір правильного методу боротьби з парафіновими відкладеннями з метою збереження якості продукції, збільшення міжремонтного періоду, забезпечення стабільного рівня продуктивності протягом якомога довшого періоду часу, забезпечуючи нормативні, технічні та економічні показники, є актуальним завданням.

Метою статті є визначення основних методів та засобів впливу на обладнання свердловини та рідину, яку видобувають з свердловини, для запобігання відкладення парафінів, визначення основних напрямків щодо перспективного розроблення засобів та методів запобігання відкладенню парафінів.

Матеріали і результати досліджень. Як відомо з практики видобутку нафти на промислах, основними ділянками відкладення парафінів є поверхня глибинних насосів, стінки насосно-компресорних труб (НКТ), викидних ліній від свердловини. Фактори, які впливають на утворення парафінів: інтенсивне газовиділення, зниження температури в пласті, зміна швидкості руху рідини в свердловині, зменшення тиску в області вибою свердловини [2].

Тому для кожного родовища, в залежності від фізико-хімічних умов пластових флюїдів, можливе використання різних методів боротьби з АСПВ, які наведені на рис 1.

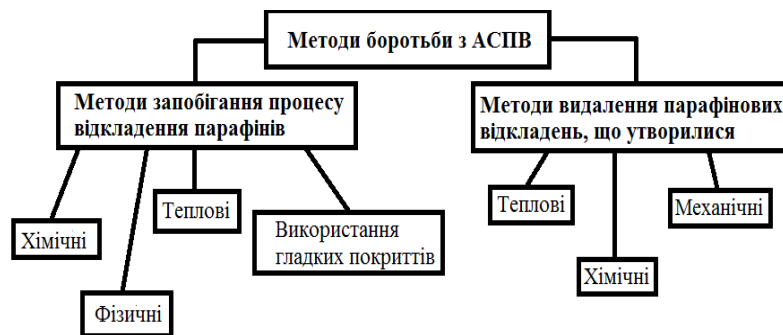


Рисунок 1 – Різновиди методів боротьби з АСПВ

Методи боротьби з парафіновими відкладеннями, що вже утворилися. Відомі механічні, хімічні та теплові методи боротьби з парафіном, що вже утворився. Механічні методи боротьби з парафіновими відкладеннями є найбільш вживані і будуються на принципі зскрібання парафіну з внутрішньої поверхні НКТ спеціальними шкребками (рис. 2).

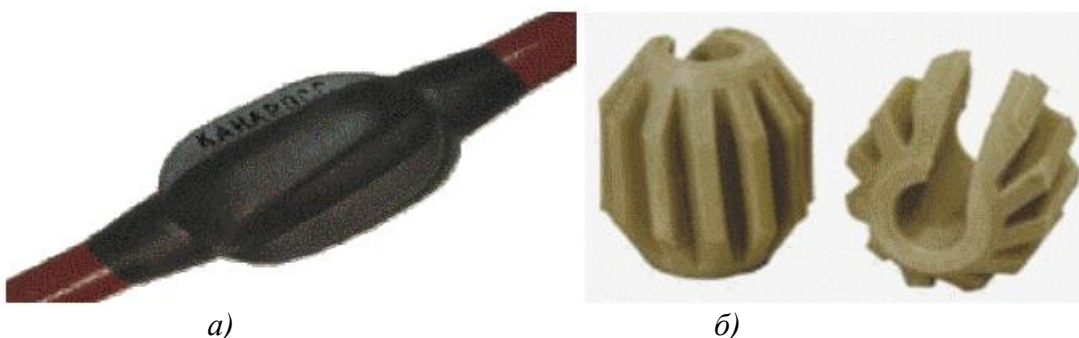


Рисунок 2 – Шкребки:

а) нерухомі шкребки «Канарос»; б) шкребки-центратори Альметівського заводу «Радіоприлад»

Недоліками застосування механічних методів боротьби з парафіновими відкладеннями, а саме шкребків, є те, що при глибиннонасосній експлуатації нафтових свердловин вони

збільшують навантаження на головку балансира, що призводить до збільшення витрат енергії і призводить до передчасного зносу і обриву штанг, причому стінки НКТ повністю не очищаються, а самі штанги також запарафінуються. Разом з тим, такі методи є одними з найдешевших.

При фонтанній, компресорній експлуатації та у свердловинах, які обладнані відцентровими насосами, використовуються скребки, що піднімаються і опускаються за допомогою дроту або використовується енергія газліфтного потоку [4].

Найбільш широкого застосування знайшли скребки, які підвішуються на дроті, але недолік їх використання полягає в тому, що у разі обриву дроту скребок часто залишається всередині труби, що негативно впливає на дебіт нафтової свердловини.

Відомі так звані автоматичні літаючі скребки, але недоліком є неможливість застосування внаслідок обмеження умов, де вони можуть працювати та необхідність ретельного їх контролю в процесі запуску. Оптимальна робота скребка має місце тільки при дебіті свердловин більше 50 т/добу [4].

В умовах газліфтних свердловин доцільно використовувати конструкцію плунжерного газліфту, яка дозволяє проводити самоочистку НКТ від парафінів, виконуючи роль скребка [3]. В такий спосіб ліквідують значні парафінові відкладення і зберігають дебіт свердловин родовища Нью-Касл у Вайомінгу, де діє близько 50 установок плунжерного газліфту [4].

Задля вирішення проблеми з відкладеннями парафіну використовують також хімічні реагенти, які виконують роль розріджувачів. Відомий достатньо широкий асортимент таких хімреагентів і на сьогоднішній день застосовуються наступні основні [1]:

- бутилбензольна фракція (бутиленбензол, ізопропілбензол);
- толуольна фракція (толуол, ізопентан, ізопрен);
- МЛ-72 – суміш синтетичних ПАР;
- СНПХ-7Р-1 – суміш парафінових вуглеводнів нормального та ізоскладу, а також ароматичні вуглеводні;
- СНПХ-7Р-2 – суміш вуглеводнів, що складається з легкої піролізної смоли і гексанової фракції;
- СЕВА-28 – сополімер етилену з вінілацетатом;
- реагенти типу СНПХ-7200, СНПХ-7400, ІНПАР.

Основними недоліками у використанні хімреагентів у боротьбі з парафіновими відкладеннями є висока вартість та складність підбору ефективного реагенту, що пов'язана з постійною зміною умов експлуатації в умовах розробки родовища.

Широкого застосування набули теплові методи очистки свердловин від парафінів до яких відносять періодичну закачку в затрубний простір свердловини гарячої нафти, перегрітого пару і пароповітряної суміші та електричний прогрів труб [4].

Застосування методу депарафінізації з використанням гарячої нафти досить трудомісткий процес, оскільки підігрівати нафту доводиться в мірниках перегрітим паром від парової пересувної установки (ППУ) (рис. 3), та необхідна зупинка роботи свердловини.



Рисунок 3 – Парова пересувна установка (ППУ)

Застосування прогріву пароповітряною сумішшю також трудомістка операція, особливо в зимові періоди, але на відміну від прогріву гарячою нафтою, при використанні такого методу роботу свердловини не зупиняють.

Недоліком є те, що використання методу прогрівання пароповітряною сумішшю є досить обмежене. Його доцільно застосовувати при глибинонасосній експлуатації та компресорній, але у випадку низьких робочих тисків, а при короткочасних міжремонтних періодах застосування методу взагалі недоцільно [4].

Закачування перегрітого пару проводиться через спеціальну установку підтримки пластового тиску (ППТ), забезпечуючи його температуру близько 300 °С. Пар розігріває нафту, забезпечує притік у привібійну зону підігрітої нафти і завдяки цьому рівень відкладень знижується. Метод є досить енерговитратним і може бути реалізованим лише в окремих випадках [1].

Широкого використання зазнали індукційні нагрівачі, які є найбільш сучасним та високоефективним методом боротьби з парафіновими відкладеннями. Принцип їх роботи (рис. 4) полягає в тому, що якщо провідник скрутити в спіраль і приєднати його кінці до джерела змінного струму, вийде котушка індуктивності з магнітним полем. Якщо помістити всередину котушки електропровідний предмет, то внаслідок явища електромагнітної індукції в тілі котушки виникнуть вихрові струми (струми Фуко), які під впливом електричного опору матеріалу деталі, викликать її нагрів. Таким чином, тепло йде безпосередньо від поверхні металу в середовище, що нагрівається. Основною особливістю індукційного нагрівача є те, що теплове поле він формується безпосередньо в провідному тілі (наприклад, в стінці НКТ).

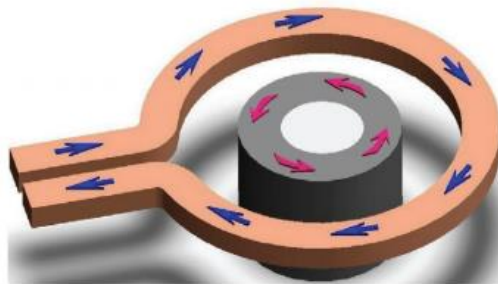


Рисунок 4 – Принцип роботи індукційного нагрівача

Недоліком є те, що такий спосіб нагріву має високу енергоємність, та низьку надійність [5].

На сьогоднішній день відомі методи для боротьби з парафінами, де використовується у якості джерела енергії альтернативна енергетика (енергію сонця та вітру).

Так, наприклад, влада султанату Оман має намір побудувати гігантську сонячну електростанцію (рис. 5) з однією лише метою - видобувати з її допомогою нафту. Про це повідомляє американська бізнес-газета The Wall Street Journal [11].

Електростанцію планують звести на родовищі Amal West в Південному Омані. Потужність сонячної електростанції, як очікується, складе 1021 МВт, що дозволяє назвати її однією з найбільших в світі.

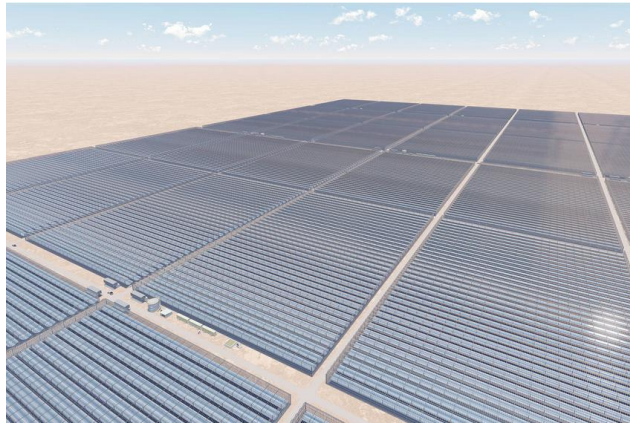


Рисунок 5 – Комп'ютерне моделювання майбутньої сонячної станції на родовищі Amal West в Південному Омані

За допомогою сонячної енергії на родовищі Amal West збираються підвищувати нафтовіддачу пласта. Технологія передбачає фокусування світла на трубах, які містять воду, за допомогою вигнутих дзеркал. Утворений пар потім вводять в резервуар для нагріву нафти і зменшення її в'язкості, що полегшує видобування сировини на поверхню.

Розробляється нова технологія боротьби з відкладеннями парафіну тепловим методом електротермічного впливу на стовбур нафтової свердловини із застосуванням вітроелектричної установки в якості автономного джерела живлення. Перевагою даного теплового способу впливу є його автономність, що дозволяє зберігати пропускний перетин насосно-компресорних труб постійним.

Таким чином даний напрямок в енергетиці є одним з актуальних так як при використанні енергії сонця та вітру на підприємствах нафтогазової галузі можливе зниження собівартості продукції, отримання певного комплексу пільг, а також запобігання екологічних проблем, викликаних споживанням традиційних джерел енергії [7].

Але недосконалість вивчення теплового методу з поєднанням альтернативної енергетики і нафтової галузі робить його малопоширеним в на теперішній час.

Методи запобігання процесів утворення парафінових відкладень. До таких методів відносять хімічні з застосуванням спеціальних реагентів-змочувачів, модифікаторів, депресаторів та деспергаторів, фізичні методи такі як вібраційні, ультразвукові та дія електромагнітного, магнітного, електричного полів, а також теплові з використанням спеціальних нагрівальних кабелів.

На сьогоднішній час перспективними є пристрої, що запобігають утворенню парафінів на основі постійних магнітів. Вони являють собою труби НКТ із зовнішнім кожухом, в якому розміщуються магніти, які утворюють навколо труб магнітне поле. При обробці нафтового потоку полем утворюються додаткові центри кристалізації парафіну по всьому об'єму нафтового потоку. Кристали збільшуються не на стінках обладнання, а в самому об'ємі нафти, що призводить до зменшення інтенсивності накопичення парафінів на обладнанні [8]. Такий метод є складним через складне монтування обладнання, також для встановлення таких пристроїв необхідна зупинка роботи свердловини і піднімання НКТ на поверхню.

Вібраційні методи засновані на утворенні в області випадання парафінів ультразвукових коливань, які впливають на кристали парафіну, викликають їх мікропереміщення, що перешкоджає їх осіданню на стінках труб. Для застосування даного методу використовують гідравлічний вібратор, але недоліком є те, що в свердловині наявне працююче обладнання, відцентрові насоси, що також викликають вібрацію труб і можуть виникнути резонансні коливання системи, які призводять до аварій. Таким чином вібраційні методи широкого застосування не отримали.

Хімічні методи базуються на дозуванні в продукцію сполук, що зменшують або повністю запобігають утворенню парафінів. Механізм дії змочуючих реагентів полягає в утворенні на поверхні труб гідрофільної плівки, яка запобігає адгезії кристалів парафіну до труб. Головною умовою використання таких реагентів є відсутність будь-яких відкладень на трубах перед їх використання [8].

Модифікатори взаємодіють з молекулами парафіну, послаблюючи процес збільшення кристалів. Це зумовлює підтримання постійного розміру кристала в процесі його руху.

Депресатори діють на кристали парафіну таким чином, що ускладнюють їх можливість до агрегації та накопиченню [8].

Диспергатори - реагенти, що забезпечують підвищення теплопровідності нафти в наслідок чого процес кристалізації парафінів уповільнюється.

Відомо, що інтенсивність відкладення парафінів збільшується внаслідок збільшення шорсткості поверхні труб [8]. На гладких поверхнях, які вкриті шаром лаку або емалі, відкладення незначні. При експлуатації на промислах НКТ часто піддаються ударам, розтягуючими, згинаючими та іншими навантаженнями. Тому для таких умов використання НКТ рекомендовані епоксидні та емалеві покриття.

Недоліком хімічних методів запобігання утворення парафінів є їх висока собівартість і тенденції щодо її зниження не спостерігається.

Надійним способом запобігання процесу відкладення парафінів є застосування спеціальних нагрівальних кабелів (рис. 6).

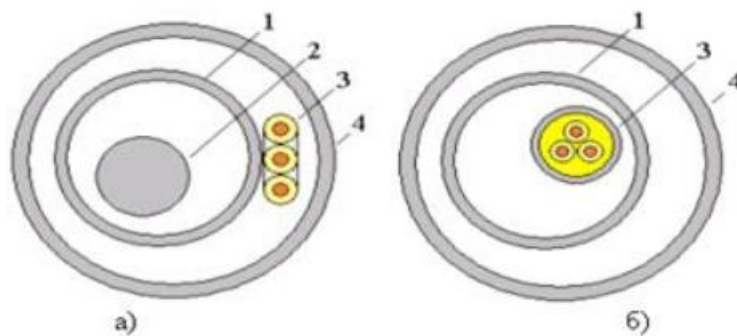


Рисунок 6 – Розміщення нагрівальних кабелів у свердловині.

а) свердловина з штанговим глибинним насосом; б) свердловини з відцентровим насосом, фонтанні:

1 – НКТ; 2 – штанга насоса; 3 – кабель; 4 – обсадна колона (ОК)

Принцип їх дії наступний: до кущів свердловин підводиться високовольтна лінія, до якої через знижувальний трансформатор підключається кабель з реактивним опором, який опускається в свердловину і за рахунок перетворення електричної енергії в теплову підтримує температуру в НКТ на рівні 80 °С [8]. Перевагами таких систем є мала матеріалоемність, простий монтаж, стійкість до корозії та автоматичне управління, що забезпечує підтримання оптимального температурного режиму з необхідною точністю і відповідно з заданими умовами експлуатації свердловини.

Висновки. Отже, необхідно зауважити, що проблема боротьби з відкладеннями парафіну досить складна і не до кінця вирішена. В боротьбі з парафінами значну роль відіграє механізм їх утворення, що і впливає на правильний вибір та ефективність методу їх запобігання чи видалення. До вибору правильного методу потрібно підходити індивідуально, враховувати величину вибірного тиску, температури пласта, швидкості руху нафтогазової суміші та її властивостей, стану поверхні труб. З точки зору ефективності найбільш поширеними є профілактичні методи, які спрямовані на запобігання утворення кристалів парафінів, а не на

їх видаленні. Це сприяє збільшенню тривалості міжремонтного періоду, підвищенню ефективності в боротьбі з відкладеннями та зменшенню капітальних витрат.

Список використаної літератури

1. Ткаченко М.В. Аналіз технологій та технічних засобів боротьби з асфальто-смоло-парафіновими відкладеннями при видобутку нафти / М. В. Ткаченко. // Техніка і технологія видобування нафти і газу. – С. 150.
2. Шихиев Я.Д. Методы предотвращения и борьбы с отложениями АСПО / Я. Д. Шихиев. // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – №6.
3. Донг Ван Хоанг. Борьба с отложениями парафина в газлифтных скважинах месторождения Белый тигр (Вьетнам) / Донг Ван Хоанг. // VII Всероссийская конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов». – С. 188–192.
4. Бабалян Г.А. Борьба с отложениями парафина / Бабалян Г.А.. – М: Недра, 1965. – 340 с.
5. Тронов В.П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними / В.П. Тронов. – М.: Недра, 1995. – 88 с.
6. Ибрагимов Г.З. Химические реагенты для добычи нефти / Г. З. Ибрагимов – Справочник. – М.: Недра, 1986. – 240 с.
7. Дамира Мирзахалилова. Использование солнечной энергии в нефтегазовой отрасли / Дамира Мирзахалилова. – 2017. – №2. – С. 110.
8. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях / М.Н. Персиянцев. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 653 с.
9. Голонский П.П. Борьба с парафином при добыче нефти / П.П. Голонский. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 88 с.
10. Keys M. S. Gel Pig Technology Used In Pipeline Conversation // M.S. Keys, R.G. Evans. – Pipeline and Gas J. – 1993. - № 3. – P. 26-30.
11. Georgi Kantchev. Oman to Build Giant Solar Plant to Extract Oil [Електронний ресурс] / Georgi Kantchev // The Wall Street Journal. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wsj.com/articles/oman-to-build-giant-solar-plant-to-extract-oil-1436344310>.

O. Lotonova, L. Listovchshyk

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ANALYSIS OF METHODS OF STRUGGLE AGAINST PARAFFIN DEPOSITS IN THE PRODUCTION OF CARBONS AND PREVENTION OF THEIR FURTHER EDUCATION ON THE WALLS OF OIL WELL

Methods for combating paraffin deposits and preventing the formation of paraffin deposits on the walls of the oil well and on the surface of the oil and gas equipment are analyzed, and a list of the main methods and means is provided. Mechanical methods of removal of already formed deposits, chemical, using various reagents, thermal with classical heaters in the form of steam installation and induction are given. The source of energy for such devices can be both traditional energy and alternative in the form of electricity derived from solar panels. The main methods of preventing the formation of paraffin deposits are chemical methods with the use of special wetting reagents, modifiers, depressants and dispersants, physical methods such as vibration, ultrasonic and methods of action of electromagnetic, magnetic, electric fields, as well as thermal waves using special waves. In order to prevent the deposition of paraffins, the purpose is to keep the paraffins in the liquid state until they are brought to the surface in special devices - refrigerators, where the liquid is forcibly cooled to remove paraffin impurities. In this way, the walls of the oil wells remain free from deposits, the reduction of the cross-section of the pipes does not occur and the liquid freely goes to the surface. The main factors that influence the rational choice of the method of combating paraffin deposits, the

main of which are the method of operation of the well, its parameters and characteristics of the initial production. From the point of view of efficiency, the most common are preventive methods that aim to prevent the formation of paraffin crystals, not to remove them. This contributes to increasing the duration of the overhaul period, increasing efficiency in dealing with deposits and reducing capital expenditures. Determining the conditions of rational energy-efficient use of a certain system of preventing the deposition of paraffins on the walls of oil wells with different operating conditions is an urgent task that requires a comprehensive approach to its solution.

Keywords: tubing, oil well, asphalt-tar-paraffin deposits, paraffin, scrapers, inhibitors, heaters.

References

1. Tkachenko M.V. Analiz tekhnolohii ta tekhnichnykh zasobiv borotby z asfalto-smolo-parafinovymy vidkladenniamy pry vydobutku nafty / M. V. Tkachenko. // Tekhnika i tekhnolohiia vydobuvannia nafty i hazu. – S. 150.
2. Shykhyev Ya.D. Metody predotvrashcheniya y borby s otlozheniyamy ASPO / Ya. D. Shykhyev. // Mezhdunarodnyi studencheskyi nauchnyi vestnyk. – 2015. – №6.
3. Donh Van Khoanh. Borba s otlozheniyamy parafyna v hazlyftnykh skvazhynakh mestorozhdeniya Belyi tyhr (Vietnam) / Donh Van Khoanh. // VII Vserossyiskaia konferentsiya «Nauchnaia ynytsyatyva ynostrannykh studentov y aspirantov rossiyskikh vuzov». – S. 188–192.
4. Babalian H.A. Borba s otlozheniyamy parafyna / Babalian H.A.. – M: Nedra, 1965. – 340 s.
5. Tronov V.P. Mekhanyzm obrazovaniya smolo-parafynovykh otlozheniy y borba s nymy / V.P. Tronov. – M.: Nedra, 1995. – 88 s.
6. Ybrahymov H.Z. Khymycheskiye reahenty dlia dobychy nafty / H. Z. Ybrahymov – Spravochnyk. – M.: Nedra, 1986. – 240 s.
7. Damyra Myrzakhalylova. Yspolzovanye solnechnoi enerhyy v neftehazovoi otrasly / Damyra Myrzakhalylova. – 2017. – №2. – S. 110.
8. Persyantsev M.N. Dobycha nafty v oslozhnennykh usloviyakh / M.N. Persyantsev. – M.: ООО «Nedra-Byznestsentr», 2000. – 653 s.
9. Holonskyi P.P. Borba s parafynom pry dobyche nafty / P.P. Holonskyi. – M.: Hostoptekhyzdat, 1960. – 88 s.
12. Keys M. S. Gel Pig Technology Used In Pipeline Conversation // M.S. Keys, R.G. Evans. – Pipeline and Gas J. – 1993. - № 3. – P. 26-30.
13. Georgi Kantchev. Oman to Build Giant Solar Plant to Extract Oil [Електронний ресурс] / Georgi Kantchev // The Wall Street Journal. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wsj.com/articles/oman-to-build-giant-solar-plant-to-extract-oil-1436344310>.

УДК 622.276

О. В. Лотонова, аспирант

Л. К. Листовщик, канд. техн. наук., доц.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

АНАЛИЗ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ПАРАФИНОВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЕРОДОВ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИХ ОБРАЗОВАНИЯ НА СТЕНКАХ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ

Проанализированы методы борьбы с парафиновыми отложениями и предотвращения процесса образования парафиновых отложений на стенках нефтяной скважины и на поверхности нефтегазодобывающего оборудования, систематизированы и предоставлены перечень основных способов и средств. Приведены механические способы удаления уже образовавшихся отложений, химические, с использованием разного рода реагентов, тепловые

с классическими нагревателями в виде паровой установки и индукционные. Источником энергии для таких устройств могут быть как традиционные энергоносители так и альтернативные в виде электроэнергии, полученной с солнечных батарей. Основными методами предотвращения образования парафиновых отложений являются химические методы с применением специальных реагентов-смазывателей, модификаторов, деспергаторов, физические методы - такие как вибрационные, ультразвуковые и методы воздействия электромагнитного, магнитного, электрического полей, а также тепловые с использованием специальных нагревательных кабелей. В случае предотвращения отложению парафинов целью является удерживать парафины в жидком состоянии до выхода их на поверхность в специальные устройства - холодильники, где жидкость принудительно охлаждается с целью удаления парафиновых примесей. При таком способе стенки нефтяных скважин остаются свободными от отложений, уменьшение поперечного сечения труб не происходит и жидкость свободно выходит на поверхность. Установлены факторы, которые влияют на рациональный выбор метода борьбы с парафиновыми отложениями, основными из которых являются способ эксплуатации скважины, ее параметры и характеристики исходной продукции. С точки зрения эффективности наиболее распространенными являются профилактические методы, направленные на предотвращение образования кристаллов парафинов, а не на их удаление. Это способствует увеличению продолжительности межремонтного периода, повышению эффективности в борьбе с отложениями и уменьшению капитальных затрат. Определение условий рационального энергосберегающего использования определенной системы предотвращения отложению парафинов на стенках нефтяных скважин с различными условиями эксплуатации является актуальной задачей, которая требует комплексного подхода к ее решению.

Ключевые слова: НКТ, нефтяная скважина, асфальтено-смолисто-парафиновые отложения, парафин, скребки, ингибиторы, нагреватели.

УДК 62-242.2

Лістовщик Л.К., к.т.н. доцент
Мельничук Р.І., студентка
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СТВОРЕННЯ ДВОРЕЖИМНОГО СТРУМИННОГО НАСОСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Анотація. В роботі запропоновано вдосконалення методу підвищення продуктивності нафтової свердловини з використанням нової конструкції дворежимного струминного насосу під час проведення капітального ремонту свердловини.

Ключові слова. *дебіт, привибійна зона свердловини, струминний насос, насосно-компресорні труби (НКТ), капітальний ремонт свердловини.*

Abstract. *The paper proposes to increase the method of improving the productivity of oil wells using a new design two-mode jet pump during the overhaul of the well.*

Keywords. *flow rate, bottomhole well zone, jet pump, tubing, overhaul of well.*

Вступ. За останні роки дуже важливою постає тема забезпечення енергонезалежності в Україні за рахунок підвищення надійності та ефективності видобування власних вуглеводнів. Тому, на даний момент, є актуальною проблема підвищення продуктивності нафтової свердловини з використанням обладнання з покращеними технічними характеристиками.

Стан привибійної зони свердловини має визначальний вплив на продуктивність розкритих пластів [1]. Дослідженнями свердловин при стаціонарних і нестаціонарних режимах фільтрації встановлено, що після закінчення бурінням і освоєння їх продуктивність знижується в середньому удвічі тобто коефіцієнт продуктивності свердловин становить 50% від коефіцієнта продуктивності гідродинамічно досконалої свердловини [2]. Погіршення стану привибійної зони пласта у видобувних свердловинах зумовлено наявністю фільтрату і твердої фази, що потрапляють в пори продуктивного пласта із бурового розчину, відкладенням смол, парафінів, асфальтенів і солей, а у нагнітальних свердловинах – відкладенням солей, механічних домішок з води та продуктів корозії. Відкладення солей у нагнітальних свердловинах також відбувається внаслідок несумісності закачаної і пластової вод. Ці всі чинники призводять до зменшення дебіту свердловини. При значному зменшенні дебіту свердловини виникає необхідність у дії на привибійну зону пласта [1, 2].

Одним з традиційних заходів відновлення продуктивності нафтової свердловини є її кислотна обробка. Основним недоліком такої обробки є великі витрати часу на спуску-піднімальні операції, через що ефективність обробки значно знижується.

Мета дослідження. Обґрунтування доцільності використання струминного дворежимного насосу для підвищення продуктивності нафтової свердловини.

Матеріали та методи досліджень. Існує декілька основних методів боротьби з даною проблемою, а саме: хімічні, механічні, теплові та інші. Іноді ці методи доводиться комбінувати, або ж застосовувати по черзі, задля підвищення ефективності дії на привибійну зону [2].

Струминні апарати зазвичай використовуються для ремонту свердловин хімічними методами, суть яких полягає в очищенні порових каналів породи-колектора. Для цього використовують соляну кислоту з різними домішками, такими, як інгібітори, сірчану кислоту, різного роду поверхнево-активні речовини (ПАР), стабілізатори та інші [3].

Класичний метод хімічної обробки відбувається таким чином: спочатку в НКТ з нерозкритим пакером закачують нафту або воду, потім, при відкритому затрубному просторі – розраховану заздалегідь кількість приготовленого робочого розчину соляної кислоти

визначеної концентрації. При цьому обсяг першої порції кислоти розраховують так, щоб вона заповнила труби і кільцевий простір від підшови до покрівлі пласта. Після цього розкривають пакер і під тиском закачують в свердловину залишки кислотного розчину. Кислота починає проникати в пласт. Частину, що залишилася в трубах і в фільтрової частини свердловини кислоту продавлюють в пласт нафтою або водою [3, 4].

Проте, такий спосіб не завжди приносить бажаного результату через великі часові витрати, які пов'язані з необхідністю піднімання обладнання, встановленням струминного насоса і опусканням насоса з пакером на трубах в свердловину. Час заміни обладнання може значно перевищити час перебігу хімічної реакції в пласті свердловини, що, в багатьох випадках, значно знижує ефективність кислотної обробки [3]. Таким чином, хімічний метод з використання струминного насоса для відкачування продуктів реакції зі свердловини потребує удосконалення.

Результати. Враховуючи вищесказані чинники, розроблено конструкцію дворежимного струминного насоса, використання якого дозволить значно зменшити витрати часу на кислотну обробку нафтової свердловини.

Запропонована система (рис.1) містить такі основні елементи: обсадна колона 1, НКТ 2, пакер 3, струминний насос 4, в склад якого входить рухома втулка 5 з дифузorzом 6, конфузorzом 7 та камерою змішування 8; фіксатор втулки 9, канали 10, 11, 12.

Перед початком роботи, обладнання опускають у свердловину. Рухома втулка знаходиться у верхньому положенні – режим труби (рис.1.а). Далі проводять заміну рідини у свердловині методом циркуляції наступним чином: робоча рідина через НКТ 2 надходить до верхнього патрубка насоса, далі по каналу 2 надходить під рухома втулку 5 та через НКТ 2 потрапляє в підпакерну зону, далі – між пакером і обсадною колоною 1, по затрубному простору надходить на поверхню. Таким способом кислотний розчин доводиться до пласта і пакер 3 розкривають, гідравлічно ізолюючи надпакерну і підпакерну зону. Далі, тиском робочої рідини з поверхні, кислотний розчин задавлюється в пори продуктивного пласта. Роботи зупиняються на час, який необхідний для реагування кислотного розчину з асфальтенами, смолами та парафінами в порах породи- колектора. Наступний етап – відкачування продуктів реакції. Для цього необхідно перемкнути струминний насос в режим насоса (рис.1.б). Це відбувається наступним чином: робоча рідина під тиском подається в затрубний простір і через канал 10 надходить у внутрішню частину насоса, зриває рухома втулку 5 з фіксаторів 9 та переміщує її в нижнє положення. Далі починається етап відкачування продуктів реакції, який відбувається наступним чином. Через НКТ 2 та канал 11 робочий потік надходить до входу в конфузorz 7, далі в камеру змішування 8, де, внаслідок створення розрідження, підсмоктується потік продуктів реакції (інжектований потік) з підпакерної зони через канал 12. Далі змішаний потік через дифузorz 6 та канал 10 надходить в затрубний простір і піднімається на поверхню.

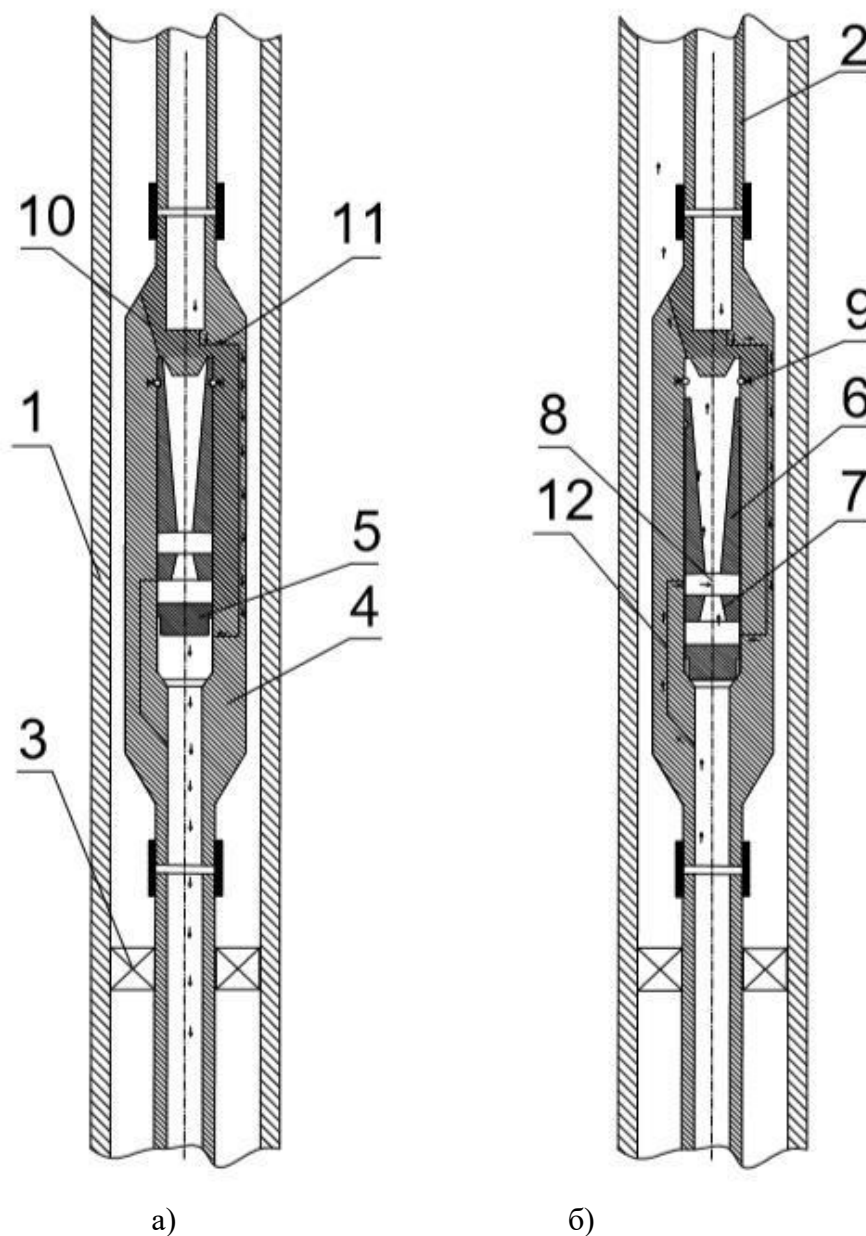


Рисунок 1- Схема струминного дворежимного насосу

Таким чином, запропонована конструкція струминного насосу дозволяє значно зекономити часові витрати, які пов'язані із заміною обладнання між етапом закачування кислотного розчину та етапом відкачування продуктів реакції. Струминний насос можна перемкнути з одного режиму в інший протягом декількох хвилин не зриваючи пакер і не витягуючи для цього обладнання на поверхню.

Висновок. Розроблена конструкція дворежимного струминного насосу для кислотної обробки нафтової свердловини дозволяє виключити з алгоритму кислотної обробки такий часомісткий етап як спуско-піднімальну операцію на заміну обладнання, що дає змогу ефективно і в повному обсязі використати потенціал кислотної обробки.

Список літератури

1. Імпульсні методи інтенсифікації видобутку вуглеводнів / В.П. Нагорний, І.І. Денисюк: за загальною редакцією В.П. Нагорного; НАН України, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна. – Київ, 2012.– С. 323,
2. В.Р. Возний. Аналіз методів інтенсифікації припливу вуглеводнів на родовищах НГВУ «Бориславнафтогаз» і оцінка коефіцієнта нафтогазовилучення./ В.Р. Возний, О.В. Дудра. - м. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2013.- 216 с.
3. Эммануэль Н.М. Химические методы в процессах добычи нефти / Н.М. Эммануель, Г.Е. Зайков. - М.: Недра, 1987. -500с
4. Міщенко І.Т. Струйные насосы для добычи нефти / Міщенко І.Т., Гумерский Х.Х., Марьенко В.П М.: Нефть и газ, 1996. – 150 с.

UDC 622.629

Oduware Senseman Nosa-Doe, Master student
Department of Electromechanical Equipment for Energy Intensive Industries

PIG TECHNOLOGY FOR OIL PIPELINE SERVICE

Key words: pig, oil pipeline, cleaning, [inline inspection](#), location verification.

Introduction

A "pig" in the [pipeline](#) industry is a tool that is sent down a pipeline and propelled by the [pressure](#) of the product flow in the pipeline itself, see Fig. 1. There are four main uses for pigs:

1. Physical separation between different fluids flowing through the pipeline
2. Internal cleaning of pipelines
3. Inspection of the condition of pipeline walls (also known as an Inline Inspection (ILI) tool)
4. Capturing and recording geometric information relating to pipelines (e.g., size, position).

One of the most common and versatile is the foam pig which is cut or poured out of open cell [polyurethane](#) foam into the shape of a bullet and is driven through pipelines for many reasons such as to prove the inner diameter of, clean, de-water, or dry out the line. There are several types of pigs for cleaning in various densities from 2 lb to 10 lb foam and in special applications up to 20 lb. Some have [tungsten studs](#) or abrasive wire mesh on the outside to cut [rust](#), [scale](#), or [paraffin wax](#) deposits off the inside of the pipe. Other types are fully or criss-cross coated in urethane, or there are bare polyurethane foam pigs with a urethane coating just on the rear to seal and assist in driving the pig. There are also fully molded urethane pigs used for liquid removal or batching several different products in one line.



Fig. 1. A pig in a pipeline

[Inline inspection](#) pig

[Inline inspection](#) pigs use various methods for inspecting a pipeline. A sizing pig uses one (or more) notched round metal plates as gauges. The notches allow different parts of the plate to bend when a bore restriction is encountered. More complex systems exist for inspecting various aspects of

the pipeline. Intelligent pigs are used to inspect the pipeline with sensors and record the data for later analysis. These pigs use technologies such as magnetic flux leakage (MFL) and [ultrasound](#) to inspect the pipeline. Intelligent pigs may also use [calipers](#) to measure the inside geometry of the pipeline.

In 1961, the first intelligent pig was run by Shell Development. It demonstrated that a self-contained electronic instrument could traverse a pipeline while measuring and recording wall thickness. The instrument used electromagnetic fields to sense wall integrity. In 1964 Tuboscope ran the first commercial instrument. It used MFL technology to inspect the bottom portion of the pipeline. The system used a black box similar to those used on aircraft to record the information; it was basically a highly customized analog tape recorder. Until recently, tape recording (although digital) was still the preferred recording medium. As the capacity and reliability of [solid-state memory](#) improved, most recording media moved away from tape to solid-state.

Capacitive sensor probes are used to detect defects in polyethylene pipe gas pipeline. These probes are attached to the pig before it is sent through the polyethylene pipe to detect any defects in the outside of the pipe wall. This is done by using a triple plate capacitive sensor in which electrostatic waves are propagated outward through the pipe's wall. Any change in dielectric material results in a change in capacitance. Testing was conducted by NETL DOE research lab at the Battelle West Jefferson's Pipeline Simulation Facility (PSF) near Columbus, Ohio.

Intelligent pig

Modern intelligent or "smart" pigs are highly sophisticated instruments that include electronics and sensors that collect various forms of data during their trip through the pipeline. They vary in technology and complexity depending on the intended use and the manufacturer. The electronics are sealed to prevent leakage of the pipeline product into the electronics since products can range from being highly basic to highly acidic and can be of extremely high pressure and temperature. Many pigs use specific materials according to the product in the pipeline. Power for the electronics is typically provided by onboard batteries which are also sealed. Data recording may be by various means ranging from analog tape, digital tape, or solid-state memory in more modern units.

The technology used varies by the service required and the design of the pig; each pigging service provider may have unique and proprietary technologies to accomplish the service. Surface pitting and corrosion, as well as cracks and weld defects in steel/ferrous pipelines are often detected using [magnetic flux leakage](#) (MFL) pigs. Other "smart" pigs use [electromagnetic acoustic transducers](#) to detect pipe defects. Caliper pigs can measure the [roundness](#) of the pipeline to determine areas of crushing or other deformations. Some smart pigs use a combination of technologies, such as providing MFL and caliper functions in a single tool. Trials of pigs using [acoustic resonance technology](#) have been reported.

During the pigging run the pig is unable to directly communicate with the outside world due to the distance underground or underwater and/or the materials that the pipe is made of. For example, steel pipelines effectively prevent any significant radio communications outside the pipe. It is therefore necessary that the pig use internal means to record its own movement during the trip. This may be done by [odometers](#), gyroscope-assisted [tilt sensors](#) and other technologies. The pig records this positional data so that the distance it moves along with any bends can be interpreted later to determine the exact path taken.

Location verification

Location verification is often accomplished by surface instruments that record the pig's passage by either audible, magnetic, radio-transmission or other means. The sensors record when they detect the passage of the pig (time-of-arrival); this is then compared to the internal record for verification or adjustment. The external sensors may have [Global Positioning System](#) capability to assist in their location. A few pig passage indicators transmit the pig's passage, time and location, via satellite uplink. The pig itself cannot use GPS as the metal pipe blocks satellite signals.

After the pigging run has been completed, the positional data from the external sensors is combined with the pipeline evaluation data (corrosion, cracks, etc.) from the pig to provide a location-specific defect map and characterization. In other words, the combined data reveals to the operator the location, type and size of each pipe defect. This information is used to judge the severity of the defect and help repair crews locate and repair the defect quickly without having to dig up excessive amounts of pipeline. By evaluating the rate of change of a particular defect over several years, proactive plans can be made to repair the pipeline before any leakage or environmental damage occurs.

The inspection results are typically archived for comparison with the results of later pigging runs on the same pipeline.

References:

20. W. K. Brown, V. Diatschenko, J. R. Stoy, US Patent 5,549,000, 1996, Passive Acoustic Detection of Pipeline Pigs
21. W. K. Brown, Winthrop, Passive Acoustic Detection of Dipeline Pigs, The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 101, Issue 2, February 1997, p.662 (ASAJ Homepage), 02/1997
22. S. M. Hosseinalipour, A. Zarif Khalili, A. Salimi, Numerical Simulation of Pig Motion Through Gas Pipelines, 16th Australian Fluid Mechanics Conference, Goald Coast Australia, 12/2007
23. J. Cordell, H. Vanzant, Pipeline World & Scientific Surveys Ltd., 6th ed., ISBN 0901360333,2006

UDC 621.311ⁱⁱⁱ

Aissa Halem

Department of electromechanical equipment energy-intensive industries

**ENHANCED CONTROL OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY PROCESS FOR
INTERNAL COMBUSTION ENGINE****(SOURCE ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT BY INTERNAL GASES)**

The use of generators with converters allows, depending on the load of the network, to regulate the speed of the internal combustion engine, thus increasing the overall efficiency of the system and reducing fuel consumption as a whole. However, it must be noted that the optimal operation of the internal combustion engine is possible at a certain engine speed. A decrease in the engine speed leads to a deterioration in the filling of the fuel-air mixture and the exhaust of the engine, beside an intake of exhaust gases into the intake manifold and the ejection of part of the combustible mixture into the exhaust pipe. We present in this paper the general idea of creating a control system for an autonomous power source based on an internal combustion engine and an inverter. The expediency of adjusting the opening and closing angles of the valves of an internal combustion engine that works as a source of mechanical energy of an autonomous source of electrical energy is proved. By using this system we could reduce unit costs by 2 times when generating electric energy. After seeing the gas distribution diagram of the internal combustion engine, the dependence of the change in the opening and closing angles of the intake and exhaust valves on the power of an autonomous energy source is proposed.

Key words: *autonomous energy source, efficiency, gas distribution system, electromagnetic valve*

Introduction. In the almost majority of providing reliable energy supply in cases of external power grid accidents, autonomous energy sources based on internal combustion engines remain. The volume of electricity production in 2017 by autonomous stations is within 6.5 million kWh, with about 5% of total production volume [1]. The main element of autonomous energy sources is the kind of fuel used to generate thermal energy from chemical: diesel, gasoline, gas. However, the principle of the chemical energy to mechanical converter and its design generally remains similar in basic terms: two or four-stroke cycle, crank mechanism, cylinder, piston, valves etc. Second in importance for autonomous energy sources based on an internal combustion engine is the principle of converting mechanical rotational energy into electrical energy. Depending on network load, The use of generators with inverters allows to regulate the rotational speed of the internal combustion engine, thus reduce fuel consumption and increase the overall efficiency of the whole system. Using the proposed scheme allows saving more than half of the total amount of fuel [2-4].

Anyway, it should be noted that the optimum performance of the internal combustion engine is possible at a certain engine speed [4]. This is evident from the internal combustion engine efficiency diagrams that have a domed shape with a maximum at 2500-3500 rpm depending on the design. Reducing the engine speed leads to a deterioration of filling fuel-air mixture and engine exhaust, which is followed by exhaust gases into the manifold intake and the part ejection of the combustible mixture into the exhaust pipe. Energy losses in case of these effects can reach up to 20%, which significantly reduces the inverter usage effect in electricity generation.

Through analysis of existing generators demand and own practice, the authors have focused on generating units based on a single-cylinder, four-stroke gasoline internal combustion engine among a wide range of standalone generators, and that depends on things such relatively low cost of this generating units compared to diesel generators and the minimum required power to operate powerful household appliances, which averages 2.2 kW. It must be noted that synchronous generators without

inverter still the most widespread autonomous source of electrical energy, the feature of which is the constant speed of the engine's crankshaft without power regulation possibilities. So, to improve the autonomous power sources energy efficiency with inverter based on gas distribution mechanism regulation is an urgent scientific task.

Purpose and objectives of the research. The purpose of this study is to determine the operation algorithm and parameters of the control system of an autonomous source of electric energy with an internal combustion engine by controlling the gas distribution of an internal combustion engine in order to increase the overall efficiency.

And some its objectives are the formulation of the scientific (scientific and technical) problem, the definition of the object, subject and purpose of the study, analysis of the state of the problem solution on the materials of domestic and foreign publications (including periodicals), justification of the objectives of the study.

Research materials and results.

Review of scientific sources: In the design analysis of autonomous energy sources on internal combustion engine basis, it should be noted the main components: engine, generator, inverter (Fig. 1).

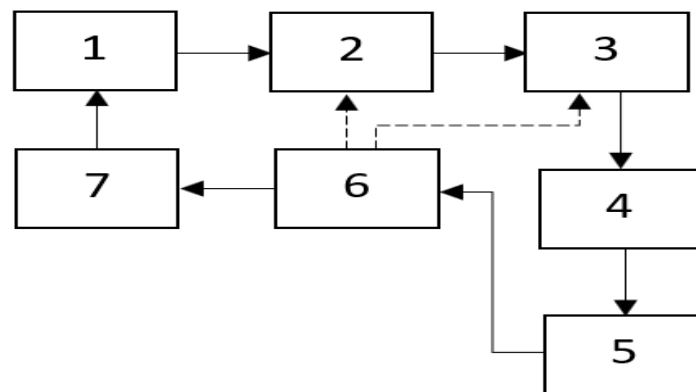


Figure 1 - Control scheme for autonomous power source based on the internal combustion engine and inverter.

1 - internal combustion engine; 2 - generator; 3 - inverter; 4 - a wattmeter, which is connected to 6 - the microcontroller via an Analog-to-Digital converter - 5, is used to control the energy source power consumption. For more precise parameters control of the standalone generator elements, it is possible to use existing channels that connect the microcontroller to the generator and inverter.

In determining the optimal control effects on system elements it is necessary to establish the features of their operation under different load separately.

In researched system, the internal combustion engine is the least energy efficient element. The efficiency of four-stroke internal combustion engines at the optimum speed and load is within 45% (50%) of diesel engines and 39% for gasoline. At the same time (Fig. 2), analyzing the graphs [5], the changes in the power efficiency factor for the internal combustion engine should be noted a significant (up to 30%) drop with a sharp increase in specific fuel consumption (up to 500%) [6, 7].

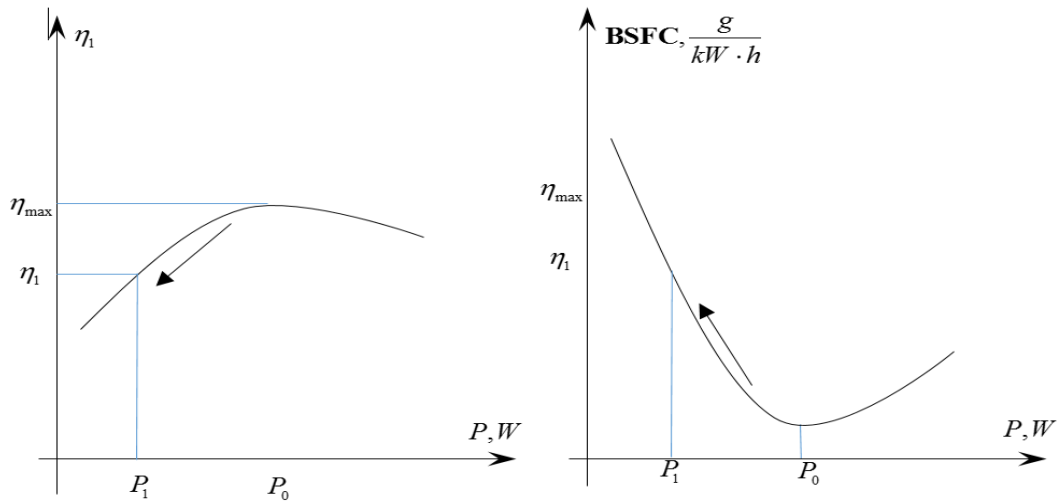


Figure 2 - Charts of efficiency and BSFS changes.

The reasons for this phenomenon are a several negative effects that accompany the process of reducing the engines rotational speed. The basic include deterioration of the cylinder gas filling, reducing turbulence with the release of the charge part in the cylinder intake system during the delay after closing the intake valve after NMT. Putting stop to this phenomenon is possible by regulating the time and height of valve opening, namely narrowing cycles with late opening and early closing of valves without overlapping [8].

At Figure 3, a typical diagram of the internal combustion engine gas phase distribution at nominal speed is presented. The diagram shows the overlap of the exhaust and intake corners areas by the magnitude of the inlet open and outlet close valves. The value of the angles is selected from the condition of obtaining maximum torque and efficiency of the engine [9]. One of the possible options for avoiding these negative phenomena is to minimize the angles of intake opening and closing of the exhaust valves (Fig. 3b) while reducing engine speed.

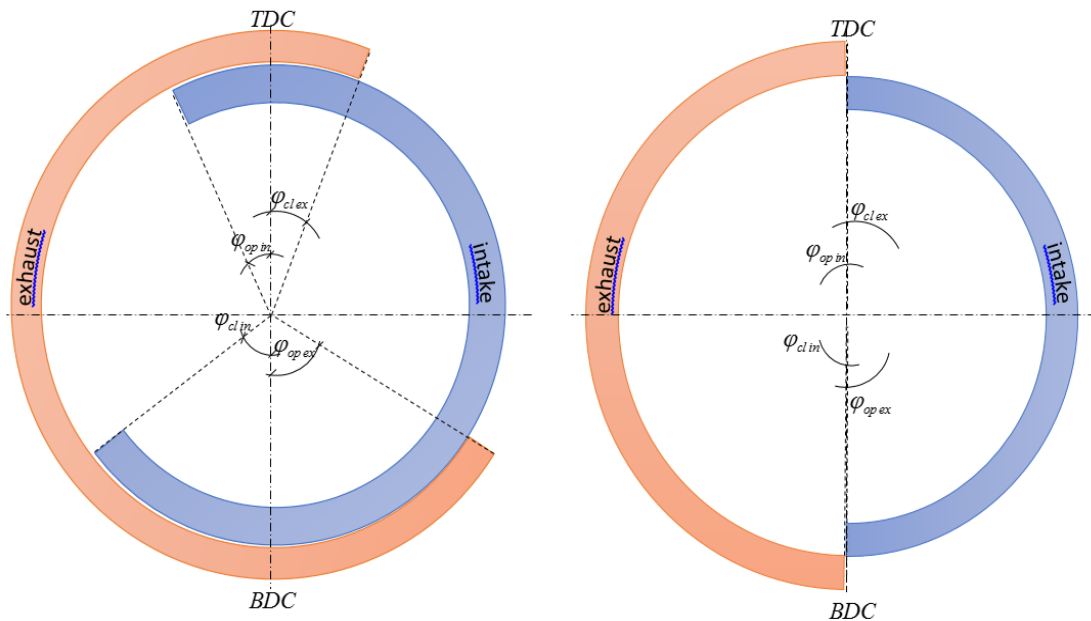


Figure 3 - ICE phase diagrams: a - rated speed; b - minimum speed.

To set the angles of the inlet valves opening and closing from the power level, a system of linear equations is proposed:

$$\varphi_{opin}(P) = \frac{\varphi_{opin}}{P_0 - P_1}(P - P_1); \quad (1) \quad \varphi_{opex}(P) = \frac{\varphi_{opex}}{P_0 - P_1}(P - P_1); \quad (2)$$

$$\varphi_{clin}(P) = \frac{\varphi_{clin}}{P_0 - P_1}(P - P_1); \quad (3) \quad \varphi_{cl ex}(P) = \frac{\varphi_{cl ex}}{P_0 - P_1}(P - P_1). \quad (4)$$

The implementation of the proposed program of controlling the gas distribution of the internal combustion engine of the autonomous power source is possible within the use of special actuators of the gas distribution mechanism. Mechanical, hydromechanical, and electric actuators are common. Further, amongst these types of actuators, high-performance provides by electromagnetic one due to the slow movement of the valve in the cam and hydraulic actuator [10, - 12].

Description of research methods:

Let's define the main engine's parameters of the exhaust valve motion process under an electromagnet action (fig. 4). When moving the valve 2 down the electromagnet 1 must develop a force equal to the total resistance from spring 3 action, from gases action and inertia forces. In the general case, the equation of motion of the valve follows:

$$m_v \frac{d^2 z}{dt^2} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_{em} = 0 \quad (5)$$

where m_v – valve weight with the anchor.

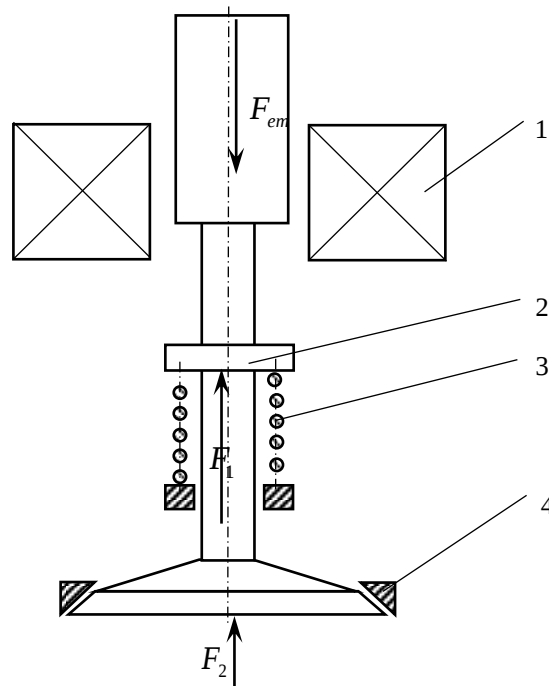


Figure 4 - Scheme of the engines exhaust valve forces action: 1 - electromagnet; 2 - valve; 3 - spring; 4 - valve seat

$$\text{Spring resistance:} \quad F_1 = F'_1 + cz \quad (5)$$

F'_1 - Preliminary force of a spring compression; c - spring stiffness.

The resistance force from the action of compressed gases depends on the moment and height of the valve opening. The value of the initial pressure corresponds to the end of the expansion stroke and for the case of the gasoline engine is $p_1 = 0,3 - 0,4 \text{ MPa}$. Further movement of the valve is accompanied by a rapid drop in pressure to $p_2 = 0,03 - 0,04 \text{ MPa}$. The valve closes when it is rarefied $p' = 0,035 - 0,045 \text{ MPa}$.

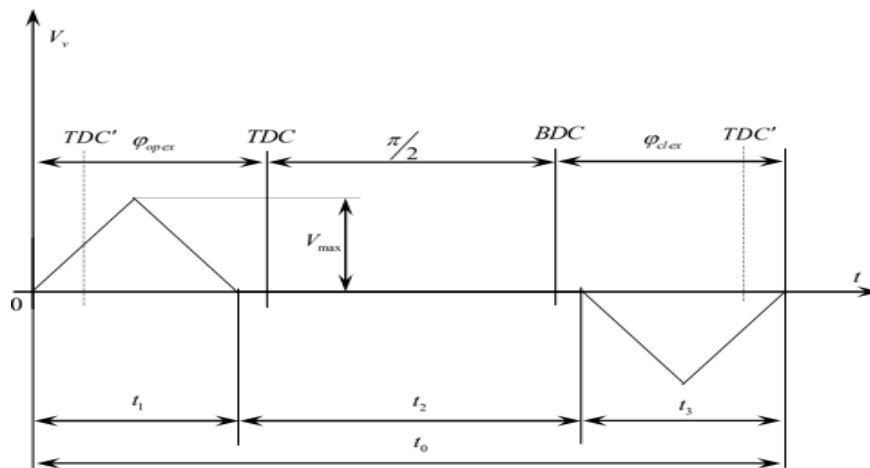


Figure 5- Tachogram of engines exhaust valve movement when exposed to an electromagnet. The opening and closing times of the valve in modern cam driven engines depend on the specified cam profile and in some cases may be equal to the total valve travel time. Assume a fixed value of the angles ϕ'_{opex} , ϕ'_{clcx} at which the exhaust valve will fully open to height h . Valve opening and closing time:

$$t_1 = \frac{\phi'_{opex}}{\omega}; \quad t_2 = \frac{\phi'_{clcx}}{\omega}. \quad (7)$$

acceleration:

$$a_1 = \pm 4h \left(\frac{\omega}{\phi'_{opex}} \right)^2; \quad a_1 = \mp 4h \left(\frac{\omega}{\phi'_{clcx}} \right)^2. \quad (8)$$

resistance force from the compressed gases action and dilution:

$$F_2 = \frac{\pi D^2}{4} \frac{(p_1 - p_2)}{t_1} t; \quad F'_2 = \frac{\pi D^2}{4} p' \quad (9)$$

Conclusion.

1. The general theory of a control system for autonomous power supply based on an internal combustion engine and inverter is shown in the work. The workability of operating internal combustion engine opening and closing angles adjusting as a source of mechanical energy of an autonomous electricity source has been confirmed. Utilization of this system permits to reduce specific costs by 2 times in generating electricity.

2. The diagram of the internal combustion engine phase gas distribution (Fig. 3, a) for the conditions of minimum energy production is proposed. Based on the diagram the angles dependence of opening and closing of the inlet and outlet valves on the capacity of the autonomous energy source (1-4) is offered.

References:

1. Intelligent electric power systems: elements and modes: Under the general. ed. Acad. NAS of Ukraine A.V. Kirilenko / Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine. - K.: Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine, 2014. -- 408 p.
2. Galiullin R. R. On the issue of regulating the rotational speed of the crankshaft of a diesel autonomous power plant of low power // Vestnik BGAIU. - 2012. -- S. 37-40.
3. Kozlov A.N., Khudyakova G.I., Svishchev D.A. Efficiency of the internal combustion engine using synthesis gas // Energy and Resource Saving. Power supply. Unconventional and renewable energy sources. — Yekaterinburg, 2016. - 2016. - S. 548-552.

4. Khvatov O.S., Daryenkov A. B., Samoyavchev I. S. Fuel efficiency of a single power plant of an autonomous facility based on an internal combustion engine of variable rotational speed // Operation of sea transport. - 2013. - No. 1 .-- S. 71.
5. Alekseenko V. A., Yurov B. B., Ostapenko V. V. Load characteristic of the carburetor engine // Collection of scientific papers Sworld. - 2014. - T. 2. - No. 2. - S. 29-31.
6. Akhromeshin A. V. Modern gas exchange control systems for internal combustion engines (review) // Bulletin of Tula State University. Technical science. - 2008. - No. 3.– S. 151-158.
7. Zakharov L. A., Khrunkov S. N., Limonov A. K. Methods for choosing the rational technical characteristics of the gas distribution mechanism of a reciprocating internal combustion engine // Transactions of NGTU im. RE Alekseeva. - 2010. - No. 4. - S. 181-189.
8. Zakharov L. A., Khrunkov S. N., Limonov A. K. The methodology for choosing the rational technical characteristics of the gas distribution mechanism of a reciprocating internal combustion engine // Transactions of NGTU. - 2010. - No. 4. - S. 96-105.
9. Akhromeshin A. V. Modern gas exchange control systems for internal combustion engines (review) // Bulletin of Tula State University. Technical science. - 2008. - No. 3. - S. 151-158.
10. Zakharov L. A., Khrunkov S. N., Limonov A. K. The methodology for choosing the rational technical characteristics of the gas distribution mechanism of a reciprocating internal combustion engine // Transactions of NGTU. - 2010. - No. 4. - S. 96-105.
11. Akhromeshin A. V. Modern gas exchange control systems for internal combustion engines (review) // Bulletin of Tula State University. Technical science. - 2008. - No. 3. - S. 151-158.
12. S. Shevchuk, S. Zaichenko, V. Opryshko, A. Adjebi, Determination of the diagnostic system inertial parameters for power generating station combustion engine, *Paper presented at the 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2019 - Proceedings*, pp. 88-91, 2019.

**СЕКЦІЯ 5.
ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 502.3

Придолоба А.В., магістрант

Нестер А.А., к.т.н., доцент

Кафедра будівництва та цивільної безпеки
Хмельницький національний університет**БЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЙ ПІДПРИЄМСТВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Статтю присвячено дослідженням наслідків виникнення ситуацій, пов'язаних з зберіганням відходів (шламів) на території підприємства, так і безпосередньо в процесі проведення технологічних процесів, для оцінювання небезпеки для здоров'я та життя людини. Проблема утилізації відходів промислового й побутового походження набуває в наш час усе більш гострого характеру у зв'язку з тим, що обсяги генерування відходів постійно зростають, тоді як темпи їхнього перероблення незрівнянно малі. У результаті до теперішнього часу накопичено сотні мільйонів тон різних твердих відходів, які необхідно переробляти й знешкоджувати. Масштаби щорічного продукування й нагромадження твердих відходів вимагають створення потужних переробних установок продуктивністю, вимірюваної мільйонами тонн у рік з їх промисловим освоєнням. Навколишнє середовище вважається безпечним, коли його стан відповідає встановленим у законодавстві критеріям, стандартам, лімітам і нормативам, які стосуються чистоти (не забруднення), не виснаженості, екологічній стійкості, санітарним вимогам, здатності задовольняти інтереси громадян. Рівень забруднення навколишнього середовища в районах розташування цехів виробництва плат, гальванічних і фарбувальних цехів, які є найбільшими джерелами екологічної небезпеки, належать до числа основних забруднювачів.

Питання оцінювання та управління ризиком в різних галузях виробництва України та передових держав набули актуальності та значущості сьогодні через широке використання хімічних елементів, недосконалість процесів знешкодження, утилізації відходів.

Метою роботи є оцінювання рівня небезпеки для здоров'я та життя людини внаслідок виникнення ситуацій, пов'язаних з гальванічними процесами та зберіганням відходів (шламів) на території підприємства.

Аварійні ситуації, що супроводжуються порушенням цілісності місць зберігання і призводять до попадання гальванічного шламу в довкілля, підвищують ризик для здоров'я людини. Отримані данні вказують на необхідність прийняття комплексу рішень щодо відвертання виникнення надзвичайних ситуацій, а також мінімізацію їх наслідків. Подальші дослідження повинні бути направлені на пошук альтернатив зберігання шламів на територіях підприємств, на перероблення відходів з видаленням цінних компонентів та повторним використанням розчинів у технологічних процесах.

Ключові слова: індекс небезпеки, виробництво плат, утилізація відходів, екологічна безпека

The article is dedicated to the research of the consequences of emergencies related to the storage of waste (sludge) on the territory of the enterprise, as well as directly in the process of carrying out technological processes for the estimation of danger to health and human life. The problem of industrial and household waste recycling is becoming more serious problem nowadays taking into consideration constantly increasing volume of waste generation, while the rate of its processing is incomparably small. As a result, hundreds of millions of tons of various solid wastes must be recycled and disposed.

The scale of annual production and accumulation of solid waste requires the creation of powerful processing plants with a capacity of millions tons per year with their industrial development. The environment is considered to be safe when its condition meets legislated criteria, standards,

limits and standards established by legislation concerning cleanliness (not pollution), not exhaustion, environmental sustainability, sanitary requirements, ability to satisfy the interests of citizens. The level of environmental pollution in the areas of production of plates, galvanizing and painting plants, which are the greatest sources of environmental hazard, belongs to main pollutants.

The question of risk estimation and management in different production branches of Ukraine and leading countries nowadays became urgent and significant because of repeated use of chemical elements, imperfection of disinfection and utilization processes.

The work objective lies in estimation of hazard level to human health and life consequent on occurring emergencies, connected with galvanizing processes and waste conservation (sludge) on the territory of the enterprise.

Emergencies, accompanied by storage area dismemberment and lead to galvanic sludge insertion into the environment, increasing risk for human health. Obtained level of carcinogenic risk and hazard index indicate on the necessity of carrying complex of resolutions concerning prevention of emergencies and minimizing their consequences. Following researches should be directed to search of alternatives of sludge storing on the territories of enterprises, to wastes utilization with separation of valued components and recurrent use of solutions in technological processes.

Keywords: hazard index, plate production, waste recycling, environmental safety

Вступ. Проблема утилізації відходів промислового і побутового походження набуває в даний час все більш гострий характер у зв'язку з тим, що обсяги генерування відходів постійно зростають, тоді як темпи їх переробки незрівнянно малі. В результаті до теперішнього часу накопичені сотні мільйонів тонн різних твердих відходів, які необхідно переробляти і знешкоджувати.

Мета та завдання. Масштаби щорічного продукування і накопичення твердих відходів вимагають створення потужних переробних установок продуктивністю, яка вимірюється мільйонами тонн в рік з їх промисловим освоєнням. Це доцільно здійснювати на базі вже наявних проєктів освоєних передовими країнами. Специфіка твердих відходів виробництва полягає в тому, що в малих кількостях вони не роблять помітного впливу на навколишнє середовище, а в великих скупченнях стають екологічним лихом. Тому в даний час в усьому світі активно ведуться дослідження та розробки техніки і технологій для переробки та знешкодження [1]. Проблема полягає в тому, що доведення пропозицій до практичної реалізації в промисловості пов'язано з численними труднощами фінансового, соціального і технічного характеру.

З великого обсягу промислових викидів, що потрапляють у навколишнє середовище, на машинобудування припадає лише незначна його частина - 1-2%. У цей обсяг входять і викиди підприємств зайнятих випуском електронної продукції, окремих підприємств, що є значною складовою частиною машинобудівного комплексу. Рівень забруднення навколишнього середовища в районах гальванічних і фарбувальних цехів які є найбільшими джерелами екологічної небезпеки, належать до числа основних забруднювачів. Тому машинобудівний комплекс в цілому є потенційним забруднювачем навколишнього середовища: повітряного простору, поверхневих водних джерел, ґрунту [2].

Однак на машинобудівних підприємствах є основні цехи, що забезпечують технологічні процеси виробництва з дуже високим рівнем забруднення навколишнього середовища. До них відносяться: процеси, які використовують процеси спалювання палива; серед яких сушка деталей та виробів після покриття в сушильних приміщеннях з використанням в якості палива природного газу, ливарне виробництво. Загальний техногенний прес на Україну можна побачити в представленій таблиці [1].

Таблиця 1 – Техногенний прес на Україну

Параметри	Викиди забруднюючих речовин в атмосферу, тис.т				
	*2014 р	*2015 р	*2016 р	*2017 р	*2018 р
	5346	4521	4498,1	3974,1	3866,7
Водопостачання та водовідведення в Україні, млн. м ³					
Забрано води	11505	9699	9907	9224	11296
Скиди води	6354	5334	5612	4921	5210
в т.ч. забруднених	923	875	698	997	952
Утворення відходів, тис. т					
Всіх відходів	355000,4	312267,6	295870	366054	352333,9
в т.ч. відходи І-ІІІ класів небезпеки	739,7	587,3	621,0	605,3	627,4
Накопичення відходів	12205388	12505915	1239392	12442168	12972428,5
Примітка. * Інформація за 2014 - 2018 рр наведена без врахування тимчасово окупованих територій Автономної Республіки Крим і міста Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції					

Кількість відходів, як видно з таблиці, є значною і вимагає конкретних рішень по його зменшенню за рахунок утилізації, повторного використання.

Матеріал та результати досліджень. У світовій практиці накопичено значний досвід з питань запобігання несприятливого впливу токсичних промислових відходів на навколишнє середовище. Серед таких заходів належать їх захоронення на полігонах, а також використання в якості вторинної сировини в народному господарстві, зокрема, в будівельній індустрії. Поховання певних видів відходів на полігонах є не вигідним в економічному сенсі через заняття сільськогосподарських угідь, а також спорудження дорогих спеціальних полігонів.

Поховання відходів небезпечно і з точки зору охорони навколишнього середовища, оскільки відходи, будучи продуктами з токсичними властивостями і нестабільного хімічного характеру, можуть мігрувати у повітряне середовище або ж у формі різноманітних розчинних сполук переходити в ґрунтові води, а потім асимілюватися в рослинах і потрапляти в корм тварин і в їжу людям. Більш перспективним є шлях утилізації ряду відходів у будівництво, а також їх використання в якості напівпродуктів у промисловості [3].

В даний час близько 25 % вироблених в нашій країні хімічних відходів використовується повторно. У багатьох країнах світу накопичено досвід з рециркуляції металів, які містяться у відходах, до яких, зокрема, відносяться і відходи гальванічних виробництв. Наприклад, у ФРН повторне використання заліза досягає 38 %, олово – 34 % і цинку – 33 %; в США - міді – 43 %, у Великобританії - свинцю – 60 % і алюмінію – 33 % [2].

Однак, слід зазначити, що процеси рециркуляції металів з відходів економічно вигідні в тих випадках, коли їх концентрація досить висока, а технологія рециркуляції малоенергоємна. Гальванічні відходи, як правило, містять відносно невисокі концентрації кольорових цінних металів. Крім того, форма їх перебування у складі гальванічних відходів і близькість їх хімічних властивостей вимагають розуміння спеціальних хімічних методів виділення. Тому рециркуляція металів з гальванічних відходів є економічно не вигідним заходом. Єдиним, перспективним, які мають розвиток в інших країнах способом утилізації гальванічних відходів, є їх застосування в якості добавок у різних будівельних матеріалах [3].

Найбільшою небезпекою для навколишнього середовища володіють рухливі форми хімічних сполук, які визначають ступінь токсичності й шкідливості шлаків-відходів

виробництва плат та гальваніки. Речовини, що входять до складу відходів, можуть впливати на цитогенетичні характеристики ґрунтів, води та екосистеми [2]. Повна оцінка інтенсивності забруднення ґрунтів передбачає аналіз спільної дії факторів впливу при накопиченні та обліку міграційної здатності забруднюючих речовин. Основні напрямки впливу реагентів на ґрунт: фітотоксична дія аніонів, пряма фітотоксична дія водонерозчинних реагентів, зміни в складі поглинального комплексу ґрунту й руйнування структури ґрунту.

У місцях розміщення відходів існує сформована структура техногенних літохімічних ареалів, що проявляється в різному вмісті важких металів: цинку, нікелю, заліза й міді, залежно від особливостей технологічних процесів. На відстані до 0,3 км від місць розміщення шламів можливе перевищення фонові концентрації цинку (в мг/кг сухого ґрунту), нікелю (в мг/кг сухого ґрунту) і міді (в мг/кг сухого ґрунту) у ґрунті, що приводить до забруднення ґрунтів, вод, погіршення якості життя населення. Найбільшим недоліком процесу нейтралізації є утворення шламів та практика складування їх у шламонакопичувачі. Істотний вплив на здоров'я людей має компонентний склад шламу.

Аналіз шламів гальвановиробництва, виробництва друкованих плат і шламів з шламонакопичувачів показав високий вміст в них металів [2-3]. Велика обводненість території, пухкі водопроникні ґрунти ускладнюють вибір полігонів промислових відходів і обмежують їх площі, створюють умови для забруднення іонами важких металів не тільки прилеглих до місць складування ґрунтових покривів і поверхневих вод, а й підземних водних горизонтів [4]. При продуктивності лінії 12 м²/год кількість шламів за 8 год роботи досягне величини більше 96 кг, що при місячній однозмінній роботі складе 2100-2150 кг.

Сучасні підприємства, які в кращий для виробництва час, виробляли приблизно 4·10³ м² плат, накопичили на своїй території по 1500-3000 тон відходів за рік в вигляді солей, які зберігаються в ємкостях, поліетиленових мішках та попадають під дію атмосферних осадів [5]. В процесі дії на них атмосферних осадів солі вимиваються та переходять в ґрунти, поверхневі води, забруднюючи навколишнє середовище та підвищуючи рівень екологічної небезпеки. Окремі підприємства шукають шляхи утилізації накопичених відходів, але через фінансові та технічні труднощі реальних успіхів не мають [6].

При оцінці небезпеки для навколишнього середовища шламу-відходів виробництва плат та гальваніки враховують міграційну здатність хімічних речовин у поверхневі й підземні води, нагромадження в ґрунті й рослинах, що виражають через розчинність хімічних сполук у воді. Токсичність відходів характеризується гранично допустимою концентрацією (ГДК) речовин у ґрунті і їхньому вмісті в загальній масі шламу. Індекс небезпеки окремої хімічної речовини визначається за формулою:

$$K_i = \frac{ГДК_i}{(S + C_{\epsilon})_i} \quad (1)$$

де, K_i -індекс небезпеки;

$ГДК_i$ - гранично допустима концентрація в ґрунті небезпечної хімічної речовини, що утримується у відходах, мг/кг ґрунту;

S - коефіцієнт розчинності хімічної речовини у воді;

C_{ϵ} - вміст хімічної речовини в загальній масі відходів, мг/кг;

i - порядковий номер даної речовини

За результатами проведеного в умовах реального виробництва друкованих плат та гальваніки на спектрометрі ElvaX Light SDD рентгенофлуоресцентного аналізу амонійноацетатної витяжки досліджуваного шламу підприємства з рН 4,5 серед рухливих форм важких металів були виявлені хром, залізо, нікель, мідь і цинк. Для визначення кількісного вмісту даних сполук у шламі виробництва плат та гальваніки використовувався атомно-абсорбційний спектрофотометр С115-М1.

Коефіцієнти розчинності у воді небезпечних хімічних речовин, які утримуються

у відходах виробництва плат та гальваніки, знаходили за довідковим даними, а значення гранично допустимих концентрацій їх у ґрунті - відповідно до нормативного документа (ГН 2.1.7. 2041 - 06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы).

Сумарний індекс небезпеки визначали за формулою:

$$K = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i \quad (2)$$

де n – кількість небезпечних хімічних речовин, які утримуються в шламі підприємства виробництва плат та гальваніки.

Вихідні дані для розрахунку сумарного індексу небезпеки шламу виробництва плат та гальваніки одного з підприємств м. Хмельницького (до впровадження пропозицій) представлені в таблиці 1.

Для покращення екологічної ситуації та в напрямку розвитку сучасних технологій на підприємстві була впроваджена технологія відновлення травильних розчинів, основою якої стала регенерація розчину з виділенням міді в вигляді металу, що може використовуватись в якості вторинної сировини. А травильний розчин з відновленими характеристиками направляється для подальшого використання в технологічному процесі.

Таблиця 2 – Результати розрахунку сумарного індексу небезпеки шламу виробництва плат та гальваніки

Група речовин	ПДК _i , мг/кг	(S + C _B) _i , мг/кг	K _i	K
Сполуки заліза	2,3	135,82	0,018	0,012<2
		70,5	0,034	
Сполуки міді	3	73,98	0,045	
		21,15	0,148	
Сполуки нікелю	4	63,82	0,065	
		37,58	0,108	
Сполуки хрому	6	33,95	0,175	
		63,22	0,098	
Сполуки цинку	23	357,15	0,065	
		54,25	0,418	

Після впровадження вказаних пропозицій по видаленню міді з травильного розчину та подальшому його використанню для операцій травлення різко падає кількість сполук міді, що виділялась у вигляді шламів (після впровадження в середньому менше 1 кг шламів в день).

Таблиця 3 – Результати розрахунку сумарного індексу небезпеки шламу виробництва плат та гальваніки після впровадження міроприємств видалення міді з травильного розчину

Група речовин	ПДК _i , мг/кг	(S + C _B) _i , мг/кг	K _i	K
Сполуки хрому	6	33,95	0,175	0,061<2
		63,22	0,098	
Сполуки заліза	2,3	135,82	0,018	
		70,5	0,034	
Сполуки міді	3	0,01	0,0	
		0,03	0,0	
Сполуки нікелю	4	63,82	0,065	
		37,58	0,108	
Сполуки цинку	23	357,15	0,065	
		54,25	0,418	

Кількість виділених шламів, що буде створюватись на очисних спорудах підприємства досягне мінімальних значень, величину яких можна обрахувати з таких положень:

- розчин буде працювати без змін 2-3 місяці і при заміні буде злито біля 300 літрів відпрацьованого розчину

- розчин утримує 25-30 кг міді, що менш 0,5 кг/добу, а в масі шламів складе 1 кг, що при загальній кількості шламів може не прийматись в розрахунок.

Проведений розрахунок показав зростання сумарного індексу небезпеки про що свідчить приведений нижче розрахунок. При цьому всі інші сполуки в шламах осталися в тих же кількостях, що знаходилися в шламах до впровадження нового технологічного процесу травлення плат.

Проблема підвищення екологічної безпеки територій, які піддаються техногенному навантаженню в процесі виробництва плат та гальваніки, вимагає комплексного підходу для її вирішення, що полягає як у превентивному, так і в комплексі запобіжних ліквідаційних мір.

До першої групи методів варто віднести технологічні й управлінські заходи. Їх завдання полягає в попередженні й зниженні забруднення навколишнього середовища шляхом застосування екологічно безпечних реагентів, готування розчинів, які дозволяють зменшити токсичність відходів. В технологічні процеси виробництва плат та гальваніки повинні включатися заходи щодо зменшення негативного впливу відходів виробництва плат та гальваніки на навколишнє середовище, а відходи, які можуть з'являтися в процесі виробництва повинні тут же перероблятися на необхідні для промисловості, сільського господарства та населення товари.

Тобто підприємствами повинні розроблятися комплекси заходів щодо обігу з відходами, серед яких можуть бути найбільш екологічно безпечними і економічно ефективними використання шламів з одержанням будівельних матеріалів, удобрення сільськогосподарських угідь під суворим контролем відповідних екологічних служб підприємств та державних органів.

У випадку неконтрольованого скиду відпрацьованих травильних розчинів виробництва плат та гальваніки у навколишнє природне середовище можна виділити наступні показники небезпеки, які характеризують процес:

1. Хімічне забруднення середовища (повітря, водойми, ґрунт).

2. Підвищена захворюваність населення, особливо молодого покоління, пов'язана із забрудненням навколишнього природного середовища; а також можливість летальних випадків.

3. Руїнування житла населення, а також виробничих споруд, майна та будинків.

Висновки. Підводячи підсумок визначеному, можна рекомендувати на етапі визначення показників екологічної небезпеки технологічних процесів, обладнання, використовуваних матеріалів, реагентів додержуватися наступного порядку (алгоритму):

- визначення показників небезпеки (потенційно небезпечні матеріали, реагенти, відходи, стічні води);

- визначення можливих видів ризику;

- визначення хімічного складу шламів, матеріалів, реагентів та негативного впливу цих речовин на довкілля, здоров'я людини;

- визначення екологічного ризику, що може бути викликаний технологічними процесами.

Задачею подальших досліджень є оцінювання технологічних процесів з точки зору екологічної безпеки, тобто якісна оцінка екологічного ризику та визначення ступеня небезпеки технологічних процесів.

Список використаної літератури

1. Нестер, А.А., Очистка стічних вод виробництва друкованих плат. *Монографія*. - Видавництво Хмельницького національного університету. 2016 219 с.
2. Нестер, А.А. Евграшкіна, Г.П. Прогноз загрязнения машиностроительного предприятия шламами при производстве плат и гальваники. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2017. Выпуск 6, С.193-200.
3. Сотрудничество для решения проблемы отходов. *Материалы III Международной конференции*. Харьков, 2006. 251 с
4. Найденко, В.В., Губанов, Л.Н. Очистка и утилизация промстоков гальванических производств. *Нижегор. гос. архитектур.-строит. ун-т*. Н.Новгород: ДЕКОМ, 1999. 368 с.
5. Инженерная защита окружающей среды: Очистка вод. Утилизация отходов.. Под ред. Ю.А.Бирмана, Н.Г.Вурдовой. Москва. *Изд-во АСВ*, 2002. 296 с.
6. Богдановский, Г.А. Химическая экология: Учебное пособие Москва: *Изд-во МГУ*, 1994. 237 с.

УДК 574.5

Науменко Д. П., студент
Гребенюк Т.В., к.т.н., доцент
Кафедра Геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ TRAPA NATANS НА СТАН ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА РІЧКИ ІРША

В роботі проаналізовано ряд питань пов'язаних з особливостями рогульника плаваючого (Trapa natans) та темпи розповсюдження даної рослини у водному середовищі. Зафіксовано збільшення акваторії рогульника в Малинському водосховищі. Розглянуто негативний вплив даної рослини на стан річки Ірша завдяки здатності до швидкого його розповсюдження. Визначено роль Trapa natans в Червоній книзі України.

Ключові слова: рогульник, Trapa natans, водяний каштан, водосховище, екологія, навколишнє середовище, Червона книга України, рослина.

The paper analyzes a number of issues related to the features of the floating flounder (Trapa natans) and the rate of distribution of this plant in the aquatic environment. An increase in the water area of the rogulnik in the Malyn Reservoir has been recorded. The negative impact of this plant on the state of the Irsha River due to its ability to spread rapidly is considered. The role of Trapa natans in the Red Book of Ukraine is determined.

Key words: water caltrop, Trapa natans, water walnut, reservoir, ecology, environment, Red Book of Ukraine, plant.

Вступ. *За останні п'ять років рослина, що має назву Trapa natans або рогульник, розрослась на десятки гектар акваторії Малинського водосховища, створюючи екологічну загрозу. Річка Ірша з кожним роком все більше втрачає своє біорізноманіття із за реліктової рослини. А Малинське водосховище все більше перетворюється на болото. Отже, постає питання в дослідженні темпів розповсюдження даної рослини та пошуку шляхів запобігання негативних екологічних наслідків.*

Метою та завданням роботи є дослідження впливу рогульника на стан річки Ірша.

Матеріал і результати досліджень. Рогульник плаваючий, чилим, чортів горіх, водяний каштан (Trapa natans) – однорічна рослина з гнучким стеблом 50-500 см завдовжки, її плаваючі листки утворюють розетку діаметром до 30 см. Розміщення ромбічних листових пластинок мозаїчне [1]. Квітки поодинокі, надводні, мають чотири білих пелюстки. Верхні долі чашечки квітки залишаються при плодах, дерев'яніють та перетворюються на шипи. Плоди кістяноподібні представлені на рис. 1, мають вигляд чотирирогового горіху діаметром 2-5 см [2].



Рисунок 4 – Плоди Trapa natans знайдені на березі Малинського водосховища (р. Ірша)

Рогоульник росте в прісноводних стоячих або слабо проточних водоймах (озера, заводи, водосховища і т.п.) на глибині 100-500 см, віддає перевагу мулистим ґрунтам, утворює чисті зарості або зустрічається з іншими великими водними рослинами [3].

Зародковий корінець *Трапа natans*, на відміну від кореня всіх інших рослин, починає рости не вниз, а вгору і лише після появи стебла згинається дугою і прикріплюється до ґрунту. Після того як рослина проросте, її листя рясно вкриває біля берегів водну поверхню річки Ірша, не пропускаючи кисень і сонце в водні прошарки, що перешкоджає розвитку фітопланктону – генератору розчиненого кисню у воді. Восени ця маса опускається на дно і починається процес гниття, що спричиняє зимовий замор риби.

Було зафіксовано, що дана рослина спостерігається в природних місцях розмноження різних видів риби і не дає змогу рибі нереститися. Колючі плоди поширюються потоками води річки Ірша та представляють собою небезпеку для відпочиваючих на березі, травмуючи їх.

Водяний горіх занесений до Червоної та Зеленої книг України, хоча його плодючість та здатність до проростання досить велика, а проблема розростання постає в усіх притоках Дніпра та прилеглих областях [4]. З кожної рослини утворюється 10-15 горіхів, з яких потім на весні проростуть нові рослини, а здатність до проростання зберігається 10-50 років (рис. 2). Також відсутні природні вороги чилима, ні риби, ні тварини не вживають у їжу як саму рослину, так і її плоди [5].

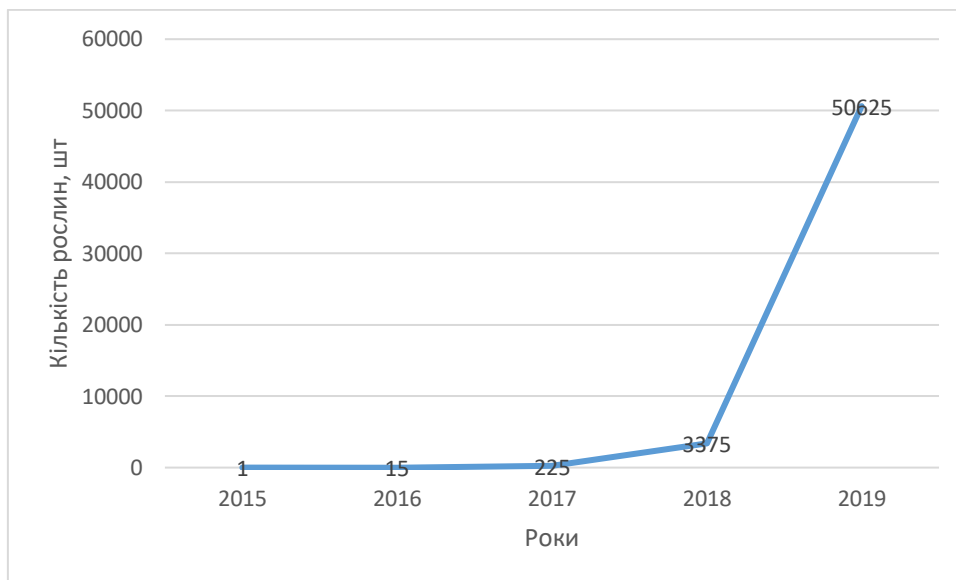


Рисунок 5 – Розповсюдження рогульника за 5 років

Завдяки особливій морфо-біологічній структурі, водяний горіх здатний покрити воду трьома шарами листя, що перешкоджає зростанню місцевих водних рослин. У водоймах з переважанням *Трапа natans* рівень розчиненого кисню нижче норми приблизно в 40 % випадків. Низький рівень кисню, викликаний присутністю виду, робить водойми непридатними для риби і впливає на окислювально-відновні реакції в донних відкладеннях. А області застійної води, викликані щільними скупченнями *Трапа natans*, створюють місця для розмноження москітів [6].

Великі скупчення рогульника зменшують потік води і навіть ускладнюють водне сполучення. Велике поширення водяного горіха обмежує рекреаційні види діяльності, такі як катання на човнах, рибалка і полювання. Щоб контролювати поширення цього виду потрібні чимали капіталовкладення.

Висновки. Зі збільшенням акваторії *Трапа natan*, не тільки в Малинському водосховищі, а в багатьох притоках Дніпра, постає потреба в питанні передивитись його положення в Червоній книзі України. Швидкі темпи його розповсюдження несуть екологічну

загрозу, що веде до вимирання мешканців водного середовища. В подальшому є потреба спостерігати та контролювати розповсюдження рогульника, щоб знизити ризики негативного впливу на водні об'єкти в цілому.

Список використаної літератури

1. Водяний горіх плаваючий *Trapa natans* L. s.l. (incl. *T. borysthena* V.Vassil., *T. danubialis* Dobrocz., *T. flerovii* Dobrocz., *T. hungarica* Opiz, *T. macrorhiza* Dobrocz., *T. maeotica* Woronow, *T. pseudocolchica* V.Vassil., *T. rossica* V.Vassil., *T. ucrainica* V. [Електронний ресурс] // Червона книга України. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://redbook-ua.org>
2. Салаєва Т. Б. Водяний горіх, або рогульник / Т. Б. Салаєва // Загадки й тайни заповідної флори та фауни / Т. Б. Салаєва., 2014. – С. 34–35.
3. Зелена книга України / [Г. Г. Філіпчук, М. М. Мовчан, Д. В. Дубина та ін.]. – Київ, 2009. – 448 с.
4. Реліктова рослина вбиває вітчизняні водойми [Електронний ресурс] // Київська міська державна адміністрація. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://old.kyivcity.gov.ua>
5. Лесков А.П. Экология и биология *Trapa natans* L. (Восточная Европа) // Ученые записки. Серия Естественные науки. 2015. № 1. С. 140–146.
6. Naylor M. Water Chestnut (*Trapa natans*) in the Chesapeake Bay Watershed: A Regional Management Plan. Maryland Department of Natural Resources, 2003. – 35 p.

УДК 691.224.1

Білоус А. Я., студент
Тверда О. Я., д.т.н., доцент
Кафедра Геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

ОБГРУНТУВАННЯ ПІДХОДУ ЩОДО ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА ЩЕБЕНЮ

Анотація. У даній роботі обґрунтовано підхід щодо вторинного використання відходів виробництва щебеню з метою виготовлення будівельних матеріалів високої якості.

Ключові слова: відходи, виробництво, щебінь, утилізація, відсів, цемент, бетон.

Summary. This paper substantiates the approach to the secondary use of waste gravel production for the manufacture of high quality building materials.

Keywords: waste, production, crushed stone, utilization, screening, cement, concrete.

Вступ. У процесі видобутку і переробки нерудних корисних копалин одержують побічні продукти двох типів:

- у вигляді розкривних та інших порожніх порід, що добуваються при веденні гірничих робіт;
- і відходів каменедробильних заводів.

В процесі видобутку та переробки гірських порід на щебінь утворюються значні об'єми відходів (відсів) малих фракцій (0-10 мм), які не використовуються у виробництві і не користуються попитом замовників.

Мета та завдання. Однією з основних задач при розробці надр є безвідходна виїмка корисних копалин з одночасним зниженням впливу на навколишнє середовище.

Матеріал та результати досліджень. На складування і зберігання відходів витрачаються великі кошти і забруднюється навколишнє середовище. Для вирішення проблеми утилізації відходів при виробництві щебеню на території заводу може бути побудований виробничий цех з технологічним обладнанням німецької фірми «HESS». Висока економічна ефективність виробництва забезпечується наявністю власної дешевої сировини, низькою собівартістю виготовлення та високим попитом на продукцію виробництва. Для виготовлення будівельних форм використовують відходи, пісок, воду та цемент. Вода для технологічного процесу постачається від річки чи ставка, де відстоюється та очищається технічна вода кар'єру. Пісок і відсів використовують з відходів, які утворюються під час технологічного процесу дроблення на щебінь. Для технологічного процесу закуповується лише цемент [1].

Технологічна лінія HESS по виробництву малих архітектурних виробів наведена на рисунку 1. Технологічний процес складається з 2 циклів :

- виготовлення бетонної суміші;
- виготовлення продукції.

Процес приготування суміші повністю автоматизований. Комп'ютерне управління виробництвом в комплексі з системою електронних і оптичних дозаторів дозволяють домогтися максимальної точності співвідношення використовуваної сировини, що гарантує відповідність всієї продукції, що випускається, заданому стандарту якості.

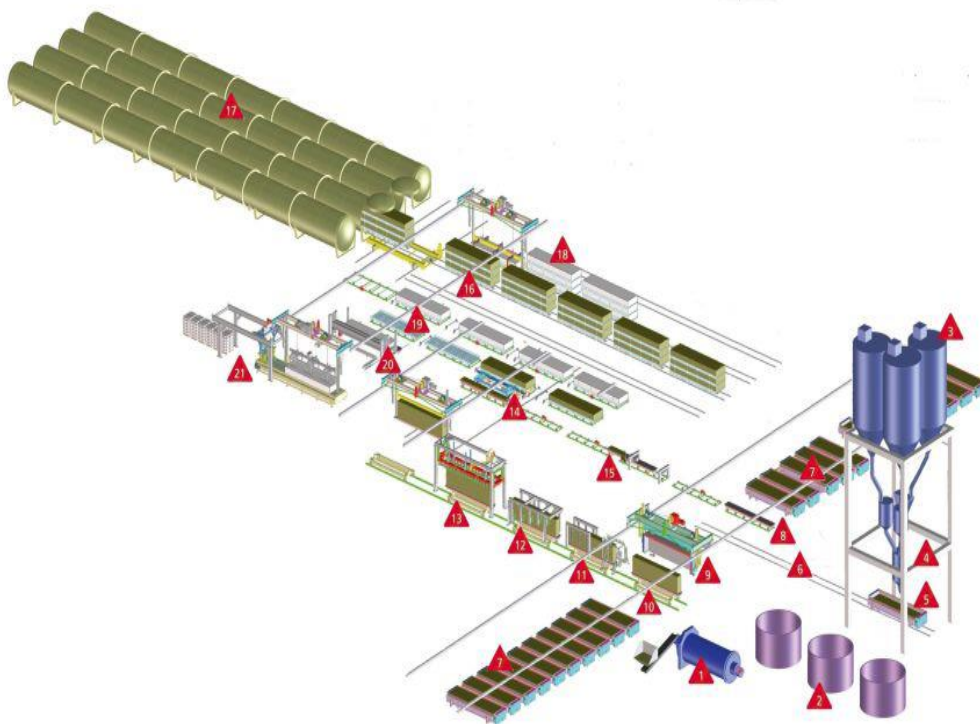


Рисунок 1 – Технологічна лінія HESS

Основні етапи технологічного процесу виробництва бетонної суміші наведені на технологічній схемі (рис. 2).

1. Завантаження бункерів інертними матеріалами (цементом) здійснюється автонавантажувачем L150E. Автонавантажувач доставляє інертні матеріали з майданчика зберігання і подає їх безпосередньо в буферний бункер.

2. Дозування інертних матеріалів здійснюється за допомогою рейкового вагового дозатора, який переміщується по рейках під бункерами в галереї подачі інертних матеріалів, зупиняючись під відповідним до заданої програми бункером, з якого шляхом відкривання затвора-дозатора видається порція інертних матеріалів. Після чого приготовлений інертний матеріал рухомим бункером-дозатором подається в ківш відповідного скіпового підйомника.

3. Приготовлена порція інертного матеріалу піднімається ковшем скіпового підйомника до необхідної висоти і перевантажується безпосередньо в бетонозмішувач.

4. В бетонозмішувачі приготовлені компоненти бетонної суміші безпосередньо перемішуються по заданій програмі.

5. Завантаження цементних силосів здійснюється автоцементовозами. Силоси обладнано системою аерації днища проти злежування цементу та рукавними фільтрами вихлопу, які очищуються повітрям, що витісняється із силоса під час закачки цементу.

6. Потрібна порція цементу для замішування бетонної суміші дозується за допомогою вагового дозатора.

7. Вода в замішувач бетонної суміші подається із системи водоводу.

8. Дозування води здійснюється через лічильник рідини. Кількість води на одне замішування програмується центральним пультом управління.

9. Готова бетонна суміш із бетонозмішувача подається на стрічковий транспортер, за допомогою якого бетонна суміш подається на вібропрес.

Для отримання високоякісної продукції інертні матеріали бетонних сумішей повинні

відповідати вимогам ДСТУ 8267-92; 23254-98; 8268-92 [2].

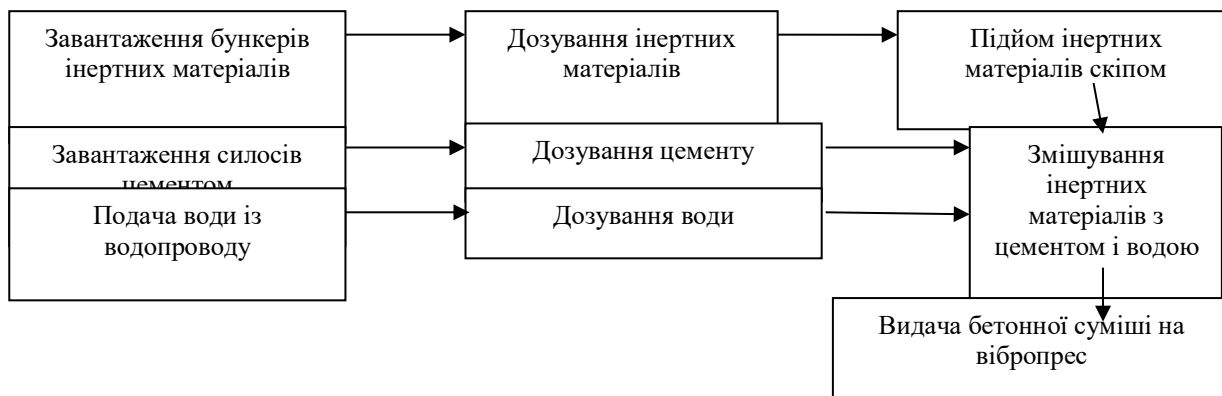


Рисунок 2 – Схема технології підготовки бетонної суміші

Оцінку якості продукції можна розділити за двома критеріями:

- міцність, довговічність;
- товарний вид, привабливість, екологічність.

На загальну якість продукції впливає якість сировини, технологія виробництва бетонної суміші та процес виготовлення продукції.

Одними з головних чинників, які впливають на міцність та довговічність є:

- температура сушіння;
- вологість матеріалу;
- робочий тиск в формах виготовлення;
- тривалість сушки;
- тиск в автоклавах сушильної камери.

Висновки. Високі показники роботи та якість продукції з застосуванням комплексу технологічного обладнання «HESS» дозволяють утилізувати відходи виробництва щебеню та отримати бетон, який використовується при вібропресуванні, має низьке водоцементне співвідношення, зменшує витрати цементу і забезпечує високу міцність і зносостійкість. Технологія виробництва будівельних матеріалів, за допомогою обраного способу має повністю закритий цикл і не впливає на навколишнє середовище.

Список використаної літератури

1. Виготовлення тротуарної плитки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.vibroplita.dp.ua/plitka7.htm>
2. Бетонна суміш [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%BD>

УДК 504.062.2

Горбачова К. Ю., студент
Тверда О. Я., д.т.н., доцент
Кафедра Геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

РОЗРОБЛЕННЯ КРУГОВОГО ЦИКЛУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

У статті розглядається можливий варіант розроблення кругового циклу функціонування гірничих підприємств. Наведені результати розрахунку кількості придатного для подальшого використання сухого осаду, утвореного при використанні методу очищення стічних вод, основним реагентом в якому є відходи промислового виробництва.

Ключові слова: круговий цикл, очищення, стічна вода, відходи виробництва, осад, гірниче підприємство, вапнування.

The article considers a possible variant of development the circular cycle of operation of mining plants. Presented results of calculation of the amount of dry sediment suitable for further use, formed when using the method of wastewater treatment, the main reagent in which is industrial waste.

Key words: circular cycle, cleaning, water-waste, production waste, sediment, mining plant, liming.

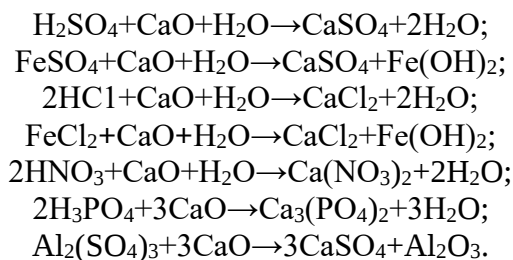
Вступ. В сучасному світі гостро стоїть проблема відходів, круговий цикл дає змогу раціонально використовувати ресурси та частково вирішувати проблему накопичених відходів.

Питання ефективного і дешевого методу очищення промислових стоків від важких металів та інших забруднюючих речовин з подальшою їх утилізацією є дуже актуальним. Води гірничо-збагачувальних комбінатів містять у своєму складі забруднюючі речовини, які перед скиданням у водойми потребують очищення, а вловлені речовини, за можливості – вторинної переробки та повторного використання. Найбільш поширеними забруднювачами таких вод є сполуки хлору та сірчана кислота, розчинні солі, в основному сульфати важких металів: заліза, міді, цинку, марганцю та нікелю [1]. Такі води без попередньої очистки та нейтралізації не можуть бути використані у промислових цілях, вловлені та осаджені забруднюючі речовини із промислових стоків у подальшому придатні для використання у будівництві, промислових та інших цілях.

Мета та завдання. Метою є розроблення і запровадження кругового циклу функціонування гірничих підприємств.

Матеріал і результати досліджень. З метою формування кругового циклу функціонування гірничих підприємств запропоновано вторинну переробку та повторне використання осаджених речовин після очищення стоків. В розглянутому випадку для очищення стічних вод використовується метод вапнування, в якості реагенту використовуються відходи добування вапняку та виробництва вапнякових добрив. В результаті обробки стоків таким методом утворюється гіпс, який є придатним для використання в промисловості.

Вибір реагенту для нейтралізації кислих стічних вод та осадження металів залежить від розчинності солей, які утворюються в результаті перебігу хімічної реакції. Для нейтралізації мінеральних кислот застосовують лужний реагент, наприклад вапно у вигляді вапняного молока [2]. Низка наступних хімічних реакцій ілюструє вплив оксиду кальцію на складові стоків:



Кількість вапна, необхідна для оброблення стічних вод гірничо-збагачувальних комбінатів, визначається за умови повної нейтралізації кислот, які містяться в стічних водах, і приймається на 10 % більше розрахункової.

Результати підрахунків витрати CaO на 1 г речовин, які входять до складу стоків, показують, що на 1 г H_2SO_4 необхідно 0,57 г CaO, на 1 г FeSO_4 – 0,37 г CaO, на 1 г HCl – 0,77 г CaO, на 1 г FeCl_2 – 0,44 г CaO, на 1 г HNO_3 – 0,45 г CaO, на 1 г $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ – 0,31 г CaO, на 1 г H_3PO_4 – 0,86 г CaO, на 1 г $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – 0,49 г CaO. На практиці витрачається на 10-20 % більше CaO, порівняно з розрахунковими значеннями, що зумовлюється прагненням одержання кращої структури осаду, який виділяється.

Кількість сухого осаду M , кг/м³, який утвориться в процесі нейтралізації 1 м³ стічних вод, які містять кислоти та солі важких металів, визначається за (1) [3]. В цій формулі третій член не враховується, якщо його значення від'ємне.

$$M = \frac{100-A}{A} \cdot (A_1 - A_2) + A_1 + (E_1 + E_2 - 2), \quad (1)$$

де A – вміст активного CaO у вапні, яке використовується, %;

A_1 – кількість активного CaO, необхідного для осадження важких металів, кг/м³;

A_2 – кількість активного CaO, необхідного для нейтралізації кислоти, кг/м³;

A_3 – кількість гідроксидів металів, що утворюються в процесі нейтралізації, кг/м³;

E_1 – кількість сульфату кальцію, який утворюється в процесі осадження металів, кг/м³;

E_2 – кількість сульфату кальцію, який утворюється в процесі нейтралізації кислоти, кг/м³.

Розрахована таким чином кількість сухого осаду складає 0,0282 кг/м³.

Об'єм осаду, який утворюється при нейтралізації 1 м³ стічної води W , %, визначається за (2) [4]:

$$W = \frac{10M}{100-P}, \quad (2)$$

де P – вологість осаду, %.

Загальна кількість сухого осаду який утворюється при нейтралізації 1 м³ стічної води за добу визначається за (3):

$$W_d = \frac{M \cdot Q_d}{10000}, \quad (3)$$

В результаті розрахунку, вологість сухого осаду складає 7,05 %, а загальна кількість сухого осаду за добу 0,014 т.

Гіпс, який утворюється внаслідок процесу нейтралізації кислих стоків можливо використовувати в промислово-будівельному комплексі в якості вторинної сировини.

Висновки. Запропоновано круговий цикл функціонування гірничих підприємств, який передбачає використання відходів видобутку вапняку для очищення стічних вод гірничозбагачувальних комбінатів, а утворений в процесі очистки вод осад (гіпс)

використовувати як будівельну сировину.

Список використаних джерел

1. Мирзаев Г. Г., Иванов Б. А., Щербаков В. М., Проскураков Н. М. Экология горного производства. М.: Недра, 1991. 230 с.
2. Бакка М. Т. Екологія гірничого виробництва : навч. посіб. Житомир: ЖДТУ, 2004. 307 с.
3. Коржнев Н. М., Міщенко В. С., Шестопапов В. М., Яковлєв С. О. Концептуальні основи поліпшення стану довкілля гірничовидобувних районів України. К.: РВПС НАНУ, 2000. 76 с.
4. Мальований М. С., Петрушка І. М. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами : монографія. Л.: Львів. політехніка, 2012. 180 с.

УДК 57.042

Каліхман О.В., студент
Гребенюк Т. В., к.т.н., доцент
Кафедра Геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ЯК ОДИН ІЗ КРИТЕРІЇВ ПОКРАЩЕННЯ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУХ В МЕЖАХ МІСТА

Розглянуто існуючий метод очищення води для потреб населення, а саме сегмент її знезараження. Проблеми утворення хлорорганічних сполук (ХОС) можуть гостро позначитися на здоров'ї населення. З огляду на гостру проблему боротьби з вірусами та бактеріями, розглянуто один із альтернативних методів, який має під собою екологічну основу.

Ключові слова: очищення води, знезараження, хлорування, водопостачання, забруднення.

The existing method of water purification for the needs of the population is considered, namely the segment of its disinfection. Problems with the formation of organochlorine compounds (HOS) can have a severe effect on public health. Given the acute problem of combating viruses and bacteria, one of the alternative methods is considered, which has an ecological basis.

Key words: water purification, disinfection, chlorination, water supply, pollution.

Вступ. Існуючі методи очищення води для потреб населення не справляються з темпами утворення нових забрудників. В даній ситуації в першу чергу страждають споживачі, які отримують неякісні комунальні послуги від джерела водопостачання. Зниження якісних показників питної води на пряму впливає на екологічну ситуацію будь якого з регіонів країни.

Метою та завданням роботи є аналіз існуючого методу очищення води від шкідливих мікроорганізмів та пошук оптимального методу який на пряму покращить якість комунальних послуг.

Матеріал і результати досліджень. Актуальним в наш час є питання знезараження всього, що потрапляє в наш організм. Якісна питна вода для масового споживача в цьому контексті завжди була в пріоритеті для підприємств, що надають комунальні послуги. Питання залишається в тому, що методи знезараження не міняються вже десятки років. Якщо поглянути на систему водопостачання в розрізі ми побачимо, що основним методом залишається первинне і вторинне хлорування. Цей метод завоював довіру своєю надійністю, але його важко назвати екологічним. Наряду з економічними недоліками даного методу (динаміка витрат зростає) має місце і утворення хлорорганічних сполук (ХОС). Основною характеристикою більшості з ХОС є кумулятивність та токсичність. Їх концентрація зазвичай значно перевищує гігієнічні нормативи. Це пов'язано з застарілим обладнанням лабораторій водоканалів та відсутністю нормативів для більшості з ХОС. Висвітлена проблема досить важлива, оскільки фактор надходження канцерогенів з питною водою зменшує тривалість життя населення в основному через онкозахворювання.

Дослідженням впливу хлорорганічних сполук у воді на підвищення імовірності злоякісних новоутворень займалися у Вінницькій області [1]. Неодноразові припущення про пряму залежність утворення ХОС в процесі хлорування від вмісту органічних речовин у вихідній воді, яка забирається для водопостачання, спонукали провести кореляційний аналіз

між відсотком використання поверхневих вод у Вінницькій області за період з 2005 по 2012 роки та кількістю злякисних новоутворень (ЗН) різних локалізацій у цей період. Відповідно був встановлений слабкий зв'язок для таких локалізацій, як молочна залоза (коефіцієнт кореляції 0,29) та шкіра (0,16) і значний зв'язок для локалізації злякисних новоутворень легенів (0,57) [1,2]. Останній показник підтверджує припущення про канцерогенну дію хлорорганічних сполук, що потрапляють інгаляційним шляхом або під час прийому ванни чи душу.

Наведені дослідження спонукають нас обрати більш оптимальний метод знезараження води для щоденних потреб населення. З огляду на проблематику ми повинні обрати метод який містить в собі баланс між екологічністю та ефективністю. Таким методом в нашому випадку може слугувати метод який не потребує реагентів – ультрафіолетове випромінювання (УФВ). З огляду на рівень інактивації даний метод може значно покращити якісні показники питної води для населення (табл 1) [3,4].

Таблиця 1– Рівень інактивації УФВ

Організм	Інактивація %	Організм	Інактивація %
Бактерії:		Salmonella paratyphi	99,9999
Bacillus anthracis	99,9964	Vibro cholera	99,9162
Clostridium tetani	97,8456	Shigella dysenteriae	99,9999
Corynebacterium diphtheria	99,9999	Віруси:	
Escherichia coli	99,9999	Poliovirus	99,997
Legionella pneumophila	99,9999	Influenza virus	99,7846
Mycobacterium tuberculosis	99,9536	Rotavirus (Reovirus)	98,3014

Висновки. Існуючі методи очищення та знезараження води мають негативні наслідки які будуть проявлятися з певним часом. В ключі цієї проблеми пошук альтернативних варіантів покращення якості питної води для населення стає актуальним з кожним днем. Обраний нами оптимальний варіант допоможе зупинити негативні наслідки для населення в короткостроковій перспективі, що допоможе покращити якість надання житлово-комунальних послуг.

Список використаної літератури

1. Вплив хлорорганічних сполук у питній воді на злякисні новоутворення [Електронний ресурс]: електронне наукове фахове видання - [Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2014]. - Режим доступу: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/805> (дата звернення 01.05.2020 р.). – Назва з екрана
2. Аналіз чинників екологічної небезпеки хлорованої питної води. [Електронний ресурс]: електронне наукове фахове видання - [Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2014]. - Режим доступу: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/887/886> (дата звернення 01.05.2020 р.). – Назва з екрана
3. Гуцол О. В. Методи очищення води для населення / Гуцол О.В. – Київ: НАН України, 2017. – 112 с. - (Праці з конференцій НАН України).
4. Химия и технология воды / [Потапченко Н.Г., Гончарук В.В., Косинова В.Н., Сова А.Н]. – Київ : Вища освіта, 2008. – 210 с.

УДК 699.841

Бахтин А.І., аспірант
Крючков А.І., к.т.н., доц.
Кафедра геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

ОЦІНКА ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНДАМЕНТУ НА СПЕКТРАЛЬНУ СКЛАДОВУ СЕЙСМІЧНИХ КОЛИВАНЬ

У ході аналітичних та експериментальних досліджень встановлені автоковаріаційні функції та енергетичні автоспектри вхідного та вихідного імпульсів хвиль деформації для системи «грунт – фундамент». Проаналізовано зміну амплітуди та енергії сейсмічних коливань при проходженні вибухового імпульсу через фундамент дослідного об'єкту. Виявлено діапазон резонансних частот сейсмічних коливань ґрунтового масиву та фундаменту дослідної конструкції. Досліджено стійкості системи та умови розвитку мікротріщин за допомогою фазово-амплітудної характеристики взаємного енергетичного спектра.

Ключові слова: автоковаріаційна функція, енергетичний автоспектр, частота, амплітуда, фундамент, ґрунт, швидкість коливань.

In the course of analytical and experimental researches the autocovariance functions and energy autospectra of the input and output pulses of deformation waves for the system "soil - foundation" are established. The change of amplitude and energy of seismic oscillations during the passage of the explosive pulse through the foundation of the experimental object is analyzed. The range of resonant frequencies of seismic oscillations of the soil mass and the foundation of the experimental object is established. The stability of the system was analyzed using the phase-amplitude characteristic of the mutual energy spectrum.

Key words: autocovariance function, energy autospectrum, frequency, amplitude, foundation, soil, oscillation speed.

Вступ. Важливим питанням для оцінки сейсмічної безпеки об'єктів, що охороняються є вивчення особливостей проходження пружних хвиль. Проведення підливних робіт несе підвищену небезпеку, здатну створювати загрозу багатофакторного ураження як на місці вибуху, так і на великих відстанях від нього. Особливо актуальним є питання збереження будівель неподалік кар'єру та його бортів.

Основна частина енергії сейсмічних хвиль, що розповсюджується від місця вибуху до об'єктів, що охороняються, зосереджена в порівняно вузькому діапазоні частотного спектра коливань, параметри яких залежать від геологічної будови, термодинамічних параметрів ділянки гірського масиву, що розглядається, а також технологічних параметрів вибуху.

Вибух заряду моделює певний невеликий землетрус, епіцентр якого знаходиться в місці закладання заряду. Під дією вибухового імпульсу в породі виникає хвиля деформації, яка в свою чергу призводить до коливань масиву та об'єктів, що охороняються.

Мета та завдання. Метою даної роботи є дослідження дисипації та розподілу енергії вибухових імпульсів при проходженні їх через гірський масив та фундамент об'єктів, що охороняються. Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити ряд наукових задач: 1) дослідження автоковаріаційних функцій та автоспектрів вхідного та вихідного імпульсів хвиль деформації; 2) оцінка амплітуди та енергії сейсмічних коливань при проходженні вибухового імпульсу через фундамент дослідної конструкції; 3) встановлення резонансних частот сейсмічних коливань ґрунтового масиву та фундаменту дослідної конструкції; 4) аналіз стійкості системи та умов розвитку мікротріщин за допомогою фазово-амплітудної

характеристики взаємного енергетичного спектра.

Матеріал і результати досліджень. Цементні заводи як правило розміщуються неподалік кар'єрів для видобутку сировини. Як наслідок проведення масових вибухів впливає на сейсмостійкість цих технологічних об'єктів. Як приклад в даній роботі розглядається один із майже типових випадків: на відстані 600 та 1800 м від цементного заводу знаходяться два діючих кар'єра на яких здійснюються періодичні масові вибухи. Висота кожної із чотирьох силосних веж становить 42,6 м, діаметр – 12 м, корисний об'єм – 4400 т цементу. Вежі об'єднані в один блок та розміщені на цементобетонній фундаментній плиті $27 \times 27 \times 2$ м. Під впливом періодичних масових вибухів ґрунт під фундаментом силосних веж почав деформуватися, що призвело до нахилання фундаменту, зміщення центру маси споруди та утворення моменту сил, що в свою чергу збільшило навантаження на фундамент. Цей факт змушує переглянути допустимі динамічні навантаження та визначити умови безпечних сейсмічних коливань.

Для оцінки впливу характеристик фундаменту дослідного об'єкту на спектральний склад сейсмічних коливань конструкції використані експериментальні заміри зміщень (u) по осі X на поверхні ґрунту (70 м від фундаменту) та вершині фундаменту [1].

Для енергетичного спектрального аналізу та подальшої інтерпретації результатів зручніше використовувати швидкість зміщення ($\dot{u}$). Швидкість зміщення ($\dot{u}$) отримаємо про диференціювавши зміщення u по часу t (рис. 1).

Припустимо, що цифрові дані $\dot{u}_t$, $t = 0, \dots, N$ (N – кількість дискретних точок вибірки) відповідає значенням сигналу $\dot{u}(t)$ відрахованого через однакові інтервали. Позначимо швидкість зміщення вхідного імпульсу (коливання ґрунту на відстані 70 м від фундаменту) через X , а вихідного (вершина фундаменту) через Y . Вибіркова оцінка коваріаційної функції в цьому випадку буде мати вигляд рівнянь (рис. 2) [2]:

$$c_{xx}(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} [(X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})]; \quad (1)$$

$$c_{yy}(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} [(Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})]. \quad (2)$$

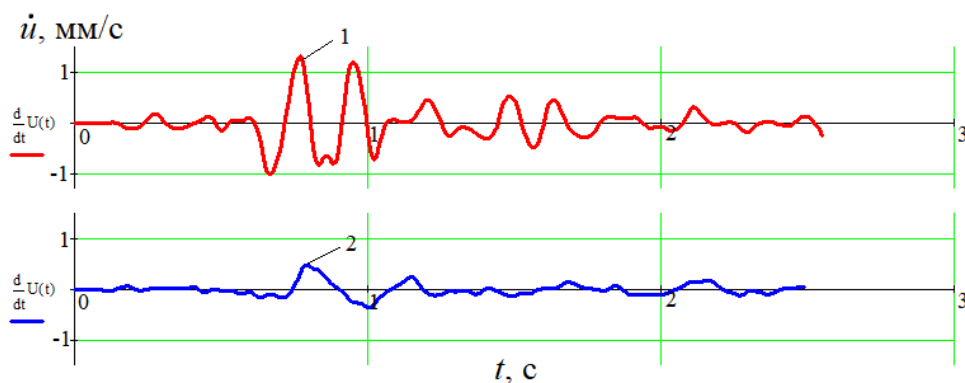


Рис. 1 – Осцилограми вибухів:

1 – швидкість зміщення при вхідному імпульсі; 2 – швидкість зміщення при вихідному імпульсі

де $c_{xx}(k)$, $c_{yy}(k)$ – вибіркові оцінки автоковаріаційних функцій вхідного та вихідного імпульсів відповідно.

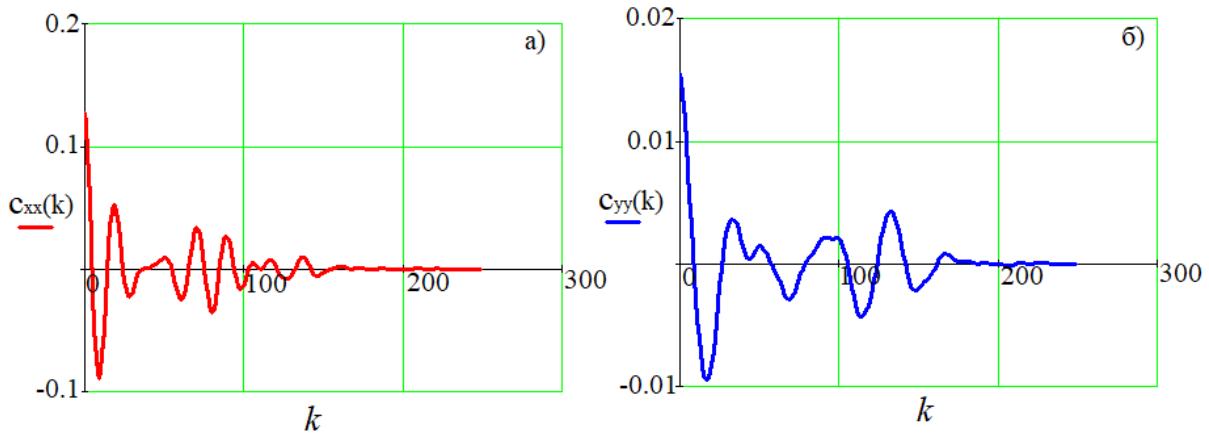


Рис. 2 – Вибіркові оцінки автоковаріаційних функцій вхідного (а) та вихідного імпульсів (б)

Коефіцієнт коваріації показує своєю величиною силу взаємозв'язку між дискретними змінними. Автоковаріаційні функції мають згасаючий характер.

У вхідного та вихідного імпульсів, окрім взаємозв'язків між власними дискретними змінами існує і вплив один на одного. Для оцінки цієї сили взаємодії необхідно розрахувати коефіцієнт спільної коваріації (рис. 3):

$$c_{xy}(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} [(X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y})], \quad (3)$$

$$c_{yx}(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} [(Y_t - \bar{Y})(X_{t+k} - \bar{X})]. \quad (4)$$

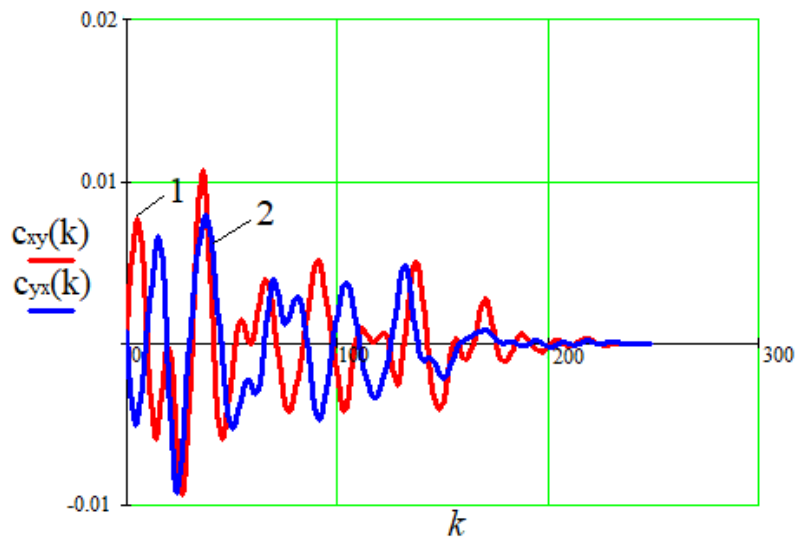


Рис. 3 – Вибіркові оцінки спільних коваріаційних функцій:

1 – вплив вхідного імпульсу на вихідний; 2 - вплив вихідного імпульсу на вхідний.

Вибіркова оцінка енергетичних автоспектрів вхідного $G_{xx}(f)$ та вихідного $G_{yy}(f)$ імпульсів розраховується за рівняннями 5, 6 [2] та представлена на рис. 4.

$$G_{xx}(f) = 2 \left[c_{xx}(0) + 2 \sum_{k=1}^{L-1} \left(\omega_p(k) \cdot c_{xx}(k) \cdot \cos\left(\frac{\pi f k}{F}\right) \right) \right]; \quad (5)$$

$$G_{yy}(f) = 2 \left[c_{yy}(0) + 2 \sum_{k=1}^{L-1} \left(\omega_p(k) \cdot c_{yy}(k) \cdot \cos\left(\frac{\pi f k}{F}\right) \right) \right]. \quad (6)$$

де f – частота сейсмічних коливань, Гц; $\omega_p(k)$ – коваріаційне вікно; L – ширина смуги частот коваріаційного вікна; $F = 2L$.

Для максимального збереження інформації при низькочастотних коливаннях в даній роботі використовується коваріаційне вікно Парзена [2]:

$$\omega_p(k) = \begin{cases} 1 - \frac{6k^2}{L^2} \left(1 - \frac{k}{L}\right), & 0 \leq k \leq \frac{L}{2} \\ 2 \left(1 - \frac{k}{L}\right)^3, & \frac{L}{2} \leq k \leq L. \end{cases} \quad (7)$$

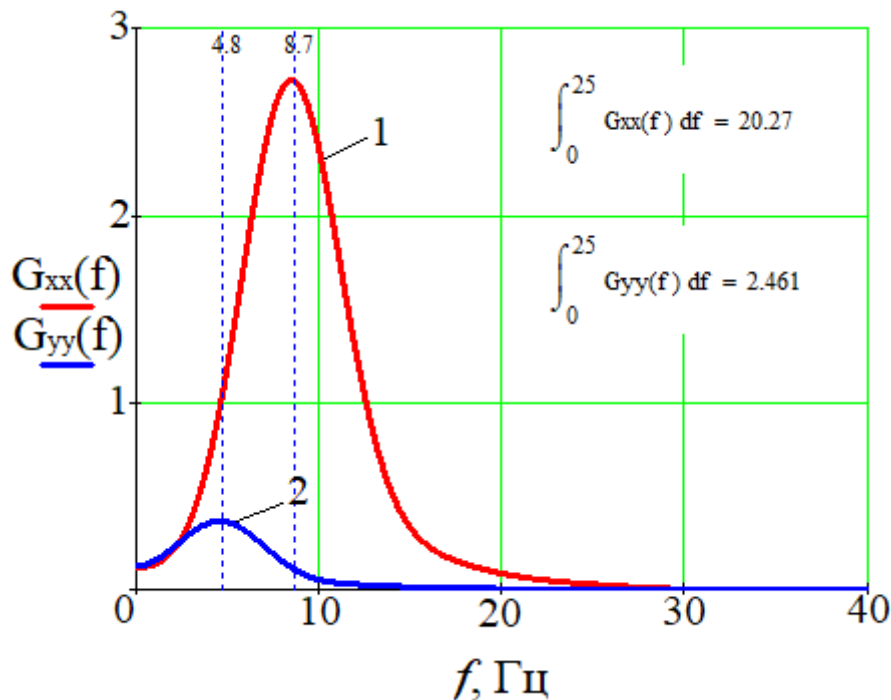


Рис. 4 – Вибіркові оцінки енергетичних автоспектрів вхідного (1) та вихідного імпульсів (2)

Враховуючи те, що розповсюдження сейсмічних хвиль є багатовимірним та багатоімпульсним процесом, при подальших дослідженнях необхідно досліджувати взаємні спектральні характеристики (кросс-спектр). Кросс-спектральний аналіз є багатомірним узагальненням двовимірного випадку і зводиться до розрахунку двох спектральних функцій (Гренджер, Хатанака) [2]: ко-спектра та квадратурного спектра:

$$L_{xy}(f) = 2 \left[l_{xy}(0) + 2 \sum_{k=1}^{L-1} \left(l_{xy}(k) \cdot \omega_p(k) \cdot \cos\left(\frac{\pi f k}{F}\right) \right) \right]; \quad (8)$$

$$Q_{xy}(f) = 4 \sum_{k=1}^{L-1} \left(q_{xy}(k) \cdot \omega_p(k) \cdot \sin\left(\frac{\pi f k}{F}\right) \right); \quad (9)$$

де: $Q_{xy}(0) = Q_{xy}(F) = 0$.

Для розрахунку ко-спектра та квадратурного спектра (рис. 5) необхідно із взаємної автоковаріаційної функції (рівняння 3-4) виділити парну та непарну складові [2]:

$$l_{xy}(k) = \frac{1}{2} [c_{xy}(k) + c_{yx}(k)]; \quad (10)$$

$$q_{xy}(k) = \frac{1}{2} [c_{xy}(k) - c_{yx}(k)], \quad (11)$$

де: $q_{xy}(0) = 0$.

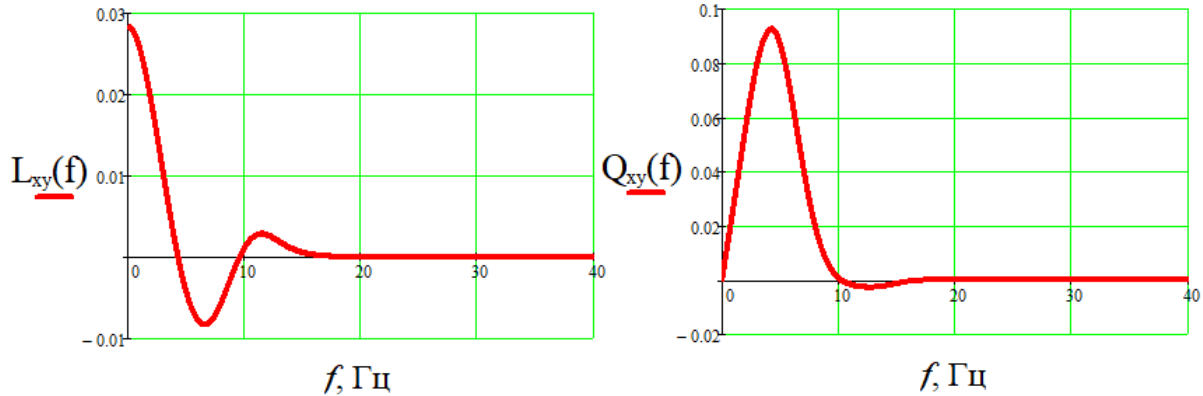


Рис. 5 – Ко-спектр (дійсна складова взаємного спектра) (а) та квадратурний спектр (уявна складова взаємного спектра) (б)

Ко-спетр та квадратурний спектр дозволяє дослідити взаємну фазово-амплітудну характеристику (годографа) (рис. 6).

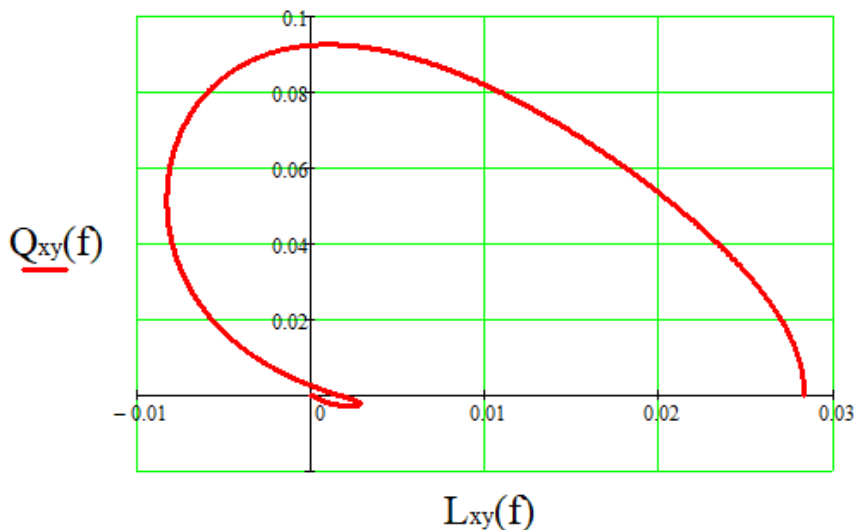


Рис. 8 – Фазово-амплітудна характеристика взаємного спектра

Висновки:

1) Амплітуда сейсмічних коливань вихідного імпульсу (поверхня фундаменту) в 7,35 разів нижча за амплітуду коливань ґрунту на відстані 70 м від дослідного об'єкта, а енергія нижча в 8,23 рази. Це свідчить про те, що фундамент дослідного об'єкта поглинув близько 88 % сейсмічної енергії.

2) Діапазон частот 5-9 Гц є резонансним. В цьому діапазоні, частота коливань фундаменту дослідного об'єкта близька до частоти коливань вхідного імпульсу, що призводить до збільшення енергії та амплітуди сейсмічних коливань та утворення у фундаменті мікротріщин.

3) Характер та форма фазово-амплітудної характеристики взаємного спектра (годографа) вказує на те, що дослідна система «джерело вибуху-ґрунтовий масив-фундамент»

нестійка і частина енергії витрачається на утворення мікротріщин.

4) Використана в роботі методика досліджень характеристик гірського масиву та об'єктів, що охороняються, свідчить про можливість більш детального вивчення механізму розвитку мікротріщин та їх переходу до нестійкого руйнування.

Список використаної літератури

1. Кабаков В. А., Овсянников П. И., Помогов И. Г. Сейсмическое действие взрывов на силосные башни Новокарагандинского цементного завода. *Горное дело: Сейсмика промышленных взрывов*. Москва, 1983. Вып. 85/42. С. 174-178.
2. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Москва: Мир, 1972. Т. 2. 285 с.

УДК 504.4.054; 502.08

Черненко Т.В., студент
Ремез Н.С., д.т.н., професор
Кафедра Геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Досліджено вміст забруднюючих речовин у стічних водах гірничодобувної промисловості, на прикладі вугільнодобувних шахт. Розроблено технологічну схему очистки шахтної води, відповідно до критеріїв екологічності та безпеки для навколишнього природного середовища.

Ключові слова: забруднюючі речовини, шахтні води, гірничодобувна промисловість, технологічна схема очистки, органічне забруднення.

The content of pollutants in the wastewater of the mining industry, on the example of coal mines, has been studied. A technological scheme of mine water treatment has been developed in accordance with the criteria of environmental friendliness and safety for the environment.

Key words: pollutants, mine waters, mining industry, technological scheme of purification, organic pollution.

Вступ. Підприємства гірничодобувної промисловості в Україні є одними із провідних в економіці нашої країни та існуванні на міждержавному просторі. Саме природо-ресурсний потенціал країни визначає рівень та напрямки її розвитку. Надзвичайно вагомими для держави є функціонування Донецького та Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейнів.

Однак, застарілі методи розробок корисних копалин та устаткування, недофінансування, відсутність підтримки з боку держави та військовий конфлікт призводять до численних забруднень всіх компонентів навколишнього природного середовища. Найбільшого впливу зазнає водне середовище регіонів, що пов'язано зі значними скидами високо мінералізованих шахтних, кар'єрних та стічних вод.

Видобуток вугілля в Донецькому та Львівсько-Волинському регіонах підземним способом призводить до підвищеного техногенного навантаження на поверхневі та підземні води регіону та забруднення річок Сіверський Донець та Західний Буг. Недоочищені стічні води потрапляють з перевищеннями значень ГДК зважених частинок, органічних забруднень, підвищеної мінералізації, вмісту заліза, міді, цинку, азоту та інших домішок, що характерні для гірничодобувної промисловості. Саме тому актуальною проблемою довкілля на сьогодні є модернізація та побудова очисних споруд, з високим ступенем ефективності очищення.

Мета та завдання. Метою є дослідження та розробка методів очистки стічних вод на вугільних підприємствах України. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- дослідження особливостей стічних вод вугільної промисловості;
- характеристика основних компонентів забруднення стічних вод;
- враховуючи принципи екологічності та безпечності для навколишнього середовища розробка альтернативної схеми очистки стічних вод.

Матеріал і результати досліджень. Шахтні води утворюються при просоченні підземних та поверхневих вод в гірничі виробки. Проходячи через шари виробки, вода забруднюється різноманітними домішками гірської породи та інших забруднюючих речовин, і в такому складі вода не може скидатись у водойми без очищення. Кількість шахтної води, що

утворюється, залежить від численних факторів та може становити 100-1000 м³/год. Відповідно об'єму води, яка накопичується залежно від наповненості шахт та інших особливостей, обирається технологія очистки стічних вод.

Розрізняють:

- слабо та практично не обводнені з притоком 100 м³/год;
- помірно обводнені – 100-300 м³/год;
- обводнені – 300-1000 м³/год;
- досить та занадто обводнені – 1000 м³/год.

Головними факторами, що впливають на склад води є характеристика гірничої виробки, підземних вод, склад та властивості гірської маси, механізми для виїмки гірської маси та проведення підготовчих робіт, рельєф та клімат. Без попередньої обробки, шахтні стічні води можуть застосовуватися лише для технічних робіт. Для методу очищення стічної води варто проаналізувати склад забруднюючих речовин, що містяться у воді. Домішки розрізняють органічного, мінерального, бактеріологічного походження.

Органічні домішки – це частки вугілля, мастило від транспорту, розклади органічних речовин, що перебувають у зваженому та розчиненому стані. Ступінь забруднення води визначаємо від показників БСК, ХСК та окиснюваням. Ступінь окиснення шахтних вод Донецького басейну складає – 6,5-40 мг О₂/л. Показники БПК та ХСК можуть варіюватись навіть в межах одного басейну. Зокрема для Донецького регіону спостерігаються показники БПК₅ = 0,36 – 85,9 мг О₂/л.

Вміст зважених нерозчинних речовини – грубо дисперсні зважені частинки, розмірами 100 мкм, суспензії та колоїдні розчини, зазвичай є частками вугілля та інших складових порід. Середній вміст зважених частинок для шахт Донбасу складає 50-600 мг/л, зазвичай видаляються із води за допомогою відстійників, також з додаванням інших реагентів.

Вміст мікроелементів у шахтній воді перш за все залежить від їх вмісту у підземних водах, та процесів, що пов'язані з міграцією в гірських породах. Для шахт Донецька спостерігається підвищений вміст Al, Mn, Cu, Co та ряду інших металів. Для шахтної води характерною є підвищена мінералізація води. Залежно від вмісту розчинених солей шахтна вода характеризується як:

- слабкосолона (1-3 г/л);
- солонна (10-25 г/л);
- сильно солонна (25-50 г/л) [2].

Загалом, як і для підземних так і для шахтних вод спостерігається підвищення вмісту іонів хлору та натрію та збільшення вмісту солей з глибиною шахти.

Залежно від ступеня мінералізації розрізняють сучасні методи опріснення, що використовуються:

- (1-3 г/л), застосовуються гідротехнічні та хімічні методи очищення;
- (3-5 г/л), використання апаратів за допомогою мембранної очистки;
- вище 5г/л, застосовуються термічні методи очистки.

Величина жорсткості шахтних вод Донбасу характеризується в межах 1,5-30 мгекв/л. Використання води з високою жорсткістю та високим вмістом солей, призводить до засолення ґрунтів та погіршення в роботі трубопровідної системи, і відповідно її непридатність для використання людиною.

Бактеріологічне забруднення води характеризується вмістом у шахтній воді патогенних мікроорганізмів, що виникають при процесах гниття деревини та живих організмів. Як наслідок розвивається патогенне середовище, що може викликати численні захворювання людини.

Ступінь забруднення мікробіологічними показниками визначається за: колі-титром; колі-індексом; мікробним числом. Для шахтної води характерне сильне забруднення за показником колі-титру, однак вода не є такою небезпечною, як побутові стоки.

Враховуючи хімічний склад шахтних вод, вони є досить агресивними до таких речовин як бетон та метал, оскільки містять в собі високий вміст сульфатів та високу кислотність. При досягненні сульфатами показника більш ніж 800 мг/л, відбувається руйнування бетону в спорудженнях очисних споруд, аеротенків.

Відповідно до проаналізованих параметрів забруднення шахтної води розробляємо найбільш раціональну схему очистки, що буде задовольняти параметрам екологічності та безпечності для навколишнього середовища (рис.1). Вода, що скидається, не буде перевищувати параметри ГДК та згубно впливати на водне середовище та інші складові навколишнього середовища.

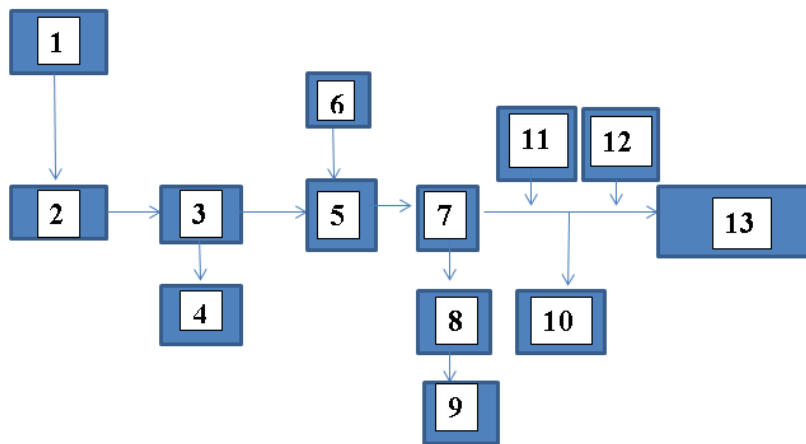


Рис1- Розроблена схема очистки шахтної води: 1 - шахтна вода; 2 - усереднювач; 3 - гідроциклон; 4-осад; 5- шайбовий змішувач; 6 - флокулянт; 7 - тонкошаровий відстійник; 8-згущувач; 9 - шламонакопичувач; 10 - вторинний цикл використання води; 11-обеззараження; 12 - опріснення; 13 - скид у водойми.

Схема очистки шахтної води являє собою комбіновану схему. Спочатку вода потрапляє до усереднювача, де відбувається усереднення та відстоювання водної маси. Очищення від грубо дисперсних домішок відбувається завдяки гідроциклону, що має ряд переваг порівняно з відстійниками. Наступний етап – додавання флокулянта, його змішування з водою завдяки шайбовому змішувачі та видалення тонко дисперсних частинок в тонкошаровому відстійнику. Весь утворений осад прямує у шламонакопичувач, та може піддаватись ресайклінгу. Очищена вода знезаражується та при високому вмісті солей опріснюється і лише після цього потрапляє на вторинне використання (при замкненому циклі) або скидається.

Запропонована схема очистки шахтної води передбачає всі необхідні етапи очистки стічної води задля досягнення нею допустимих параметрів скиду у водні об'єкти. При цьому вплив на компоненти навколишнього середовища матиме позитивний характер та не порушуватиметься баланс природнього середовища.

Висновки. Розроблена технологія очистки шахтних вод дозволить вирішити проблеми, пов'язані з поліпшенням стану водних об'єктів регіону та навколишнього природнього середовища. Схема може застосовуватись для гірничодобувних підприємств з певною модернізацією чи зміною, залежно від критеріїв забруднюючих речовин. Впровадження даної технологічної схеми дозволить підвищити ефективність очищення стоків гірничодобувних підприємств та створить безпечні умови для життєдіяльності.

Список використаної літератури

1. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області в 2017 році.- Режим доступу: <https://menr.gov.ua/news/32893.html>
2. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки: [справочное пособие] / Долина Л.Ф. – Днепропетровск, Молодежная экологическая Лига Приднепровья, 2000г. – 33 с.
3. Физико-химические основы технологии деминерализации шахтных вод: Монография / Гребенкин С.С., Костенко В.К., Матлак Е.С. и др.; под общ.ред. Костенко В.К. - Донецк: ВИК, 2008. - 287 с.

УДК 628.543

Литвиненко В. А., аспірант
Дичко А. О., д. т. н., професор
Кафедра Геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ УСТАНОВКИ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД, ЯКІ МІСТЯТЬ ГЕКСАМЕТИЛЕНДІАМІН

*На сьогоднішній день є актуальним питання очищення стічної води хімічних підприємств які у виробничому циклі містять гексаметилендіамін. Хімічні підприємства, які використовують сіль АГ як джерело для отримання синтетичних волокон, мають справу з відходами, які потрапляють у стічні води, а саме – з гексаметилендіаміном (ГМД). Для очищення стічних вод від ГМД була розглянута можливість застосування бактеріальних культур-деструкторів, які використовують ГМД як джерело живлення. Основою мікробіологічного методу є високоефективні новітні спорові бактерії *Bacillus subtilis* які використовують ГМД як джерело вуглецю, азоту та енергії.*

Ключові слова: стічні води, біореактор, гексаметилендіамін, фільтратори, мікроорганізми.

*Today, the issue of wastewater treatment of chemical plants that contain hexamethylenediamine in the production cycle is relevant. Chemical companies that use AG salt as a source for synthetic fibers deal with waste that enters the wastewater, namely hexamethylenediamine (HMD). To treat wastewater from HMD, the possibility of using bacterial destructive cultures that use HMD as a power source was considered. The basis of the microbiological method are highly efficient new spore bacteria *Bacillus subtilis* that use HMD as a source of carbon, nitrogen and energy.*

Key words: sewage, bioreactor, hexamethylenedipine, filtration, microorganisms

Вступ. Хімічні підприємства, які використовують сіль АГ як джерело для отримання синтетичних волокон, мають справу з відходами, які потрапляють у стічні води, а саме – з гексаметилендіаміном (ГМД). ГМД являє собою безбарвні гігроскопічні кристали з характерним аміачним запахом, легко розчинні у воді, спиртах, бензолі, вуглеводнях, рідкому аміаку та інших органічних розчинниках. На території України найбільш гостро постало питання по очищенню ставка-накопичувача стічної води на території ПАТ «Чернігівське Хімволокно». Штучний ставок містить 1600 м³ промислових стічних вод виробництва полімеру «анід», що містять ГМД. Ставок поповнюється цими токсичними відходами у кількості 120 т щорічно. Тому гостро постає питання щодо очищення цього ставка-накопичувача, та організація подальшого очищення стічної води на підприємстві. Концентрація ГМД у стічних водах виробництва хімволокна сягає значень 2540 мг/л. Ці промислові стічні води дістали назву «мертва вода». До 70-х років минулого сторіччя питання щодо очищення ставка-накопичувача взагалі не розглядалось, а стічні води очищувалися методом «високотемпературного спаювання рідких відходів». Вперше до цього питання звернулися в Інституті колоїдної хімії та хімії води імені А. В. Думанського Академії наук України. Під час вивчення характеристик бактерій, було виявлено, що спорові бактерії *Bacillus subtilis* використовують ГМД як джерело вуглецю, азоту та енергію для росту і розвитку [1].

У 2010 році вчені Гвоздяк П. І., Кузьмінський Є. В., Саблій Л. А., Жукова В. С розробили та затвердили Патент України на винахід №94856 Спосіб біологічного очищення стічних вод, в якому обґрунтовано використання саме біологічного очищення стічних вод забруднених гексаметилендіаміном та інших нітрогенвмісних сполук [2].

На ПАТ «Чернігівське Хімволокно» не застосовують ефективних способів спеціального очищення стічних вод від гексаметилендіаміну, що є причиною негативного впливу підприємства на навколишнє середовище. Для вирішення цієї актуальної проблеми в роботі проведено аналіз найбільш ефективного способу очищення стічних вод, який може бути рекомендований та впроваджений на підприємстві ПАТ «Чернігівське Хімволокно».

Мета та завдання. Метою дослідження є розробка технологічної схеми мікробіологічного очищення стічної води від гексаметилендіаміну.

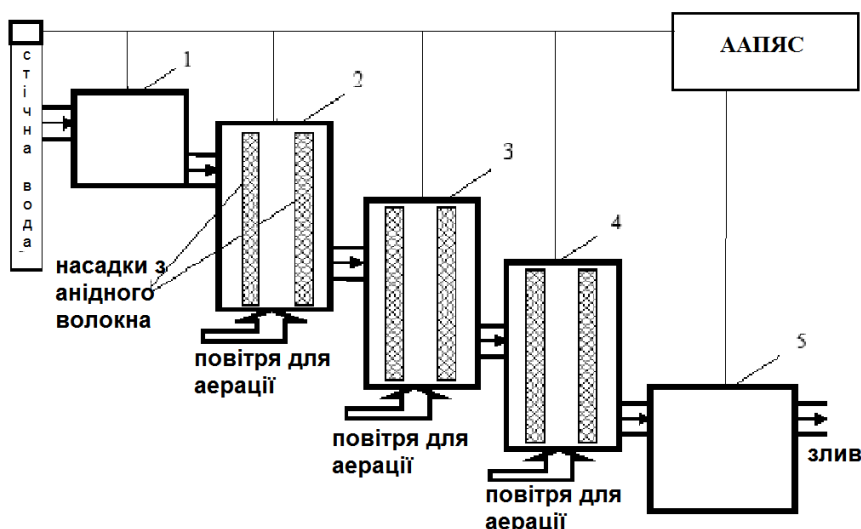
Для досягнення поставленої мети та одержання конкретних результатів дослідження було поставлено такі завдання:

- провести аналіз існуючих публікацій щодо методів та засобів мікробіологічного очищення стічних вод хімічних підприємств;
- провести аналіз технологічного процесу та техніко-економічних показників роботи установки мікробіологічного очищення стічних вод;
- дослідити залежність життєдіяльності бактерій *Bacillus subtilis* від температури стічних вод і концентрації гексаметилендіаміна в стічних водах;
- розробити технологічну схему тристадійної роботи установки мікробіологічного очищення стічної води.

Матеріал і результати досліджень. Основною задачею керування процесом біологічної очистки є вилучення та стабілізація концентрації забруднень на допустимому рівні у відпрацьованих рідинах. Проте немає засобів прямого неперервного вимірювання даного показника, а результати отримують лише дослідним шляхом. Тому для аналізу ефективності очищення рідин використовують вимірювання ряду технологічних параметрів, на основі яких можна приймати рішення про величину концентрації органічних домішок у стічних водах та виробляти відповідні керуючі впливи. Для покращення якості очищення стічних вод та зменшення затрат на очищення застосовують системи автоматизованого керування установками. Технологічна схема показана на рис 1.

Стічні води, забруднені ГМД (концентрація 2,54 г/л), при температурі +60 - 80 °С подаються насосами з баків-накопичувачів з відділу розчинення солі АГ (сіль адипінової кислоти і ГМД) в нейтралізатор, де для активної життєдіяльності мікроорганізмів-деструкторів створюються необхідні параметри середовища їх існування. Для цього стоки охолоджують до +30 °С і доводять рН до 9 введенням 10% -вого розчину ортофосфорної кислоти [3].

Основу запропонованої технології мікробіологічного очищення складають біореактори, які забезпечують необхідну якість та продуктивність очищення. З нейтралізатора стоки насосом подаються в біореактори, де вони розпорошуються форсунками. Вирощену в лабораторних умовах біомасу мікроорганізмів-деструкторів вводять в камеру біомаси. Саме в біореакторах на насадках з анідних волокон і здійснюється процес поглинання і розщеплення ГМД мікроорганізмами [3].



1- нейтралізатор; 2 – 1-й біореактор; 3 – 2-й біореактор; 4 – 3-й біореактор;
5 – відстійник; 6 - автоматична система управління продуктивності та якості очищення стічної води

Рисунок 1 – Автоматизована технологічна схема установки мікробіологічного очищення стічної води

Для кращого перемішування і підвищення ефективності очищення в біореакторах проводиться аерація води (50 -100 м³/ год).

Основне зниження концентрації ГМД відбувається в першому біореакторі (з 2500 мг/л до 100 мг/л). У наступних біореакторах концентрація ГМД знижується до 5 мг / л. Результати проходження стічної води через установку показано в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати досліджень очищення стічних вод ПАТ «Чернігівське Хімволокно»

№ біореактору	Концентрація ГМД у стічній воді на вході в біореактор, г/л	Концентрація ГМД у стічній воді на виході з біореактор, г/л	Концентрація ГМД в стічній воді, г/л	Концентрація ГМД в воді, яка пройшла очищення, г/л	Середнє значення ступеня очищення, %
1	2.54	0,122	2,54	0,00124	99,93
2	0,122	0,00963			
3	0.0063	0,00124			

Після очищення в біореакторах стічні води надходять в бак-відстійник, де біомаса випадає в осад, а очищені від ГМД стоки спрямовуються у ставок-накопичувач.

На ефективність очищення стічних вод за допомогою запропонованої технології мають найбільший вплив температура, активна реакція рН, концентрація Р₂О₅ в стічній воді, витрата повітря на аерацію, співвідношення біомаси мікроорганізмів і стічної води[4].

Біореактор складається з контейнерів-модулів і являє собою прямокутний металевий резервуар, розділений всередині перегородками, що утворюють багатоступінчасті аеротенки [1]. Усі сходинки в аеротенках обладнуються пластмасовим завантаженням, яке кріпиться в середній частині біореактора і імілізує на себе мікрофлору. У нижній частині біореактора активний мул знаходиться в підвищеному стані. Аерація здійснюється придонними

аераторами. Процес очищення здійснюється біоценозом мікроорганізмів у відновлювальних умовах.

При скиданні стічних вод з такими зваженими речовинами вони не порушують природний баланс водойми, включаючись в трофічні системи (хижі коловертки, малощетинкові черви, сисні інфузорії - представники 3-го трофічного рівня є відмінним кормом для риб; нематод, коловертки - представники 2-го трофічного рівня; підсилюють бактеріальне очищення в планктоні, перифітоні, тим самим покращуючи санітарний стан водойми). Надлишковий активний мул відводиться в аеробний мінералізатор, де завдяки взаємовідносин мікроорганізмів, маса мулу знижується в 2-3 рази.

Висновки. Ефективне очищення стічних вод від ГМД досягається застосуванням альтернативного мікробіологічного методу, який базується на використанні споривих бактерій *Bacillus subtilis* 21/3, дріжджів *Saccharomyces cerevisial*, грампозитивних бактерій *Arthrobacter species* 125 і установки мікробіологічної очистки.

Характерною особливістю технології є виключно малий приріст мулу, не більше 5% від маси видалених при очищенні забруднень. Крім того, анаеробний мул після біореакторів практично стабільний (він не розкладається при відкритому зберіганні та не поширює неприємні запахи), легко зневоднюється та знезаражується.

Встановлено, що при очищенні стічної води з концентрацією ГМД 1-4 г/л за допомогою запропонованої технології залишкова концентрація не досягала і 1,5 мг/л, тобто ступінь очищення води від ГМД становить 99,93%.

Список використаної літератури

1. Резников В. А. Химия азотсодержащих органических соединений: Учеб. Пособие. Новосибирск: ЗНУ, 2006. 227 с.
2. Пушкін С. П., Шаповал Ю. А. Методи очищення стічних вод від гексаметилендіаміну з метою забезпечення безпеки праці. Інформаційний бюлетень з охорони праці. Київ.: ННДІПБОП, 2012. С. 13-17.
3. Гвоздяк П. І. За принципом біоконвейера. Біотехнологія охорони довкілля. Вісник НАН України, 2003 (№ 3). С. 29–36.
4. Гвоздяк, П. І., Сапура О. В. Біотехнологічне знешкодження гексаметилендіаміновмісних промислових токсичних відходів у ставку-накопичувачі. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2015. (№ 1 (69)). С. 102–110.

УДК 628.4:614.3

Педаш К.О., магістрант
Жукова Н.І., к.т.н., ст.викл.
Кафедра Геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ ДОВКІЛЛЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ АКУМУЛЯТОРІВ

Розглянуто проблему накопичення відпрацьованих акумуляторних батарей, вплив важких металів на навколишнє середовище та здоров'я людини. Розглянуто законодавство України стосовно питання утилізації акумуляторних батарей. Запропоновано ряд рекомендацій стосовно запобігання забрудненню довкілля важкими металами.

Ключові слова: важкі метали, відпрацьовані акумуляторні батареї, утилізація акумуляторних батарей.

The problem of accumulated spent batteries, the impact of heavy metals on the environment and human health is considered. The legislation of Ukraine concerning the issue of recycling of batteries is considered. A number of recommendations have been proposed for the prevention of heavy metal pollution.

Key words: heavy metals, spent batteries, recycling of batteries.

Вступ. Високі темпи розвитку технологій призвели до посилення впливу людини на навколишнє середовище. Металургія, хімічна та важка промисловість, інші галузі виробництва нині використовують більш досконалі машини і механізми, транспорт та енергетика зазнали значних змін (енергетика стала споживати більше викопного палива, а транспортні засоби було вдосконалено (наприклад, було винайдено чотиритактний двигун)), а сільське господарство дедалі більше набуває рис високотехнологічної галузі виробництва внаслідок його механізації та хімізації. Варто зазначити, що всі ці зміни відбулися за відносно невеликий проміжок часу (менше ніж за двісті років).

Внаслідок вищенаведених змін антропогенне навантаження на навколишнє середовище зросло, рівень забруднення атмосферного повітря, ґрунту, поверхневих і підземних вод значно збільшився, через що природні екосистеми почали деградувати і руйнуватися. Тому виникла необхідність у пошуку засобів зменшення негативного впливу людської діяльності на навколишнє середовище. Одним з них є стратегія декарбонізації, яка передбачає зниження об'ємів викидів парникових газів у атмосферне повітря [1]. Однією зі стратегій декарбонізації є використання як палива для автомобілів електричної енергії замість традиційних його видів. Цей процес є довготривалим: частка електромобілів у галузі транспорту буде поступово зростати, а частка автомобілів, які використовують традиційні види палива, зменшуватись [1].

Метою роботи є постановка проблеми забруднення важкими металами навколишнього середовища та пропозиція заходів із запобігання такому забрудненню.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати вплив важких металів на навколишнє середовище та організм людини при утилізації відпрацьованих акумуляторних батарей.
2. Визначити відповідність методів утилізації відпрацьованих акумуляторів, що містять важкі метали, чинному законодавству України,
3. Запропонувати заходи запобігання забрудненню довкілля важкими металами при утилізації акумуляторних батарей.

Об'єктом дослідження є процес утилізації акумуляторні батареї, які містять важкі

метали.

Предметом дослідження є антропогенний вплив важких металів, що надходять в довкілля при утилізації відпрацьованих акумуляторних батарей.

Матеріал і результати досліджень. Поступове зменшення використання транспорту, паливом для якого служать бензин та дизель і перехід на електромобілі сприятиме зменшенню викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря. Проте варто зазначити, що акумуляторні батареї, які відправлятимуть на утилізацію по закінченні їх терміну експлуатації, є загрозою для довкілля, оскільки містять в собі значну кількість шкідливих речовин, у тому числі важкі метали.

До важких відноситься група металів, яка включає в себе понад сорок елементів періодичної системи, з атомною масою більше 50 одиниць [2]. На міграцію важких металів у ґрунті впливають вміст вологи, гумусу та кислотно-основні властивості ґрунту, оскільки саме вони в першу чергу визначають стійкість ґрунтового середовища до забруднення вищезазначеними елементами [3].

Аналіз літературних джерел [4]–[7] показує, що забруднення важкими металами навколишнього середовища має негативні наслідки, такі як техногенна деградація ґрунтів, порушення процесу фотосинтезу в рослинах, загибель мікроорганізмів, а також спричиняє функціональні порушення в клітинах мозку, нирок, печінки, кісток людини та підвищує ймовірність появи ряду захворювань (анемії, алопатії, хвороби Альцгеймера тощо).

Технологічний процес переробки батарей і акумуляторів розділяється на два етапи [8]:

1. Первинна переробка, яка включає постачання, приймання й облік матеріалу, сортування і розподіл на групи за технологічністю, зберігання та передачу переробним підприємствам.

2. Більш глибока переробка, що включає демонтаж обладнання, подрібнення, сепарацію, різні методи вилучення металу (плавлення, електроліз тощо) [8].

Технологічний цикл переробки, пов'язаний з переробкою акумуляторних батарей, містить ряд небезпечних робіт. При демонтажі обладнання, плавлінні та проведенні робіт, пов'язаних з електролізом, робітники наражаються на небезпеку отримати механічні травми, опіки, ураження електричним струмом. Тому необхідно віднести роботу на підприємстві з переробки акумуляторних батарей до робіт з підвищеною небезпекою, дотримуватися норм і правил, прийнятих для роботи на таких підприємствах, проводити для персоналу інструктажі з техніки безпеки. Крім того, існує небезпека потрапляння свинцю до навколишнього середовища.

При експлуатації підприємств, які займаються переробкою акумуляторів, утворюються викиди в атмосферу та стічні води сполук, що містять свинець у значних кількостях. В зонах розміщення таких підприємств концентрація свинцю в повітрі перевищує норми ГДК в 1,3-2 рази, у воді в 2 рази, в ґрунтах у 4-10 разів [9]. Наслідками забруднення довкілля свинцем є зниження якості навколишнього середовища та погіршення стану здоров'я населення.

Кінцева утилізація побутових батарей все ще є проблемою як в Україні, так і в країнах ЄС [8].

Акумуляторні батареї представлені на рис. 1[10].



Рисунок 1 – Акумуляторні батареї

Українське законодавство визначає відпрацьовані акумулятори як небезпечні відходи, які містять свинцеві сполуки. Згідно із законодавством України, право на утилізацію небезпечних відходів мають виключно установи та організації, які отримали відповідну ліцензію. Суб'єкти господарювання, які не мають такої ліцензії, можуть зберігати такі відходи на своїй території протягом року з дня їх утворення. Якщо зберігання відходів відбувається більше одного року, то на суб'єкт господарювання накладається адміністративний штраф у розмірі 850–1700 гривень [11]. Цей штраф недостатній для стимулювання суб'єктів господарювання до виконання вимог законодавства, наслідком чого є накопичення небезпечних відходів на територіях підприємств. Також необхідно внести зміни в законодавчу базу України стосовно питання утилізації та переробки акумуляторних батарей. По-перше, акумуляторні батареї повинні вважатися небезпечними відходами, які містять важкі метали та небезпечні хімічні речовини (такі як електроліт наприклад), а не виключно свинець. По-друге, з метою кращого захисту довкілля необхідно зробити закон “Про екологічну експертизу” діючим. По-третє, необхідно встановити більш жорстку міру відповідальності за незаконне зберігання акумуляторних батарей для суб'єктів господарської діяльності, які не мають ліцензії на їхнє зберігання і не здали їх на переробку у відповідний термін. По-четверте, необхідно створити в Україні більш широку мережу підприємств з переробки акумуляторних батарей.

Крім того, викликає велике занепокоєння скасування закону «Про екологічну експертизу», який визначає обов'язковість проведення екологічної експертизи [9], оскільки тепер визначення об'ємів небезпечних відходів на території підприємства стає неможливим, що в свою чергу ускладнює встановлення обсягу впливу на довкілля і призведе до негативних наслідків у майбутньому.

Висновки. У зв'язку зі збільшенням антропогенного навантаження на навколишнє середовище виникла необхідність розробки заходів зменшення негативного впливу на довкілля. Одним з таких заходів є стратегія декарбонізації, яка включає в себе відмову від викопного палива і перехід на електричну енергію для автотранспорту. Проте в Україні з цим переходом пов'язано ряд проблем, такі як недосконалість законодавчої бази, відсутність механізмів контролю за втіленням законодавчих норм у життя, недостатньо добре розвинена технічна база для утилізації та переробки акумуляторних батарей і недостатньо висока відповідальність за порушення норм чинного законодавства. Всі ці проблеми потребують вирішення та більш глибокого аналізу і дослідження.

Список використаної літератури

1. Чернявська Ю.В. Низьковуглецевий розвиток економіки: роль енергетики: кредитний модуль «Основи інженерії та технології сталого розвитку», НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», лекція №4, с.20;
2. Поняття важких металів [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: nova.ecologia.org/vo/ecos-46-1.html;
3. Гумницький Я.М., Сабадаш В.В., Тижбір Г.А., Міграція важких металів у ґрунтовому середовищі, УДК 66.021.3: 615.015.14, Національний університет «Львівська політехніка», 2008 рік, с. 211;
4. Топчий Н.М. Вплив важких металів на фотосинтез, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного Національної академії наук України «Физиология и биохимия культ. растений», т.42, №2, 2010 рік, с.95-103;
5. І. Кушкевич, С. Гнатуш, С. Гудзь Вплив важких металів на клітини мікроорганізмів, Львівський національний університет імені Івана Франка, Вісник Львів. УН-ТУ, випуск 45, 2007 рік, с.3-22;
6. Алексєєва Т.М. Ґрунтово-рослинний покрив як показник забруднення атмосферного повітря важкими металами, Український гідрометеорологічний журнал, випуск №14, 2014 рік, с.19;
7. Архіпова Г.І., Мудрак Т.О., Завертана Д.В. Вплив надлишкового вмісту важких металів у питній воді на організм людини, Національний авіаційний університет, Національний університет харчових технологій, 2010 рік, с.2;
8. Сучасний стан політики поводження з електронними відходами в Україні та Європейському Союзі: кроки до зближення. Всеукраїнська екологічна громадська організація «МАМА-86», м. Київ, 2013 рік, с.78-79;
9. Агапова В.Т., Золотко О.В. Оцінка ризиків для здоров'я населення внаслідок емісії свинцю від антропогенних джерел, ДНУ імені Олеся Гончара, 2012 рік, с. 1-2;
10. Акумулятори на підприємстві: правила утилізації [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: i.factor.ua/ukr/journals/bn/2015/may/issue-20/article-8049.html;
11. Закон України «Про екологічну експертизу» [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/45/95-%D0%B2%D1%80>.

УДК 502/504

Руренко О. А., студент
Кофанов О. Є., к.т.н., старший викладач
Кафедра Геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

ЦІЛЕСПРЯМОВАНА ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВА З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА УРБОЕКОСИСТЕМИ ТА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

У роботі проведено аналіз шляхів зменшення негативних впливів автотранспортного забруднення на довкілля і надано рекомендації зі зменшення навантаження на повітряне середовище міст. Встановлено, що для зменшення викидів відпрацьованих газів від автомобілів доцільно використовувати метод фізико-хімічного регулювання властивостей палива, тобто цілеспрямованої зміни його властивостей.

Ключові слова: екологічна безпека, моторне паливо, автотранспортне забруднення, фізико-хімічне регулювання властивостей палива.

The analysis of different ways to reduce the negative effects of road transport pollution on the environment was carried out in terms of the investigation. Recommendations for reducing the load on the air environment of cities were provided. It was established that to reduce exhaust emissions levels from cars, it is advisable to use the method of physico-chemical regulation of fuel properties (purposeful change of fuel properties).

Key words: ecological safety, motor fuel, motor transport pollution, physical and chemical regulation of fuel properties.

Вступ. Надмірне техногенне навантаження з боку автотранспортних засобів (АТЗ) на атмосферне повітря великих міст і їх передмість, що триває упродовж останніх десятиліть, призвело до необхідності кардинальної зміни наукових підходів до забезпечення якості пального, зміни фізико-хімічних властивостей моторних палив, а також до проблеми забезпечення екологічних норм викидів від працюючих АТЗ.

Концентрація забруднювальних речовин у викидах двигунів АТЗ великою мірою залежить від їх марки і технічного стану, якості дорожнього покриття, метеоумов, орографії місцевості тощо. Проте за однакових умов на токсичність викидів АТЗ значною мірою впливає саме якість і тип пального (бензину, дизельного палива тощо).

Мета та завдання. Мета роботи полягає, по-перше, у проведенні теоретичного аналізу шляхів зменшення негативних впливів автотранспортного забруднення (АЗ) на довкілля і, по-друге, у наданні рекомендацій зі зменшення навантаження на повітряне середовище великих міст, спричиненого роботою АТЗ.

Матеріал і результати досліджень. Проблеми забруднення довколишнього природного середовища і виснаження невідновлювальних ресурсів (зокрема, вуглеводневого палива) постають сьогодні доволі гостро, особливо у контексті прискорення процесів урбанізації. Ці проблеми є актуальними як з точки зору екологічної, так й економічної безпеки України.

Окрім традиційних проблем, пов'язаних із погіршенням геоекологічного стану урбоекосистем, деградація довкілля обумовлює також і появу додаткових і менш очікуваних загроз у сфері охорони здоров'я, соціально-економічній сфері, зокрема, є причиною зниження добробуту громадян нашої держави і навіть світової спільноти.

Як зазначалось, важливе місце серед різних видів екологічних загроз посідає саме

погіршення якості атмосферного повітря, причиною чого у мегаполісах, таких як, наприклад, м. Київ, часто стає автотранспортне забруднення.

Безумовно, АЗ є небезпечним не лише для повітряного середовища, а й для водних об'єктів і ґрунтів, ґрунтових вод тощо. Однак саме забруднення повітря шкідливими викидами відпрацьованих газів АТЗ є причиною різкого і часто необоротного погіршення здоров'я мешканців міст. АЗ спричинює серцеві захворювання, астму, негативно відбивається на функціонуванні імунної системи людини, сприяючи поширенню вірусних респіраторних захворювань [5]. Тому вирішення проблеми АЗ у мегаполісах є актуальним і важливим напрямом.

Серед нагальних завдань також слід назвати встановлення сезонних і багаторічних змін рівня забруднення атмосферного повітря у містах та населених пунктах, визначення ступеня його небезпеки для здоров'я людей, а також розробка рекомендацій щодо організації природоохоронних заходів. Прогнозування екологічного стану атмосферного повітря і попередження можливості підвищення його забруднення у містах, особливо у період несприятливих метеорологічних умов, також залишається вельми актуальним завданням.

Автомобільні потоки серйозно впливають на еколого-економічну і соціальну ситуації у нашій державі, включаючи, окрім забруднення атмосферного повітря, затори руху транспорту, шумове забруднення тощо. Задля попередження збільшення техногенного навантаження на урбоєкосистеми досліджуються системи виду "дорожні умови–транспортні потоки–довколишнє середовище", а також аналізуються природні й техногенні фактори, що обумовлюють хімічне, фізичне, фізико-хімічне забруднення компонентів довкілля.

Проведення спостережень здійснюється також шляхом відбору проб атмосферного повітря за стандартними програмами на постах спостережень, розташованих у промислових зонах, зонах проживання населення і зонах рекреації. Отже, найперспективнішим напрямом досліджень є забезпечення заходів екологічного моніторингу на територіях урбоєкосистем, а також моніторингу руху транспортних потоків автоматизованими системами, які нададуть змогу інтелектуально упорядкувати дорожній рух із використанням інформаційно-комунікаційних технологій. Це, без сумніву, значно підвищить рівень екологічної безпеки у міських агломераціях.

Щодо зарубіжного досвіду, то серед розповсюджених за кордоном шляхів зменшення негативного впливу АЗ на міських і приміських автодорогах доцільно назвати такі:

- стягування плати у години-пік;
- створення достатньої пропускної спроможності для обслуговування водіїв, які хочуть подорожувати в години пік одночасно, однак без затримок;
- регульований графік роботи АТЗ тощо.

Одним з дієвих способів цілеспрямованого впливу на зміну концентрації токсичних компонентів у відпрацьованих газах двигунів АТЗ є застосування методу фізико-хімічного регулювання властивостей палива, зокрема, моторного. Цей метод був детально розроблений у працях таких вчених, як D. Blanco-Rodriguez, J. Merksiz, I. A. Resitoglu, M. M. Патрахальцев [1]–[4], [7].

Метод фізико-хімічного регулювання полягає у цілеспрямованій зміні фізико-хімічних (густина, в'язкість, поверхневий натяг тощо) та експлуатаційних (октанове число, цетанове число та інші) властивостей палива введенням, наприклад, присадок або добавок різної хімічної природи та призначення. На думку спеціалістів [6], [7], за його допомогою можна значно покращити експлуатаційні та екологічні показники АТЗ, а, крім того, скоротити викиди токсикантів з відпрацьованими газами.

Висновки. Останнім часом незадовільний стан атмосферного повітря значною мірою зумовлений збільшенням кількості одиниць АТЗ, особливо вантажних, а також використанням неякісних моторних палив, вживаних автомобілів тощо.

Найбільш ефективним, на думку фахівців, є додавання до моторного палива присадок

(добавок) широкого спектру дії. Це так звані пакети присадок або композиційні паливні суміші, які додають до палива, як правило, у концентраціях 0,01 % мас.–0,5 % мас. Також ефективним є додавання до палива водних або спиртових розчинів так званих активаторів – хімічно активних речовин.

Присадки і комплексні паливні композиції не тільки знижують витрати пального, а й за рахунок оптимізації процесу його згоряння значно зменшують токсичність відпрацьованих газів та скорочують обсяги їх викидів.

Отже, з метою підвищення екологічної безпеки урбоекосистем вважаємо за доцільне активне застосування методу фізико-хімічного регулювання властивостей моторного палива, а також розробку нових вітчизняних паливних пакетів присадок.

Список використаної літератури

1. Blanco-Rodriguez D. Modelling and observation of exhaust gas concentration for diesel engine control. London : Springer Int. Publ, 2014. 197 p. DOI : 10.1007/978-3-319-06737-7.
2. Merkisz J., Pielecha J., Radzimirsky S. New trends in emission control in the European Union. Springer tracts on transportation and traffic. London : Springer Int. Publ. Switzerland, 2014. 175 p. DOI : 10.1007/978-3-319-02705-0.
3. Resitoglu I. A., Altinisik K., Keskin A. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2014. Vol. 17, № 1. – P. 15–27. DOI : 10.1007/s10098-014-0793-9.
4. Zhu H., Chen Y., Zhang P., Duan S. Preparation of Biodiesel Catalyzed by Solid Super Base of Calcium Oxide and Its Refining Process. *Chinese J. of Catalysis*. 2006. № 27 (5). P. 391–396.
5. Гребняк М. П., Федорченко Р. А. Прогнозування впливу атмосферного забруднення на захворюваність населення індустріального міста. *Довкілля та здоров'я*. 2016. № 2. С. 30–34.
6. Казначевский В. Л. Повышение энергетических, экономических и экологических качеств дизеля 8413/14 регулированием физико-химических свойств топлива : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. : 05.04.02 – тепловые двигатели / Казначевский В. Л. М., 2006. 156 с.
7. Патрахальцев Н. Н. Регулирование ДВС методом изменения физико-химических свойств моторного топлива. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2010. № 3 (15). С. 26–32.

УДК 502/504

Крушевський Є. А, студент
Кофанова О.В., д.пед.н., к.хім.н., професор, професор
Кафедра Геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського

ЗАБРУДНЕННЯ ДВОРОВИХ ТЕРИТОРІЙ ЧЕРЕЗ «КОЛОДЯЗНУ» МІСЬКУ ЗАБУДОВУ

У роботі розглянуто особливості розсіювання та локального концентрування основних забруднювачів, що є компонентами відпрацьованих газів автотранспортних засобів (АТЗ), зокрема, карбон(II) оксиду, оксидів Нітрогену (у перерахунку на нітроген(IV) оксид), дрібнодисперсного пилу тощо, в умовах міських каньйонів та "колодязного" типу міської забудови. Проаналізовано основні підходи до моделювання полів дисперсії в умовах урбоєкосистем.

Ключові слова: урбоєкосистема, автотранспортний засіб, забруднення, міська забудова, забудова "колодязного типу".

The paper deals with the peculiarities of the dispersion and local concentration of major pollutants that are components of exhaust gases of vehicles, in particular, carbon(II) oxide, nitrogen oxides (in terms of nitrogen(IV) oxide), particulate matter, etc., in the conditions of urban canyons and 'well type' construction. The main approaches to modeling of dispersion fields in the conditions of urban ecosystems were analyzed.

Key words: urban ecosystem, motor vehicle, pollution, urban construction, 'well type' construction.

Вступ. Вивчення екологічного стану територій урбоєкосистем є одним з найважливіших завдань, яке багато в чому обумовлює якість життя людини. На жаль, великомасштабні геоекологічні дослідження місць проживання людей (зокрема, дворів), місць їх роботи, відпочинку тощо місцевою владою практично не контролюються. Моделювання дисперсії основних видів забруднювачів, що є компонентами відпрацьованих газів (ВГ) АТЗ, в умовах щільної міської забудови (МЗ), особливо міських каньйонів і дворів "колодязного" типу, є надзвичайно актуальною задачею. Тому питанням дослідження геоекологічного стану урбоєкосистем присвячені праці багатьох учених, зокрема, Ф. В. Стольберга, В. П. Кучерявого, М. З. Згуровського та інших учених. Проте сьогодні виникає багато нових завдань, що стосуються, зокрема, моделюванню поведінки забруднювачів від АТЗ в умовах забудови "колодязного" типу.

Загальновідомо, що у приземному шарі повітря особливості міської забудови, її щільність і поверховість дуже сильно впливають на атмосферну дифузію поллютантів, спричиняючи їх переміщення, трансформацію і навіть локальне концентрування на певних ділянках міської території.

Мета та завдання. Отже, метою статті є проаналізувати особливості розсіювання і локального концентрування токсикантів – компонентів ВГ АТЗ, а саме, карбон(II) оксиду, оксидів Нітрогену (у перерахунку на нітроген(IV) оксид), дрібнодисперсного пилу тощо в умовах міських каньйонів і дворів "колодязного" типу.

Матеріал і результати досліджень. Моделювання є прогресивним і майже універсальним методом, який дає змогу дослідити, проаналізувати й спрогнозувати геоекологічний стан міської території, особливо тих територій, які розташовані поблизу жвавих автомагістралей за каньйонного типу міської забудови.

Приземний шар атмосфери формується за рахунок взаємодії повітряної маси з

елементами підстилаючої поверхні, тому його ще називають "шаром шорсткості". Отже, орографія місцевості, а саме – характер і щільність МЗ, пагорби, низини тощо визначають і характер повітряних потоків в атмосфері, і, як наслідок, впливають на рівень забруднення повітря певними токсикантами.

М. З. Згуровським з колегами [1] показано, що при обтіканні перешкоди (наприклад, не дуже великої багатоповерхівки) потік повітря певним чином деформується і здатний розподілитися на 3 частини. Зокрема, два потоки огинають будівлю з боків, а третій – підіймається вгору і створює за нею специфічну циркуляційну зону. Таким чином, відбувається перемішування повітряних потоків і формування локального забруднення, як правило, у дворах, особливо "колодязного" типу. Тобто позаду та перед будинком (забудовою) утворюються застійні зони – зони "аеродинамічного сліду".

Отже, при моделюванні полів розсіювання, МЗ зазвичай представляють як "пагорб" чи "гору" (це залежить від поверховості МЗ), внаслідок зустрічі повітряних потоків з якими й відбувається утворення зон розрядження і вихрового руху.

О. С. Левицька і О. Ф. Прищепов [2] працювали над моделлю руху забруднених повітряних мас, яка враховує саме орографію підстилаючої поверхні, а Е. М. Паращук з колегами [3] визначили два основні фактори, які найсильніше впливають на розсіювання шкідливих домішок (ШД) у атмосферному повітрі. Зокрема, перший з цих факторів – гідродинамічний, що обумовлений формуванням вихрових потоків поблизу багатоповерхових будівель, а другий чинник – геометричний, що пов'язаний із взаємодією ШД з поверхнею перешкод (будівель), що сприятиме додатковому розсіюванню ШД у напрямі, перпендикулярному середньому вітру і створюватиме так звані "тіньові" ("застійні") зони за будівлями.

О. О. Бакуліч з колегами [4] представив архітектурно-планувальні фрагменти МЗ як сукупність елементарних фрагментів – так званих вуличних каньйонів, які мають певні просторово-геометричні характеристики (рис. 1). Автори виокремлюють 3 зони ВК: навітряний бік, де завдяки надходженню чистого повітря незначний рівень забруднення; внутрішня частина ВК і підвітряний бік ВК, де спостерігається надзвичайно сильне забруднення.

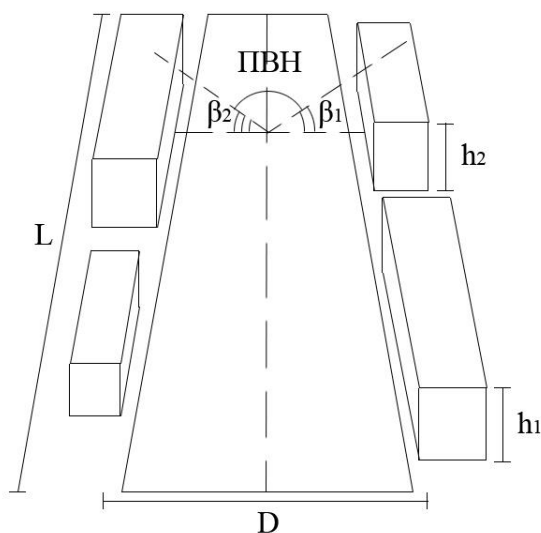


Рисунок 1 – Геометричні параметри вуличного каньйону.

Як правило, при моделюванні геоecологічного стану території урбоeкосистем учені використовують таку аеродинамічну характеристику, як коефіцієнт ажурності МЗ, який дорівнює відношенню площі проекції розривів між будинками на лінію автомагістралі до загальної площі проекції фронту МЗ на цю лінію.

Отже, якщо йдеться не про великі багатоповерхові будинки, то характер МЗ моделюють з використанням коефіцієнта шорсткості поверхні z_0 , см. Проте у випадках багатоповерхової МЗ завдання побудови моделі дисперсії забруднених повітряних потоків сильно ускладнюється, оскільки необхідно враховувати не тільки умови ВК, а й так звані "дворові колодці", де формуються особливі локальні потоки із зонами надзвичайно підвищених швидкостей, а також застійні зони [1, 5, 6].

Рослинність також великою мірою впливає на зміну характеристик повітряних мас й створює певні особливості дисперсії ШД у приземному шарі повітря. З одного боку, відбувається часткове поглинання токсикантів і внаслідок цього – очищення повітря від ШД. Проте ступінь такого очищення атмосферного повітря великою мірою визначається порою року, типом рослинності, погодними умовами тощо.

Водні об'єкти не тільки впливають на кліматичні і метеорологічні умови урбоєкосистем, а й частково можуть сорбувати ШД, створюючи природні геохімічні бар'єри для їх подальшого розповсюдження, у тому числі й на території дворів-"колодязів". Ці особливості місцевості обов'язково потрібно враховувати при моделюванні полів дисперсії ШД, що є компонентами ВГ АТЗ.

Висновки. Таким чином, у містах виокремлюють певну кількість шарів повітряного простору з певними особливостями вітрового режиму, особливостями орографії та МЗ тощо. Нижній шар повітря розташований на висоті від поверхні землі ~ 0 м і приблизно до дахів будівель, тому швидкість повітряних мас у ньому визначається характером і щільністю МЗ та може змінюватися як за величиною, так і за напрямком. Вітрові потоки при цьому на бокових поверхнях МЗ і над дахами мають дещо більшу швидкість, а перед будівлями вони певним чином гальмуються. Отже, внаслідок такого розподілу повітряних мас перед та за будівлями, як правило, формуються так звані "застійні зони". Особливо такі локальні забруднення характерні для ВК та "дворових колодязів". І це стосується майже всіх ШД, що є компонентами викидів АТЗ.

Список використаної літератури

1. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. К., Беляев Н. Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. К.: Наукова думка, 1997. 367 с.
2. Левицкая О. С. Модель движения загрязненных воздушных масс с учетом орографии подстилающей поверхности. Безопасность деятельности человека Продукты, которые вас убивают! URL: <http://kk.convdocs.org/docs/index-193225.html?page=11>. Назва з екрана (18.09.2019).
3. Паращук Е. М., Коваль В. Н., Прокопенко М. Н. Результаты моделирования распространения выбросов автотранспорта на ограниченной территории города. *Экологические системы и приборы*. 2007. № 3. С. 56–59.
4. Бакуліч О. О., Олійник Р. В., Самойленко Є. С. Потенційна екологічна небезпека вуличних каньйонів міста. *Вісник Нац. транспортного ун-ту*. 2015. Вип. 1 (31). С. 18–26.
5. Wang G., F. H. M. van den Bosch, Kuffer M. Modelling urban traffic air pollution dispersion. *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.
6. Бахарев В. С., Корцова О. Л., Костира В. В., Маринін Д. В. Дослідження стану забруднення атмосферного повітря в умовах змін сучасної забудови населених міст. *Екологічна безпека*. Кременчук: КрНУ ім. М. Остроградського, 2012. № 1 (13). С. 43–47.

UDC 556.5

Andrew Kojo Amegbey

Institute of Energy Saving and Energy Management, Department of Geo-Engineering

RESEARCH OF THE IMPACT OF COASTAL POLLUTION AND DEGRADATION IN WEST AFRICA

According to; Vikas, M., & Dwarakish, G. S. (2015). Coastal pollution: a review. Aquatic Procedia, 4, 381-388.

There can be many causes of coastal pollution. Depending upon the position, the extent of pollution varies. The primary origin of pollution being the humans can be separated as the pollution by humans on the soil and off the ground.

The objective of this particular write-up is to gather information on the sources and causes of coastal pollution and degradation in West Africa, and to highlight the economic implications of coastal pollution and degradation.

This study estimates in monetary terms the Cost of Environmental Degradation (COED) in the coastal areas of Benin, Côte d'Ivoire, Senegal, and Togo. Specifically, it values the impacts of degradation that occur during one year, as a result of three major factors: flooding, erosion, and pollution.

Keywords: Coastal pollution, marine environment, hazards, ecosystem, environmental degradation, flooding, water pollution.

Introduction. *The definition of coastal pollution by the World Health Organization goes like this "The introduction by man, directly or indirectly, of substances or energy into the marine environment, including estuaries, which results or is likely to result in such deleterious effects such as harm to living resources and marine life, hazards to human health, hindrance to marine activities, including fishing and other legitimate uses of the sea, impairment of quality for use of sea water and reduction of amenities" [1].*

The coasts of West Africa are home to large marine ecosystems (the Canary Islands, Guinea and Benguela currents), mangroves, wetlands and several hundred species of fish. With more than a third of the region's population living along the coast, these natural assets allow several million people to live off the resources of fishing, aquaculture and tourism. However, the West African marine and coastal environment is under pressure from a multitude of threats that seriously affect its health and the populations that depend on it: coastal erosion, the impacts of climate change and ocean acidification, but also of the development of offshore activities, overfishing, land-based pollution [2]. Coastal pollution as well affects the quality of groundwater as a result of runoffs. Groundwater is mostly believed to be clean since it is below the earth surface but most human activities and many natural processes affect the interaction of groundwater. It is known that surface water is hydraulically connected to groundwater even though the interactions are difficult to observe and measure [3].

Purpose and objectives of the research. *The purpose of this research is to identify the driving coastal pollutants and find appropriate mitigation strategies.*

The main objectives are: to review the impact of pollution and degradation in West Africa's coastal areas, to gather information on the sources and causes of coastal pollution and degradation in West Africa, to highlight the economic implications of coastal pollution and degradation in West Africa, to analyze the data on marine litter at the West African beaches, to suggest management strategies to mitigate coastal pollution, and again, to assess groundwater and heavy metal release into coastal water bodies as a result of some human activities.

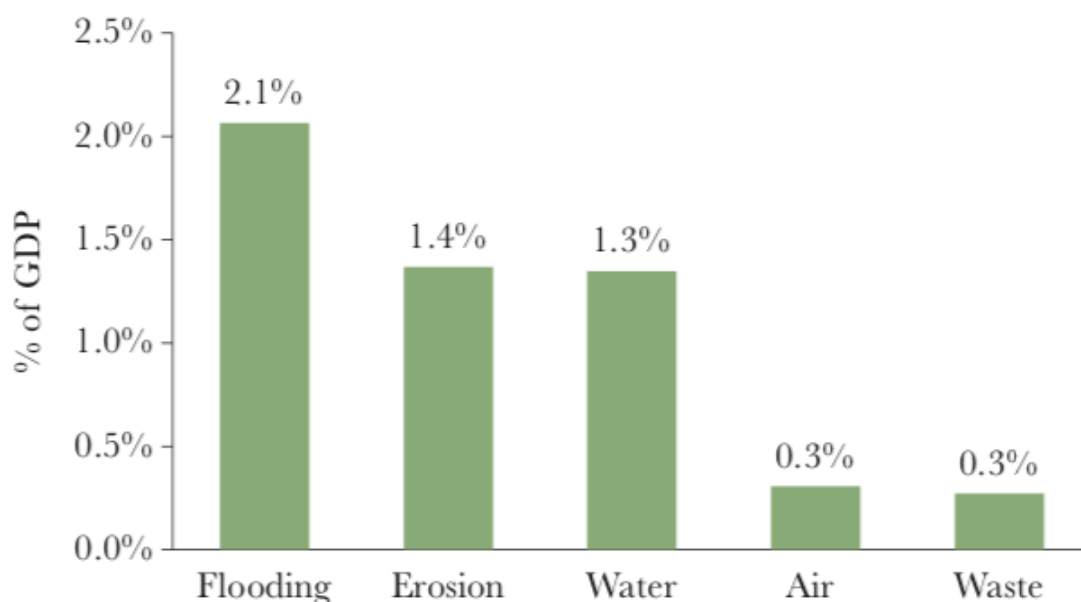
Research materials and results

Water pollution, erosion and flooding are the latest lasting effects from natural disaster on the West African coast. Costs of the damages are some of the biggest concerns [4].

West Africa's coastal areas host about one third of the region's population and generate 56 percent of its GDP. They are home for valuable wetlands, fisheries, oil and gas reserves, and high tourism potential. However, these areas are affected by severe pressures: rapid urbanization along the coast has increased the demands on land, water, and other natural resources; man-made infrastructure and sand extraction have contributed to significant coastal retreat; moreover, climate change and disaster risks are exacerbating these threats. As a result, coastal areas are undergoing alarming environmental degradation leading to deaths (due to floods, air and water pollution), losses of assets (houses, infrastructure) and damages to critical ecosystems (mangroves, marine habitat) [5].

A study estimates in monetary terms the Cost of Environmental Degradation (COED) in the coastal areas of Benin, Côte d'Ivoire, Senegal, and Togo. Specifically, it values the impacts of degradation that occur during one year, as a result of three major factors: flooding, erosion, and pollution (from water, air and waste). The final results are expressed in 2017 prices. They are reflected in absolute (US\$) and in relative terms, as percentage of the countries' [5].

Overall, the COED of the four countries is estimated at about US\$3.8 billion, or 5.3 percent of the countries' GDP in 2017. Flooding and erosion are the main forms of degradation, accounting for more than 60 percent of the total cost (Fig. 2.5). Moreover, coastal degradation causes over 13,000 deaths a year, primarily due to air and water pollution, and to floods [5].



Source: World Bank estimates

Figure 1 – Estimated COED by category, 2017

At the country level, coastal degradation imposes costs varying between 2.5 percent of GDP in Benin to 7.6 percent of GDP in Senegal in 2017.

These estimates are the result of three major factors affecting the coastal area [5]:

- **Flooding** due to high rainfalls (pluvial floods) and overflowing rivers (fluvial floods) causes deaths and leads to major damage to houses, infrastructure and critical ecosystems, such as beaches and mangroves. Floods are extremely damaging in Côte d'Ivoire, costing society US\$1.2 billion per year, mainly due to large areas affected by pluvial floods. In the other countries, flooded areas and the associated water depths are smaller, leading to comparatively lower flooding costs.
- **Erosion** is a result of both natural and human factors. Some areas have no erosion at all, others have land losses (erosion), and others have land gains (accretion). About 56 percent of the coastline in Benin, Côte d'Ivoire, Senegal and Togo is subject to an average erosion of 1.8

meters per year. Erosion is the most damaging factor in Benin, Senegal, and Togo, primarily due to losses of high value urban land. The highest cost, estimated at US\$0.5 billion per year, occurs in Senegal. In all countries, the cost of erosion is expected to increase considerably in the future, as the phenomenon is likely to affect larger urban areas.

- **Pollution** from air, water and waste mismanagement imposes an important toll on people's health and quality of life. It can reach as high as US\$0.7 billion, in Côte d'Ivoire. In all countries, unsafe water, sanitation, and hygiene are particularly harmful, causing more than 10,000 deaths per year; they affect primarily Côte d'Ivoire and Senegal, with more than 4,000 deaths per country. Air pollution and waste mismanagement are also important forms of degradation, but are considerably under-estimated: the cost of air pollution (2,500 deaths) refers only to the impacts of fine particulate matter in the countries' capitals, while the cost of waste covers only the effects of insufficient collection and inappropriate disposal of municipal waste.

Conclusion. *Water pollution generally has been the most dominant type of pollution in the coastal areas of West Africa. Results from this specific study and analysis justifies the fact of water pollution dominance and how much cost that is imposed in some West African countries. From the study, flooding has the highest percentage of GDP (Gross Domestic Products) from the estimated Cost of Environmental Degradation (COED).*

References:

1. Vikas, M., & Dwarakish, G. S. (2015). Coastal pollution: a review. *Aquatic Procedia*, 4, 381-388.
2. Julien Rochette, Romain Schumm, Dr. Abdoulaye Diagana, West Africa is mobilising to protect the marine environment, 2019.
3. Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L. & Alley, W. M., 1998. Groundwater and Surface Water. Denver: U. S government printing office.
4. Delgado Diana, West Africa suffering from costs of coastal degradation, 2019, April.
5. Croitoru, Lelia Miranda, Juan José Sarraf, Maria, The Cost of Coastal Zone Degradation in West Africa, 2019, March.

UDC 594.3.054:504.062.2

Clement Elozonam Mobuogwu
Department of Geo-Engineering

INCREASING THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL SAFETY DURING THE BLASTING OPERATIONS FORMING THE RESOURCE-SAVING CHARGE

The extraction of non-metallic mineral has been a major source of pollution to the environment due to the various techniques involved in the process. In open pit and underground mining' Blasting is the main technique of cracking these rocks out of their rock mass which involves the use of explosives. This blasting procedures generates great amount of dust and gases into the environment, which is highly detrimental. This research work tends to reducing the level of environmental pollution during the application of advanced charge design using zeolites to create a buffer zone between borehole and rock mass.

Keywords: Blasting operation, environmental safety, gaseous emission, dust generation, environmental hazards zeolite, mining.

Introduction. Quarrying is a type of land use process involved in the extraction of non-metallic minerals from the earth crust. Rock, sand, gravels and limestone are obtained through quarrying for building houses and other civil construction [1]. Regrettably, these activities cause significant impact on the surrounding environment. In fact, the extraction process normally relies on heavy machines and explosives, where both processes are normally associated with air pollution, noise pollution, damage to biodiversity and habitat destruction in addition to water as well as soil [2]. Extraction of mineral is broadly divided into three basic methods know as, open-pit or surface mining, undergone mining and solution mining. However, Open-pit or surface mining and Underground mining, makes use of extensive blasting[3]. Mining Complex (COD) as one of the economic types of activity, is a serious polluter of the natural environment. An open method of mining leads to water and air pollution, changes, disturbance of structure and deterioration of quality of fertile soil layer, to significant landscape disturbances. This causes, in turn, death or degradation of flora and fauna [4]. Open-pit mining is described as surface mining methods for exploitation of the ore-bodies starting from or near the ground surface. Surface mining activities often cause environmental pollution by producing and emitting dust, toxic fumes or gases. These pollutants can be produced during blasting, loading, hauling, and crushing processes, mineral processing and tailing disposal, waste dumping, and access road construction and development. It is not usually possible to avoid the production of pollutants; they must, however, be controlled [5]. Moreover, the potential impacts of a certain technological phase in mining to the environment depend on a wide range of local factors such as the nature of ore and rock mass, geological and geotechnical parameters, extraction methods, generated and natural waste, nature and vulnerability of local constituents of the environment. The quantity of gases produced during blasting at the open pits is about 1000 dm³ /kg of explosives. In gaseous mining products, the toxic gases are also encountered, such as: carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen oxides, sulfur dioxide, and others depending on the blasting conditions [6].

Blasting generates tremendous amount of dust particles and gases, these particles can cause greater harmful effects to human health, which depends on the compositions of the dust as the main diseases are related to asbestos and silica, in other cases the dust contains heavy metals susceptible to produce specific diseases such as lead. This occurs when it is made up of dioxide of crystalline silica in the form of alpha-quartz, cristobalite and tridymite, due to its carcinogenic nature. It has been that particles less than 10 µm in diameter pose the greatest problems, because they are not retained by barriers in the nose, such as cilia and mucus, and they penetrate through the respiratory tract; the coarse fraction tends to lodge in the tracheobronchial tree, while the fine particles are settled in the bronchioles and the alveoli and some may even get into and some may even get into the

bloodstream [7].

Table 1: Dust sources in mineral sites (Gonzalo Morera and Vall González, 2018)

Operation and equipment	Emission mechanism	Primary source	Secondary source	Relative potential contribution to total site dust levels
Drilling and blasting	Air flush from drilling and from force of blast	+	–	Small
Loading and dumping	Dropping material from height	–	+	Moderate
Draglines	Dropping material from heights	–	+	Large
Crushing and preparation	Impact, abrasion and dropping from heights	+	–	Large
Conveyors	Dropping from heights	0	+	Small
Haulage roads	Raised by Tyres, exhaust and cooling fans	0	+	Large
Storage piles	Wind blow, high wind speeds	0	–	Small

The table above shows that the primary source of dust in mining sites is from drilling, blasting and crushing preparations while the secondary source is from loading, dumping haulage roads, draglines and conveyors.

In the process of blasting, the gaseous detonation products of explosives would consist of water (H_2O), carbon dioxide (CO_2), and nitrogen (N_2). Due to the kinetics of the chemical reaction, the detonation of explosives in a blasting operation also produces toxic nitrogen dioxide (NO_2), nitric oxide (NO), and carbon monoxide (CO) [8].

The NO_x is a group of highly reactive gasses, They are toxic chemicals that help form acid rain and hamper the growth of plants. They also contribute to the creation of ground-level ozone. In combination with some other substances, NO_x can cause major human respiratory problems, and may lead to shortness of breath, irritated nose and eyes, nausea and fluid forming in lungs. A high amount of NO_x can cause visual impairment, reduced oxygen intake, a larger buildup of fluids in lungs, swelling of throat, rapid burning spasms and even death [9].

Presently, a prevailing technique in the development of mineral resources is the open technique, which is described as the most cost effective and efficient. It is the development of mineral resources using open technique that causes the highest damage to the components of the environment. Specifically, pollution with the micro dispersed dust and harmful gases, which relies on both natural factors and the technology for carrying out mining operations [10].

Purpose and objectives of the research. Increasing the level of environmental safety during the blasting operations forming the resource-saving charge using zeolites to form the damper zone between borehole and rock mass. Process of environmental pollution as a result of mass explosions in the quarries of non-metallic minerals.

Research materials and results. Zeolites are microporous hydrated aluminosilicates with exchangeable cations, and open channel systems in their lattice structure. They are made up of infinitely extending three dimensional networks of SiO_4^{4-} and AlO_4^{3-} tetrahedra linked by shared Oxygen atoms (1-4). The frameworks form cages and channels in which the exchangeable cations can enter. Caused by the substitution of tetravalent silicon by trivalent aluminium charge deficiency this has to be balanced by incorporation of loosely bound monovalent and divalent cations of alkali and alkaline earth element [11].

The diagram below is a Developed Charge structure, there is gap between the charge device and the rock mass where the research material zeolite will be placed before the detonation of the explosive.

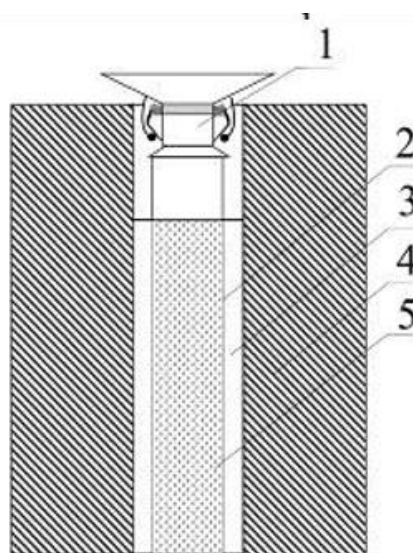


Diagram 1. Developed charge Structure [O. Tverda]

1-device for feeding a plastic sleeve; 2.- plastic sleeve; 3- gap between the charge and the wall of the borehole; 4-rock mass; 5-explosive

Clinoptilolite will be used for this research due to the following reasons:

1. Thermal stability,
2. Structural rigidity,
3. Adsorption efficiency.
4. Good Ion exchange capacity
5. Affordability and availability.

Although the best choice of Zeolite would have been the synthetic, because of their engineered channel networks, controlled pore shape and size as well. as calculatingly modified surfaces [12], but the cost implication is a hug disadvantage.

Table 2. Zeolites and their properties [Ersin P, Mehmet K, et al]

Zeolite	Porosity [%]	Heat stability	Ion exchange capacity [meq/g]	Specific gravity [g/cm ³]	Bulk density [g/cm ³]
Analcime	18	high	4.54	2.24-2.29	1.85
Chabazite	47.45	high	3.84	2.05-2.10	1.45
Clinoptilolite	34	high	2.16	2.15-2.25	1.15
Erionite	35	high	3.12	2.02-2.08	1.51
Heulandite	39	low	2.91	2.18-2.20	1.69
Mordenite	28	high	4.29	2.12-2.15	1.70
Philipsite	31	moderate	3.31	2.15-2.20	1.58

The above table shows the name of some natural Zeolites and their properties of porosity, heat stability, ion exchange capacity, specific gravity and bulk density.

Conclusion. It is expected that the use of zeolite in the resource saving charge would significantly reduce the amount of gases, dust and fines generated and emitted during blasting. If this is achieved the rate of pollution caused by these particulate matters and gases to the environment and the inhabitants both within and far will drop. If enterprises use the resources saving charge

References:

1. Ukpong, E.C., 2012, Environmental Impact of Aggregate Mining by Crush Rock Industries in Akamkpa Local Government Area of Cross River State, Nigerian Journal of Technology, 31: 127-133
 2. Tahseen S., Yamen H and Rezaq B-S. Impact of Air Pollution from Quarrying and Stone Cutting Industries on Agriculture and Plant Biodiversity · January 2016
 3. R.O. Mpuma, O.C. Okeke Et Al Environmental Problems of Surface and Underground Mining.
 4. O. Tverda, L. Plyatsuk, M. Repin, K. Tkachuk, Controlling the Process of Explosive Destruction Of Rocks In Order To Minimize Dust Formation And Improve Quality Of Rock Mass pp 35. 2018
 5. J. Abdollahisharif, E. Bakhtavar Et al. Monitoring and assessment of pollutants resulting from bench-blasting operations 2016.
 6. Miodir M, Radmilo R, Milenko J., Miroslava M. The Impact Of Blasting Of The Environment In The Open Pit Mining 2017.
 7. Gonzalo Morera de la Vall González, Dust Production in Mining suppression measures in quarry blasting
 8. Richard J. M, Marcia L Et al Dangers of Toxic Fumes from Blasting 2005
 9. A. Lashgari, C. Johnson. Et al NO_x emission of equipment and blasting agents in surface coal mining, Article in Mining Engineering · January 2013
 10. O. Tverda, L. Plyatsuk, M. Repin, K. Tkachuk, Controlling the Process of Explosive Destruction Of Rocks In Order To Minimize Dust Formation And Improve Quality Of Rock Mass pp 35. 2018
 11. Ersin P, Mehmet K, et al. Use of Natural Zeolite (Clinoptilolite) in Agriculture, Journal of Fruit and Ornamental Plant Research vol. 12, 2004 Special ed.
 12. Ceri Hammond, in Ceri Hammond, in Studies in Surface Science and Catalysis, 2017.
 13. Qiming S, Ning W. Et al Applications of Zeolites in Sustainable Chemistry 2017.
 14. J. Am. Chem. Soc. 2012, 134, 4, 1970-1973 Publication January 10, 2012.
-