



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



**МАТЕРІАЛИ
АСПРАНТСЬКИХ ЧИТАНЬ
ПАМ'ЯТІ ПРОФЕСОРА АРТУРА ПРАХОВНИКА
присвячені 75-річчю ІЕЕ
(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)**

10-11 березня 2021 року

Київ 2021

Матеріали Аспірантських читань пам'яті професора Артура ПРАХОВНИКА. Зб. наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2021. – 57 с.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку представлених на Аспірантських читаннях пам'яті професора Артура ПРАХОВНИКА.

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
Аспірантських читань пам'яті професора Артура ПРАХОВНИКА*

Організаційний комітет:

Голова комітету – Денисюк С. П., д.т.н., професор, директор ІЕЕ.

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

Члени оргкомітету:

Вапнічна В.В. – к.т.н., доц. каф. геоінженерії; **Дешко В. І.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження; **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., завідувач кафедри геоінженерії; **Лебедєв Л. М.** – к.т.н., доц. каф. автоматизації управління електротехнічними комплексами; **Лістовщик Л. К.** – к.т.н., доц. каф. електромеханічного обладнання енергоємних виробництв; **Студенець В. П.** – к.т.н., доц. каф. теплотехніки та енергозбереження; **Закладний О. О.** – к.т.н., доц. каф. електропостачання.

Адреса організаційного комітету:

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

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Сайт конференції: www.iee.kpi.ua

Укладання збірника наукових праць: Закладний О.О.

Матеріали подані у авторській редакції.

Відповідальність за зміст і достовірність даних несуть автори тез.

ЗМІСТ

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

О.С. Іщенко. Функціонування нової моделі ринку електричної енергії України і її вплив на непобутового споживача.5

СЕКЦІЯ 2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

В.В. Бондаренко, В.П. Студенець. Аналіз залежності ступеня регенерації від витрати теплоносія у двигунах Стірлінга.13

І.І. Лептюхов Гідродинаміка потоку плівки рідини гладкою поверхнею.15

О.С. Наумчук, В.І. Дешко. Динаміка тарифів на енергетичні носії як ключовий фактор впливу на економічну оцінку енергетичних систем.19

СЕКЦІЯ 3. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

А.В. Босак застосування зарядних станцій для електромобілів в Україні в умовах обмеженого електропостачання.23

А.А. Хотян. Критерії проектування локальних систем енергозабезпечення.26

С.Ю. Докшина Загрози розвитку енергоефективності в Україні.29

Д.С. Матушкін Огляд сучасних методів прогнозування сонячної енергії.34

СЕКЦІЯ 4. МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ

Л.Р. Марчук, В.М. Сліденко. Оцінка впливу термодинамічних умов на енергетичні параметри пневмоакумулятора ударного пристрою.40

О.В. Лотонова, Л.К. Лістовщик. Причини та наслідки утворення парафінових відкладень на стінках нафтової свердловини.44

СЕКЦІЯ 5. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА ГЕОІНЖЕНЕРІЯ

Н.В. Зуєвська, А.О. Олефір. Розширення можливостей комплексу сейсмоакустичного контролю урбанізованих масивів введенням блоків контролю шаруватості ґрунтів методом радіокіп.51

В.А. Литвиненко, А.О. Дичко Застосування установки мікробіологічного очищення стічних вод, які містять гексаметилендіамін.54

СЕКЦІЯ 1.

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

УДК 620.91 + 621.31

О.С. Іщенко, аспірантка, ORCID 0000-0003-3315-4842

Кафедра електропостачання

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського"

ФУНКЦІОНУВАННЯ НОВОЇ МОДЕЛІ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ І ЇЇ ВПЛИВ НА НЕПОБУТОВОГО СПОЖИВАЧА

Відповідно до вимог нового Закону України «Про ринок електричної енергії» з 2019 р. працює нова, більш конкурентна за своєю організацією модель ринку. З прийняттям нового Закону змінюється традиційна модель відносин «енергетична компанія-кінцевий споживач» внаслідок появи нового типу економічно активного споживача і мотивованого споживача. На Заході такий тип споживача класифікується як «prosumer». За своїми функціями на ринку електричної енергії prosumer не лише споживає, але й генерує енергію, залишок якої може продавати у мережу іншим споживачам. Питання щодо організації і впровадження нової ідеї моделі відносин в Україні все ще знаходиться у стані розробки. Це обумовлює необхідність створення та впровадження сучасних концепцій щодо керування попитом, особливо в умовах реагування споживачів (prosumers і агрегаторів) на зміну цінового сигналу на ринку електричної енергії. Основною метою реформування ринку є врахування інтересів споживачів, що полягають в забезпеченні прозорості структури цін та справедливому ціноутворенні. Складність процесів взаємодії учасників ринку і нагальна потреба у виконанні ґрунтовного аналізу наслідків регуляторних та управлінських рішень в системі ринкових відносин, як передумова їх прийняття, обумовлюють необхідність створення моделей, методів і засобів дослідження процесів ціно- та тарифоутворення в різних сегментах ринку електричної енергії з урахуванням особливостей роботи ОЕС України, а також техніко-економічних показників роботи учасників ринку.

Якщо рухатись від загального до конкретного, то для початку можна розглянути ринок електричної енергії взагалі як товар, головною специфікою якого є неможливість накопичення електричної енергії. Як наслідок виробництво і споживання електроенергії має проходити одночасно. Задля досягнення прозорості ринкових відносин та підвищення рівня довіри до енергокомпаній з боку споживачів і інтегрування ринку електроенергії України у європейський і був прийнятий Закон України «Про ринок електричної енергії». Взагалі, передумовою реформи ринку електроенергії було приєднання України у 2011 р. до Договору про заснування Енергетичного співтовариства (Міжнародна угода між країнами ЄС та країнами третього світу), що була укладена з метою розширення ринку електроенергії Європи. Потім було прийнято чимало нормативно-правових актів задля впровадження розвитку ринку електроенергії в Україні [1-4].

Моделі ринку електричної енергії. Відмінності між старою і новою моделями ринку. Плюси і мінуси старої і нової моделей. Створена за зразком Англії та Уельсу, модель «єдиного покупця» почала діяти в Україні у 1996 році. Більш відома в Україні назва цієї, вже старої моделі «оптовий ринок електроенергії» (ОРЕ). Ця модель гарно себе зарекомендувала у період коли важливо було врегулювати взаємовідносини на ринку електричної енергії, але на сьогоднішній день дана модель не відповідає вимогам ЄС з лібералізації та конкуренції. Основні недоліки даної моделі:

- 1) Недосконале ціноутворення, яке впливає у перехресне субсидіювання;
- 2) Умови для створення боргів (На сьогодні обсяг заборгованості за ланцюгом від споживача до виробника становив майже 30 млрд. гривень.);

- 3) Адміністративне втручання в роботу галузі, створення тарифів регулятором;
- 4) Відсутність конкуренції у галузі.

У порівнянні зі старою моделлю нова – набагато складніша у плані впровадження, але і простіша одночасно, адже чітко окреслені сегменти ринку, його учасники, концепції роботи сегментів ринку вже опробовані у Європі. Виробники отримують можливість продавати електричну енергію декількома каналами продажу: напряму або через організовані сегменти. Теж саме можуть робити і постачальники – трейдери. Споживачі мають право обирати і змінювати постачальника електричної енергії. Існуючий європейський досвід показує, що для впровадження даної моделі ринку на Заході знадобилось біля десяти років, чому в Україні обраний термін 2,5 роки – це питання.

Переваги нової моделі ринку електричної енергії:

- 1) Вільне ціноутворення на всіх сегментах ринку - ціни на електричну енергію формуються вільними, такими якими їх формує ринок попиту.
- 2) Гарантії оплати – їх запровадження виключає створення та накопичення боргів.
- 3) Конкуренція – виробники конкурують між собою, є різні сегменти ринку і виробники самостійно приймають рішення на якому сегменті і які обсяги електричної енергії продавати. Серед постачальників також є конкуренція, вони можуть пропонувати споживачам різні умови, бонуси для залучення останніх до участі на ринку електричної енергії.
- 4) Розширення прав споживачів – з'являється можливість не лише змінювати постачальника, але й виходити на ринок електричної енергії (за певних умов, уклавши договори, взявши на себе відповідальність за небаланси).
- 5) Залучення інвестицій у галузь – є підвищенням прозорості, «гра за чіткими правилами», де кожен з учасників володіє інформацією і несе відповідальність.

Суб'єкти ринку електричної енергії.

1. Виробники електроенергії – АЕС, ТЕС, ТЕЦ, ГЕС, ГАЕС, СЕС, ВЕС, біомаса. Що стосується виробників, то вони мають право виконувати функції постачальника послуг з балансування та постачальника допоміжних послуг.

2. Оператор системи передачі – оператор магістральних та міждержавних мереж, «НЕК «Укренерго». Він зобов'язаний виконувати функції адміністратора комерційного обліку, і є найголовнішою фігурою у системі комерційного обліку на ринку електричної енергії. Також він є оператором балансуєного ринку, тобто організатором торгів і адміністратором розрахунків (центральный оператор врегулювання небалансів, які виникають на ринку).

3. Оператор систем розподілу – в минулому обленерго, оператор локальних мереж. Зобов'язаний бути постачальником послуг комерційного обліку, але за умови звернення до нього споживача з такою вимогою.

4. Оператор ринку – державне підприємство, відокремлене від ДП «Енергоринок» (у новій моделі ДП «Енергоринок» перестане існувати, основними обов'язками цього підприємства будуть отримування боргових зобов'язань та вимог), організатор торгів ринку «на добу наперед» та внутрішньо-добового ринку. Він зобов'язаний проводити всі розрахунки та організовувати торги на цих сегментах ринку.

5. Гарантований покупець - державне підприємство, основною метою якого є виконання зобов'язань держави перед зеленою генерацією, по нарощуванню потужностей, по встановленню зеленого тарифу та оплаті 100% вартості зеленої електроенергії [3,4]. Існує конфлікт між бажанням створити конкуренцію на ринку електричної енергії та зобов'язаннями сплачувати гроші за зелений тариф зеленої генерації. Зелена генерація зі своїм тарифом не зможе конкурувати на ринку, через те що тариф набагато вище ніж ціна яка утворюватиметься на ринку. Через це існує гарантований покупець, який зобов'язаний купувати зелену електроенергію і продавати її на ринку, отримуючи у свою чергу збиток, через неможливість продати за цим тарифом. В Законі закладений механізм щодо компенсації цього збитку через тариф оператора системи передачі. У перехідних положеннях закону

передбачено, що протягом року з дати створення і повномасштабного функціонування нової моделі, ці функції виконує НАЕК «Енергоатом». (2019 рік близько 15 млрд. грн додаткового навантаження на НАЕК «Енергоатом» за компенсацію за зелений тариф.

6. Трейдер – учасник ринку, який купує та продає електричну енергію виключно в оптовій частині ринку, він не має права продавати електроенергію кінцевому споживачу. Трейдер забезпечує на ринку достатню кількість угод, достатні обсяги купівлі-продажу, розпрямляючи волатильність ціни на ринку (чим більша вибірка тим менше відхилення).

7. Електропостачальник – учасник ринку, який постачає електроенергію кінцевому споживачу. Може виконувати функції постачальника універсальних послуг або постачальника «останньої надії».

8. Споживач – побутові споживачі, малі непобутові споживачі та промислові споживачі.

Сегменти ринку електричної енергії. Законом передбачено 6 сегментів ринку, 5 з яких відносяться до оптової частини, 6 сегмент ринку електричної енергії – роздрібний ринок. Умовна пропорція оптових сегментів ринку електричної енергії у країнах Європи у часі представлена на рис.1. Оптова частина складається з наступних сегментів:

- 1) Двосторонні договори (РДД);
- 2) Ринок «на добу вперед» (РДВ);
- 3) Внутрішньодобовий ринок (ВДР);
- 4) Балансуючий ринок (БР);
- 5) Ринок допоміжних послуг (РДП).

У країнах Європи існує тенденція у бік збільшення обсягів електричної енергії за двосторонніми договорами. У Словаччині 95% обсягів електроенергії продають за двосторонніми договорами. Середня цифра по Європі близько 70%. [вставити источник]. Аналіз споживачів електричної енергії. В Україні існує дві групи споживачів: до першої групи належать споживачі промислові та прирівняні до них, комерційні, сільськогосподарські споживачі- виробники, непромислові; до другої групи – міське та сільське населення. Всі споживачі поділяються на 1-й та 2-й клас. До 1-го класу належать споживачі, які отримують електричну енергію від постачальника електричної енергії в точці продажу електричної енергії зі ступенем напруги 27,5 кВ та вище. До 2-го класу належать споживачі, які отримують електричну енергію від постачальника електричної енергії в точці продажу електричної енергії зі ступенем напруги нижче 27,5 кВ. Важливо зазначити, що споживачі другої групи належать до споживачів 2-го класу. Споживачі першої групи можуть бути споживачами як 1-го так і 2-го класу. В попередній моделі оптового ринку відсутні погодинні графіки товарного відпуску електричної енергії окремо по групах та окремо по класах споживачів. Таким чином, далі постало питання визначення погодинних графіків споживання промислових споживачів з розбивкою по класах.



Рис. 1 – Умовна пропорція оптових сегментів ринку електричної енергії у країнах Європи у часі

Стимулююче тарифоутворення в енергетичній галузі європейських країн. (Regulatory Asset Base – регульована база інвестованого капіталу) – це система тарифоутворення на основі довгострокового регулювання тарифів, спрямованого на залучення інвестицій для розвитку та модернізації інфраструктури електричних мереж і стимулювання ефективності витрат електророзподільчих компаній. Досвід розвинених країн свідчить про високу ефективність стимулюючого регулювання.

RAВ-регулювання – загальноприйнятий у міжнародній практиці інструмент, який забезпечує можливість реконструкції мереж і розвиток енергетичної інфраструктури. Більшість країн світу, і зокрема всі країни ЄС, перейшли від витратних методів регулювання в енергетиці («витрати+») до стимулюючих (RAВ-регулювання). Це забезпечило підвищення інвестиційної діяльності компаній, скорочення неефективних витрат, надійного та якісного постачання електроенергії, що досягається через установлення норми дохідності на залучений капітал для оновлення основних фондів компаній та впровадження показників енергоефективності.

У світовій енергетичній сфері стимулююче тарифоутворення діє в ряді країн понад 25 років. Першою країною була Великобританія – з 1989 року. Після чого було ще дві хвилі впровадження: північно-західні країни Європи, Канади, США, Австралії з 2000 р.; Південними країнами Європи запроваджено стимулююче тарифоутворення у 2005 р., і великі країни, такі як Німеччина та Франція, запровадили його у 2009 році[5].

Відповідно до Звіту Ernst & Young досвід всіх зарубіжних країн, без винятку, свідчить, що на протязі перших 3-х років дії RAB-регулювання, тариф на розподіл електроенергії, а не загальний тариф на електроенергію, збільшується в межах 10 %. На 6-му році дії системи RAB тарифний розподіл знижується приблизно на 15-20 % проти базового року. На 10-му-15-му році тариф на розподіл знижується більш ніж удвічі, приблизно до 40 % проти базового року[6-7].

Тарифи фіксуються на 3-5 років, тому мережеві компанії можуть прогнозувати їх доходи і витрати протягом декількох років. У Звіті відзначено деякі недоліки, які виникають при переході компаній на визначення тарифів по системі RAB-регулювання. Якщо компанія отримує додаткові джерела фінансування для свого розвитку або для стабільної підтримки свого фінансового стану, то для споживачів дана реформа може стати фінансовим бар'єром – підвищення тарифів на електроенергію [8-9].

Огляд стану формування тарифів на електроенергію в Україні для непобутових споживачів. 11.06.2017 набрав чинності Закон, відповідно до якого запроваджується реформування ринку електричної енергії. Так, Законом передбачено, з одного боку, державне регулювання монопольних ринків (передача та розподіл електричної енергії), з іншого – запровадження конкурентних механізмів функціонування ринку електричної енергії, розвиток вільної добросовісної конкуренції на товарному ринку електричної енергії (виробництво та постачання), вільний вибір контрагентів та забезпечення права споживача обирати постачальника електричної енергії. Тобто, на оптовому і роздрібному ринках електричної енергії має діяти принцип вільного ціноутворення. Згідно з вимогами статті 47 та пункту 13 розділу XVII «Прикінцеві та перехідні положення» Закону, з 01.01.2019 відбулося відокремлення видів діяльності з розподілу електричної енергії та постачання електричної енергії споживачам в існуючих вертикально інтегрованих енергопостачальних компаніях, що є необхідним та надважливим чинником для забезпечення конкуренції на ринку електричної енергії. Так, розподіл електричної енергії здійснюють оператори систем розподілу (суб'єкти природних монополій), а постачання електричної енергії споживачам – окремі від операторів систем розподілу юридичні особи – електропостачальники, які обираються споживачами. Тобто послуги з постачання та розподілу електричної енергії надаються окремими суб'єктами господарювання.

З урахуванням положень частини шостої статті 72 Закону слід зазначити, що з 01.01.2019 постачання електричної енергії споживачам здійснюється за вільними цінами, крім випадків, встановлених цим Законом, а саме, постачання електроенергії споживачам постачальниками універсальних послуг та постачальниками «останньої надії». Крім того, статтею 7 Закону передбачено, що ціни та тарифи на ринку електричної енергії, що регулюються державою, не повинні, зокрема, допускати перехресного субсидіювання між користувачами системи. Таким чином, встановлення окремих (знижених) цін на електричну енергію для певних категорій непобутових споживачів не відповідає вимогам чинного законодавства та призведе до збільшення перехресного субсидіювання між різними категоріями споживачів. Слід зазначити, що Законом не визначені повноваження НКРЕКП в частині розробки методики чи порядку розрахунку вільних цін на електричну енергію.

Право на отримання універсальних послуг відповідно до статті 58 Закону мають побутові споживачі та малі непобутові споживачі. Згідно з визначенням терміну, наданим у частині першій статті 1 Закону, малий непобутовий споживач – споживач, який не є побутовим споживачем і купує електричну енергію для власного споживання, електроустановки якого приєднані до електричних мереж з договірною потужністю до 50 кВт. Відповідно до частини третьої статті 63 Закону постачальник надає універсальні послуги за економічно обґрунтованими, прозорими та недискримінаційними цінами, що формуються ним відповідно до методики (порядку), затвердженої НКРЕКП, та включають, зокрема, ціну купівлі електричної енергії на ринку електричної енергії, ціну (тариф) на послуги постачальника універсальних послуг, ціни (тарифи) на послуги оператора системи передачі та оператора системи розподілу відповідно до укладених договорів про надання відповідних послуг. Механізм формування цін на електричну енергію для побутових та малих непобутових споживачів під час надання універсальних послуг визначено Порядком формування цін на універсальні послуги, затвердженим постановою НКРЕКП від 05.10.2018 № 1177 (далі – Порядок). Згідно з пунктом 1.4 Порядку ціна на універсальні послуги включає ціну купівлі електричної енергії на ринку електричної енергії, ціну (тариф) на послуги постачальника універсальних послуг, ціни (тарифи) на послуги оператора системи передачі та оператора системи розподілу на відповідному класі напруги згідно з укладеними договорами про надання послуг та формуються постачальником універсальних послуг щомісячно. Статтею 58 Закону передбачено, що споживач, зокрема, має право змінювати електропостачальника на умовах, визначених Законом та Правилами.

Відповідно до положень статті 56 Закону та пункту 3.2.1 глави 3.2 розділу III Правил роздрібного ринку електричної енергії, затверджених постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 312 (далі – Правила), електропостачальник до укладення зі споживачем договору про постачання електричної енергії споживачу має надати інформацію про істотні умови договору та про наявний вибір комерційних пропозицій.

Споживач перед укладенням договору про постачання електричної енергії споживачу має ознайомитись з умовами постачання електричної енергії, правами та обов'язками, обрати відповідну комерційну пропозицію та зазначити її у заяві-приєднанні до умов договору. Обрана споживачем комерційна пропозиція є додатком до укладеного відповідним електропостачальником та споживачем договору. Процедура вибору та зміни електропостачальника електричної енергії здійснюється відповідно до Правил. Ознайомитись з переліком електропостачальників, які здійснюють діяльність на території операторів систем розподілу (ОСР), можна на офіційному вебсайті відповідного ОСР, а також на офіційному вебсайті НКРЕКП в мережі Інтернет за посиланням: <http://www.nerc.gov.ua/?id=59249>

Варто зазначити, що з урахуванням положень Тимчасового порядку визначення обсягів купівлі електричної енергії на ринку електричної енергії електропостачальниками та операторами систем розподілу на перехідний період, затвердженого постановою НКРЕКП від 28.12.2018 № 2118, споживачі електричної енергії, в яких встановлені погодинні або зонні

прилади обліку та площадки вимірювання віднесені до споживачів групи «а», мають змогу обрати електропостачальника та укласти з ним договір із застосуванням цін, що враховують добовий графік споживання електричної енергії. Крім того, у новому ринку електричної енергії, датою початку якого відповідно до Закону визначено 01.07.2019, споживачі мають право, крім купівлі електроенергії у електропостачальника за договором про постачання електричної енергії за вільними цінами, також купувати електричну енергію за двосторонніми договорами з правом вільного вибору контрагентів та на умовах, що визначаються за домовленістю сторін, та/або на організованих сегментах ринку (зокрема, ринок «на добу наперед», внутрішньодобовий ринок) за договорами купівлі-продажу з центральним контрагентом (оператором ринку) на умовах, що є однаковими для всіх учасників ринку «на добу наперед», та за ціною, сформованою за результатами проведених торгів, а також шляхом імпорту. Таким чином, ціна електричної енергії як товару формується залежно від сегменту ринку, на якому електропостачальник здійснює її закупівлю.

Реакція непобутових споживачів на тариф на електричну енергію. Можливість зниження плати за електроенергію є найдієвішим механізмом для формування реакції споживача електричної енергії, особливо непобутового. Для промислового споживача ця можливість особливо істотна, адже забезпечує зниження собівартості товару і як наслідок підвищення конкурентної спроможності даного товару на ринку. При оцінці можливих витрат на електроенергію і в умовах пошуку економічної доцільності свого бізнесу споживач може відреагувати наступним чином:

- перенести робочі години у непіковий період (де тарифна ставка нижче);
- модернізувати електрообладнання підприємства;
- встановлення ВДЕ на підприємстві з метою забезпечення більшої незалежності від тарифу;
- не відреагувати – через незнання можливих перспектив і наслідків.

Висновки. Нова модель ринку набагато складніша ніж стара модель. З'явилися сегменти ринку та нові учасники ринку електричної енергії. Виробники отримують можливість продавати електричну енергію декількома каналами продажу: напряду або через організовані сегменти. Теж саме можуть робити і постачальники – трейдери. Споживачі мають право обирати і змінювати постачальника електричної енергії. Нестача методів прогнозування споживачем власного попиту на електричну потужність породжує важливість та принципову необхідність пошуку даних методів для побудови якісної і простої у використанні моделі прогнозування, яка б у свою чергу надала балансуючому ринку максимально точну інформацію щодо споживання електричної енергії, і тим самим забезпечила впровадження прийняттого цінового інструменту та підвищила енергоефективність та надійність електропостачання в умовах нової моделі ринку електричної енергії України.

Список використаної літератури

1. Про ринок електричної енергії: Закон України No 2019-VIII від 13.04.2017 р.
2. Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства: Закон України від 15.12.2010 No 2787-VI (2787-17).
3. Про схвалення Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії: Постанова Кабінету Міністрів України від 16.11.2002 р. No1789.
4. Про схвалення плану заходів щодо реалізації положень Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.11.2007 No1056-р.
5. Report on the results of the National Commission for State Regulation in the Fields of Energy and Utilities in 2019 (hereinafter the NCRECP Reports) (NCRECP Resolution of 27.05.2020 №975).

6. Report on conformity assessment (sufficiency) of generating capacities (hereinafter - the Assessment Report), (resolution of the National Commission for Regulation of Economic Competition dated 13.03.2020 №605).

7. Transmission system development plan for 2020 - 2029, which was approved by the National Commission for Regulation of Economic Competition on March 13, 2020.

8. Report of the National Commission for Electricity Market Regulation on monitoring the functioning of the wholesale electricity market in the IV quarter of 2019.

9. Report of the National Commission for Regulation of Economic Competition on monitoring the functioning of the retail electricity market in the I, II, III, IV quarters of 2019.

СЕКЦІЯ 2.
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

УДК 621.472

Бондаренко В.В.; Студенець В.П., к.т.н., доц.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ СТУПЕНЯ РЕГЕНЕРАЦІЇ ВІД ВИТРАТИ ТЕПЛОНОСІЯ У ДВИГУНАХ СТІРЛІНГА

Регенерація є методом підвищення ефективності двигунів Стірлінга. При цьому за абсолютної регенерації ККД циклу Стірлінга дорівнює ККД циклу Карно у даному інтервалі температур. Практично повна регенерація недосяжна, тому важливо при розрахунку параметрів двигуна Стірлінга враховувати ступінь регенерації.

Є кілька відомих способів розрахунку ступеня регенерації у двигунах Стірлінга. Наприклад, метод Джонсона [1, 2], метод Кейса-Лондона [3], .

В даній роботі проведено розрахунок ступеня регенерації методом Джонсона для різних значень масової витрати теплоносія, що проходить через регенератор, при цьому всі інші параметри регенератора є фіксованими.

Регенератор має кільцеву форму, довжина - 69 мм, зовнішній діаметр - 102 мм, внутрішній діаметр - 74 мм. Матриця - сітка з нержавіючої сталі розміром 1016*1016*0,11 мм, масою 246 г..

Теплоносієм є повітря, його параметри наступні:

- Температура холодної фази, 70°C
- Температура гарячої фази, 300°C
- Середній тиск, 26 атм.

Масова витрата змінювалася від 10 г/с до 50 г/с з інтервалом 5 г/с.

З початкових даних для кожного випадку розраховано параметр безрозмірної довжини та безрозмірного часу потоку за умови, що двигун робить 1450 обертів за хвилину. За цими безрозмірними величинами визначено ступінь регенерації.

У таблиці 1 показано результати розрахунку ступеня регенерації в залежності від витрати теплоносія, а на рисунку 1 в залежності від відношення масової витрати теплоносія до маси матриці регенератора.

Таблиця 1. Результати розрахунку ступеня регенерації

Масова витрата теплоносія, г/с	Масова витрата/маса регенератора, 1/с	А, безрозмірна довжина	П, безрозмірний час потоку	Ступінь регенерації
10	0,041	21,37	0,609	0,915
15	0,061	17,44	0,746	0,897
20	0,081	15,12	0,86	0,882
25	0,101	13,51	0,963	0,869
30	0,122	12,33	1,05	0,857
35	0,142	11,48	1,136	0,847
40	0,163	10,68	1,22	0,838
45	0,183	10,06	1,29	0,829
50	0,203	9,55	1,36	0,821

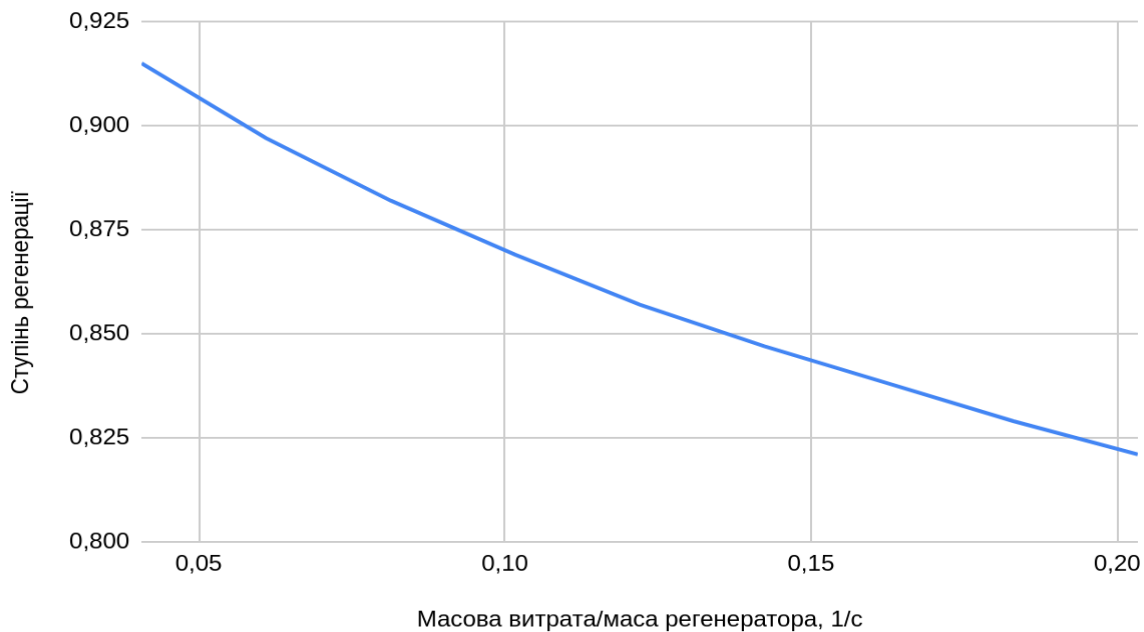


Рис. 1. Залежність ступеня регенерації від відношення масової витрати теплоносія до маси матриці регенератора

З графіка видно, що найбільших значень ступеня регенерації двигун Стірлінга досягає за низьких показниках відношення масової витрати теплоносія до маси регенератора, при цьому ступінь регенерації спадає не лінійно, а з темпом, що зменшується.

Висновки: в результаті роботи було виконано розрахунок ступеня регенерації двигуна Стірлінга для різних показників масової витрати теплоносія та виконано графічний аналіз характеру цієї залежності.

Список використаної літератури:

1. Walker G., Operations Cycle of the Stirling Engine with Particular Reference to the Function of the Regenerator, Journal of Mechanical Engineering Science 1961, v.3, №4: p.394-411
2. Johnson, J. E., Aero. Res. Counc. Techmd Report R. & M. 1952, No. 2630 'Regenerator heat exchangers for gas turbines'.
3. Kays, W. M. and London, A. L., Compact heat exchangers, 1958 (McGraw-Hill, New York)

УДК 532.5

Лептюхов І.І., аспірант,
кафедра теплотехніки та енергозбереження ІЕЕ

ГІДРОДИНАМІКА ПОТОКУ ПЛІВКИ РІДИНИ ГЛАДКОЮ ПОВЕРХНЕЮ

Робота стосується аналізу гідродинамічних властивостей в'язкісно-гравітаційної плівкової течії рідини на твердій поверхні за допомоги CFD-моделювання та уже існуючих експериментальних досліджень. Виділено та описано основні налаштування для CFD-моделювання на базі сучасних досліджень в даній галузі. Моделювання проведено в програмному пакеті ANSYS з використанням моделі течії VOF (volume of fluid).

Виконано порівняння результатів експериментальних досліджень потоку плівкової течії декількох авторів з CFD-моделюванням. Аналіз результатів виконується у межах ламінарного, або псевдо-ламінарного режиму потоку ($Re < 350$).

Отримані результати, які представляють собою аналіз даних моделювання.

Ключові слова: CFD-моделювання, плівкова течія, крайовий кут змочування, VOF-модель, в'язкісно-гравітаційний потік.

Вступ

При проектуванні теплотехнічних установок різного класу, однією із головних цілей є визначення гідродинамічної поведінки багатофазного плівкового потоку. Оскільки проведення експериментів всередині теплотехнічного апарату має ряд складнощів, краще використовувати сучасні підходи з моделювання динаміки рідин (CFD). Сучасне програмне забезпечення дозволяє створити моделі, які відтворюють реальні об'єкти, що забезпечує максимальну точність розрахунків.

Мета роботи:

Проведене дослідження має вивчити сучасні моделі для прогнозування потоку плівки рідини, які саме параметри мають найбільший вплив на результати розрахунків. Визначити спосіб представлення теоретичної моделі у програмному продукті ANSYS, а саме – математичну модель, величину розрахункової області та її якість, методи розрахунку величин, та критичні параметри для розрахунку. Отримані результати, які представляють собою аналіз даних моделювання, було проаналізовано та зібрано у таблицю.

Матеріал і результати досліджень

Плівковий потік з вільними поверхнями вже розглядався в літературі [1, 2], але в основному – це двовимірні плівки. Тривимірні (3D) явища, такі як розрив плівки та утворення струмків або потік крапель, залишались не дослідженими. Автор [3] представив перевірку дво- і трифазного потоку плівки в ламінарному режимі течії. Чисельні результати порівнюються з даними власних експериментів. Для виконання моделювання застосовується VOF-модель. Якісне порівняння показує хорошу збіжність симуляцій з експериментами (рис. 1).

Моделювання 1 та 2 було виконано при кутах змочування 80° та 70° відповідно. В експерименті величина виміряного кута змочування складає 60° .

Контактний кут критично впливає на поведінку потоку. Спостерігається тенденція збільшення змоченої поверхні при однакових числах Re за зменшення кута змочування.

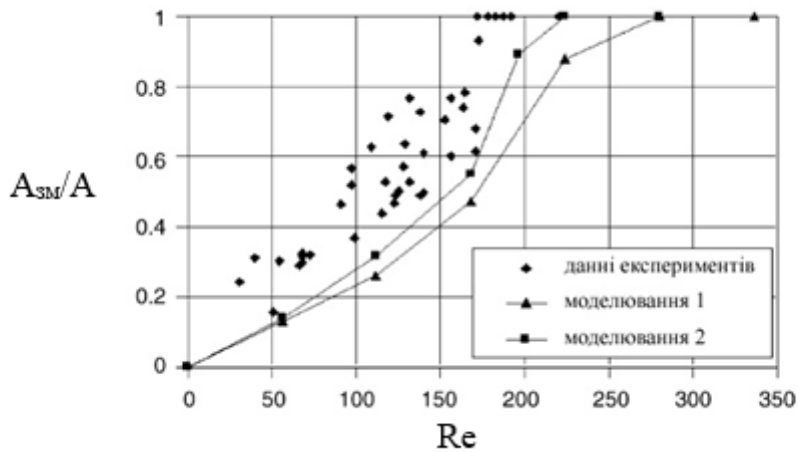


Рисунок 1 – Порівняння коефіцієнту змоченої поверхні при різних значеннях Re [3]

Моделювання 1 та 2 було виконано при кутах змочування 80° та 70° відповідно. В експерименті величина виміряного кута змочування складає 60° .

Автор [4], результатами публікації якого були моделювання у програмному середовищі ANSYS, виконав деякий аналіз початкових даних для моделей. Було визначено, що плівковий потік має високу чутливість до розміру сітки. Це зумовлено тим, що товщина плівки набагато менша за загальну відстань потоку. Критично важливим є подрібнення розрахункової сітки у пристінному шарі. Наслідком є збільшення точності розрахунків за менших затрат обчислювальної потужності.

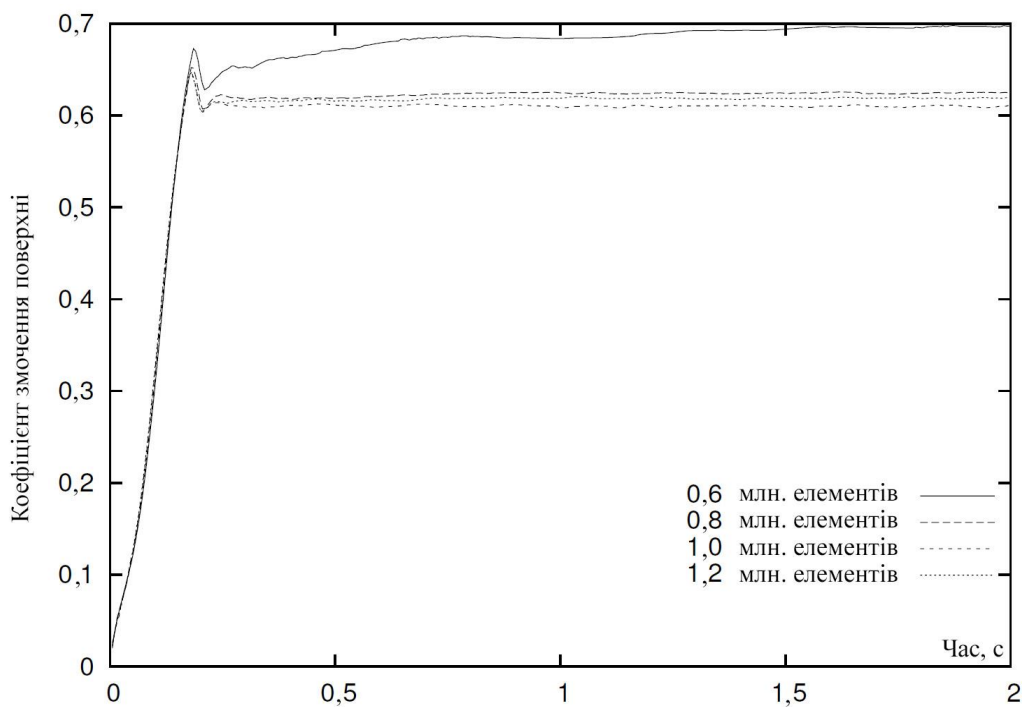


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнту змочення поверхні від кількості елементів сітки [4]

Було визначено, що оптимальна кількість елементів сітки ≈ 1 млн. для розміру моделі 25 мм x 50 мм x 7 мм з подрібненням у пристінному шарі.

З публікацій [5] та [6] та з посібника ANSYS [7], було визначено параметри для розрахунку та внесено у таблицю 1. Слід наголосити, що параметри розрахунку підходять для

ізотермічних в'язкісних плівок з 2 та більше фазами.

Таблиця 1 – Основні параметри моделювання

Тип задачі	Змінна у часі (Transient)
Розмір моделі та к-сть елементів	25 мм x 50 мм x 7 мм (1 млн.)
Модель потоку	Volume of fluid (VOF-Explicit)
Число Куранта	0,5
Метод розрахунку	PISO
Математичні методи обчислення:	
Тиск	PRESTO!
Об'ємна частка	Geo-Reconstruct
Момент	Second Order Upwind
Гradient	Least Squares Cell Based

На основі даних з табл. 1 проведено пробне моделювання з величиною $Re = 230$. Методом підбору визначено кількість ітерацій на часовий проміжок. Для збіжності з точністю 10^{-3} – 40 ітерацій. Результати зображено на рис. 3.

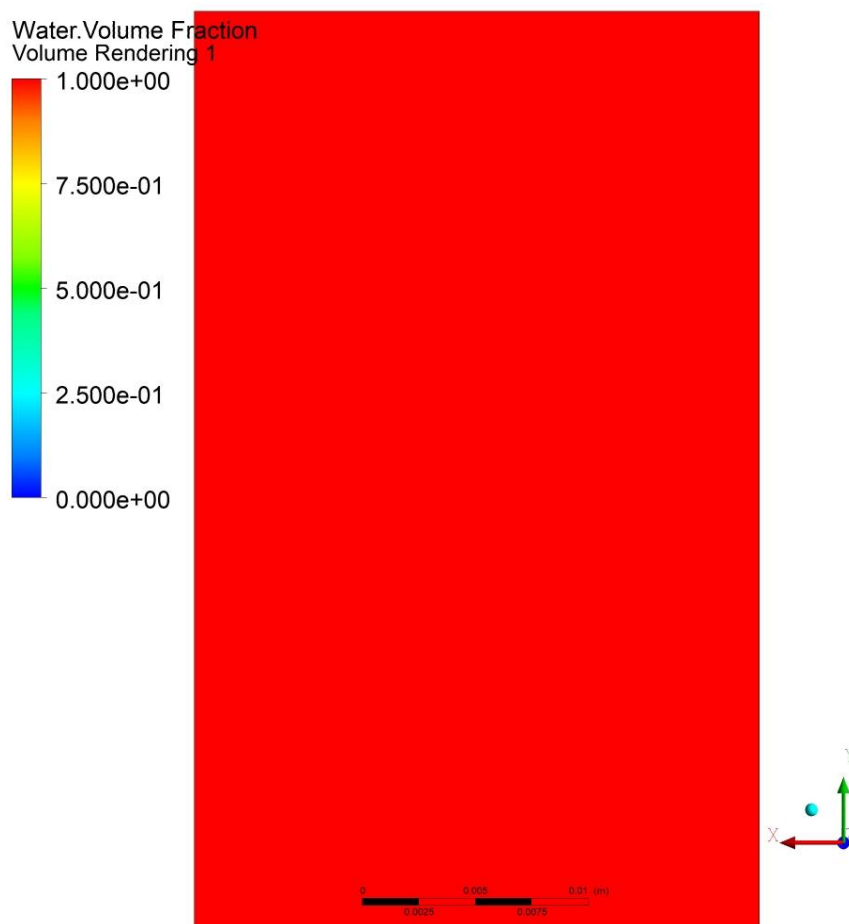


Рисунок 3 – Результати моделювання в ANSYS із $Re = 230$

Висновки

Визначено спосіб представлення теоретичної моделі в'язкісно-гравітаційного потоку плівки рідини у програмному продукті ANSYS, а саме – математичну модель, величину

розрахункової області та її якість, методи розрахунку величин, критичні параметри для розрахунку. Отримані результати, які представляють собою аналіз даних моделювання, було зібрано у табл. 1.

Виконавши моделювання за визначеними у табл. 1 параметрами, та порівнявши результати з науковими роботами, отримано збіжність по коефіцієнту змоченої поверхні. У авторів [3] та [6] при значенні $Re = 230$ також спостерігається повне змочування поверхні. Матеріали стінок та кути змочування були обрані аналогічно як і у вищезгаданих авторів.

Список використаної літератури

1. 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.
2. 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.
3. A. Hoffmann, I. Ausner, J-U Repke, Fluid dynamics in multiphase distillation processes in packed towers, *Computers and Chemical Engineering* 29, pp. 1433–1437, 2005.
4. J.J. Cooke, S. Gu, L.M. Armstrong, K.H. Luo, Gas-Liquid Flow on Smooth and Textured Inclined Planes, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 68, 2012.
5. Rajesh K. Singh, Janine E. Galvin, Xin Sun, Three-Dimensional Simulation of Rivulet and Film Flows over an Inclined Plate: Effects of Solvent Properties and Contact Angle, 2014.
6. D. Sebastia-Saez, S. Gu, P. Ranganathan, Volume of fluid modeling of the reactive mass transfer of CO₂ into aqueous amine solutions in structured packed elements at microscale, *Energy Procedia* 63, pp. 1229 – 1242, 2014.
7. ANSYS Fluent Theory Guide Release 19.2, 2020.

УДК 690.9

Наумчук О.С.

Дешко В.І., проф.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ДИНАМІКА ТАРИФІВ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ НОСІЇ ЯК КЛЮЧОВИЙ ФАКТОР
ВПЛИВУ НА ЕКОНОМІЧНУ ОЦІНКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ****DYNAMICS OF RATES FOR ENERGY MEDIA AS A KEY INFLUENCE FACTOR
FOR THE ECONOMIC ASSESSMENT OF ENERGY SYSTEMS**

Анотація. В статті описано динаміку тарифів на енергоносії в розрізі шести років та вплив такої динаміки на економічний розрахунок енергоефективних рішень.

Ключові слова. Тариф, енергоефективність, економічний розрахунок, міжнародний стандарт, економія, енергоспоживання.

Abstract. The article describes the dynamics of energy tariffs in the context of five years and the impact of such dynamics on the economic calculation of energy efficient solutions.

Keywords. Tariff, energy efficiency, economic calculation, in front of the international standard, savings, energy consumption.

Вступ. З розвитком енергетики та зі зростанням цін на енергоносії все частіше постає питання економного та розумного енергоспоживання. Основним фактором, що змушує людей скоротити викиди шкідливих речовин у атмосферу шляхом забезпечення ефективного використання енергії, залишаються гроші. Якщо мешканці існуючих житлових будівель (ОСББ) прагнуть скоротити плату за комунальні послуги шляхом модернізації існуючої оболонки будівлі та/або інженерних систем, то власники нових будівель зацікавлені у детальному прорахунку економічного ефекту від впровадження енергоефективних заходів та проектування розумних систем ще на етапі створення проекту. Розрахунок загальної економії від заміни або встановлення обладнання залежить від багатьох факторів (відповідно до [1]), в тому числі і від вартості Гкал теплоти або ж кВт електроенергії.

Завдання. 1. Аналіз зміни тарифів на теплову енергію та електричну енергію протягом шести років.

2. Опис залежності економічної оцінки від динаміки тарифів.

Мета дослідження. Продемонструвати взаємозалежність показника економії при впровадженні заходу, що дозволить знизити енергоспоживання, від динаміки зростання тарифів на енергоносії.

Методи дослідження. До основних загальнонаукових методів дослідження, які використані, відносяться: емпіричний та теоретичний методи; метод порівняння, узагальнення, математичний.

Теоретико - інформаційну основу становлять Постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, міжнародні стандарти у сфері енергоефективності.

Результати дослідження. Робота енергетичного аудитора над об'єктом – це, в першу чергу, комплексне обстеження технічного стану огорожувальних конструкцій (зовнішньої оболонки) та інженерних систем (внутрішньої оболонки). Результатом такої роботи є підготовка звіту щодо існуючої ситуації, пропозиції щодо впровадження заходів енергозбереження та енергоефективності й фінальна вартість такого заходу з виведеним терміном окупності.

Термін окупності, як складова економічного розрахунку, дозволяє оцінити період повернення вкладених у проект коштів інвестору [2], визначаючи таким чином

пріоритетність впровадження заходу. Зазвичай, розрахунок простого чи дисконтованого терміну окупності є результатом лише одноразового вкладення коштів та недовготривалого надходження коштів інвестору від реалізації проекту. Мова йде про уникнення важливого показника – життєвого циклу проекту та/або системи. Тобто, згідно [1], при розгляді існуючої чи нової будівлі, оцінюється кількість замін систем (в залежності від їх паспортного «терміну життя») при життєвому циклі будівлі (в середньому, 50 років [3]). Для інвесторів такий показник дає повне розуміння кількості етапів вкладення коштів, кількості років їх повернення та дозволяє оцінити економічні фактори впливу на рух коштів протягом довготривалого терміну. Такий розрахунок є новим для України та спільним для Європейських країн й дає можливість проводити реальні порівняння енергетичних та економічних даних, в тому числі, величину змін тарифів протягом років.

Структура нарахування тарифів протягом останніх двох років дуже змінилась насамперед через відхід від монополізованих постачальників енергоносіїв. Тобто, з 2019 року [4] споживач може самостійно вирішувати питання щодо зміни постачальника тепла або електроенергії шляхом моніторингу учасників ринку енергоносіїв. Для оцінки впливу змін на ринках на загальний показник економічного ефекту впровадження заходів, розглянемо дані [5], [6] та зведемо їх у таблицю 1 та 2.

Таблиця 1. Динаміка тарифів на теплову енергію (дані КП «Київтеплоенерго»)

Рік	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Тариф з ПДВ, євро/Гкал	19,93	42,97	42,0	41,09	50,17	49,00

* Перерахунок у євро виконано згідно курсу Нацбанку України

Таблиця 2. Динаміка тарифів на електроенергію (дані НКРЕКП)

Рік	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Тариф з ПДВ, євро/кВт·год	1,11	1,55	2,67	2,73	2,73	2,73

* Перерахунок у євро виконано згідно курсу Нацбанку України

Зведемо приведені дані у графік для візуального відображення «кроку» зростання тарифів на рисунку 1 та рисунку 2.

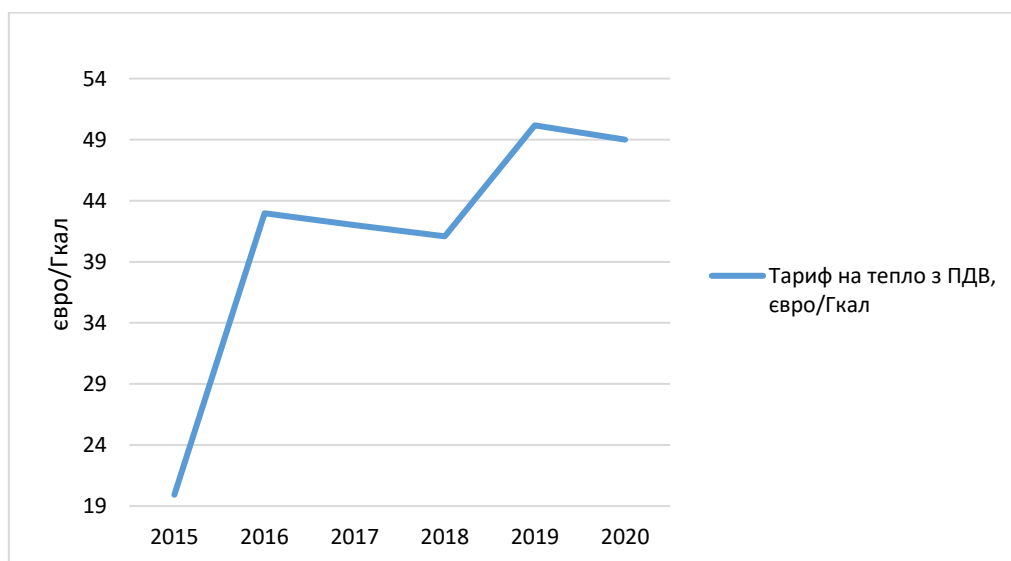


Рисунок 1. Динаміка тарифів на теплову енергію в Україні

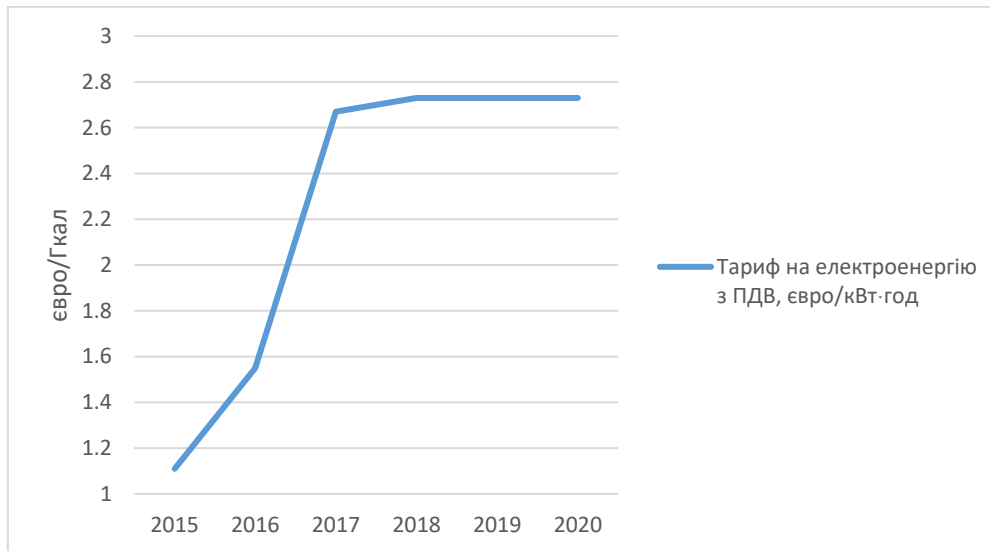


Рисунок 2. Динаміка тарифів на електричну енергію в Україні

Якщо говорити про стандартний розрахунок терміну окупності (без оцінки за міжнародним стандартом), то уже на рівні визначення простого терміну окупності можемо робити висновок про пряму залежність показника від відсотку зміни тарифу. Якщо ж розглядати повний життєвий цикл проекту, дані щодо економії при скороченні енерговитрат напряду залежатимуть від екстраполяційного розрахунку тарифів до закінчення розрахункового (проектного) терміну життя будівлі.

Таким чином, економічна ефективність впровадження проектів енергозбереження згідно з [1] виведе розрахунок на новий, більш розгорнутий та видимий результат.

Висновок

Прийняття рішення стосовно використання на законодавчому рівні [1] дає змогу оцінити результат впровадження енергоефективних проектів для існуючих та нових будівель у порівнянні з розвинутими європейськими країнами. Зведення економічних показників до однієї валюти дозволяє порівняти готовність країни до реалізації масштабних проектів ще на рівні тарифоутворення. Важливим моментом для прийняття рішення є врахування потоку коштів протягом певного розрахункового періоду. Дана робота описує можливість отримання економічного ефекту у довгостроковому періоді та з урахуванням динаміки тарифів на енергоносії в Україні.

Перелік посилань

1. ДСТУ Б EN 15459:2014 Енергетична ефективність будівель. Процедура економічної оцінки енергетичних систем будівлі.
2. Визначення терміну окупності інвестицій [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/7217409/page:55/>.
3. Лесков Б. Сколько живет дом [Електронний ресурс] / Борис Лесков. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://vsenovostroyki.ru/expert/13591/>.
4. Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії: постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 14 березня 2018 р. № 312//Відомості Верховної Ради України.
5. Тарифы на централизованное отопление в Киеве, [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://index.minfin.com.ua/tariff/kyev/warm/>.
6. Ціни та тарифи на електроенергію для побутових споживачів (населення) в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: www.nerc.gov.ua.
7. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. // Мінрегіонбуд України. – 2013.

СЕКЦІЯ 3.
ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Босак А.В., аспірант

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Анотація. Розглянута зарядна станція (ЗС) з кількісним підключенням електромобілів на зарядку і обмеженням потужності приєднання до електричної мережі, яка враховує умови та порядок її підключення.

Ключові слова. електромобіль, зарядна станція, розподільча мережа.

THE ELECTRIC CHARGING STATIONS USAGE IN UKRAINE UNDER CONDITIONS OF POWER SUPPLY LIMITATION

Abstract. The charging station with the quantitative connection of electric vehicles to the charger under power limitations in the point connection to the distributed network was described.

Keywords. electrical vehicle, charging station, distribution network.

Постановка проблеми. З кожним роком кількість електромобілів (ЕМ) в Україні стрімко зростає. Це зумовлює також і розвиток мережі зарядних станцій, як комерційних, так і для домашнього використання [1]. Згідно з Правилами користування електричною енергією, у договорі на споживання електричної енергії прописана дозволена потужність для домогосподарства чи підприємства [2]. Порухення вказаного ліміту може привести до знеструмлення об'єкту.

Мета та завдання. Вирішення проблеми гарантованого заряджання великої кількості електромобілів в умовах обмеженого електропостачання приєднання шляхом аналізу кількості зарядних станцій на території України, умов підключення зарядних станцій до мережі та обмежень що накладаються до них.

Матеріал і результати досліджень.

У світі кількість електромобілів на дорогах зростає швидкими темпами. Скасування ввізного мита та імпортного збору, а також зростання цін на паливо призводить до зростання кількості електромобілів і на ринку України.

За даними головного сервісного центру МВС та Міністерства інфраструктури [3], в Україні на 19 жовтня 2020 року було зареєстровано 24650 електромобілів. Майже 48% з них зареєстровані у Києві (5283), Одеській (3591) і Київській областях (2987).

Згідно [4] ринок ЕМ України має тенденцію щороку збільшуватися в середньому в 2 рази. Електромобілі, які були у вжитку, досить вигідні в Україні, отже, враховуючи також невеликі державні преференції, буде очікуватись відчутний розвиток ринку електромобілів та зарядних станцій.

Окрім того, у ВРУ була затверджена концепція розвитку електромобільної галузі: створення повного циклу виробництва електротранспорту в Україні, формування доступних цін на ЕМ для українців, сприяння розвитку бізнесу, який використовує електричний транспорт [5].

Ще одним вагомим показником подальшого росту ринку ЕМ є темпи розвитку цього сектору у порівнянні з провідними країнами світу. Згідно [6], Україна набагато випереджає інші країни Східної Європи і за темпами розвитку зарядної інфраструктури.

В Україні представлені виробники зарядних станцій, які виготовляють станції різної потужності — від побутових, що живляться від 220 В, до промислових, які можна

встановлювати в паркінгах, біля торгових центрів тощо. Публічні зарядні станції (ЗС) відкритого доступу пропонують зазвичай платну зарядку і можуть обслуговувати декілька електромобілів [4].

Виробники та постачальники ЗС сприяють створенню розгалужених мереж ЗС. Не дивлячись на це, на одну зарядну станцію в Україні припадає приблизно 4 електромобілі. Статистика, наведена у [7] підкреслює, що темпи росту електромобілів та мережі зарядних станцій взаємозалежні.

Ріст кількості публічних ЗС вимагає необхідності збільшення пропускної здатності електричного обладнання та мереж, так як підвищений попит на електроенергію для зарядки електромобілів може бути саме в години пік. У багатьох розвинених країнах енергогенеруючих потужностей недостатньо для задоволення попиту на електроенергію для переважної більшості електромобілів під час максимального завантаження енергосистеми.

Умови підключення ЗС. Встановлення зарядної станції підлягає таким же правилам підключення, як і будь-які інші електричні установки, тому станція повинна бути сертифікована в Україні.

Згідно Правил підключення електроустановок до електричної мережі [2], стандартне приєднання поділяється на такі ступені потужності: перший - до 16 кВт; другий - від 16 кВт до 50 кВт; третій - від 50 кВт до 160 кВт.

Технічні умови на приєднання до мереж ЗС, що видаються електропостачальною компанією у межах резерву потужності трансформаторів та пропускної спроможності електричних мереж у відповідний період доби, містять обов'язкові вимоги щодо автоматичного обмеження потужності у цей період та автоматичного відключення протягом іншого часу. У разі потужності споживання не на межі балансової належності електричних мереж, то підключення відбувається за рахунок зменшення дозволеної потужності ЗС [2].

Якщо проект включає в себе плани щодо подальшого розширення, то на першому етапі рекомендується заздалегідь завершити всю інженерну роботу для другого етапу (фундаменти та підземні кабельні лотки). Проте, при розміщенні електрообладнання не потрібно враховувати майбутні потреби.

Деякі виробники пропонують зарядні станції з декількома кабелями, що дає змогу заряджати більше одного ЕМ, використовуючи доступну потужність. При проектуванні ЗС для декількох ЕМ, особливо необхідно враховувати обмеженість потужності вводу, так як подальше оновлення тягне за собою великі фінансові витрати на підвищення зарядної потужності станції.

Також, на великих підприємствах з використанням електротранспорту, наприклад парк автобусів на електричній тязі, може з'явитися необхідність в здатності регулювати електричне навантаження протягом доби для економії коштів підприємства [8].

Одночасно з тим, порядок розташування автомобілів під час заряджання теж регламентуються. Приведемо основні положення управління чергою на паркувальних місцях, що обладнані ЗС [1]:

- Основним призначенням паркувальних місць, обладнаних непобутовими ЗС, є зарядка, а не парковка транспортного засобу.

- У разі, якщо електричний транспортний засіб має потребу у зарядці, він має пріоритетне право на зайняття паркувального місця (місця автостоянки), обладнаного непобутовою ЗС.

- Власники приватних паркувальних майданчиків (автостоянок), повинні забезпечувати управління чергою на доступ до непобутових ЗС. Не допускається необгрунтована відмова, пріоритетне просування в черзі та будь-яка інша нецінова дискримінація осіб, що мають намір зарядити транспортний засіб, на підставі членства у клубі, об'єднанні та/або з інших підстав.

- Власники побутових ЗС мають пріоритетне право на користування ними. Одночасно, власники побутових ЗС можуть надавати право користування ЗС іншим особам на платній або безоплатній основі.

Висновок. В результаті дослідження виявлено, що ринок електромобілів України розширюється значними темпами, що призводить до розширення мережі зарядних станцій та збільшення навантаження на енергосистему.

Набуває чинності актуальність реалізації інструменту управління процесом заряджання електромобіля при обмеженій пропускній потужності енергетичної інфраструктури, обмеженні електропостачання зарядної станції. Головні принципи підключення зарядної станції до мережі, а також регламентована необхідність правильної постановки ЕМ в чергу на зарядку підтверджують необхідність розробки системи керування електророзрядними станціями щоб уникнути ситуацій перевантаження та гарантувати зарядку електромобілям у приватному та комерційному секторі.

Список використаної літератури

1. Концепція розвитку ринку електророзрядних станцій / ред. Офіс ефективного регулювання BRDO. – Київ, 2017.
2. Правила користування електричною енергією, 2017.
3. Електромобілі в Україні: показники популярності від марки авто до регіону, 2020.
4. Письменна У., Т. Г. Електромобілі та державна політика / Т.Г. Письменна У. – Режим доступу: <https://dt.ua/business/elektromobili-ta-derzhavna-politika-vrahovuyuchi-racionalnist-ukrayinciv-mozhna-chekati-vidchutnogo-rozvitku-rinku-elektromobiliv-i-bez-osoblivoyi-pidtrimki-z-boku-derzhavi-.html/>.
5. «Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання розвитку галузі електричного транспорту в Україні», 2018.
6. ASSAF ORON. Top 10 Countries in the Global EV Revolution: 2016 Edition / ASSAF ORON. – Режим доступу: <https://insideevs.com/top-10-countries-in-the-global-ev-revolution-2016-edition/>.
7. Autogeek. Кількість електромобілів в Україні за 2019 рік зросла майже на 40% – інфографіка. – Режим доступу: <https://autogeek.com.ua/kilkist-elektromobiliv-v-ukrayini-za-2019-rik-zroslo-majzhe-na-40-infografika/>.
8. Великий С.С., Регулювання електричним навантаження промисловому підприємстві в умовах ринку електричної енергії / Великий С.С., Розен В.П., Реуцький Р.О. // Збірник матеріалів конференції: "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку–PEMS". – 2019, С. 24-25. - Режим доступу: http://s-konf.mmi.kpi.ua/public/conferences/51/PEMS-2019/ZBIRNYK_TEZ_2019PEMS.pdf#page=24

Хотян А.А., аспірант, ORCID 0000-0003-1676-0752,
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

КРИТЕРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Анотація. Визначено поділ критеріїв, що впливають на прийняття рішення щодо впровадження локальних систем енергопостачання, за наступними групами: технічні, експлуатаційні, економічні, політичні, екологічні та соціальні. Які враховують сучасне законодавство про ринок електричної енергії.

Ключові слова. Електропостачання, енергопостачання, критерії вибору

CRITERIA FOR DESIGNING LOCAL ENERGY SUPPLY SYSTEMS

Abstract. The division of criteria for decision-making on the implementation of local energy supply systems is determined by the following groups: technical, operational, economic, political, environmental and social. Which take into account modern legislation in the electricity market.

Keywords. Power supply, power supply, selection criteria

Постановка проблеми. У різних сферах наукової діяльності перед дослідниками постає потреба порівняння локальних систем енергозабезпечення між собою. Здебільшого, для цього використовують певні властивості об'єкта, що вказують міру його якості чи ефективності. Під час проектування проектів по енергозабезпеченню локальних об'єктів, завжди слід звертати увагу на критерії, які впливають на процес визначення ефективнішого варіанту. В залежності від прийнятих критеріїв змінюється прийняття рішень в процесі проектування.

Мета та завдання. Підвищення якості прийняття рішень шляхом визначення основних критеріїв і надання рекомендацій щодо добору найбільш важливих критеріїв проектування систем енергопостачання локальних енергетичних об'єктів. Для досягнення мети була поставлена наступна задача. Розробити класифікаційну схему критеріїв проектування локальних систем енергопостачання.

Матеріал і результати досліджень.

У науковій літературі [1, 2, 4] поняття «критерій» трактується неоднозначно і потребує розгляду й аналізу наявних підходів до його визначення як наукового поняття. Особливо неоднозначність проявляється у співвідношенні понять «критерій» і «показник». Іноді допускається змішування цих неоднозначних категорій. «Критерій – це система найбільш істотних ознак, що відображує не весь досліджуваний об'єкт, а лише ті його сторони, що відповідають меті дослідження й підлягають якісно-кількісній інтерпретації, тобто вимірюванню» [1]. Кожний критерій містить у собі групу показників, що якісно або кількісно його визначають. «Показник – це деяка величина або якість змінної (критерію), що може виявлятися в конкретному об'єкті, тобто міра прояву критерію, його кількісна або якісна характеристика, за якою визначають різні стани об'єкта; зовні добре помітна ознака вимірюваного критерію» [2]. Отже, показник показує окремі властивості та ознаки досліджуваного об'єкта і слугує засобом накопичення кількісних і якісних даних для критеріального узагальнення. Головними ознаками поняття «показник» є конкретність і діагностичність, що передбачає доступність його для спостереження, обліку та фіксації.

Для проектування, спорудження й експлуатації систем електропостачання (СЕП) витрачаються численні ресурси та фінансові кошти, які повинні бути використані з найбільшою ефективністю. Це вимагає всебічно обґрунтованих прийнятих рішень. Мета

техніко-економічних розрахунків полягає в доказі технічних функціональних здібностей СЕП, відповідних обґрунтованим вимогам споживачів (навантаженню, надійності тощо). При цьому мають вирішуватися наступні питання:

а) вибір і обґрунтування устаткування для виконання необхідних функцій і вимог в межах функціонально обґрунтованих загальних положень;

б) оцінювання стану СЕП в нормальних та аварійних режимах роботи і доказ основних величин у функціонально-структурному відношенні СЕП для пускового періоду й подальшої експлуатації;

в) доказ ефективності використання капітальних вкладень в нові та наявні СЕП, що реконструюються, і подальших експлуатаційних витрат шляхом порівняння варіантів і оптимізації.

Оцінювання якісних показників та ефективності вибраного рішення (в порівнянні зі світовими стандартами), а також витрат на обробку проектної документації (оцінювання продуктивності праці). В пакеті розрахунків повинні бути представлені всі необхідні програми обробки даних на ЕОМ. Обґрунтування та вибір техніко-економічно доцільного варіанту локальних систем енергозабезпечення базується на розгляді та порівнянні можливих варіантів за технічними, економічними та експлуатаційними критеріями.

Основні критерії вибору локальної системи енергозабезпечення.

Технічні. До технічних критеріїв відносяться надійність, припустимі відхилення та витрати напруги, сталість елементів СЕП в перехідних режимах, стабільність роботи приводів, число й рівні ступенів напруги, ступінь автоматизації технічний стан діючих систем, показник завантаженості, пропускна здатність електричних мереж, показник інноваційності (виконання програми розвитку електромереж), критерій прогнозу попиту на електроенергію і потужності та інші в нормальних і аварійних режимах СЕП.

А також відповідно до Закону України про ринок електричної енергії вводиться поняття «якість електропостачання» [3]. Якість електропостачання характеризується рівнем надійності (безперервності) електропостачання, економічністю надання послуг з передачі, розподілу та постачання електричної енергії, а також якістю електричної енергії.

Показники, які характеризують критерій якості електропостачання, визначаються постановами Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Для оцінювання рівня надійності визначено чотири показники: індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні (SAIDI), індекс середньої частоти довгих перерв в електропостачанні (SAIFI), розрахунковий обсяг недовідпущеної електроенергії (ENS) та індекс середньої частоти коротких перерв в електропостачанні (MAIFI).

Експлуатаційні. Найважливішими експлуатаційними показниками є тривалість відновлення електропостачання після ліквідації пошкоджень, тривалість поточних і капітальних ремонтів СЕП, припустимі перевантаження елементів електроустановок, зручність експлуатації, величина витрат потужності, кількість і кваліфікація обслуговуючого персоналу.

Економічні. Найважливішим економічним критерієм у разі порівняння варіантів СЕП є річні загальні приведені витрати, що включають капітальні вкладення й експлуатаційні витрати, а також вартість збитку, термін окупності, питомий показник приведених витрат. Оцінювання кожного варіанту проводиться на підставі таких міркувань щодо ефективності: відповідність стандарту безпеки передачі (TSS), капітальних витрат, чистої поточної вартості (NPV), екологічних міркувань, безпеки та оцінки ризику повеней.

Для більш детальної економічної оцінки як окремих елементів, так і СЕП в цілому використовують додаткові показники: надійність електропостачання споживачів, капітальні вкладення в СЕП, витрата матеріалів (особливо кольорових матеріалів), вартість витрат енергії та кількість обслуговуючого персоналу. Економічна оцінка проектування і технологічної

підготовки проводиться з урахуванням показників продуктивності праці.

Також під час впровадження локальних систем енергопостачання необхідно враховувати такі впливові критерії як **політичний чинник** (політика цін і тарифів для учасників, створення законодавчої та нормативної бази), **соціальний чинник** (рівень інформованості населення, рівень життя населення де впроваджується система, рівень соціальної активності та довіри між людьми) та **екологічний чинник**.

Висновок. В результаті дослідження було узагальнено та обґрунтовано три основні групи критеріїв (технічні, експлуатаційні, економічні) до складу яких увійшли найвагоміші на думку автора показники якості електропостачання, надійності, енергоефективності та інші. Це дасть змогу створювати та впроваджувати нові методики з питань електропостачання локальних об'єктів які допоможуть обрати правильний шлях проектування нових чи проведенні реконструкції діючих локальних систем енергозабезпечення. Що у свою чергу приведе до зниження технологічних витрат електроенергії в системі розподілу та комерційних витрат електроенергії, забезпечить надійну, безпечну та ефективну експлуатацію електричних мереж.

Список використаної літератури

1. Розен В. П. Електропостачання віддалених об'єктів / В. П. Розен, А. И. Соловей, Д. В. Купцов // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія : Гірництво. - 2014. - Вип. 26. - С. 96-102. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_gir_2014_26_17.
2. Гриценко В. Г. Критерії ефективності створення і впровадження інформаційно-аналітичної системи управління в освітній процес університету / В. Г. Гриценко // Інформаційні технології і засоби навчання. - 2017. - Т. 61, вип. 5. - С. 233-244. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2017_61_5_21.
3. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. [Електронний ресурс] // дата звернення 03.03.2021. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
4. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

УДК 620.621.31

Докшина С. Ю.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ЗАГРОЗИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В УКРАЇНІ

Анотація. Стаття присвячена аналізу негативних чинників, що впливають на рівень та розвиток енергоефективності України. В результаті дослідження, виконана класифікація негативних чинників, та для загальної картини побудована діаграма Ісікави.

Ключові слова: енергоефективність, загрози розвитку енергоефективності, бар'єри розвитку енергоефективності, діаграма Ісікави.

Abstract. The article is devoted to analyze the negative factors, which impact on the energy efficiency level and development in Ukraine. As a result of the study, the classification of negative factors was performed, and a diagram of Ishikawa was constructed for the general picture.

Key words: energy efficiency, energy efficiency threats, energy efficiency barriers, Ishikawa diagram.

Вступ. Задача підвищення рівня енергоефективності стрімко постала перед людством з часів Нафтової кризи, що мала економічний та політичний характер та після виявлення Міждержавною групою експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) ООН, того факту, що глобальне потепління на 90% вірогідності спричинене антропогенною діяльністю [1]. Тоді, задля збереження фінансової та політичної безпеки та незалежності окремих країн, а також збереження та відновлення екології нашої планети, утворились різноманітні організації та заходи з енергоефективності. Для розроблення енергетичної стратегії підвищення рівня енергоефективності, необхідно виявити чинники, що можуть впливати на її стан та розвиток. Дослідженню питань кількісної оцінки, моніторингу та контролю рівня енергоефективності присвячені роботи В.П. Розена, С.П. Денисюка, В.В. Грабко, В.І. Дешко, В.А. Жовтянського, О.В. Кириленко, М.М. Кулика, П.Д. Лежнюка, А.В. Новосельцева, Г.Г. Півняка, А.В. Праховника, О.В. Садового, О.М. Сінчука, Б.С. Стогнія та ін.

Мета та завдання: Метою даного дослідження є виявлення можливих чинників, що погіршують стан енергоефективності в Україні. Для вирішення цього завдання виконана класифікація цих чинників та розглянуті чинники що їх підсилюють та послаблюють. На базі даного дослідження розроблена діаграма Ісікави, що дозволяє наглядно оцінити головні впливи на погіршення енергоефективності в Україні.

Матеріали і результати досліджень**1. Визначення чинників**

Оцінимо можливі чинники, що погіршують стан енергоефективності в Україні з точки зору забезпечення споживачів енергією. Енергетичний чинник України характеризується застарілими системами енергопостачання, що спричиняє втрати в мережі. Так, наприклад, за даними [2] загальні втрати води центральних систем водопостачання у 2019 році становили 34,9%. Відсоток ветхих та аварійних водопровідних мереж на 2019 рік становив 38,3%. У незадовільному стані також знаходяться і системи генерації електроенергії та тепла. За даними [3] втрати при транспортуванні та розподіленні електроенергії за 2019 рік становили 1413 тис. т.н.е. За даними [4], втрати в тепломережах складають 12%, а втрати тепла в будинках становлять 50%.

Серед пом'якшуючих чинників, можна виділити планові ремонти пов'язані з цілями сталого розвитку в Україні [4].

Оскільки наявні втрати у центральних системах енергозабезпечення, варто виділити чинник технологічного характеру. Він включає в себе зношеність значної частини енергогенеруючих потужностей та мереж постачання енергії [4]. Наприклад, у дев'яти з 15 енергоблоків атомних електростанцій вийшов термін експлуатації, та ще в трьох енергоблоків

він незабаром закінчиться [5]. На неналежному рівні може виявитись діагностика систем, а також невчасна діагностика, що спричиняє невчасні ремонти, а це тягне за собою ще більші енерговитрати.

Автор [6] виділяє такі технологічні (або виробничі) чинники: технологічні втрати (електропостачання на неприпустимо низькій частоті, втрати енергії при транспортуванні та розподілі, раптові відімкнення електричної енергії, висока зольність вугілля, що знижує ККД ТЕС); пріоритет інвестицій на підвищення продуктивності праці перед інвестиціями на підвищення енергоефективності, відсутність мотивації (оскільки неможливо отримати пряму вигоду від впровадження програм енергозбереження); комерційні витрати (недосконалість тарифів на енергоносії).

До чинників, що пом'якшують негативні впливи технологічного характеру можна віднести розвиток енергосервісних компаній (ЕСКО), що розробляють та фінансують проекти з енергоефективності, а у якості плати за свої послуги беруть зекономлений відсоток від впровадження енергоефективних технологій.

Енергоефективність неможлива без розгляду фінансової складової. Серед економічних чинників можна виділити тіньовий ВВП. За даними досліджень компанії Ernst&Young, майже чверть ВВП перебуває в тіні [7]. Можливо, також, виділити ВВП за паритетом купівельної спроможності, що пов'язаний із соціальним чинником. Оскільки впровадження енергоефективних технологій серед населення залежить від фінансів. Автор [6] виділяє такі економічні чинники як: відсутність капіталу; високі банкові ставки; великі витрати на нарощування капіталу внаслідок високих кредитних ставок (період окупності інвестицій для проектів з енергозбереження стає дуже тривалим); використання негрошових форм розрахунків (бартер, векселі); неплатежі за використану енергію. А також, до даних чинників можна додати високу енергоємність виробництва [4].

Чинниками, що пом'якшують негативні впливи економічного характеру є фінансова підтримка ЄС, а також програми з покращення енергоефективності, такі як: програма EU4Energy; програма USAID Ukraine; заходи GIZ Ukraine; допомога Міжнародного Енергетичного Агентства (MEA) та ін.

Розглядаючи енергоефективність з точки зору здоров'я нашої планети та майбутнього людства, виділимо екологічний чинник. До екологічних чинників, що характерні для України, слід віднести: недостатню кількість пунктів утилізації відходів та сміттєпереробних заводів; неналежна утилізація шкідливих відходів населенням (оскільки недостатньо пунктів утилізації); забруднення річок; незаконна вирубка лісів. За даними Державного агентства лісових ресурсів, у 2019 році обсяги незаконних рубок лісу становили 118 тисяч кубометрів [8].

Погіршенню екологічної ситуації також сприяють понаднормові викиди шкідливих речовин енергетичним сектором. Викиди забруднюючих речовин та парникових газів підприємствами ПЕК становлять близько 40% викидів усіх секторів економіки та 58% – від стаціонарних джерел забруднення. [4].

Говорячи про забруднення навколишнього середовища в Україні неможливо не згадати про неналежний стан доріг, відсутність оптимальної транспортної розв'язки, що спричиняє пробки на дорогах, а отже і додаткові дози викидів шкідливих речовин. За оцінкою компанії Tomtom, станом на січень 2021 року, Київ посів 7 місце за найбільшими пробками у світовому рейтингу, далі йде Одеса -11 місце, Харків – 13 та Дніпро – 22 місце [9].

До чинників, що пом'якшують ці впливи, можна віднести: розвиток та впровадження відновлюваних джерел енергії та екологічні заходи серед населення. Говорячи про останнє, можна навести такі приклади: підприємство «Екологічні інвестиції» декілька разів на рік проводить акції зі збору шкідливих відходів серед населення [10]. Також, деякі контейнери для переробки встановлені у магазинах. Наприклад, Епіцентр має контейнери для збору батарейок [11], у кожному магазині «Сільпо» встановлено контейнери для пластику, паперу,

скла, металу та інших відходів [12].

Оскільки енергоефективність напряму пов'язана із споживанням, врахуємо соціальний чинник. До цієї сфери можна віднести: низька інформованість населення [6]; рівень життя населення; понаднормове споживання ресурсів (фінансова неспроможність замінити обладнання та реконструювати домашні системи часто призводить до додаткових втрат електроенергії/води); недостатнє використання інтернет-технології в пошуках фірм-виробників, енергоконсалтигових та енергоаудиторських компаній, при створенні баз даних [6]; байдужість населення: «Проблема не чипас моїх інтересів», «Це не моя справа» [6].

До чинників що пом'якшують негативні впливи соціального чинника можна віднести: підвищення тарифів на споживання (в тому числі, підвищення тарифу при досягненні критичної відмітки споживання за даний період (частіше за місяць)); а також заходи інформування населення щодо енергоефективності. Наприклад, інвестиційна карта UA MAP [13], розроблена [ГО «Всеукраїнською Агенцією Інвестицій та Сталого Розвитку»](#), відображає розташування відновлюваних джерел енергії в Україні на різних етапах впровадження.

2. Побудова діаграми Ісікави

Згрупуємо вищезазначені чинники за допомогою діаграми Ісікави. Вона будується за наступним принципом. На середній осі відображена проблема, впливи на яку ми розглядаємо. Далі від головної осі будуються головні чинники, що впливають на проблему. По правій стороні від цих чинників будуються чинники, що цей чинник підсилюють, по ліву сторону – чинники, що його послаблюють. Діаграма Ісікави рівня енергоефективності в Україні зображена на рисунку 1.

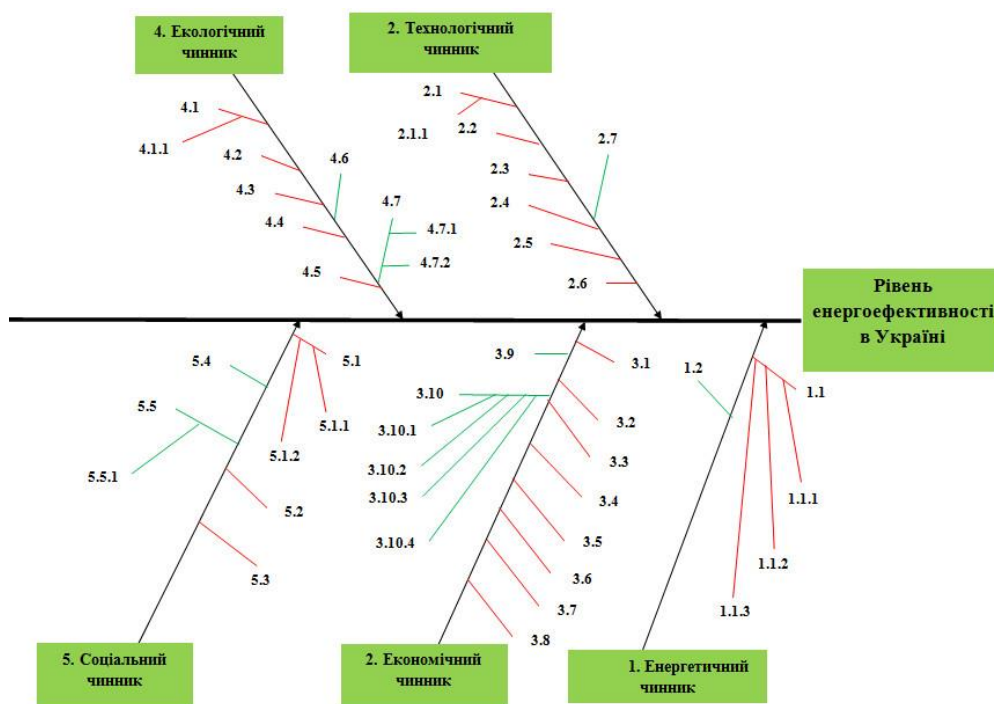


Рис. 1. Діаграма Ісікави рівня енергоефективності в Україні.

На рисунку: 1. Енергетичний чинник: 1.1 Застарілі системи енергопостачання (1.1.1 Втрати електроенергії при транспортуванні до споживача, 1.1.2 Втрати води при транспортуванні до споживача, 1.1.3 Втрати в тепломережах при транспортуванні до споживача); 1.2 Планові ремонти згідно «Цілей сталого розвитку»; 2. Технологічний чинник: 2.1 Відсутність вчасної діагностики систем (2.1.1 Невчасні ремонти); 2.2 Зношеність енергогенеруючих потужностей; 2.3 Технологічні втрати; 2.4 Пріоритет інвестицій на підвищення продуктивності праці перед

інвестиціями на підвищення енергоефективності; 2.5 Відсутність мотивації; 2.6 Комерційні витрати; 2.7 розвиток ЕСКО-компаній; 3. Економічний чинник: 3.1 Тіньовий ВВП; 3.2 ВВП за паритетом купівельної спроможності; 3.3. Відсутність капіталу; 3.4 Високі банкові ставки; 3.5 Великі витрати на нарощування капіталу; 3.6 Використання не грошових форм розрахунків (бартер, векселі); 3.7 Неплатежі за використану енергію; 3.8 Висока енергоємність виробництва; 3.9 Фінансування ЄС; 3.10 Програми з покращення енергоефективності (3.10.1 Програма EU4Energy; 3.10.2 Допомога Міжнародного Енергетичного Агентства (МЕА); 3.10.3 Програма USAID Ukraine; 3.10.4 GIZ-Ukraine); 4. Екологічний чинник: 4.1 Недостатня кількість пунктів утилізації відходів та сміттєпереробних заводів (4.1.1 Неналежна утилізація шкідливих відходів населенням); 4.2 Забруднення річок; 4.3 Незаконна вирубка лісів; 4.4 Понаднормові викиди шкідливих речовин енергетичним сектором; 4.5 Неналежний стан доріг та транспортних розв'язок; 4.6 Розвиток та впровадження відновлюваних джерел енергії; 4.7 Екологічні заходи серед населення (4.7.1 «Екологічні інвестиції»; 4.7.2 контейнери для переробки сміття у магазинах); 5. Соціальний чинник: 5.1 Низька інформованість населення (5.1.1 Рівень життя населення; 5.1.2 Понаднормове споживання ресурсів); 5.2 Недостатнє використання інтернет-технології в пошуках фірм-виробників, енергоконсалтингових фірм; 5.3 Байдужість населення; 5.4 Підвищення тарифів на споживання; 5.5 Заходи інформування населення.

3. Результати дослідження

При підрахуванні кількості негативних чинників та врахуванні пом'якшуючих чинників, що впливають на рівень енергоефективності України, встановлено, що найбільший вплив спричиняють економічний та технологічний чинники. Тому саме на них потрібно звернути увагу при розробленні Енергетичної стратегії.

Висновки

У даній роботі досліджено та згруповано чинники, що впливають на стан енергоефективності в Україні. Для наглядної картини та подальшої оцінки розроблено діаграму Ісікави рівня енергоефективності в Україні. В результаті досліджень виявлено, що найбільш негативний вплив на рівень енергоефективності України спричиняють економічний та технологічний чинники. Подальшим кроком досліджень може бути доповнення наведених чинників, оцінка кожного чинника за ваговим коефіцієнтом та побудова діаграми Парето для виявлення найголовніших впливів і розроблення Енергетичних стратегій підвищення рівня енергоефективності в Україні.

Список використаної літератури

1. Climate change 2007. The physical science basis / Working group I. Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – 2007. – 996 p.
2. Національна доповідь «Про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні за 2019 рік» / Міністерство розвитку громад та територій України. – Київ, 2020. – 353 с.
3. Паливно-енергетичні ресурси України: Статистичний збірник / Державна служба статистики України. – Київ, 2020. – 194 с.
4. Цілі сталого розвитку: Україна. Національна доповідь / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. – 2017. – 174 с.
5. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей / УКРЕНЕРГО. – 2018. – 126 стр.
6. Праховник А.В., Іншеков Є. М. Перешкоди та шляхи ефективного енерговикористання [Електронний ресурс] // – Режим доступу: http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/35079/1/33_165-177.pdf
7. Дослідження тіньової економіки в Україні: майже чверть ВВП – або 846 млрд гривень перебуває в тіні [Електронний ресурс] // – Режим доступу:

<https://bank.gov.ua/ua/news/all/doslidjennya-tinovoyi-ekonomiki-v-ukrayini--mayje-chvert-vvp--abo-846-mlrd-griven--perebuvaye-v-tini>

8. Вирубка лісів в Україні: як з нею обіцяють боротися політики [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2020/06/24/statija/polityka/vyrubka-lisiv-ukrayini-yak-neyu-obicyayut-borotysya-polityku#:~:text=Незаконна%20рубка%20лісу%20в%20Україні,Цьогоріч%20не%20така%20сумна%20тенденція>

9. Украинские города в топе по количеству пробок на дорогах: Киев на 7-м месте, а Одесса – на 11-м [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://mc.today/ukrainskie-goroda-v-tope-po-kolichestvu-probok-na-dorogah-kyiv-na-7-m-meste-a-odessa-na-11-m/>

10. Соціальні проекти компанії «Екологічні Інвестиції» [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://ekoinvest.com.ua/uk/sotsialni-proekty>

11. В Україні з'явилися перші контейнери для здачі батарейок на гарантовану переробку в Європі компанії «Екологічні Інвестиції» [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://epicentrk.ua/news/v-ukraini-z-yavilisya-pershi-konteyneri-dlya-zdachi-batareyok-na-garantovanu-pererobku-v-vropi.html>

12. Экологическая ответственность. Куда сдавать мусор на переработку в Киеве [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://nv.ua/kyiv/musor-kuda-sdat-na-pererabotku-v-kyieve-silpo-kyivkommunservis-ukrajina-bez-smittya-50107079.html>

13. UA MAP: Investment energy efficiency [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://uamap.org.ua>

ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Розглядається задача прогнозування продуктивності сонячних електростанцій (СЕС). Прогноз генерації енергії відіграє стимулюючу роль у виробництві відновлюваної енергії. Основна проблема сонячної енергії – це її неконтрольовані коливання, оскільки вона тісно пов'язана з проблемою прогнозування погодних змінних. Виконано аналіз сучасних методів, які використовуються для прогнозу сонячного випромінювання, що дозволяє виявити залежність між погодними даними і точно передбачити генерацію СЕС. Запропоновано класифікацію методів і моделей прогнозування генерації СЕС. Проведено порівняльний аналіз, визначено переваги і недоліки моделей.

Ключові слова: методи і моделі прогнозування, генерація, сонячна енергія.

Abstract. The problem of forecasting of the productivity of solar power plants is considered. The forecast of energy generation plays a stimulating role in the production of renewable energy. The main problem of solar energy is its uncontrolled fluctuations, as it is closely related to the problem of weather variables forecasting. An analysis of modern methods used to predict solar radiation, which allows identifying the relationship between weather data and predict the generation of solar power plants accurately. The classification of methods and models of solar power plants generation forecasting is offered. The comparative analysis is carried out, the advantages and disadvantages of models are defined.

Keywords. forecasting methods and models, generation, solar energy.

Вступ. Сонячна енергія відіграє важливу роль в розподіленій енергетичній системі. Однак для реалізації фотоелектричної системи істотним обмеженням є невизначеність потужності сонця.

Ясна сонячна погода призводить до зростання генерації, а дощові дні і похмура погода з щільною хмарністю викликають падіння обсягів вироблення. Як переривчасте джерело енергії генерація від фотоелектричних модулів призводить до значної нестабільності за рахунок непостійного вироблення, що створює проблеми для стабільності системи енергопостачання, балансу електроенергії і т. д.

Оскільки вихідна потужність фотоелектричних перетворювачів безпосередньо пов'язана із сонячним випромінюванням, а існуючі можливості не дозволяють управляти погодними умовами, актуальним питанням є необхідність прогнозування обсягів електроенергії, яку генерує СЕС.

Прогноз обсягів вироблення електроенергії СЕС – це в першу чергу прогнозування кількості сонячного випромінювання, яка надходить до сонячних панелей. Вона залежить від безлічі факторів, серед яких кліматичні і метеорологічні умови.

Прогнозування сонячної енергії відіграє ключову роль в установці, експлуатації та обслуговуванні СЕС, а також в точному розподілі енергії і плануванні. Щоб ефективно досягти високого проникнення комерційної сонячної енергії в мережу, необхідно розробити корисні методології прогнозування.

Вибір методу прогнозу також залежить від того, які саме дані необхідно отримати в результаті. Серед багатьох моделей прогнозування часових рядів найбільшого поширення отримали, зокрема регресійні і нейромережеві моделі [1-4]. Кожна з них має свої переваги і недоліки, а також певні обмеження для певного класу практичних задач.

Мета та завдання. Проведення огляду основних методів і моделей прогнозування, порівняння та класифікація з метою виявлення перспективних методів і моделей та

рекомендацій щодо їх застосування для прогнозування генерації СЕС.

Матеріал і результати досліджень. Підходи до прогнозування в загальних рисах можна охарактеризувати як фізичні або статистичні. Фізичний підхід використовує моделі поведінки сонячної та фотоелектричної енергії, а статистичний підхід спирається насамперед на накопичені дані для визначення тенденцій [5]. На основі цих підходів усі існуючі на сьогодні методи прогнозування генерації СЕС можна поділити на чотири основні групи, показані на рис. 1 [6].

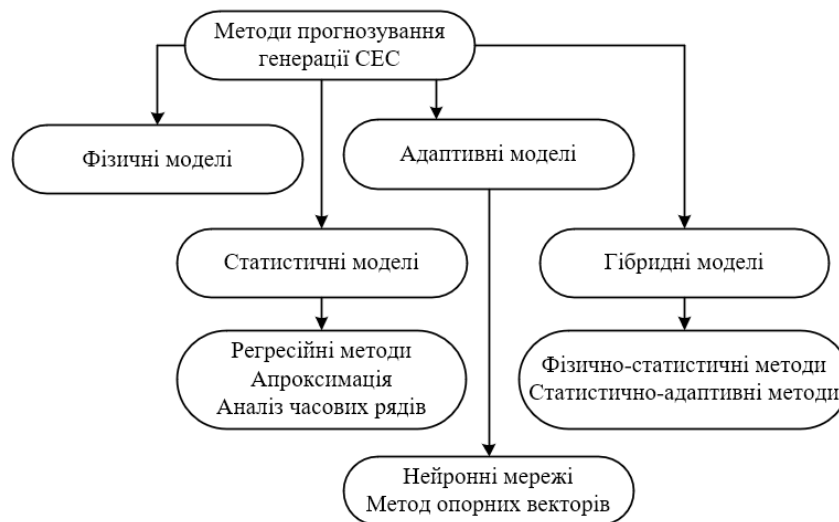


Рисунок 1 – Класифікація методів прогнозування генерації електроенергії соняної електростанції

Фізичні моделі описують фізичне відношення між погодними умовами і сонячним випромінюванням, отриманими з використанням чисельного прогнозу погоди, і генерації електричної енергії.

Статистичні моделі – взаємозв’язок між сонячним випромінюванням, отриманого з використанням чисельного прогнозу погоди, і генерацією електричної енергії шляхом статистичного аналізу часових рядів без урахування фізичних факторів.

Адаптивні моделі використовують системи штучного інтелекту з метою визначення зв’язку між прогнозованими погодними параметрами і вихідною потужністю СЕС.

Гібридні моделі в більшості випадків є комбінацією фізичних і статистичних моделей.

Чисельне прогнозування погоди (NWP) базується на фізиці атмосфери. NWP використовує поточні спостереження за погодою та обробляє ці дані для прогнозування майбутнього стану погоди. Завдяки процесу асиміляції, поточні погодні умови обробляються, і таким чином отримуються вихідні значення температури, випромінювання, вітру та сотень метеорологічних параметрів. NWP підходить для прогнозування енергії від одного дня до кількох днів наперед. Таким чином, це корисний інструмент для різних прикладних застосувань, таких як планування роботи СЕС.

Моделі NWP можна класифікувати на глобальні та регіональні моделі. У глобальній моделі моделювання поведінки атмосфери здійснюється в глобальному (світовому) масштабі. Регіональна (мезомасштабна) модель імітує поведінку атмосфери для такої області, як континент або країна [7].

В якості вхідних змінних для **фізичних моделей** служать: чисельне прогнозування погоди, місцеві метеорологічні вимірювання, дані рельєфу і тип земної поверхні і т.д. Поміж цього, є можливість використання супутникових систем для відстеження напрямку та швидкості руху хмар, які надають можливість прогнозувати сонячне випромінювання в

режимі реального часу.

Практичне використання різних фізичних моделей в прогнозуванні генерації енергії наведено в [8, 9].

Статистична модель використовує попередні дані для прогнозування наступних значень.

Більшість статистичних методів прогнозування базується на використанні інформації, представленої у вигляді часових рядів, тобто рядів динаміки, які впорядковуються за часовою ознакою. Головна ідея аналізу часових рядів полягає у побудові тренду на основі минулих даних і наступному екстраполюванні цієї лінії. При цьому використовуються складні математичні процедури для отримання точного значення трендової лінії, визначення будь-яких сезонних або циклічних коливань [10].

Одним із широко використовуваних статистичних методів є **регресійні моделі**. Такі моделі поєднують у собі кілька незалежних функцій, які утворюють лінійну функцію, що допомагає інтерпретувати залежності між різними факторами, в тому числі й метеорологічних [11].

Рівняння лінійної регресії має наступний вигляд:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon, \quad (1)$$

де y – цільова змінна, $X_1, \dots, X_i$ – характеристики, $\beta_1, \dots, \beta_i$ – коефіцієнти, ε – параметр моделі.

Моделі часових рядів базуються на попередніх даних. Часові ряди визначаються як послідовність спостережень, вимірюваних у часі, таких як погодинні, щоденні чи щотижневі. Це стохастичний процес, оскільки спостереження можуть бути випадковими. Методи часових рядів мають спільну характеристику, оскільки вони фокусуються лише на закономірностях даних. Аналіз часових рядів допомагає вибрати відповідну модель для прогнозування.

Як правило, часові ряди описуються наступним чином [12]:

$$X(t) = T(t) + S(t) + R(t), \quad t = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots, \quad (2)$$

де $T(t)$ – складова тенденції, $S(t)$ – сезонна складова, а $R(t)$ – випадкова складова.

Тенденція – це постійний зразок збільшення або зменшення протягом певного періоду. Сезонність – це повторювана закономірність. Це коливання, яке відбувається протягом певного періоду часу, і остання складова – це шум, який має випадкові коливання. Він представляє випадкову помилку, яка впливає на часові ряди, спричинену зовнішнім джерелом.

Методи, засновані на теорії часових рядів, отримали широке розповсюдження при побудові короткострокових прогнозів генерації енергії, оскільки підприємства мають велику кількість ретроспективних даних про генерацію СЕС, а методи в даній групі націлені на обробку великих масивів даних.

Адаптивні моделі мають процес «навчання», заснований на ретроспективному аналізі даних. Дані моделі на відміну від статистичних моделей можуть неявно описувати складні нелінійні взаємозв'язки між погодними умовами і генерацією СЕС. Основним фактором, який впливає на точність прогнозу, є вибірка і структура даних, які використовуються для побудови моделі.

Методи з використанням **штучних нейронних мереж (ШНМ)** визначають залежності між вхідним і вихідним набором даних. Вони добре справляються з нелінійними залежностями між генерацією енергії і зовнішніми факторами.

Для отримання прогнозу потрібне «навчання» ШНМ. В процесі навчання підбираються значення зміщень і вагів для кожного нейрона так, щоб вихідний сигнал був як можна ближчим до фактичного значення.

Метод опорних векторів є одним із популярних методологій навчання по прецедентах. Метод відноситься до сімейства лінійних класифікаторів і застосовується в задачах регресійного аналізу і класифікації. Основна ідея – переведення векторів в простір великої

розмірності і пошук роздільної гіперплощини з максимальним проміжком в ній [13].

Застосування адаптивних моделей для прогнозування генерації СЕС наведено в роботах [14, 15].

Гібридні методи об'єднують різні поєднання моделей з інших груп. Так, наприклад, часто зустрічаються поєднання методів фізичних, статистичних і адаптивних методів.

Застосування фізичних моделей не завжди виправдане через складність точного обліку факторів, які потребують введення статистичного підходу для їх визначення. Для оптимальної точності гібридних моделей виконується адаптація статистичної моделі до мінливих умов, які описуються фізичними моделями.

Більшість комбінованих підходів прогнозування генерації СЕС, як правило, можуть використовуватись або для розрахунку сонячних, або хмарних днів.

Ще одним прикладом гібридних моделей можуть слугувати методи, які поєднують різні методи із статистичних і адаптивних моделей. Такі гібридні методи мають перспективи, оскільки дозволяють враховувати специфіку фізичного процесу і використовувати можливості адаптивних методів.

Переваги і недоліки основних моделей систематизовано в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння моделей прогнозування

Моделі	Переваги	Недоліки
Статистичні моделі		
Регресійні	Простота та гнучкість моделювання	Трудомісткість знаходження коефіцієнтів залежності; неможливість моделювання нелінійних процесів
Часових рядів	Обробка і знаходження закономірностей великих обсягів даних	Низька точність
Адаптивні моделі		
Нейромережеві	Нелінійність, масштабованість, висока адаптивність	Відсутність прозорості, складність вибору архітектури, жорсткі вимоги до навчальної вибірки, складність вибору алгоритму навчання
Опорних векторів	Отримання правильного рішення задач при неповних і спотворених даних, облік великої кількості факторів	Необхідність навчання, підвищені вимоги до програмно-апаратних ресурсів

Висновки. Проведена основна класифікація моделей прогнозування генерації СЕС на основі останніх робіт і досліджень. Крім того, розглянуті різні способи застосування методів прогнозування.

На основі проведеного огляду, моделі розділені на групи, серед яких перспективними є гібридні методи. Остаточний вибір конкретної моделі потребує подальшого дослідження і порівняння точності прогнозу в конкретних задачах.

Література.

1. Wang, G.; Su, Y.; Shu, L. One-day-ahead daily power forecasting of photovoltaic systems based on partial functional linear regression models. *Renew. Energy* 2016, 96, 469–478.
2. Nobre, A.M.; Severiano, C.A., Jr.; Karthik, S.; Kubis, M.; Zhao, L.; Martins, F.R.; Reindl, T. PV power conversion and short-term forecasting in a tropical, densely-built environment in Singapore. *Renew. Energy* 2016, 94, 496–509.

3. Nespoli, A.; Ogliari, E.; Dolara, A.; Grimaccia, F.; Leva, S.; Mussetta, M. Validation of ANN training approaches for day-ahead photovoltaic forecasts. In Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Rio de Janeiro, Brazil, 8–13 June 2018.
4. Dolara, A.; Grimaccia, F.; Leva, S.; Mussetta, M.; Ogliari, E. A physical hybrid artificial neural network for short term forecasting of PV plant power output. *Energies* 2015, 8, 1138–1153.
5. Кузнецов М. П. Возможности короткотерминового прогнозування сонячної енергії / М. П. Кузнецов, О. В. Лисенко. // Відновлювана енергетика. – 2017. – №1. – С. 25–32.
6. Ерошенко С. А., Хальясмаа А. И., Снегирев Д. А. Подходы к прогнозированию плотности потока энергии солнечного излучения для СЭС // Энергоэксперт. 2017. № 5. С. 28–31.
7. J. Kleissl, Solar Energy Forecasting and Resource Assessment. Academic Press, 2013.
8. The Accuracy of Solar Irradiance Calculations Used in Mesoscale Numerical Weather Prediction / R.J. Zamora, E.G. Dutton, M. Trainer, S.A. McKeen, J.M. Wilczak, Y.T. Hou // Monthly Weather Review. 2005. Vol. 133. No. 4. P. 783–792.
9. Short-term solar power forecasting considering cloud coverage and ambient temperature variation effects / F.H. Gandoman, S.A. Aleem, N. Omar, A. Ahmadi, F.Q. Alenezi // Renewable Energy. 2018. Vol. 123. P. 793–805.
10. Моделі і методи прогнозування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: info-library.com/content/2122_Mrtodu_i_modeli_prognozyvannya.htm.
11. Надтока И. И. Прогнозирование электропотребления с учетом температуры воздуха и естественной освещенности для региональных диспетчерских управлений / И. И. Надтока, А. В. Демура, С. О. Губский. // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки. – 2012. – №1. – С. 156–161.
12. G. Shen, “Load Forecasting Using Time Series Models.”.
13. Вьюгин В. В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М.: МЦМНО, 2013. 387 с.
14. C. Chen, “Online 24-h solar power forecasting based on weather type classification using artificial neural network” / C. Chen, S Duan, T. Cai, B. Liu // Solar Energy. 2011. Vol. 85. No. 11. P. 2856–2870.
15. Short-term output power forecasting of photovoltaic systems based on the deep belief net / L.L. Li, P. Cheng, H.C. Lin, H.Dong // Advances in Mechanical Engineering. 2017. Vol. 9. No. 9. doi: 10.1177/1687814017715983.

**СЕКЦІЯ 4.
МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

УДК 62-242.2

Марчук Л.Р., аспірант
ЕМОЕВ, ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського
Сліденко В.М.
науковий керівник, д.т.н., доцент
ЕМОЕВ, ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ УМОВ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПНЕВМОАКУМУЛЯТОРА УДАРНОГО ПРИСТРОЮ

Анотація. У статті розглянуто енергетичні параметри пневмоакумулятора ударного пристрою в залежності від термодинамічних умов. Визначено енергетичні параметри для політропічних процесів (ізохорний, ізобарний, ізотермічний та адіабатичний). Одержані залежності енергії удару, для кожного з цих процесів, від тиску та від об'єму.

Annotation. The energy parameters of the pneumatic accumulator of the percussion device depending on thermodynamic conditions are considered in the articles. Energy parameters for polytropic processes (isochoric, insulating, isothermal, adiabatic) are determined. The dependence of the energy shock for each of these processes on the pressure to the object is provided.

Ключові слова: ґрунт, енергія удару, енергія зарядки, політропічні процеси, ударний пристрій.

Вступ. Застосування ударно-вібраційних зубців з пневмоакумуляторами енергії на ковшових машинах пов'язано з різноманітними умовами експлуатації, в першу чергу, через змінні умови відведення тепла при заглибленні ковша в ґрунт [1]. За таких умов в одному циклі руйнування ґрунту можлива реалізація різних термодинамічних станів процесу стиснення – розширення газу в пневмоакумуляторі. Такий стан відповідає узагальнюючому політропному процесу, до якого відносять: ізохорний (відбувається при постійному об'ємі), ізобарний (незмінний тиск), ізотермічний (стала температура) та адіабатичний (відсутній теплообмін з навколишнім середовищем) [2].

Мета та завдання. Аналіз впливу термодинамічних умов на енергетичні параметри ударного пристрою направленої дії, призначеного для руйнування твердих та мерзлих ґрунтів, а також дослідження енергії удару, яка відповідає енергії зарядки пневмоакумулятора, при політропічних процесах.

Матеріали і результати досліджень. Методи дослідження базуються: на аналізі, узагальненнях і систематизації інформації в області руйнування гірських порід; на математичному моделюванні за допомогою прикладних програм.

В загальному випадку, для політропічного процесу стиснення газу, енергія зарядки пневмоакумулятора в процесі зведення бойка ударного пристрою визначається залежністю [3]:

$$L(x) = \frac{p_0 \cdot V_0}{n-1} \left[e(x)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right], \quad (1)$$

пневмоакумулятора; p_0 - тиск
де x - величина зведення бойка, V_0 – початковий об'єм камери
початкової зарядки пневмоакумулятора, $e(x)$ – ступінь стиснення газу в пневмоакумуляторі,
 n – показник політропи.

Показники $e(x)$ та n змінюються в залежності від виду політропічного процесу.

Показник політропи може бути розрахований залежно від значень теплоємностей газу:

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v}, \quad (2)$$

де C — теплоємність газу в даному процесі, C_p і C_v — теплоємність цього ж газу, відповідно, при постійному тиску і об'ємі [2].

Показник ступеню стиснення газу визначається співвідношенням $e(x) = p(x)/p_0$ де $p(x)$ – поточне значення тиску при зведенні бойка.

Ізохорний процес (закон Шарля).

1. Для ізохорного процесу ($V = \text{const}$) показник політропії дорівнює незкінченності $n_v = \infty$, оскільки $C_v = \text{const}$ і, відповідно, $C = C_v$. Тоді енергія удару, яка відповідає енергії зарядки пневмоакумулятора, незалежить від тиску і буде дорівнювати нулю.

Ізобарний процес (закон Гей-Люссака).

2. Для ізобарного процесу ($p = \text{const}$) показник політропії буде дорівнювати нулю $n_p = 0$, оскільки $C_p = \text{const}$ відповідно $C = C_p$. Показник ступеню стиснення дорівнюватиме $e_p(x) = 1$, оскільки $p = p_0$. Тоді енергія зарядки визначається [2]:

$$L_p(x) = p_0 \cdot V_0 \cdot \ln \frac{p_0}{p(x)}. \quad (3)$$

Ізотермічний процес (закон Бойля-Маріотта).

3. Для ізотермічного процесу (температура $T = \text{const}$) показник політропи дорівнює одиниці $n_t = 1$ [2], а енергія зарядки визначається залежністю:

$$L_t(x) = p_0 \cdot V_0 \cdot \ln \frac{p_0}{p(x)}. \quad (5)$$

Адіабатичний процес.

4. Для адіабатичного процесу показник політропи n відповідає показнику адіабати γ , що розраховується як співвідношення теплоємностей

$$n = \gamma = \frac{C_p}{C_v}, \quad (6)$$

Показник ступеню стиснення визначається за співвідношенням тисків, а енергія обчислюється за загальною формулою (1).

Розрахунки

Вхідні дані: об'єм $V_0 = 6.74 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $V_1 = 5.49 \cdot 10^{-4} \dots 5.54 \cdot 10^{-4} \dots 6.74 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; тиск $P_0 = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $P_1 = 5 \cdot 10^5 \dots 5.05 \cdot 10^5 \dots 6.25 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $n = 1.3$ (для адіабатичного процесу). Позначення процесів: L_v – ізохорний, L_p – ізобарний, L_t – ізотермічний, L_{pv} – адіабатичний.

1. Значення тиску зарядки пневмоакумулятора задано в зазначеному діапазоні. В результаті розрахунків в Mathcad отримано графік залежності енергії зарядки від тиску для ізохорного L_v , ізотермічного L_t та адіабатичного L_{pv} процесів (рис.1).

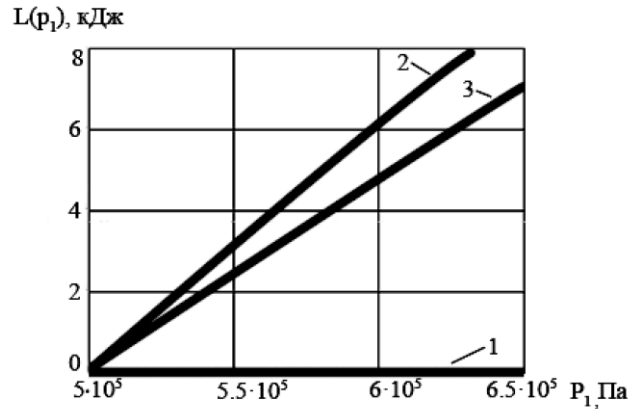


Рисунок 1 – Графіки залежності енергії зарядки від тиску

1- для ізохорного процесу $L_v(p_1)$, 2 - для ізотермічного процесу $L_t(p_1)$, 3 - для адіабатичного процесу $L_{pv}(p_1)$

Виходячи з графіків можна зробити висновок, що при ізохорному процесі енергія буде дорівнювати нулю незалежно від значення тиску; при ізотермічному - значення енергії зростає при збільшенні тиску; при адіабатичному - при збільшенні значення тиску енергія зростає менш стрімко ніж при ізотермічному процесі.

2. Значення об'єму камери пневмоакумулятора задано в зазначеному діапазоні. В результаті отримано графіки залежності енергії від об'єму камери пневмоакумулятора для ізохорного L_v та ізобарного L_p процесів (рис.2).

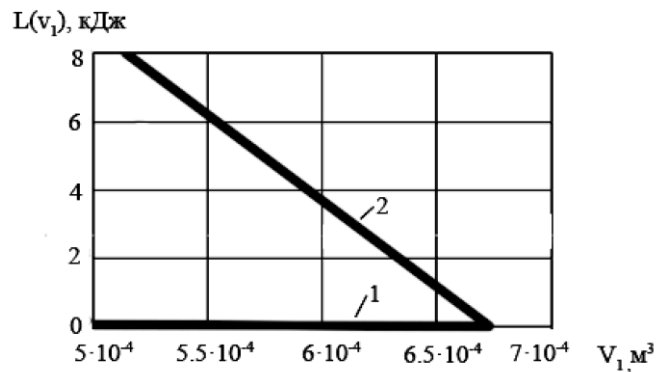


Рисунок 2 – Графіки залежності енергії від об'єму камери пневмоакумулятора

1 - для ізохорного процесу $L_v(V_1)$, 2 - для ізобарного процесу $L_p(V_1)$

Виходячи з графіків можна зробити висновок, що при ізохорному процесі енергія буде дорівнювати нулю незалежно від значення об'єму; при ізобарному значення енергії спадає при збільшенні об'єму.

Висновки.

1. Вплив термодинамічних умов на енергетичні параметри пневмоакумулятора ударного пристрою є комплексним процесом, який потребує аналізу різних параметрів для кожного процесу (ізохорний, ізобарний, ізотермічний та адіабатичний), який носить випадковий характер для різних технологічних умов і, відповідно, необхідний імовірнісний підхід для розрахунку енергії та визначення залежностей.

2. При ізохорному процесі, енергія дорівнює нулю незалежно від значень тиску. Даний процес, як приклад, відбувається в автоклавах та балонах. Процес можна описати, як нагрівання чи охолодження газу в закритій посудині. Робота не виконується, оскільки вся відведена теплота йде на зміну внутрішньої енергії, а значить на ріст температури. Якщо ж теплота від системи відводиться, то внутрішня енергія і температура зменшуються.

3. При ізобарному процесі, при збільшенні об'єму значення енергії зменшується. Це відбувається тому, що підведена до газу енергія витрачається на нагрівання, транспортування газу і компенсацію ентропійних втрат. Даний процес зустрічається значно частіше, ніж ізохорний і відіграє більш важливу роль. Процес відбувається, як приклад, в котлах, конденсаторах, у більшості теплообмінних апаратів.

4. При ізотермічному процесі, при збільшенні тиску значення енергії зростає. Це можна пояснити незмінною внутрішньою енергією. Для отримання постійної температури при розширенні газу необхідно підвести теплоту, а при стисненні відвести, оскільки при розширенні газ виконує роботу, а при стисненні - робота виконується над газом. В ізотермічному процесі ідеальних газів вся підведена теплота йде тільки на виконання роботи. Як приклад, даний процес відбувається з газом, який знаходиться в циліндрі з рухомим поршнем, коли об'єм газу збільшується рівно настільки, щоб його температура залишалася незмінною.

5. При адіабатичному процесі, при збільшенні значення тиску енергія зростає менш стрімко ніж при ізотермічному процесі. Оскільки теплота до газу не підводиться, то робота здійснюється за рахунок зменшення внутрішньої енергії, тобто, температура падає, що призводить до більш швидкого падіння тиску ніж при ізотермічному процесі. Таким чином, адіабатне розширення газу відбувається із збільшенням об'єму і зменшенням тиску та температури. Єдиним джерелом здійснення роботи у цьому процесі є внутрішня енергія робочого тіла. Прикладом, де відбувається цей процес, є стискання чи розширення газу в циліндрі, який або покритий теплоізоляційною ізоляцією або знаходиться в ізолюваному середовищі. Це характерно для ударного інструменту, що закріплений на ковші який заглиблюється в ґрунт. За даних умов, якщо процес відбувається швидко, то теплообмін між робочим тілом та навколишнім середовищем незначний і такий процес з достатнім ступенем ймовірності можна вважати адіабатичним.

Список літератури

1. Сліденко В.М., Лесик В.С., Марчук Л.Р. Енергетичні параметри ударного пристрою направленої дії/ Проблеми вдосконалення машин та обладнання електромеханічних та мехатронних систем: Збірник матеріалів Першої міжнародної науково-методичної конференції –К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. –38с

2. Венгер Є.Ф. Основи статистичної фізики і термодинаміки. Навч. посіб./Є.Ф. Венгер, В.М. Грибань, О.В. Мельничук.- К.: Вища шк. 2004.- 255 с.

3. Сліденко В.М. Шевчук С.П. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом: монографія. Київ: НТУУ "КПІ", 2010. 192с.

УДК 622.276

Лотонова О.В., аспірантка каф. ЕМОЕВ
Лістовщик Л.К., к.т.н., доц. каф. ЕМОЕВ

ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ УТВОРЕННЯ ПАРАФІНОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ НА СТІНКАХ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Відкладення і осадження парафіну в трубопроводах є основною проблемою при видобутку, транспортуванні, зберіганні і переробці сирової нафти. У даній статті проаналізовані характеристики парафінових відкладень, фактори та причини їх появи, механізм утворення, а також вплив температури на осадження парафіну на стінках насосно-компресорних труб (НКТ) та нафто-газовому обладнанні.

Ключові слова: Парафін, парафініста сира нафта, НКТ, температура плавлення парафіну, температура утворення парафіну, асфальтени, смоли.

Deposition and deposition of paraffin in pipelines is a major problem in the production, transportation, storage and refining of crude oil. This article analyzes the characteristics of paraffin deposits, factors and causes of their occurrence, the mechanism of formation, as well as the effect of temperature on the deposition of paraffin on the walls of tubes and oil and gas equipment.

Key words: Paraffin, crude oil paraffin, tubing, paraffin melting point, paraffin formation temperature, asphaltenes, resins.

Вступ. Нафта – основне джерело енергії в усьому світі. Вона представляє собою суміш тисячі індивідуальних речовин, більшою частиною яких є геотермальні органічні сполуки, переважно сірністі, азотні та кислородні, а також різного роду вуглеводні, що розділяють на асфальтени, смоли й парафіни. Властивості сирової нафти змінюються в залежності від її температури, а саме чим нижча температура нафти тим ймовірніше осідання кристалів парафінів на стінках нафтових труб. Як наслідок спостерігається утворення парафінової пробки на внутрішніх стінках НКТ що викликає труднощі при видобутку нафти та проблем з підтримкою пропускної здатності трубопроводів для її транспортування. Сира нафта містить чисельну кількість парафінів в діапазоні 3-44%, що кристалізуються та являються причиною підвищення в'язкості нафти і більш високих значень температури їх застигання. Підвищення вище наведених показників призводять до падіння тиску, гелеутворення, зниження текучості і більш високої вартості перекачування нафти [1, 2].

Основною метою є зрозуміти механізм формування, фактори та причини що сприяють виникненню і стабілізації кристалів парафіну на стінках НКТ задля мінімізації їх утворення та покращенню економічного та екологічного розвитку нафто-газової промисловості.

Парафін. Основні характеристики. Нафтовий парафін (рис.1) – це воскоподібна суміш твердих вуглеводнів двох груп, що відрізняються один від одного своїми властивостями [3]:

- парафінів $C_{17}H_{36} - C_{35}H_{72}$;
- церезинів $C_{36}H_{74} - C_{55}H_{112}$.



Рисунок 1 – Нафтовий парафін

Парафін – це суміш твердих вуглеводнів, які є гомологами метану і характеризуються пластинчатою або стрічковою структурою кристалів. Температура плавлення парафінів знаходиться в межах 27-71°C [4].

Церезини (рис.2) мають дрібнокристалічну будову, температура плавлення знаходиться в межах 65-88 °С, у порівнянні з парафінами більшою щільністю, в'язкістю і більш високою реакційною здатністю. Церезини є ізопарафіни з хаотично розташованими бічними ланцюгами, кожний з яких містить в середньому три атоми вуглецю [4].



Рисунок 2 – Церезин

Колір нафтових парафінів залежить від їх ступеня очистки [4]:

- білий – очищені або високоочищені парафіни;
- світло-жовтий або світло-коричневий – неочищені парафіни.

В залежності від фракційного складу, температури плавлення і структури парафіни розділяють [4]:

- рідкі – температура плавлення $t_{пл} \leq 27^{\circ}\text{C}$;
- тверді – температура плавлення $t_{пл} = 28 - 70^{\circ}\text{C}$;
- мікрокристалічні (церезини) – температура плавлення $t_{пл} > 60 - 80^{\circ}\text{C}$.

Вміст парафінів у нафті іноді досягає 13-14% і більше. За вмістом парафінів нафту

розділяють[4]:

- малопарафіністу з вмістом парафіну менше 1,5 % по масі;
- парафіністу – 1,5-6,0%;
- високопарафіністу – більш ніж 6%.

Використання нафтових парафінів достатньо поширене в різних галузях.

Так, наприклад, парафіни застосовуються в електротехнічній, харчовій (парафіни глибокої очистки; $t_{пл} = 50-54\text{ }^{\circ}\text{C}$), парфумерній галузях та ін., а цирезини використовуються в якості вазеліну, згущувача у виробництві пластичних мастил, ізоляційних матеріалів в електро- і радіотехніці і воскових сумішей [4].

Механізм утворення парафінових відкладень. При експлуатації нафтових свердловин відкладення парафіну в насосно-компресорних трубах (НКТ) зменшують їх корисний переріз і, як наслідок, значно зменшують видобуток нафти і збільшують витрати електроенергії при її відкачуванні (рис.3).



Рисунок 3 – Парафінові відкладення в насосно-компресорних трубах

З сторінок науково-технічної літератури Іванова Л.В., Бузова Е.А, [5] під механізмом «парафінізації» розуміється сукупність процесів, що призводять до накопичення твердої органічної фази на поверхні обладнання. При цьому, утворення відкладень може відбуватися або за рахунок зчеплення з поверхнею вже готових, що утворилися в потоці частинок твердої фази, або за рахунок виникнення та росту кристалів безпосередньо на поверхні обладнання. Ймовірність закріплення частинок парафіну на поверхні обладнання в умовах діючої свердловини практично незначна, адже парафінова частка може закріпитися на стінці обладнання лише за умови, що спочатку вона застрягне на ній чисто механічно.

При транспортуванні нафти по трубопроводу протікають наступні процеси.

Нафта надходить в трубопровід і контактує з охолодженою металевою поверхнею. При цьому виникає градієнт температур, спрямований перпендикулярно охолодженій поверхні до центру потоку. За рахунок турбулізації потоку температура нафти в об'ємі знижується. При цьому паралельно протікають два процеси: виділення кристалів парафіну на холодній поверхні; кристалізація парафіну в об'ємі нафти.

Відомо, що прямого зв'язку між вмістом парафіну й інтенсивністю його відкладення немає. Відсутність такого зв'язку обумовлено, перш за все, істотною відмінністю складу твердих вуглеводнів, а саме, відмінністю у співвідношеннях ароматичних, нафтових і метанових з'єднань у високомолекулярній частині вуглеводнів, які при стандартних методах дослідження нафт не визначається. Відмінності в складі твердих вуглеводнів в основному і

визначають особливості формування парафінових відкладень. Чим вищий вміст вуглеводнів з розгалуженими структурами ароматичних, нафтових і ізоалканових, тим менш міцними виявляються парафінові відкладення, оскільки такого типу з'єднання мають підвищену здатність утримувати кристалічними утвореннями рідку масу.

Вуглеводні метанового ряду, а саме високомолекулярні парафіни, навпаки, легко виділяються з розчину з утворенням щільних структур. Зрозуміло, що пухкі і напіврідкі кристалічні відкладення порівняно легко можуть бути видалені природним потоком рідини в процесі експлуатації свердловин, не викликаючи жодних ускладнень, і, навпаки, щільні і міцні відкладення, сформовані в основному з н-алканів, створюють серйозні проблеми щодо їх видалення, а на ліквідацію витрачається багато коштів і праці.

Також, парафіни можуть викликаати зупинку роботи нафтової свердловини через закупорювання каналів нафтового пласта.

Осадження парафіну починається, коли осідають його найменші кристали. Оскільки сира нафта тече через канали або пори породи, це дозволяє маленьким кристалом парафіну бути близько до їх стінок. З достатнім змочуванням стінки пори, дрібні кристали осідають і накопичуються, що призводить до зменшення розмірів пори і пошкодження нафтового пласта [6, 7].

Також, кристалізація парафіну може викликати пошкодження пласта за рахунок збільшення в'язкості сирої нафти, яка спричинена тим, що кристали парафіну мають тенденцію утворювати гелі, а гелеутворення підсилює явище когезії, тобто зчеплення одна до одної частинок, що становлять одну фазу, яке приводить до їх об'єднання у єдине ціле [8, 9].

Причини та наслідки утворення парафінових відкладень. Основними причинами відкладення парафіну є зміни в навколишньому середовищі, а саме зміни температури, тиску, що впливають на операції, які використовуються для покращення нафтовіддачі [10, 11]. Під час видобутку у нафті може відбуватися падіння тиску, яке може призводити до випарювання легких компонентів нафти. Таким чином, локальна температура в пластових породах буде знижуватися поблизу стовбура свердловини, що спричинить випадання кристалів парафінів.

У науковій публікації «Occurrence and Characterization of Paraffin Wax. Formed in Developing Wells and Pipelines» [12] описано проблеми, щодо випадання парафіну, на Північному схилі Аляски, який є одним з основних запасів нафти і газу, розташованих в Сполучених Штатах Америки [13]. Вчені та працівники виявили, що відкладення парафіну відбувається через уповільнення видобутку нафти. Це спричинило технічні проблеми, такі як пошкодження нафтового пласта, зменшення внутрішнього діаметру НКТ, зміни в складі пластового флюїду, підвищення перепаду тиску і обмежену працездатність виробничої системи.

До 1994 р. видобутком нафти в Алясці займалася британська нафтогазова компанія Lasm, яка в результаті відмовилася від свого права на обслуговування свердловин в листопаді того ж року через повторну закупорку нафтогазового обладнання парафіном [14].

Служба управління корисними копалинами США опублікувала 51 звіт про серйозні випадки утворення парафінів у викидних лініях між 1992 і 2002 роками в Мексиканській затоці. Основне занепокоєння з цього приводу викликало збільшення капітальних вкладень і експлуатаційних витрат, які спричинили серйозні фінансові труднощі через блокування об'єктів виробництва парафіновими відкладеннями. Скорочення виробництва і додаткові витрати на постійний контроль і управління свердловинами з високопарафіністою нафтою створювали більший ризик занедбаності таких родовищ [14].

Часто для підкислення, гідророзриву і затоплення вводяться рідини з температурою нижче, ніж температура пласта, яка охолоджує область навколо свердловини [15]. Тому, кристали парафіну починають випадати в осад й осідають в поровому просторі нафтового

пласта, перешкоджаючи потоку рідини пройти через пори породи.

Промивка гарячою нафтою може викликати відкладення парафіну через вторгнення забрудненої рідини. Нафта, яка використовується в гарячій промивці, включає парафінові або алканові компоненти, які викликають осадження парафінів при певних умовах тиску і температури через їх високу молекулярну масу. Гаряча нафта розчиняє парафінові відкладення, але тим самим збільшує їх вміст у нафті. Подальше охолодження вихідної гарячої нафти викликає послідовне відкладення кристалів парафіну.

Практика видобутку нафти на вітчизняних промислах показує, що основними ділянками накопичення парафінів є насоси свердловин, підйомні колони в свердловинах, викидні лінії від свердловин, резервуари промислових збірних пунктів [13]. Найбільш інтенсивно парафіни відкладаються на внутрішній поверхні підйомних труб свердловин. У викидних лініях їх утворення посилюється в зимовий час, коли температура повітря стає значно нижче температури газонафтового потоку [14].

З ростом швидкості руху нафти інтенсивність відкладень спочатку зростає, що пояснюється збільшенням турбулізації потоку, в результаті спостерігається збільшення частоти утворення і відриву бульбашок від поверхні труби та частинок парафіну [15]. Окрім того, потік, що рухається, зриває частину відкладень зі стінок труб, чим і можна пояснити різке зниження відкладень в інтервалі 0-50 м від устя свердловини, а також, завдяки великим швидкостям течії, він виявляється більш стійким до охолодження, що теж сповільнює процес утворення парафінів.

Шорсткість стінок і наявність в системі твердих домішок сприяють також виділенню з нафти парафіну в тверду фазу [7].

Фактори, що впливають на утворення парафіну. Важливо оцінити і дослідити фактори, які викликають проблеми в підтримці оптимального виробництва сирої нафти. До них відносять градієнт температури на стінках трубопроводу та швидкість потоку нафти [17].

Температура початку кристалізації парафіну в нафтах різного походження знаходиться в межах 14,2-37,8 °C в залежності від вмісту парафіну і густини нафти [17].

Але температура початку випадання кристалів парафіну нижча за вище вказану температуру, адже остання розглядається як температура точки замерзання, при якій рідина починає твердїти [16], що призводить до зменшення потоку в трубопроводі, оскільки осаджений парафін стає більш крупним і тяжким. Вплив холодного середовища на трубопровід викликає накопичення, збір і затвердіння крапель, що створює ефект «хмари» [16]. В результаті, текучість нафти зменшується, викликаючи закупорку і високий тиск в трубопроводі [17].

Фактори, які впливають на відкладення парафіну, включають градієнт температури на стінках трубопроводу [16]. Температура, при якій починається утворення кристалів парафіну, перебуває в діапазоні 14,2-37,8 °C та залежить від вмісту парафіну в сирій нафті та її густини. При такій температурі рідина починає твердїти, що викликає зменшення потоку в трубопроводі, оскільки утворений парафін стає важчим і густішим. Різниця між низькою температурою навколишнього середовища та більш високою температурою рідини внутрішнього трубопроводу – є основною причиною осадження парафіну [17]. Також існує різниця в температурному градієнті всередині трубопроводу, яка впливає на швидкість осадження парафіну [17].

Висновки. Отже, відкладення парафіну - поширена у всьому світі проблема в нафтовій промисловості. При більш низьких температурах важкий парафін в пластових флюїдах може осідати в твердій формі. Кристалізація парафіну регулюється температурою і вуглеводневим складом. Кількість парафіну збільшується зі збільшенням часу охолодження і співвідношенням розчинників. Відкладення парафіну значно впливає на властивості сирої нафти, такі як температура застигання і в'язкість та, в кінцевому підсумку, впливає на умови

потоків текучих середовищ, що в подальшому призводить до утворення гелеподібного середовища. Це викликає серйозні проблеми, включаючи закупорювання колони потоку, втрату вуглеводнів і збільшення виробничих витрат. Тому знання механізму кристалізації парафіну, причин та факторів його утворення дає можливість для правильного вибору методу боротьби з парафіновими відкладеннями або їх профілактики.

Список літератури

1. Ajayi, O.E. Modelling of Controlled Wax Deposition and Loosening in Oil and Gas Production Systems. / 1. Ajayi, O.E.. // Master's Thesis, Institutt for Energi-Og Prosessteknikk,. – 2013.
2. Rehan, M. Determination of wax content in crude oil / Rehan, M, Taylan. O. // Pet. Sci. Technol. – 2016. – №34. – С. 799–804.
3. Нафтовий парафін [Електронний ресурс] // Технічна бібліотека – Режим доступу до ресурсу: <https://neftegaz.ru/tech-library/ngk/148221-neftyanoy-parafin/>.
4. Парафін [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cniga.com.ua/index.files/parafin.htm>.
5. Образование АСПО и парафинов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://mpk-vnp.com/neft/obrazovanie-aspo-i-parafinov.html>.
6. Marathe, R.; Pore-scale distribution of crude oil wettability in carbonate rocks / Marathe, R.; Turner, M.L. // Energy Fuels. – 2012. – №26. – С. 6268–6281
7. Shaojun, W. Simulation of paraffin and asphaltene deposition in porous media. In Proceedings of the SPE International Symposium on / Shaojun, W, Civan, F. // Oilfield Chemistry. – 1999.
8. Newberry, M.E. Formation damage prevention through the control of paraffin and asphaltene deposition. In Proceedings of the SPE Production Operations Symposium / Newberry, M.E. – Oklahoma City, 1985.
9. Sanjay, M. Paraffin problems in crude oil production and transportation / Sanjay, M. // SPE Prod. Facil. – 1995. – №10. – С. 50–54.
10. Yong, F. Chemical Removal of Formation Damage from Paraffin Deposition Part I-Solubility and Dissolution Rate. In Proceedings of the SPE Formation Damage Control Symposium / Yong, F. – Lafayette, LA, USA, 1996.
11. Towler, B.; Jaripatke, O.; Mokhatab, S. Experimental investigations of the mitigation of paraffin wax deposition in crude oil using chemical additives. Pet. Sci. Technol. 2011, 29, 468–483.
12. Marwa M. El-Dalatony. Occurrence and Characterization of Paraffin Wax Formed in Developing Wells and Pipeline / Marwa M. El-Dalatony. // Energies. – 2019. – С. 1–23.
13. Alvarez, J.O. Improving Oil Recovery in the Wolfcamp Reservoir by Soaking / Alvarez, J.O. // Flowback Production Schedule with Surfactant Addi. – 2018. – №21. – С. 1083–1096.
14. Abba. A.J. Descaling of Petroleum Production Tubing Utilising Aerated High Pressure Flat Fan Water Sprays / Abba. A.J.. // Thesis, University of Salford, Salford. UK. – 2014.
15. Fahim, M.A. Effect of inorganic solids, wax to asphaltene ratio, and water cut on the stability of water-in-crude oil emulsions / Fahim, M.A. // Dispers. Sci. Technol. – 2009. – №30. – С. 597–604.
16. Lee, H.S. A fundamental model of wax deposition in subsea oil pipelines. / Lee, H.S. // AIChE J. – 2011. – №57. – С. 2955–2964.
17. Nurgaliev, D.K. Wax appearance temperature (WAT) determinations of different origin crude oils by differential scanning calorimetry / Nurgaliev, D.K.. // J. Pet. Sci. Eng.. – 2018. – №168. – С. 542–545.

СЕКЦІЯ 5.
ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА ГЕОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 550.83

Зуєвська Н.В., д.т.н., Олефір А.О., аспірант

РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ КОМПЛЕКСУ СЕЙСМОАКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ УРБАНІЗОВАНИХ МАСИВІВ ВВЕДЕННЯМ БЛОКІВ КОНТРОЛЮ ШАРУВАТОСТІ ҐРУНТІВ МЕТОДОМ РАДІОКІП

The possibility of modifying the seismoacoustic complex by introducing blocks implementing the RadioKIP method in a wide frequency range has been substantiated. The features of the control and measuring electronic units, which have the ability to construct geological sections, are shown.

Обґрунтована можливість модифікації сейсмоакустичного комплексу введенням блоків, реалізуючих метод радіокіп в широкочастотному діапазоні. Показані особливості контрольовано-вимірних електронних блоків, що мають можливість побудови геологічних розрізів.

Ключові слова: сейсмоакустика, радіокомпараційний метод, геологічний розріз, обладнання.

Вступ. Стрімкий розвиток міст обумовлює зростання різноманітних факторів, діючих на міські надземні та підземні конструкції. Серед великої кількості різноманітних факторів впливу є сейсмоакустичні навантаження, обумовлені як загальною сейсμοактивністю районів забудови, так і сейсмоакустичними факторами викликаних діяльністю людини. Так, вплив на підземні і надземні конструкції міст, такі як шляхопроводи, мости, будівлі сейсмоакустичних навантажень, викликаних роботою метрополітену, трамваїв, залізниць, звичайних автомагістралей з інтенсивним рухом приводить до їх руйнування і доволі часто з катастрофічними наслідками. Яскравим прикладом цього явища можуть бути проблеми, які тягнуться десятиріччями з шулявським шляхопроводом, мостом Патона, естакадою над залізничними коліями на продовженні проспекту Любомира Гузара. Урахування впливу сейсмоакустичних факторів на елементи підземних та надземних конструкцій потребує збору та аналізу великої кількості інформації про частотно-амплітудний спектр цих навантажень на конкретні об'єкти. При оцінці впливу сейсмоакустичних навантажень на об'єкти велике значення має геологічна структура району, де розповсюджуються сейсмоакустичні коливання. Структура, водонасиченість, здатність поглинати сейсмоакустичні хвилі та особливості стратифікації підземних шарів обумовлюють відбивання, перерозподіл та концентрацію сейсмоакустичних коливань у певних зонах, що може призвести до підсилення впливу сейсмоакустичних факторів на підземну та надземну конструкцію в цілому.

Мета та завдання Традиційно питання віддзеркалення сейсмоакустичних коливань від різних шарів ґрунтових масивів, як і розподіл та розташування цих шарів, вирішувалось проведенням геологічної розвідки методом буріння з відбором проб. Особливістю врахування сейсмоакустичних процесів та їх впливу на підземні та надземні конструкції є детальне вивчення шарів на глибинах до 200 м з дискретністю 15-20 м. Однак, провести такий величезний обсяг розвідувальних робіт на глибинах до 200-250 м з кроком 25 м фактично неможливо. Доцільними такі роботи можуть бути при будівництві порівняно невеликих унікальних об'єктів, таких як телевізійні та радіовежі та унікальні споруди типу хмарочосів. Єдиний вихід ми бачимо в застосуванні модифікованих методів, які називаються, у загальному вигляді, геоелектричною розвідкою.

Аналіз геофізичних методів стратифікації ґрунтів до глибин 200-250 м показав перспективність використання методів типу радіокіп.

Матеріал і результати досліджень. Традиційно у якості генераторів коливань електромагнітного поля використовувались потужні радіостанції загального і спеціального

мовлення у діапазонах ДВ, СВ, КВ, СНЧ. Використання ДВ, СВ та КВ діапазонів загальномовних радіостанцій дозволяє отримати геологічні розрізи до глибин 50-100 м, а у діапазоні СНЧ до 250 м, що повністю відповідає сформульованим вище умовам.

Особливістю метода радіокіп є аналіз шаруватості в максимально широкому діапазоні частот, тому що перехід до наступного шару і глибини його закладання можливий тільки при зміні частоти, на якому цей шар аналізується. Сучасна схемотехніка радіоприймачів з електронним налаштуванням дозволяє створити порівняно малогабаритні пристрої, які працюють в потрібних для вимірювання діапазонах частот, а сучасні композиційні матеріали дають можливість виготовити відповідні широкополосні антени.

Проблема з майже повним занепадом методу радіокіп та обмеженням його використання на сучасному етапі викликана тенденцією до зниження об'єму радіомовлення і закриття більшості радіостанцій загального мовлення в діапазонах довгих та середніх хвиль.

Однак, як показав досвід роботи з виготовленими оригінальними передавальними пристроями з використанням сучасних електронних компонентів і оригінальних схемотехнічних рішень, потужності 50-100 Вт у діапазоні СВ, ДВ повністю вистачає для вирішення проблем геофізичної розвідки з нанесенням мінімальної шкоди радіоефіру.

Зазвичай, при створенні таких систем потрібна їх сертифікація системами державного центру радіочастот. Але завдяки використанню оригінальних гостронаправлених антен зашумленість ефіру мінімальна і навіть теоретично не може нанести шкоди у секторі радіусом 5 км з кутом 90°.

Якщо випробування проводяться на відстані більше 5 км від аеропортів, передавачів і об'єктів спецконтролю електромагнітні випромінювання від дослідної апаратури системами державного центру радіочастот не можуть бути навіть виявлені і не впливають на безпеку.

Розроблений комплекс сейсмоакустичного контролю типу «Трембіта» був доповнений системою розвідки радіокіп. Комплекс отримав назву «Трембіта-РКП». Крім виконання завдань по збору сейсмоакустичної інформації в діапазоні 5 Гц – 20 кГц GPS позиціонування з точністю 2 м він дозволяє провести і радіокіп вимірювання електричної та магнітної складової радіохвилі у діапазонах частот 10 Гц, 100 Гц, 200 Гц, 1000 Гц, 10 кГц, 32 кГц, 100 кГц, 250 кГц, 0.5, 1, 5 МГц.

У якості передавального модулю застосовується передавальний модуль, змонтований на базі шасі автомобіля ВАЗ 21011. Використання автомобіля у якості передавального модуля забезпечує високу потужність і фактичну незалежність передавальної станції від акумуляторного електроживлення. Живлення передавального модуля в СНЧ та ДВ забезпечується від акумуляторів напругою 24 В, СВ та КВ діапазонах – від 12 В акумулятора. Працюючий двигун автомобіля забезпечує підзарядку запасних акумуляторів. Живлення від свинцевих автомобільних акумуляторів забезпечує передавальному модулю велику стабільність.

Особливістю приймальних систем є широке використання для приймання магнітної складової випромінювання феритових стержнів, що надає можливість мінімізувати розміри магнітних антен.

У якості приймача електроскладової електромагнітного випромінювання використовувався радіокабель типу РК-75, який має якісний ізоляційний шар, який був розташований у кожній точці виміру по напрямку на джерело радіовипромінювання, а саме, вільно лежав на землі.

Розроблено методику вибору точок зондування при переміщенні вимірювального комплексу від найбільш віддаленої до випромінювачів точки у напрямку до випромінювачів по напрямку радіусів сектору, що дозволило суттєво спростити позиціонування антен.

Напрямок на випромінювач чітко знаходиться по мінімізації сигналу від магнітної антени при повороті та розташуванні її по мінімуму радіосигналу. За цим напрямком розташовується антена електричної складової сигналу.

У якості приймачів використовувались оригінальні приймачі прямого підсилення з активними фільтрами промислового електромагнітного випромінювання, а саме, 50 Гц промислової електромережі, 14 Гц – частота передачі інформації на залізниці, 1 кГц – найбільш розповсюджена частота баластних пристроїв люмінесцентних і світлодіодних ламп. Велика проблема налаштування приймального комплексу у лабораторних умовах була у відокремленні випромінювання блоків живлення комп’ютерної техніки, а саме ноутбуків, які використовувались у якості реєструючих елементів комплексу.

Був зроблений висновок і експериментально доведена перспективність використання ноутбука у реєструючому комплексі при його живленні від батареї і його розташуванні в окремому екранованому відсіку, виконаному з двох шарів одноміліметрової сталі, що значно підвищує сумарну масу приймального комплексу, але його сумарна маса разом з елементами живлення і антенами не перевищує 10 кг та розташовується у рюкзаку на спині дослідника, а ноутбук у нагрудній сумці. Така компоновка забезпечує велику мобільність оператора комплексу і його пересування по місцевості зі змінним рельєфом.

Вимірювання, проведені з допомогою розробленого і виготовленого експериментального зразка показали надійність створеного обладнання.

На даному етапі проводиться доопрацювання комплексу з розширенням його можливості оцінки сейсмічної структури за допомогою електричного і магнітного поля землі. Спираючись на роботи Е. Хартмана та М. Каррі можна отримати прямокутну решітчасту сітку енергоактивних смуг зі сторонами 2 м у напрямку північ-південь і 2.5 м у напрямку захід-схід. У комплексі з магнітометрами є теоретична можливість провести сканування шарів до глибин кількох кілометрів.

Висновки. Доведена ефективність комбінації методів сейсмоакустичної розвідки з методами радіокіп.

Бібліографічний список

1. Методы и аппаратура электроразведки на переменном токе: научное издание / В.И. Иголкин, Г.Я. Шайдуров, О.А. Тронин, М.Ф. Хохлов. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 272 с.
2. Электроразведка: учебное пособие /авт. - сост.: А.А. Иванов, К.В. Новиков, П.В. Новиков. - М.: МГРИ, 2019. - 80 с.
3. Электроразведка. Учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1990 – 368 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.

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. Експериментальні дослідження ефективності мікробіологічного очищення стічних вод були проведені на ПАТ "Чернігівське хімволокно" за різних температурних умов.

Для встановлення залежності приросту кількості біомаси від температури використовується математичне моделювання процесу очищення стічних вод від гексаметилендіаміну. Для опису зростання популяції бактерій використовується рівняння типу Моно. Цей метод часто використовують для перевірки придатності середовища для вирощування бактерій. Прогнозування якості води у водних об'єктах, проведене згідно існуючих математичних моделей (для загальноприйнятих стандартизованих показників) значною мірою дозволяє визначити необхідний ступінь очищення стічних вод.

Встановлено, що при температурах від 25 °С до 32 °С кількість біомаси зростала, а з подальшим підвищенням температури - зменшувалась. Таким чином, були визначені оптимальні та максимальні значення температури, при якій мікроорганізми мали змогу не тільки вижити, але й розмножуватися. Отримані результати ілюструють, що між кількістю біомаси мікроорганізмів були встановлені взаємозв'язки та кореляційні залежності. Ступінь очищення та наведені показники дозволили визначити раціональні параметри очищення стічних вод від ГМД. Залежність кількості біомаси від температури показана на рис. 1.

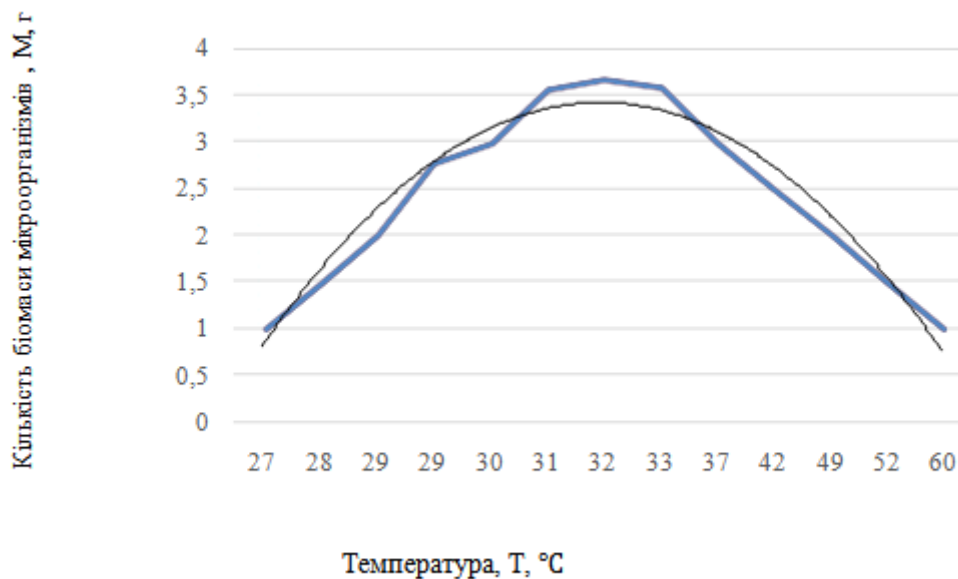


Рис. 1. Залежність кількості біомаси мікроорганізмів М від температури Т

Встановлена залежність кількості біомаси мікроорганізмів від температури описується поліномом другого ступеня:

$$M = -0,0731T^2 + 1,0193T + 0,1317 \quad (1)$$

де М - маса мікроорганізмів, г, Т - температура стічних вод, °C

Коли температура змінюється від 27 до 60 °C, значення функції змінюється. Одночасно при температурі від 27 до 31 °C відбувається збільшення кількості біомаси. При температурах від 31 до 33 °C функція стає стабільною, для мікроорганізмів це оптимальні умови. З підвищенням температури від 33 до 60 °C функція зменшується, отже, зменшується і кількість біомаси.

Відповідно до залежності (1), функція набуває максимального значення при Т = 32 °C, а кількість біомаси мікроорганізмів, що використовуються для обробки, параболічно зростає із збільшенням температури. Оптимальні значення температури для зростання біомаси становлять + 30... 34 °C. Отже, найбільш ефективно очищення досягається при Т = 32 °C і оптимальній кількості біомаси, яка надходить у стічні води М = 6,9 г.

При додаванні до зразків стічних вод додаткового джерела фосфору – P_2O_5 з концентрацією від 10 до 100 мг/дм³, виявляється, що збільшення концентрації P_2O_5 у розчині призводить до зменшення концентрації гексаметилендіаміну. Найефективнішим рішенням для очищення стічних вод є розчин P_2O_5 з концентрацією 70-100 мг/л. Рисунок 2 показує вміст гексаметилендіаміну в стічних водах після очищення та в порівнянні з допустимим вмістом.

Результати досліджень з очищення стічних вод у системі "підприємство - ставок-накопичувач" виявили, що, порівняно із загальноприйнятою схемою очищення, запропонований мікробіологічний метод забезпечує необхідну повноту видалення ГМД зі стічних вод перед скиданням у водойму. Очищуючи стічні води, що містять гексаметилендіамін з концентрацією 0,0025... 0,03 г/дм³ за запропонованою технологією,

концентрація біомаси не досягає 0,01 г/дм³. Коли до води додають більше 7 г мікроорганізмів, концентрація гексаметилендіаміну знижується до 0,0005 г/дм³.

Висновки. Визначено встановлену залежність кількості біомаси мікроорганізмів, що потрапляють у стічні води, від температури стічних вод $M = -0,0731T^2 + 1,0193T + 0,1317$. Встановлена залежність дозволяє передбачити необхідну кількість біомаси, яку потрібно використовувати в системі очищення стічних вод, щоб досягти максимального ступеня очищення.

Отримано, що очищення стічних вод з концентрацією ГМД 0,0025 г/дм³ за пропонованою технологією призводить до залишкової концентрації 0,0005 г/дм³, тобто ефективність очищення стічних вод від гексаметилендіаміну дозволяє досягти зменшенню концентрації ГМД вдвічі менше за гранично допустимий рівень.

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.

Список використаної літератури

1. Гвоздяк, П. І., Сапура О. В. & Чехівська Т. П. (2015). Біотехнологічне знешкодження гексаметилендіаміновмісних промислових токсичних відходів у ставку-накопичувачі. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування, 1 (69), 102–110.
2. Гвоздяк, П. І. (2012). Біохімія води як наукове підґрунтя біотехнології води. Екологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов, 12, 8–14.
3. Lema, J.M., & Suarez, S. (2017) Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies: Impacts on Energy, Economy and Environment. March, 2017. London, UK, IWA Publishing
4. Santos, A.F., Santos, C.P., Matos, A.M., Cardoso, O., & Quina, M.J. (2012). Effect of Thermal Drying and Chemical Treatments with Wastes on Microbiological Contamination Indicators in Sewage Sludge. Microorganisms, 13 (157), 376-378. doi: 10.3390/microorganisms8030376
5. Шатохіна Ю. В. (2013). Потенційні небезпеки у водопостачанні та водовідведенні. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну, 2, 140 – 143.
6. Саблій Л. А. (2009). Багатоступенева анаеробно-аеробне очищення висококонцентрованих стічних вод. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування, 117, 19 – 22.