

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ  
КАФЕДРА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ С. О. Кудря  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»**

**на тему: «Оцінка ефективності функціонування систем  
електропостачання з розповсюдженою генерацією»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕТ-91мп  
ПИХТАРЬ РУСЛАН МИХАЙЛОВИЧ \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

доцент, к.т.н. КОЛЕСНІЧЕНКО А.Б. \_\_\_\_\_

Консультант з стартап-проекту:

ст. викладач БАХМАЧУК С.В. \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:

професор, д.т.н. ТРЕТЯКОВА Л.Д. \_\_\_\_\_

Рецензент:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,  
Прізвище, ім'я, по батькові \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Факультет електроенерготехніки та автоматики**

**Кафедра відновлюваних джерел енергії**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електричні станції»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ С. О. Кудря

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

**ПИХТАРЮ РУСЛАНУ МИХАЙЛОВИЧУ**

1. Тема дисертації «Оцінка ефективності функціонування систем електропостачання з розповсюдженою генерацією», науковий керівник дисертації Колесніченко Андрій Борисович доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації «\_\_\_» грудня 2020 р

3. Об'єкт дослідження система електропостачання з розподіленою генерацією.

4. Вихідні дані електроенергетична система з розповсюдженою генерацією.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Класифікувати розповсюджену генерацію 2) Визначити особливості роботи системи електропостачання України; 3) Визначити моделі пов'язані з розповсюдженою генерацією; 4) Проаналізувати використання технології Smart Grid для підвищення ефективності електропостачання; 5) Формування моделі прийняття рішень в системах з розповсюдженою генерацією; 6) Розробити стартап-проект; 7) Проаналізувати охорону праці та безпеку в надзвичайних ситуаціях.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1) Класифікація розповсюдженої генерації; 2) Особливості роботи системи

електропостачання в Україні; 3) Використання технології Smart Grid для підвищення ефективності електропостачання; 4) Моделювання системи з розповсюдженою генерацією; 5) Результативність реалізації концепції розповсюдженої генерації. 6) Формування моделі прийняття рішень в системі з розповсюдженою генерацією.

7. Орієнтовний перелік публікацій Колесніченко А.Б., Пихтарь Р.М., Визначення базової моделі управління активною системою.

#### 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проект	Бахмачук С.В., ст. викладач		
Охорона праці	Третякова Л.Д., професор		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формування теми магістерської дисертації	01.09.2020	
2	Вивчення актуальності проблеми по літературних джерелах	15.09.2020	
3	Використання дослідження по темі магістерської дисертації	03.10.2020	
4	Написання та оформлення результатів магістерської дисертації	10.11.2020	
5	Попередній захист магістерської дисертації	17.12.2020	
6	Захист магістерської дисертації	21.12.2020	

Студент

ПИХТАРЬ Р.М.

Науковий керівник

КОЛЕСНІЧЕНКО А.Б.

## РЕФЕРАТ

Атестаційна магістерська дисертація налічує 99 сторінок, 9 ілюстрацій та 28 таблиць.

Об'єкт дослідження - процеси споживання та керування попитом на електричну енергію в системах електропостачання з розподіленою генерацією.

Предметом дослідження є методи та засоби оптимізації нерівномірності процесів споживання електричної енергії використанням механізмів керування попитом на електричну енергію.

Зростання кількості активних споживачів – prosumer (АС) споживачів які мають власну генерацію в тому числі нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) та системи акумуляції, можуть керувати власним графіком та впливати на загальний графік електроенергетичної системи до складу якої вони входять, тісно пов'язане з лібералізацією ринку електричної енергії, впровадженням клієнтоорієнтованих бізнес-процесів електропостачальних компаній, тобто зменшення різних типів завад їх функціонування та створення сприятливих умов для взаємовигідної роботи електропостачальних компаній та споживачів.

Науково-методичну основу виконаних досліджень склали такі методи математичного моделювання, алгоритми та методи оцінки нерівномірності споживання електричної енергії, методи оцінки можливості видозміни режиму споживання споживачів та груп споживачів, методи комп'ютерного моделювання. Перевірка достовірності й ефективності запропонованих методів ґрунтується на результатах експериментів та підтверджується даними, отриманими в умовах виробничої діяльності підприємств та електричних мереж України.

## ABSTRACT

The master's dissertation has 99 pages, 9 illustrations and 28 tables.

The object of research is the processes of consumption and management of electricity demand in power supply systems with active consumers.

The subject of research is methods and means of optimizing the unevenness of electricity consumption processes using mechanisms to control the demand for electricity.

The increase in the number of active consumers - prosumer (AS) consumers who have their own generation, including non-traditional and renewable energy sources (RES) and storage systems, can manage their own schedule and affect the overall schedule of the power system of which they are part, is closely related with the liberalization of the electricity market, the introduction of customer-oriented business processes of electricity supply companies, the reduction of various types of interference with their operation and the creation of favorable conditions for mutually beneficial operation of electricity supply companies and consumers.

The scientific and methodological basis of the research was the following methods of mathematical modeling, algorithms and methods for estimating the unevenness of electricity consumption, methods for assessing the possibility of changing the mode of consumption of consumers and groups of consumers, computer modeling methods. Verification of the reliability and effectiveness of the proposed methods is based on the results of experiments and confirmed by the data obtained in the production activities of enterprises and electrical networks of Ukraine.

## ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. Основні положення та особливості роботи систем електропостачання з розподіленою генерацією.....	<b>Ошибка!</b>
---	----------------

### **Закладка не определена.**

1.1 Основні особливості та тенденції розвитку систем електропостачання з розподіленою генерацією.....	11
1.3 Фактори застосування технологій розподіленої генерації.....	19
1.4 Бар'єри на шляху розвитку розподіленої генерації в Україні та інших країнах.....	20
Висновки до розділу 1.....	28

РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ЗАГАЛЬНОГО РІВНЯ ЕНЕРГОНЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З АКТИВНИМ СПОЖИВАЧЕМ.....	29
---	----

2.1 Функціонування локальних систем електропостачання з залученням активного споживача у разі впровадження програм з керування попитом на електричну енергію.....	30
2.2 Аналіз впливу показників енергетичної ефективності та якості електричної енергії на рівень збитків.....	38
2.3 Аналіз факторів впливу на добовий графік споживання електричної енергії та показників нерівномірності споживання в системах електропостачання.....	46
Висновки до розділу 2.....	51

РОЗДІЛ 3. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМИ ПРОЕКТАМИ У СИСТЕМІ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ.....	52
---	----

3.1 Результативність реалізації концепції активного споживача.....	53
3.2 Інтерналізація зовнішніх позитивних ефектів інноваційних проектів по інтелектуалізації енергомереж з використанням методології оцінки життєвого циклу і ціннісно-орієнтованого проектування.....	66
Висновки до розділу 3.....	77

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА STARTUP-ПРОЕКТУ.....	78
---	----

Висновки до розділу 4.....	84
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	86
Висновки до розділу 5.....	85
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	95
Список використаної літератури.....	96

## **ПЕРЕЛІК УМНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

АС - активний споживач;

ІЕС - інтегровані інтелектуальні енергопостачальні системи;

ЛСЕП - локальні системи електропостачання;

МСР - мала система розподілу;

НВДЕ - нетрадиційні та відновлювані джерела енергії;

ОСР - оператор системи розподілу;

РГ - розподілена генерація;

СЕП - системи електропостачання;

ЦФ - цільова функція.

HEMS - система енергетичного менеджменту домогосподарства;

ІЕА - Міжнародна Енергетична Агенція

IRENA - Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики

MDMS - система керування даними вимірювання;

SCADA - автоматизована система контролю та збору даних.



## ВСТУП

Надзвичайно важливим в енерговикористанні є поняття енергоефективності. Енергоефективність передбачає мінімізацію витрат енергетичного ресурсу (первинного, вторинного) при одержанні такого ж самого корисного ефекту. Частково внаслідок науково-технічного прогресу питоме енергоспоживання приладів та обладнання зменшується, створюються більш ефективні технології, одночасно при цьому постійно зростають існуючі потреби та з'являються інші (нові прилади та пристрої), що в свою чергу призводить до неухильного зростання рівня енергоспоживання. У випадку перетворення енергетичного ресурсу у форму кінцевого споживання, енергоефективність визначається як мінімізація втрат енергії на всіх етапах перетворення та транспортування.

Зараз у світі спостерігаються дві протилежні тенденції, що мають відношення до енергоспоживання. Перша обумовлена принципом мінімізації витрат паливно-енергетичних ресурсів, праці та капіталу при забезпеченні оптимального рівня кінцевого споживання. Друга тенденція - збільшення обсягів і видів кінцевого споживання.

У світі характерною є ситуація, коли в основному для виробництва енергії використовуються ресурси органічного палива (нафти, газу, вугілля), запаси яких вичерпуються. Причиною такого стану є відносно низька капіталоємність технологій на основі цих ресурсів. На жаль, недостатньо уваги приділяється фінансуванню та розвитку технологій на основі інших первинних енергетичних ресурсів. Основною причиною чого є те, що потенційна конкурентоспроможність перспективних технологій, що розробляються, є неочевидною.

На сьогоднішній день електричні мережі України базуються на застарілій конструкції середини 20 століття. Це одна з основних причин складності розширення мережевої інфраструктури для задоволення постійно зростаючих

енергетичних потреб. У наступному десятилітті очікується, що попит на електроенергію зросте на 19%, а існуюча мережева інфраструктура має можливість збільшити свою продуктивність лише на 6%. З цих причин відключення споживачів і перебої електропостачання – проблеми для більшості електричних мереж.

Безперервне зростання вартості енергетичних ресурсів, основою яких є вуглеводневі копалини, і зростаюча складність їх видобутку є стримуючими факторами для розвитку традиційної енергетичної інфраструктури. Переробка вуглеводневих паливних ресурсів негативно впливає на навколишнє середовище, тому стає актуальним застосування джерел відновлюваної енергії.

**Розділ 1**

**Основні положення та особливості  
роботи систем електропостачання з  
розподіленою генерацією**

## **1.1 Основні особливості та тенденції розвитку систем електропостачання з розподіленою генерацією**

Розподілені енергетичні системи незалежні від централізованих мереж генеруючих потужностей, призначені для вироблення електроенергії в безпосередній близькості від локальних споживачів з урахуванням їх специфічних запитів за обсягами і профілем споживання. Академічні дослідження відповідної концепції та її аспектів почалися в 1960-х роках у Великобританії. Перші компанії, що будували розподілені енергетичні системи, відкрилися в США і Європі в середині 1980-х років на кошти венчурних інвесторів. Незабаром почався бум інвестицій в технології розподіленої генерації, і до кінця XX століття сформувався ринок постачальників технологій, частка розподіленої генерації стала рости спочатку в США і Великобританії, в континентальній Європі. За оцінками консалтингових агентств, до кінця 2020-х років приріст загального обсягу генеруючих потужностей на 15-25% буде покриватися за рахунок розподілених енергетичних мереж.

У дослідженнях можна зустріти різні підходи до самого поняття. Розподілену генерацію розуміють як «генерацію в децентралізованій енергосистемі для покриття потреб в енергії ізольованих (не підключені до магістральних енергомереж) споживачів». Розподіленою генерацією вважають виробництво енергії «на рівні розподіленої мережі або на боці споживача, включеного в мережу». При цьому розподілена генерація може використовуватися для вироблення як електроенергії, так і тепла.

Відмінність класів напруг для передавальної та розподільної мереж в різних країнах також створює бар'єр для чіткого формулювання визначення поняття малої генерації. Тому в даному випадку буде доречно проводити відмінності по області компетенції енергетичних компаній, пов'язаних з передачею і розподілом.

До розподіленої генерації відносять не тільки власне генерацію, а й системи розподіленого зберігання електроенергії (DESS), програми цінозалежного зниження споживання, заходи по підвищенню енергоефективності споживачів, мікрогріди і навіть електромобілі. Наприклад, сьогодні в США більшу частину встановленої потужності розподілених енергоресурсів становить не генерація, а цінозалежного зниження споживання і заходи щодо підвищення енергоефективності. Тільки програми різних енергокомпаній з метою знизити споживання електроенергії в години найбільшого попиту здатні скоротити пікове споживання (відповідно, і потреба в додаткових блоках і мережевої інфраструктури) на 5-6%, або на кілька десятків гігават.

Сьогодні електроенергетика переживає період кардинальної трансформації, основним драйвером якої виступають технологічні нововведення, що зумовлюють можливості для переходу до принципово нового етапу розвитку. В останні роки відбулися зміни, які змусили переглянути вимоги до об'єктів генерації, до мережевої інфраструктури і в цілому до організації електроенергетики і електроенергетичних ринків. Наростаючий знос електроенергетичної інфраструктури, залучення в оборот розподілених енергетичних ресурсів (в тому числі відновлюваних), зміна ролі традиційних джерел енергії і енергоносіїв, зростання попиту на електроенергію і трансформація його якісних характеристик, зміна моделі поведінки споживачів - все це вимагає вивчення факторів поширення нових технологій в електроенергетиці для переходу до наступного енергетичного укладу.

Загальносвітовою тенденцією стає поступова відмова від централізованого енергопостачання. Так, по всьому світу вже 12,5% великих виробників користуються власними генеруючими джерелами. Абсолютним лідером є Данія, де вже більше половини виробництв перейшли на власні джерела. У Україні таких підприємств поки тільки близько 4%.

Тенденція проглядається на рівні великих споживачів, які один за одним відмовляються від електроенергії, одержуваної з ЄЕС, на користь установки

власної малої (розподіленої) генерації. Відповідно, споживачі, підключені до ЄЕС на низькому рівні напруги (малі і середні підприємства), змушені нести додаткові витрати, пов'язані з функціонуванням ЄЕС, і терплять зниження ефективності в зв'язку з ростом цін на електроенергію.

Сформувалися два підходи до створеного дисбалансу:

- 1) Цей стан справ ставить під загрозу подальше існування і розвиток ЄЕС;
- 2) Розвиток власної малої (розподіленої) генерації дозволить ЄЕС вивести неефективні потужності, знизити витрату палива в пікові години за рахунок використання електроенергії споживчої генерації, знизити обсяг необхідного і оплачуваної резерву, що підвищить ефективність і надійність функціонування ЄЕС України.

Технології розподіленої генерації, як правило, призначені для установок малої потужності (до 25 МВт), включаючи поновлювані джерела електроенергії (ВДЕ). Аналіз показує, що більшість технологій, що використовуються для установок розподіленої генерації, засноване на прямому спалюванні твердого палива (вугілля, біомаси та твердих побутових відходів). Спалювання природного газу використовують газотурбінні установки, газопоршневі агрегати, парогазові та інші установки. Вітряні електростанції, малі гідроелектростанції, сонячні електростанції та фотоелектричні установки, станції сонячного теплопостачання, а також гібридні установки задіють відповідні поновлювані джерела.

Підключення розосередженої генерації (РГ) до розподільної мережі має позитивний вплив на її властивості, але поряд з цим створює нові проблеми, з якими доводиться стикатися як при самому підключенні, так і при керуванні режимами роботи системи електропостачання з РГ. Розподільна електрична мережа буває нерівномірно завантажена, отже, потребує коригування потокорозподілу, який можна провести шляхом відповідної реконфігурації мережі.

Установки РГ можуть інтегруватися на різних рівнях системи енергопостачання, а з метою забезпечення найкращого ефекту вони мають бути

розміщені оптимально, що потребує розробки методики визначення найбільш доцільних місць інтеграції в СЕП. При правильному розміщенні установок РГ втрати потужності можуть знизитися, а завантаження мережі може бути більш рівномірним [1, 3, 7, 12] .

Окремим питанням є узгодження режимів роботи нового інтегрованого обладнання та системи енергопостачання. Від сучасних інтелектуальних мереж (Smart Grid) очікують: підвищення ефективності електроспоживання, зокрема, за рахунок зниження пікових навантажень; використання НВДЕ; розв'язання задач динамічного балансу споживання та генерації на макро- і мікрорівнях; надійності, стабільності та безпеки.

Враховуючи всі ті задачі, які стоять перед інтелектуальною енергетикою, можна виділити кілька пріоритетних напрямків для модернізації та розвитку існуючих систем енергопостачання:

- модернізація розподільних та магістральних мереж і впровадження технологічних компонентів Smart Grid;
- інтеграція РГ та НВДЕ в систему на різних рівнях (у тому числі й на рівні споживачів);
- впровадження інтелектуального обліку та комунікативної інфраструктури від установок споживачів;
- залучення активних споживачів.

Спеціалізовані рішення при проектуванні систем розподіленої генерації можуть застосовуватися в залежності від галузі та особливостей території, на якій розташоване підприємство. Наприклад, при енергопостачанні теплиць може використовуватися виділяється при генерації вуглекислий газ; тваринницькі ферми використовувати біогаз і т.д., тобто індивідуальний підхід для кожного випадку окремо.

Необхідність дотримання жорстких екологічних вимог по викидах шкідливих речовин, шуму, вібрацій на гірськолижних курортах і в мисливських господарствах призводять до використання при проектуванні системи розподіленої генерації спеціального обладнання. Те ж стосується мобільних

джерел енергії, особливостей енергопостачання віддалених необслуговуваних енергосистем, таких, як радіорелейні станції на лініях далекого зв'язку, системи хімзахисту трубопроводів, метеостанції.

Враховуючи сучасний стан енергетики та напрям її подальшого розвитку, визначений світовим співтовариством (Smart Grid), у тому числі й реалізація потенціалу активних споживачів, а також особливості виробництва електроенергії, стає очевидним, що системна інтеграція в енергетиці повинна поєднувати як самі джерела розосередженої генерації, так і автоматизовані системи та інформаційні технології.

Етапи розвитку споживача електроенергії можна поділити в такі категорії:

1) Споживач електричної енергії (суб'єкт господарювання або фізична особа, що використовує електричну енергію для власних потреб на підставі договору про постачання електричної енергії з електропостачальником або інших підставах, передбачених законом України).

2) Кваліфікований споживач електричної енергії (споживач електричної енергії, який може вільно обирати електропостачальника та безпосередньо укласти з ним договір на обсяг власного споживання електричної енергії).

3) Солідарний споживач електричної енергії (відповідальний споживач) – це такий споживач електричної енергії, який у складі групи інших споживачів електроенергії спільно відповідають перед іншими учасниками ринку електричної енергії за дотриманням правил взаємодії із системою електропостачання та правил споживання електричної енергії.

4) Активний споживач електричної енергії (споживач електричної енергії, який має бажання та можливість тим чи іншим способом коригувати своє енергоспоживання із системи енергопостачання, а за наявності можливостей і надавати окремі додаткові послуги для інших учасників ринку електроенергії).

На сучасному ринку електроенергії роль та місце споживача є дещо обмеженими. Це спричинено тим, що сучасний ринок електроенергії має певні особливості, обумовлені нерозривністю процесу генерації та споживання електроенергії, неможливістю накопичення великих обсягів електроенергії та



інших факторів. Крім того, зі зростанням навантаження споживачів виникає проблема введення нових генеруючих та резервних потужностей, а також реконструкція вже існуючих електростанцій та мереж. Можливими способами вирішення існуючих проблем в енергетиці є або заміна існуючого обладнання СЕП на нове та подальше нарощування генеруючих потужностей, або розвиток системи енергопостачання шляхом інтеграції джерел РГ та нових технологій, розвиток інтелектуального керування такою системою, а також реалізація потенціалу.

Для розробки справедливих методів і механізмів реалізації концепції АС в енергетиці розглянемо існуючі підходи до моделей опису поведінки та характеристики інтересів споживачів.

Поведінка споживачів вивчається різними науками, виходячи з вирішення різних завдань: у класичній економічній теорії – з точки зору вибору споживачами найкращого товарного набору згідно з його корисністю і відповідно до наявних бюджетних обмежень; у маркетингу – з точки зору спроможності задовольняти потреби споживача; у теорії управління – з точки зору впливу (тобто вибору механізму управління) на споживача, який розглядається як керована активна система (що означає наявність у нього власних інтересів і переваг: самостійний (вільний) вибір дій та спотворення інформації); у поведінковій економіці – з точки зору впливу соціальних і психологічних чинників на економічну поведінку споживачів.

## **1.2 Конкурентні переваги розподіленої генерації**

Розподілена генерація має ряд переваг за сукупністю показників надійності, якості і вартості в порівнянні з поставками з розподільної мережі (останні залишаються запасним варіантом). Самостійно інвестуючи в розподілену енергетику, споживачі, очевидно, знижують витрати на розвиток мережного комплексу і великої генерації за рахунок більш гнучкої інвестиційної моделі реагування на зміну динаміки і розміщення попиту. Додатково застосовується комплекс заходів з управління попитом і децентралізований

енергообмін на основі розподілених джерел енергії, що також дозволяє відмовитися або відкласти проекти зі спорудження нових потужностей і / або мережевої інфраструктури великої енергетики.

За своєю енергоефективності (ККД) розподілена генерація порівнянна з великими електростанціями. Завдяки близькості до споживача вона характеризується порівняно меншими мережевими втратами при розподілі електроенергії. Вона також може забезпечити виконання більш високих вимог споживачів за доступністю та якістю енергії, надійності енергопостачання. Розподіленість джерел енергопостачання є важливим фактором підвищення енергетичної безпеки, оскільки знижує ризики тотальних блекауту і дозволяє більш швидко відновлювати енергопостачання споживачів, наприклад після природних катаклізмів, катастроф або кібератак. У цьому сенсі розвиток розподілених джерел енергопостачання як нового формату енергетичної інфраструктури можна порівняти з розвитком інформаційної інфраструктури на основі систем розподіленого зберігання і обробки даних, що перетворилася в результаті у всесвітню павутину.

Поєднання розподіленої енергетики з сучасними засобами управління активами, інтелектуалізацією мережевої інфраструктури, розвитком споживчих сервісів може призвести до значних економічних ефектів, в т.ч. до обмеження зростання цін на електричну енергію в довгостроковій перспективі. Розвиток виробничих потужностей і сфер застосування розподіленої енергетики стимулює розвиток технологій управління, обладнання та сервісу, що забезпечують їх максимально ефективне використання в контурі енергосистеми і на енергетичному ринку, створює технологічну основу для появи масових активних споживачів і можливості для виходу на масштабний глобальний ринок.

По всьому світу значну частку нових локальних потужностей становить мікрогенерація на основі відновлюваних джерел енергії (перш за все, це покрівельні сонячні панелі, все частіше - в комбінації з накопичувачами) і більш екологічно ефективні міні-когенераційні установки. Відповідно, розподілена енергетика також є ефективним засобом скоротити викиди парникових газів і

запобігти зміні клімату. Таким чином, конкурентні переваги виділені в трьох сферах: економіка (наприклад, обмеження зростання цін на електроенергію), управління (розвиток нових технологій управління попитом на електроенергію, обладнання та сервісу в компаніях) і екологія (розподілена генерація служить скороченню викидів парникових газів і запобігання зміні клімату).

Традиційний спосіб оцінки споживання електроенергії не змушує споживачів та електропостачальні організації до вживання заходів, які забезпечують повноцінне покращення якості електроенергії. Можна припустити, що якщо й надалі потужність пульсацій, потужність спотворення та нерівномірність споживання будуть залишатись неконтрольованими, то втрати при передачі однієї і тієї самої активної енергії зростатимуть, а пропускну спроможність мережі буде погіршуватись.

Частково компенсувати втрати в мережі можливо, використовуючи різного роду механізми та засоби керування енергоспоживанням.

### **1.3 Фактори застосування технологій розподіленої генерації**

Компанії будуть будувати і використовувати власні джерела генерації, коли усвідомлюють вигоди їх застосування і будуть готові до їх впровадження. Відповідно, важливо вивчити прийнятність технологій розподіленої генерації і їх сприйняття з боку промислових підприємств.

Факторів прийняття нових технологій промисловими компаніями присвячено не так багато досліджень. Найбільш відомі моделі чинників прийняття технологій компаніями, запропоновані [13]. PEER модель була запропонована з метою проаналізувати фактори внутрішньоорганізаційного середовища: схильність співробітників до прийняття нових технологій, систему внутрішньої допомоги в компанії, ставлення співробітників до інновацій.

Модель PEER, що застосовується для аналізу зовнішніх чинників та фактори конкурентного тиску в галузі, вплив регуляторів і технологічні зміни в галузі.

На прийняття нових технологій також впливають специфічні характеристики, до яких віднесено швидкість, надійність, задоволення від використання, контроль процесу використання, ризик використання [11].

Внутрішньоорганізаційні і зовнішні чинники, що впливають на прийняття нових технологій розподіленої генерації компаніями.

- а) технічна здійсненність;
- б) наявність фахівців;
- в) сприйняті ризики;
- г) сприйняття переваг;
- д) вартість підключення;
- е) витрати на електроенергію;
- і зовнішні чинники:
  - ж) тиск ринку;
  - з) тиск регулятора (органів державного управління);
  - і) технологічні зміни в галузі.

На прийняття рішення про перехід на використання розподілених джерел генерації впливають специфічні фактори:

- а) наявність побічних продуктів, які можуть бути використані в якості палива;
- б) високий ККД;
- в) відсутність витрат на передачу енергії;
- г) відсутність плати за технологічне приєднання до електричних мереж;
- д) існуюче співвідношення цін на електричну енергію та природний газ;
- е) можливість зміни обсягів електричної і теплової енергії при зміні економічної ситуації;
- ж) зниження потреби в передачі енергії на значні відстані;
- з) підвищення частки використання місцевих енергетичних ресурсів.

#### **1.4 Бар'єри на шляху розвитку розподіленої генерації в Україні та інших країнах**

Для поширення розподіленої генерації на практиці важливо виявити бар'єри. Перш за все, розглянемо бар'єри розвитку технологій розподіленої генерації на зарубіжних ринках, а потім - на вітчизняному.

США, штат Каліфорнія. Розвиток розподіленої генерації в Каліфорнії тісно пов'язане з заходами регулювання, спрямованими на стимулювання виробництва електроенергії на основі ВДЕ. У Каліфорнії прийнятий «Стандарт портфеля поновлюваних джерел енергії» (RPS): енергокомпанії зобов'язані щорічно підвищувати обсяг закупівлі електроенергії, виробленої на основі ВДЕ за відповідними критеріями, не менше ніж на 1% від загального обсягу роздрібного збуту електроенергії. В даний час законодавчі органи Каліфорнії розробляють норми, що передбачають підвищення даного показника до 33% до 2020 року.

Визначено три типи бар'єрів розвитку розподіленої генерації:

- технічні бар'єри: технічні стандарти підключення установок розподіленої генерації до мережі, процедури тестування та сертифікації обладнання, що використовується для підключення;
- комерційні бар'єри: стандартні комерційні умови та практика узгодження підключення з енергетичною компанією;
- регуляторні бар'єри: відсутність регульованих тарифів і стимулів для розподіленої генерації [19].

Основним бар'єром для виходу технологій розподіленої генерації на ринок була відсутність стандартів підключення до мережі. Для вирішення даного питання в 2001 році Комісія з комунальними компаніями Каліфорнії (CPUC) розробила стандартні правила підключення. В результаті генеруючі компанії, що працюють на оптовому ринку електроенергії і відповідають певним вимогам, отримали право підключати системи розподіленого виробництва електроенергії до мережі.

Великобританія. Системи розподіленої генерації активно розвиваються з початку 1990-х років. У 1993-1994 роках обсяг виробництва на базі розподіленої генерації в Англії і Уельсі становив 1,2 ГВт. В даний час цей обсяг перевищує 15

ГВт. В огляді, підготовленому Управлінням по ринках газу та електроенергії, були вказані основні недоліки ринку і системи регулювання:

- недосконалість нормативно-правової бази: існуючі закони і норми розроблені для системи з централізованим виробництвом електроенергії і перешкоджають розвитку розподіленої генерації;
- дефіцит простий і зрозумілої інформації щодо можливостей розподіленої генерації [8].

Для ліквідації бар'єрів на шляху розвитку розподіленої генерації пропонується реалізація спільних програм, здійснюваних під керівництвом Управління по ринках газу та електроенергії і Департаменту з розвитку бізнесу, інновацій та професійної освіти (BIS). З 2007 року уряд Великобританії стимулює розвиток розподіленої генерації. Передбачені фіскальні стимули: при впровадженні здебільшого технологій мікрогенерації на 5% знижується податок на додану вартість.

Австралія. На національному ринку електроенергії довго переважала модель централізованого електропостачання, мала генерація і управління споживанням використовувалися лише в приватному секторі. Масштабне комплексне дослідження бар'єрів і переваг розподіленої генерації в Австралії представлено в звіті, підготовленому Організацією по науковим і виробничим досліджень Австралії в рамках здійснення основної програми з реформування енергетики [10]. Так, автори виділяють такі бар'єри, як недосконалість нормативно-правової бази, відсутність економічних стимулів для переходу до установок розподіленої генерації, відсутність інформації про переваги розподіленої генерації.

Данія. У Данії розподілена генерація розвивається успішніше, ніж в інших скандинавських країнах. Для порівняння: в Норвегії і Швеції потужність установок розподіленої генерації становить 1500 кВт. Там, як і в Фінляндії, мало незалежних виробників електроенергії, а значить, немає потреби в розробці детальних рекомендацій та вимог до регулювання розподіленої генерації.

У 1980 році обсяг потужностей розподіленої генерації становив 1%. Розвитку розподіленої генерації в основному сприяло пряме регулювання, яке в Данії діє значно довше, ніж в інших розвинених країнах. Основною рушійною силою розвитку розподіленої генерації є ініціативи, спрямовані на збільшення обсягу виробництва електроенергії на основі ВДЕ відповідно до цілей, встановленими Європейською комісією. У 2002 році перешкодами для розвитку вважали відсутність норм і вимог по підключенню об'єктів розподіленої генерації, високу вартість виробництва електроенергії системами розподіленої генерації і недостатній розвиток ринку розподіленої генерації. За даними Міністерства енергетики Данії, в 2005 році приблизно 57% генеруючих потужностей становила когенерація (спільне вироблення тепла і електроенергії) і 31% -ВІЕ.

Успішний розвиток сектора розподіленої генерації в Данії обумовлено використанням підходу «знизу вгору», який передбачає тісну співпрацю великого числа невеликих компаній, місцевих органів влади і кооперативів [10].

Можна виділити такі основні бар'єри для розвитку розподіленої генерації в Україні:

1) відсутність чітких і однозначно трактованих вимог до технологічного приєднання об'єктів промислової генерації до електричних мереж збільшує терміни реалізації проектів;

2) приєднані до мережі генеруючі об'єкти потужністю 25 МВт і більше зобов'язані продавати вироблену електроенергію на оптовому. Електроенергію для власного споживання вони повинні купувати за ринковими цінами, оплачуючи послуги з передачі. Власники об'єктів розподіленої генерації потужністю 25 МВт і більше змушені шукати способи, як отримати підтвердження про нерозповсюдження на даний об'єкт вимог оптового ринку і залишатися в статусі учасника роздрібного ринку. Для того щоб уникнути необхідності бути присутнім на оптовому ринку, потрібно спочатку будувати генеруючі об'єкти потужністю менше 25 МВт або планувати ізольовану роботу генеруючих об'єктів, які не будуть підключені до електричної мережі;

3) відсутність у зацікавлених осіб чіткого уявлення про вигоди промислової розподіленої генерації уповільнює оформлення і отримання дозвільної документації.

РГ, заснована на поновлюваних джерелах енергії, розглядається як найбільш сприятлива для навколишнього середовища. Блокова РГ складається з окремих модулів, які можуть бути виготовлені і пущені в роботу за невеликий проміжок часу при наявності великого попиту на електроенергію. Когенераційні установки дозволяють використовувати як

електрику, так і тепло, вироблене в процесі роботи генераторної установки.

Для систем РГ використовуються наступні технології:

- Малі газотурбінні установки і мікротурбіни.

По суті, турбіни використовують технологію, схожу з використовуваною в реактивних двигунах. Ці пристрої мають низький ККД, однак він може бути значно збільшений за рахунок використання когенераційного принципу роботи. Ця опція стане гучними, проте вони виробляють менше кількості викидів шкідливих азотовмісних газів, ніж інші типи генераторних установок.

- Поршневі двигуни.

Ці установки використовують циліндри і поршні, як і двигуни внутрішнього згоряння автомобілів, мають більш високий ККД, але вимагають великих витрат на обслуговування. Поршневі двигуни більш галасливі і викидають в атмосферу велику кількість вуглекислого газу і азотовмісних газів.

- Сонячні батареї.

Технологія використання сонячних батарей є абсолютно чистою з екологічної точки зору. Також невеликі експлуатаційні витрати. Проте, існує обмеження по розташуванню пристроїв даного типу, крім того вони вимагають значних капітальних вкладень. Більш того, без додаткового введення пристроїв акумулювання електроенергії вихідна потужність сонячних батарей нерівномірна.

- Вітрові генератори



Вітрові генератори, також як і сонячні батареї, є абсолютно чистою технологією виробництва електроенергії. Найчастіше вони використовуються в вигляді так званих вітрових ферм (не належать до РГ). Проте, вітровий генератор може використовуватися в одиночному режимі. У цієї технології ті ж самі мінуси, що і у сонячних батареї: висока вартість, обмежені можливості з розміщення, нерівномірна вихідна потужність.

- Паливні елементи.

На сьогоднішній день є безліч технологій для паливних елементів, проте всі вони використовують хімічні реакції взаємодії кисню і водню для вироблення електрики. Вони працюють практично безшумно і здійснюють набагато нижчі викиди вуглекислого газу і азотовмісних речовин в атмосферу, однак мають дуже високу вартість.

- Міні-ГЕС.

Міні-ГЕС представляють ще одну технологію вироблення електроенергії без шкідливих викидів в атмосферу, тим не менш, їх використання обмежене доступністю водних ресурсів.

Область застосування пристроїв РГ може бути досить великою. В першу чергу, це резервне (аварійне) електропостачання, можливість покриття пікового навантаження, експорт енергії в розподільну мережу, когенераційний принцип роботи, вироблення реактивної потужності і регулювання рівня напруги, «острівна» робота під час аварій в розподільній мережі.

Наукова проблематика систем з РГ близька до традиційної проблематики великих електроенергетичних систем. Однак кількісні відмінності часто переходять в якісні, що вимагає вивчення нових властивостей і особливостей систем з РГ. Можна виділити наступні основні напрямки наукових досліджень в цьому напрямку:

- Математичні і оптимізаційні моделі для вибору потужності і розташування різних типів об'єктів РГ. В якості критеріїв розміщення можна розглядати зниження тарифів, зниження втрат електроенергії, підвищення надійності енергопостачання, поліпшення екологічної обстановки, а також

багатокритеріальні підходи, що дозволяють здійснювати комплексну оптимізацію на стадії проектування, будівництва і експлуатації пристроїв РГ. Багато сучасні дослідження в даному напрямку йдуть по шляху використання оптимізаційних методів штучного інтелекту, із застосуванням адаптуються генетичних і імунних алгоритмів, що сприяють швидкому пошуку оптимуму в невизначених умовах.

- Розвиток методів планування режимів роботи ЕЕС при наявності ресурсів РГ. Слід зазначити, що висока частка вироблення на поновлюваних джерелах, режими яких залежать від погодних умов і можуть бути різкозмінними, призводить до суттєвих труднощів при плануванні та управлінні режимами роботи «великих» ЕЕС.

- Регулювання рівнів напруги і реактивної потужності за рахунок пристроїв РГ, розташованих поблизу споживачів, істотно підвищує керованість реактивною потужністю та напругою, але вимагає нових підходів для створення системи управління.

- Реконфігурація розподільних мереж, що містять джерела РГ, формує ще один напрямок досліджень в даній області. У зв'язку зі збільшенням числа і потужності синхронних генераторів відбувається перерозподіл потоків потужності в мережі, а також збільшуються струми короткого замикання. Тому на стадії прийняття рішення про будівництво міні-станції необхідно виконати проектне обстеження за вибором заземлення нейтралі і нормальних розривів в мережі. Це завдання особливо актуальне в мережах міст-мегаполісів з розгалуженою розподільною мережею, з нерівномірним добовим графіком навантаження, великим питомим навантаженням на джерелах живлення.

- Економічні аспекти РГ і управління розподільною мережею формують окремий блок досліджень. Основною метою дослідники ставлять перед собою забезпечення інвестиційної привабливості в довгостроковій перспективі, мінімізацію термінів окупності проектів за допомогою регулювання цін на енергоносії, а також зниження тарифів на електроенергію.

- Прогнозування навантаження при наявності в мережі об'єктів РГ на поновлюваних джерелах сильно ускладнюється в порівнянні з традиційними завданнями прогнозування графіків електроспоживання. Для зниження ризиків, забезпечення необхідних показників надійності і економічності електропостачання використовуються складні математичні алгоритми. Також пропонується використання ряду нових технологій, що дозволяють здійснювати прогнозування навантаження в режимі реального часу.

Чисті і поновлювані джерела енергії становлять великий інтерес для досліджень. З огляду на новизну технологій «чистої» генерації багато проблем, пов'язаних із застосуванням, проектуванням і експлуатацією нових

енергоустановок, вимагають наукового узагальнення. Велика увага приділяється підвищенню надійності електропостачання, питань регулювання частоти і напруги в мережах з великою кількістю поновлюваних джерел енергії, а також оптимізації їх структури і режимів роботи.

- Паралельна робота РГ з електричною мережею значно ускладнює розрахунок статичної та динамічної стійкості. Перехідні процеси в системах з РГ вивчені мало і вимагають наукового опрацювання.

- Релейний захист розподільних мереж ускладнюється, тому що мережі при наявності джерел генерації мають більш складну конфігурацію, а всі зв'язки мають двостороннє живлення. Сучасні пристрої цифрової РЗА мають адаптивність, таким чином основним завданням на сьогоднішній день є розробка нових алгоритмів адаптивних захистів розподільних електричних мереж, а також алгоритмів і програмного забезпечення для пристроїв автоматики і реєстрації подій.

- Цифрові системи управління в розподільній мережі формують окремий блок досліджень. Електрична мережа з великою кількістю змішаної генерації вимагає наявності складних автоматизованих систем управління, що призводить до подальшого розвитку систем вимірювання, телемеханіки та зв'язку.

- Розробки новітніх цифрових технологій дозволяють створювати для енергооб'єктів низької напруги цифрові системи управління з штучним

інтелектом. Автоматизація процесів вироблення і споживання енергії призвела до формування понять «розумна мережа» і «розумний будинок», оснащених системою інтерактивного моніторингу вищенаведених процесів, а також автоматичною системою прийняття рішень для підвищення надійності електропостачання в аварійних ситуаціях.

- Завдання проектування та управління міськими електромережами особливо важливі. Даний напрямок є найбільш складним, оскільки комплексна наукова проблематика включає в себе всі аспекти проектування, будівництва і експлуатації міських мереж з великою кількістю РГ. Для міських мереж в такому випадку стають актуальними проблеми відновлення живлення після повної втрати електропостачання, розробка систем запобігання лавин частоти і напруги.

## **Висновки до розділу 1**

1) Ключовою характеристикою розвитку електроенергетичної галузі сьогодні є істотне зниження вартості установок джерел розподіленої генерації, в тому числі відновлюваних джерел електроенергії. Такі джерела дозволяють проводити децентралізацію виробництва електроенергії і масштабний розвиток розподілених джерел в усьому світі. Ця тенденція корінним чином змінює як характеристики споживання електроенергії, так і моделі поведінки споживачів на ринку електроенергії. Споживання стає все більш гнучким і мобільним. Споживачі електроенергії можуть одночасно ставати її постачальниками, що вимагає, в свою чергу, перегляду норм сформованої системи регулювання ринку електроенергії.

2) За своєю енергоефективності (ККД) розподілена генерація порівнянна з великими електростанціями. Завдяки близькості до споживача вона характеризується порівняно меншими мережевими втратами при розподілі електроенергії. Вона також може забезпечити виконання більш високих вимог споживачів за доступністю та якістю енергії, надійності енергопостачання.

3) Враховуючи сучасний стан енергетики та напрям її подальшого розвитку, визначений світовим співтовариством (Smart Grid), у тому числі й реалізація потенціалу активних споживачів, а також особливості виробництва електроенергії, стає очевидним, що системна інтеграція в енергетиці повинна поєднувати як самі джерела розосередженої генерації, так і автоматизовані системи та інформаційні технології.

**РОЗДІЛ 2**

**ОЦІНКА ЗАГАЛЬНОГО РІВНЯ**

**ЕНЕРГОНФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ**

**ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З**

**АКТИВНИМ СПОЖИВАЧЕМ**

## **2.1 Функціонування локальних систем електропостачання з залученням активного споживача у разі впровадження програм з керування попитом на електричну енергію**

Як показано в розділі 1.1, децентралізація електроенергетичних систем та комплексів призводить до більшого різноманіття та розвитку локальних мереж. Згідно з визначенням Закону України про електроенергетику визначення локальної електричної мережі відноситься до ділянки місцевості, а саме місцева (локальна) мережа це приєднана електрична мережа, призначена для передавання електричної енергії від магістральної електричної мережі до споживача. Тобто навіть з законодавчого визначення місцевої (локальної) електричної мережі наявність приєднання до магістральної мережі не є обов'язковою ознакою місцевої (локальної) електричної мережі, оскільки вирішальним є призначення електричної мережі, а не її приєднання до магістральної мережі.

Додатково в українському законодавстві вже введено поняття мала система розподілу (МСР) як окрема електрична мережа, приєднана до мереж системи розподілу або передачі, якою здійснюється розподіл електричної енергії певній кількості користувачів та яка є власністю/співвласністю суб'єкта/суб'єктів господарювання і побудована для задоволення потреб цих користувачів.

Діяльність МСР забезпечує оператор малої системи розподілу (ОМСР), що виконує функції, має права та обов'язки ОСР щодо користувачів МСР, електроустановки та/або мережі яких приєднані до мереж малої системи розподілу з урахуванням особливостей, визначених правилами роздрібного ринку електричної енергії, без отримання ліцензії на провадження господарської діяльності з розподілу електричної енергії. По відношенню до інших учасників роздрібного ринку оператор малої системи розподілу має права та обов'язки споживача електричної енергії. Схематично таку структуру ЛСЕП (локальні системи електропостачання) можна представити у вигляді системи без джерел РГ та НВДЕ рис.2.1, з джерелами РГ та НВДЕ – на рис. 2.2.

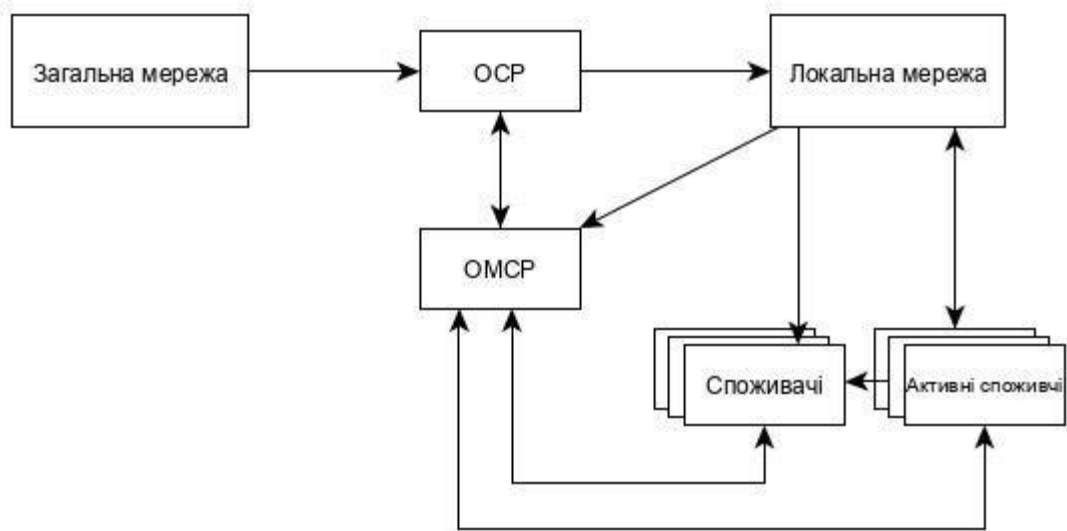


Рис. 2.1 – ЛСЕП та її основні зв'язки з загальною мережею

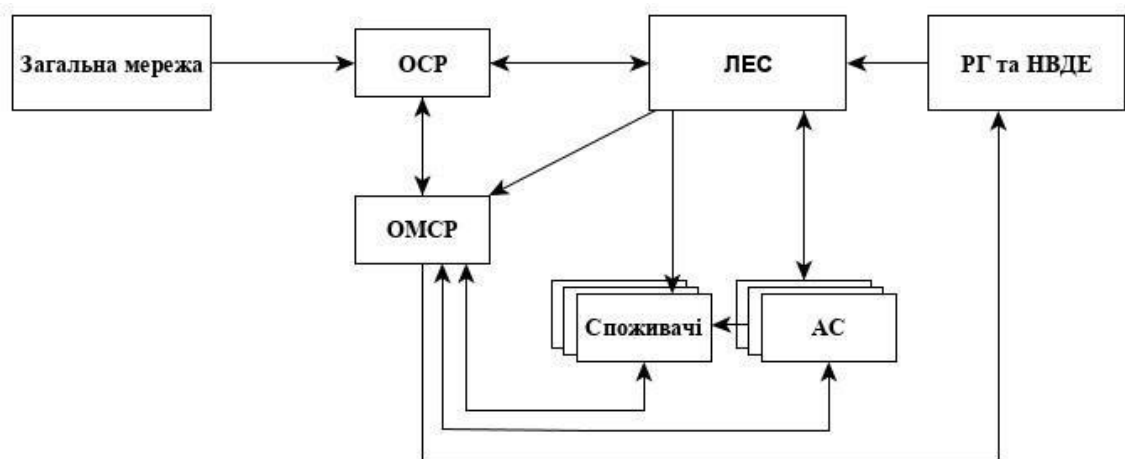


Рис. 2.2 – ЛСЕП з власними джерелами генерації без генерації в загальну мережу

Якщо в структурі ЛЕС присутні джерела РГ та НВДЕ, то в рамках взаємодії між ОМСП та ОСР у разі наявності достатнього рівня згенерованої енергії може розглядатись можливість автономної роботи ЛЕС, наприклад в години пікового споживання, з метою розвантаження загальної мережі. Структуру та інформаційно-технічні зв'язки такої ЛЕС зображено на рис. 2.2.

Електричні мережі можуть бути визначені як МСП, а отже і ЛСЕП, якщо це є:

- система розподілу, створена в єдиному проекті забудови (черги забудови), яка перебуває у власності споживачів - юридичних осіб та розташована на обмеженій території житлового комплексу;



- система розподілу, яка створена на правах спільної власності на обмеженій території земельної ділянки та використовується співвласниками для задоволення потреб (садові товариства, гаражні кооперативи, котеджні містечка тощо), визначених відповідним статутом організацій та/або об'єднань громадян;
- система розподілу, мережами якої здійснюється розподіл електричної енергії переважно для власника мереж або юридичних осіб, пов'язаних з ним господарськими відносинами та/або відносинами контролю;
- електричні мережі, що розподіляють електричну енергію користувачам на обмеженій території комерційного закладу (офісні центри, торговельно-розважальні комплекси тощо), пов'язаним між собою господарськими відносинами та/або відносинами контролю;
- електричні мережі, що розподіляють електричну енергію на обмеженій території користувачам, виробничі процеси яких пов'язані між собою з технологічних причин або міркувань безпеки;
- електричні мережі, що розподіляють електричну енергію на обмеженій території Користувачам закладу громадського обслуговування (спортивно-оздоровчі та санаторно-курортні комплекси тощо).

МСП має бути забезпечена приладами комерційного обліку загального перетоку електричної енергії та кожного користувача цієї системи окремо відповідно до Кодексу комерційного обліку.

Зростання кількості нових ВДЕ та необхідності керування та узгодження їх роботи в ЛЕС є одним з чинників інтелектуалізації ЛЕС та ЛСЕП. Еволюція СЕП з ВДЕ згідно з прогнозом ІЕА включає шість основних фаз, у кожній з яких відбуваються зміни у моделях керування рис. 2.3.

Основним етапом розвитку програм з керування попитом на електричну енергію має стати еволюція споживача до smart consumer, а саме його переходу в клас АС. АС може не лише керувати власним споживанням, але й залучати системи генерації та акумулювання в рамках системи енергетичного менеджменту.

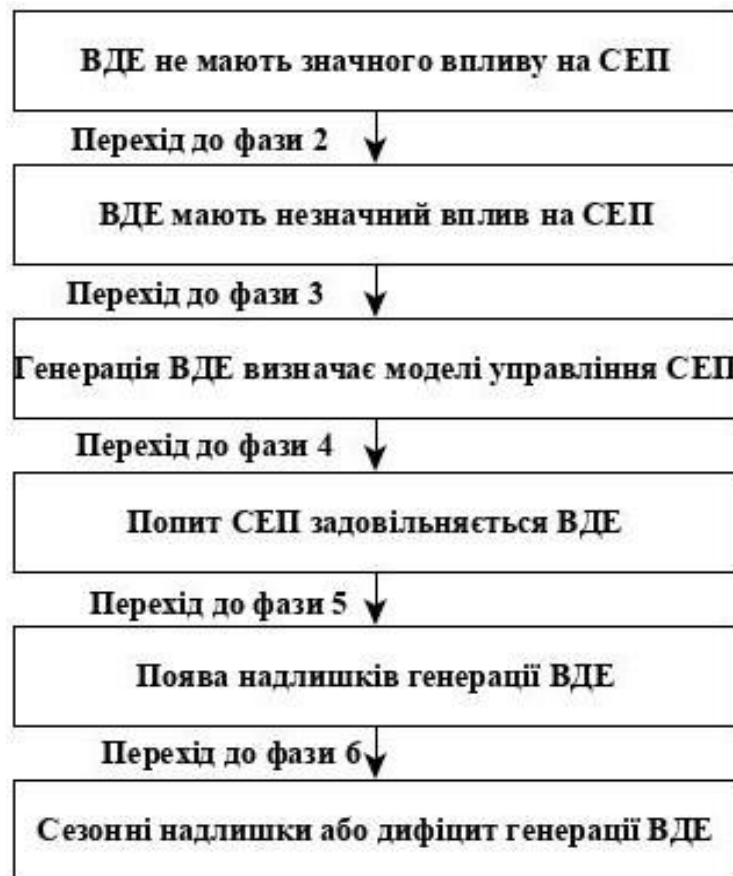


Рис. 2.3 – Фази розвитку ЛЕС у разі зростання кількості приєднаних ВДЕ

У разі розглядання груп АС градацію еволюції їх ролі можна розширити до партнера який спроможний скоротити споживання за наявності прямого доступу до керування навантаженням та просьюмера (prosumer), що мають значну долю власної генерації, яку оператор енергетичної компанії може використовувати для потреб сусідніх споживачів. Етапи еволюції ролі споживача та його споживчих характеристик наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Еволюція споживача в ЛСЕП

Етап розвитку споживача	Споживчі характеристики	Рівень інтеграції систем керування
Споживач Consumer	Веб платформа, навчання, відслідковування інформації	Блок передачі/Блок споживача

«Розумний» споживач Smart consumer	Керування власним навантаженням	Блок генерації/Блок передачі/Блок споживача
Активний споживач Active consumer	Власні системи генерації та акумуляування	Блок генерації/Блок передачі/Блок споживача, блок активного споживача, блок акумуляції
Партнер Partner	Пряме керування навантаженням	Блок споживача, блок передачі блок активного споживача, блок генерації, блок передачі
Просьюмер Prosumer	Надання послуг іншим споживачам	Блок споживача, блок передачі блок активного споживача, блок генерації, блок передачі,

Для першої фази, коли ВДЕ практично не впливають на СЕП, зміни в структурі керування відсутні, проте впровадження механізмів оптимізації графіків власного споживання може бути застосоване як спосіб зменшення витрат, пов'язаних з оплатою спожитої електроенергії. Для четвертої фази характерною особливістю визначено наявність періодів покриття ВДЕ всього попитом ЛЕС. На цьому етапі доцільним є розгляд механізмів оптимізації графіків споживання з врахуванням можливості накопичення та диверсифікації первинних енергетичних ресурсів. Для заключної шостої фази, в якій прогнозується наявність сезонних надлишків чи дефіциту та планується використання водневих технологій накопичення разом з використанням технологій виробництва та використання синтетичних палив, різко зростає ступінь важливості механізмів оптимізації, прогнозування та керування режимами роботи складових СЕП.

Існує безліч варіантів стандартизації, ринкових та регуляторних інструментів, які можуть сприяти інтелектуалізації СЕП. Ці варіанти можна згрупувати в такі категорії з наступними категоріями можливих заходів, зображених на рис. 2.4:

- інституції, які впливають на загальну політику розвитку, вибір енергетичних стратегій та правових рамок;

- контролюючі органи, які створюють норми та стандарти, встановлюють тарифи та проводять планування;
- безпосередньо оператори, енергетичні підприємства та інші учасники, що впливають на правила ринку, розробляють протоколи роботи та варіації структури СЕП.

Спектр заходів, які доступні на різних рівнях, має бути унікальним, узгодженим та взаємодоповнюючим у питаннях інтелектуалізації СЕП. Схематично зв'язки між учасниками ринку та категоріями заходів для впливу на інфраструктуру можна навести у вигляді блок-схеми на рис. 2.4.



Рис. 2.4 – Взаємозв'язки між учасниками, нормативно-правовою базою та інфраструктурою

Для впливу на режим роботи споживача в першу чергу традиційно застосовуються різні види диференційованої за часом споживання тарифікації, серед яких:

- Time-of-use pricing (TOU). Диференційована тарифікація за часом споживання – зазвичай відноситься до певних часових діапазонів споживання – пікового, позапікового, рідше – напівпікового;
- Real-time pricing (RTP). Тарифікація в режимі реального часу – визначається у відповідності до часу споживання;
- Variable Peak Pricing (VPP). Тариф змінного пікового споживання –

гібрид тарифікації в режимі реального часу та тарифікації за часом споживання – але ціна в години пікового споживання залежить від режимів роботи споживача та ринкових умов;

- Critical peak pricing (CPP). Тариф критичного пікового споживання – коли енергопостачальна компанія визначила загально ринковий підйом ціни або можливість виникнення аварійного режиму, встановлюється критична подія протягом деякого періоду часу, під час якої ціна значно вища. Існує дві варіації даного тарифу – коли ціна і тривалість визначені заздалегідь та коли тривалість і ціни встановлюються відповідно до умов та потреб у зниженні загального споживання в мережі;

- Critical peak rebates (CPR). Відшкодування зниження пікового споживання, коли енергопостачальна компанія визначила загально-ринковий підйом ціни або можливість виникнення аварійного режиму, вона може встановити критичний період, ціна на електричну енергію залишається незмінною, проте споживачу відшкодовується його зниження відповідно до встановлених прогнозованих та фактичних значень.

Як приклад розрахунку прибутку енергопостачальної компанії, розглянемо ціноутворення за фіксованою ставкою у разі постійних граничних витрат компанії:

$$\pi = \frac{\left[ \sum_{t=1}^3 n_t \alpha_t + \frac{\delta}{k} \sum_{t=1}^3 n_t \beta_t \right]^2}{4 \sum_{t=1}^3 n_t \beta_t} - F - \frac{\delta}{k} \sum_{t=1}^3 n_t \alpha_t ,$$

де  $q_t$  – попит на електричну енергію в період часу  $t$  (кВт·г);  $\alpha_t$  – допасування функції попитом на інтервалі часу  $t$ ;  $\beta_t$  – нахил кривої попитом на інтервалі часу  $t$ ;

$p_t$  – плата, що стягується монополістом за умови диференційованої тарифікації за часом споживання;

$p$  – плата, що стягується монополістом за умови фіксованих тарифів;

$C$  – обмеження потужності (МВт);

$F$  – фіксовані витрати пов'язані з генерацією та розподілом електроенергії;

$\delta t$  – граничні витрати, пов'язані з залученням додаткових джерел енергії на

інтервалі часу  $t$ ;

$\pi$  – загальний прибуток, отриманий монополістом;

$T_1 \%$  – відсоток втрат електричної енергії;

$(1 - T_1 \%) z_t = q_t$  – спожита енергія / попит на інтервалі часу  $t$ ;

Якщо  $k = (1 - T_1 \%)$ , то  $kz_t = q_t$

Формування конкурентних переваг щодо ціноутворення, якості та надійності надання послуг у рамках клієнтоорієнтованого підходу роботи енергетичної компанії, надає їй значні переваги над конкурентами з точки зору майбутньої можливості споживача обирати енергопостачальну організацію.

## **2.2 Аналіз впливу показників енергетичної ефективності та якості електричної енергії на рівень збитків**

Показники енергоефективності не можуть прогнозувати зміни в загальному енергоспоживанні або дати кількісну оцінку впливу окремих складових чи факторів на загальне енергоспоживання. Тому часто необхідно здійснити більш детальний аналіз, щоб зрозуміти сукупний вплив ряду різних факторів або рушійних сил на загальне енергоспоживання.

Декомпозиційний аналіз використовується для розділення впливу різних чинників на загальне споживання енергії. Методика ІЕА для аналізу тенденцій кінцевого споживання зазвичай розрізняє три основні складові, які впливають на споживання енергії: обсяги діяльності, її структура і енергоємність. У разі декомпозиційного аналізу впливу кожного конкретного фактора отримується кількісна оцінка, так що фактори, пов'язані з енергетичною політикою, можуть бути відокремлені від змін у структурній і кількісній складових енергоспоживання за секторами або ключовими видами кінцевого споживання, а також за видами палива.

При можливості, щоб врахувати кліматичні та соціальні чинники загального енергоспоживання, виконується дезагрегація на географічному або регіональному рівні. Якщо є більш деталізовані дані, то аналізується вплив більшої кількості факторів на загальне енергоспоживання (таких як коефіцієнт використання

потужності, погодні умови тощо). Основним питанням декомпозиції є вибір визначення діяльності.

В ідеальному випадку обрана міра діяльності буде використовувати легкодоступні дані і максимально можливо відповідати заявленим цілям і завданням програмної діяльності країни, її окремої галузі або регіону, або ж організації, що виконує аналіз.

Існують різні форми одного й того ж методу залежно від вибору базового року, типу математичної форми або конфігурації (адитивний чи мультиплікативний аналіз) (табл.2.2).

Таблиця 2.2 – Порівняння підходів аналізу впливів

Адитивний (у вигляді суми)	Мультиплікативний (у вигляді добутку)
$\Delta E = \Delta E_{ACT} + \Delta E_{STR} + \Delta E_{INT} + \Delta E_{RSD}$	$R = R_{ACT} \cdot R_{STR} \cdot R_{INT} \cdot R_{RSD}$
$\Delta E = \Delta E^{YearT} - \Delta E^{Year0}$	$R = \frac{E^{YearT}}{E^{Year0}}$
<i>ACT</i> – діяльність; <i>STR</i> – структура; <i>INT</i> – енергоємність; <i>RSD</i> - залишковий	

Таблиця 2.3 – Метод логарифмічних середніх індексів Дівізіа

	Адитивний	Мультиплікативний
Вплив діяльності ( <i>A</i> )	$E_t^A = \sum_i L(E_i^T, E_i^0) \cdot \ln\left(\frac{A^T}{A^0}\right)$	$R_t^A = \exp \sum_i \left( \frac{L(E_i^T, E_i^0)}{L(E^T, E^0)} \cdot \ln\left(\frac{A^T}{A^0}\right) \right)$
Структурний вплив ( <i>S</i> )	$E_t^S = \sum_i L(E_i^T, E_i^0) \cdot \ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^0}\right)$	$R_t^S = \exp \sum_i \frac{L(E_i^T, E_i^0)}{L(E^T, E^0)} \cdot \ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^0}\right)$
Вплив енергоємності ( <i>I</i> )	$E_t^I = \sum_i L(E_i^T, E_i^0) \cdot \ln\left(\frac{I_i^T}{I_i^0}\right)$	$R_t^I = \exp \sum_i \left( \frac{L(E_i^T, E_i^0)}{L(E^T, E^0)} \cdot \ln\left(\frac{I_i^T}{I_i^0}\right) \right)$
	$E_t^S$ – енергоспоживання за <i>T</i> -й рік; $E^0$ – енергоспоживання за 0-й рік; <i>i</i> – підсектор або вид кінцевого використання.	$L(a, b) = \frac{a - b}{\ln a - \ln b}, a, b > 0,$ $a \neq b$

Наведений в табл. 2.3 метод логарифмічних середніх індексів Дівізіа, характеризується повнотою декомпозиції. Однак він не підходить у разі наявності нульових або від'ємних значень в аналізованих наборах даних.

Вибір базового року є надзвичайно важливим і допускає різновиди фіксованого або зчепленого базового року. У разі зчепленого базового року замість одного базового року використовується часовий ряд, оскільки для кожного року базовим вважається попередній рік. Вважається, що метод зчеплення дає більш точні результати і полегшує аналіз множинних періодів часу. Вибір адитивної або мультиплікативної конфігурації переважно залежить від наявності даних і форми, в якій вимагається дати результат впливу окремих ефектів або факторів, досліджуваних у рамках декомпозиційного аналізу, як відносна зміна або в абсолютних величинах. У табл. 1.8 наведено відмінність між адитивною і мультиплікативною конфігураціями. У разі повної декомпозиції залишковий член  $RSD$  в адитивному аналізі має дорівнювати ( $RSD = 0$ ), тоді як в мультиплікативному й декомпозиції -  $RSD = 1$ .

Метод прямого індексу Ласпейреса відомий легкістю використання. Однак у цьому методі є залишковий член, який може бути значним (зокрема у разі розгляду тривалих періодів часу або дуже швидких змін, як у разі рецесії або експансії) і викликає питання точності й застосовності результатів декомпозиції з використанням цього методу.

Загалом МЕА виділяє п'ять секторів: житловий сектор, ~~послуг~~, промисловість, транспорт та інші, для яких і формується напрям підвищення якості розробки стратегії шляхом більш ефективного використання показників для моніторингу результатів у сфері енергоефективності.

Економію енергії в результаті скорочення енергоємності можна визначити як різницю між гіпотетичним і фактичним енергоспоживанням:

$$SAVINGS_t^i = HEU_t^i - E_t^i.$$



Таблиця 2.4 – Впливи на зміну показників енергоефективності

	Адитивний	Мультиплікативний
Вплив діяльності ( $A$ )	$E_t^A = A_t \cdot \sum_i S_0^i \cdot I_0^i - E_0$	$R_t^A = \frac{A_t \cdot \sum_i S_0^i \cdot I_0^i}{E_0}$
Структурний вплив ( $S$ )	$E_t^S = A_0 \cdot \sum_i S_t^i \cdot I_0^i - E_0$	$R_t^S = \frac{A_t \cdot \sum_i S_0^i \cdot I_0^i}{E_0}$
Вплив енергоємності ( $I$ )	$E_t^I = A_0 \cdot \sum_i S_0^i \cdot I_t^i - E_0$	$R_t^I = \frac{A_t \cdot \sum_i S_0^i \cdot I_0^i}{E_0}$
$t$ – кінцевий рік; $0$ – базовий рік; $i$ – підсектор або вид кінцевого використання.		

Аналіз можна розширити, включивши в розгляд зміни викидів CO<sub>2</sub> шляхом введення параметрів структури споживання палива і вміст вуглецю (або CO<sub>2</sub> ємності) додаткові фактори. Структура споживання палива може використовуватися для опису змін у долях різних видів палива (включаючи електроенергію) в кінцевому споживанні, а вміст вуглецю означає викиди CO<sub>2</sub> на одиницю спожитої енергії:

$$F_t^{i,f} = \frac{E_t^{i,f}}{E_t^i}; C_t^{i,f} = \frac{C_t^{i,f}}{E_t^i}.$$

Викиди CO<sub>2</sub> в секторі можна розкласти на результати впливу діяльності, структури, енергоємності, структури с

поживання палива, а також вміст вуглецю, відповідно до такої формулами де  $f$  означає тип палива:

$$G_t = A \cdot \sum_i \left[ S_t^i \cdot I_t^i \cdot \sum_f F_t^{i,f} \cdot C_t^{i,f} \right].$$

Це робить можливим розрахунок гіпотетичних викидів CO<sub>2</sub>, а також величини скорочення викидів. Наприклад, дві наступні формули представляють вплив вмісту вуглецю і відповідне скорочення викидів.

$$G_t^C = \frac{A_0 \cdot \sum_i \left[ S_0^i \cdot I_0^i \cdot \sum_f (F_0^{i,f} \cdot C_t^{i,f}) \right]}{G_0};$$

$$CO2SAVINGS_t^C = \frac{G_t}{G_t^C} - G_t.$$

Використовуваний ІЕА метод декомпозиції дає змогу спостерігати вплив елементів, що відносяться до енергоємності та ємності вуглецю, окремо від змін у складових енергоспоживання, пов'язаних зі структурою і діяльністю. Це допомагає і визначати найбільш ефективні напрямки заходів, і відслідковувати прогрес після їх реалізації.

Метою такого роду декомпозиції є: кількісна оцінка внеску певних факторів у зміну енергоспоживання; виявлення джерела змін енергоспоживання; вимірювання ефективності енергетичної політики і технологій.

Як приклад впливу окремих факторів, варто зазначити, що швидке збільшення кількості великих комп'ютерних систем, які використовуються у сфері бізнесу, комерційних і фінансових структурах, для керування, контролю і автоматизації технологічних процесів, які дуже сприятливі до зовнішніх збурень.

Особливою чутливістю до електромагнітних перешкод (ЕМП) характеризується так званий "Цифровий бізнес" – фірми, діяльність яких пов'язана з отриманням, обробкою, передачею та використанням інформації (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Збитки від ЕМП

Сфера бізнесу	Збитки, дол./хв
Послуги операторів мобільного зв'язку	41000
Роздрібна торгівля з допомогою засобів телекомунікації	72000
Резервування авіаквитків	90000
Операції за кредитними картками	2580000
Брокерські операції	6480000

Наприклад, в США за даними за 2001 р. на частку цифрового бізнесу припадало близько 12% всієї споживаної електроенергії; прогнозується, що до 2011 року ця цифра зросте до 16%. Причиною збитків є складність сучасних технологічних процесів і високі вимоги до підтримання їх стабільності. В табл.

2.6 наведені типові суми збитків від перерви електропостачання у деяких галузях промисловості.

Таблиця 2.6 – Збитки галузей від ЕМП

Галузі промисловості (сфера діяльності)	Збитки євро\перерва ЄС
Виробництво напівпровідників	380000
Комп'ютерний центр	750000
Телекомунікації	30000
Талаливарне виробництво	350000
Скляна промисловість	250000

Оскільки якісна оцінка оптимальності режимів функціонування СЕП потребує врахування багатьох технічних та природних факторів, будемо використовувати показники якості електричної енергії разом з показниками надійності та економічних збитків для системи.

Основними показниками якості електроенергії у разі живлення від електричних мереж трифазного струму є відхилення і коливання частоти, ступінь несинусоїдальної форми кривої напруги, не симетрія напруги і зсув нейтралі, відхилення і коливання напруги.

Проблема керування якістю електроенергії в системі безпосередньо пов'язана з керуванням електроспоживанням. Тут якість електроживлення доцільно характеризувати як сукупність надійності СЕП та якості електроенергії. До нормалізованих показників якості електричної енергії належать відхилення та коливання частоти, відхилення, коливання, несиметрія, неурівноваженість і несинусоїдальність напруги. Установлено два види норм якості електроенергії: допустимі та гранично допустимі. Наведені нормативні показники широко використовуються на практиці і є директивними. Досвід їх використання показав доцільність доповнення відомих систем показників характеристиками і показниками, які оцінюють ефективність перетворення електроенергії, ступінь ЕМС тощо. Важливими є аналіз залежності показників від параметрів СЕП,

усталеність роботи елементів СЕП, розвиток системи за її експлуатації. Так, з урахуванням необхідності розгляду різних сторін енергетичних процесів у СЕП, системи енергетичних характеристик і показників поряд з нормативними мають вміщувати додаткові складові:

- 1) споживану активну потужність  $P$ ;
- 2) складові втрат активної потужності від різних факторів неякісності електромагнітних процесів (складові потужності Фризе  $Q_F$ );
- 3) модифікації реактивної потужності;
- 4) показники, які характеризують форми сигналів  $i(t)$ ,  $u(t)$ ,  $p(t)$  імпульсів та імпульсних послідовностей;
- 5) екстремальні значення сигналів  $i(t)$ ,  $u(t)$ ,  $p(t)$  та їх похідні;
- 6) коефіцієнти перетворення енергії;
- 7) техніко-економічні показники;
- 8) сигнали керування та контролю;
- 9) характеристики взаємного впливу елементів системи, рівнів досягнення електромагнітної сумісності.

Оскільки всі ці види спотворень спричиняються роботою електроустановок споживачів, спільний вплив яких визначає сумарний рівень спотворень у точці приєднання до мережі, виникає необхідність визначення допустимого індивідуального внеску кожного споживача в погіршення якості.

Економічні показники роботи електроустаткування і в ряді випадків кількість і якість продукції, що випускається, істотно залежать від наявності та впливу електромагнітних завад. У разі проектування і експлуатації СЕП може виявитися необхідним розрахувати економічний збиток, спричинені їх впливом. Необхідність визначення таких збитків виникає також у разі коригування існуючих і розробках нових стандартів.

Економічні збитки, обумовлені впливом факторів ЕМП мають дві складові: електромагнітну і технологічну. Електромагнітна складова визначається в основному зміною втрат активної потужності і відповідною зміною терміну служби ізоляції електрообладнання.

У цьому випадку збиток, пов'язаний з несинусоїдальністю, несиметрією і коливаннями напруги (КН), буде рівним нулю за синусоїдності і симетрії системи лінійних напруги і відсутності КН в мережі; за відхилення напруги збиток приймається рівним нулю за рівня напруги, рівного оптимальному. Технологічна складова збитку викликається впливом завад на продуктивність технологічних установок і собівартість продукції, що випускається.

У загальному вигляді значення економічного збитку за відсутності КН виражаються безперервними і диференційованими функціями відповідних показників ЕМП. У разі відсутності взаємного зв'язку між окремими показниками збиток, обумовлений кожним з них, може бути представлений степеневим поліномом щодо відповідного показника економічних збитків:

$$З = \sum_{s=1}^m \left\{ \sum_{k=1}^3 \left[ a_{s_k}^{(e)} + a_{s_k}^{(r)} \right] \Delta U_y^k + \sum_{p=1}^2 \left[ b_{s_p}^{(e)} + b_{s_p}^{(r)} \right] k_{2\text{пу}} + \sum_{l=1}^2 \sum_{n=1}^n \left[ C_{s_n l}^{(e)} + C_{s_n l}^{(r)} \right] k_{U(n)}^2 \right\},$$

де  $a_{s_k}^{(e,r)}$ ,  $b_{s_p}^{(e,r)}$ ,  $C_{s_n l}^{(e,r)}$  – коефіцієнти, що визначаються електромагнітними (е) і технологічними (т) параметрами електрообладнання  $s$  виду або ділянки технологічного потоку або виробництва;  $\Delta U_y^k$ ,  $k_{2\text{пу}}$ ,  $k_{U(n)}^2$  – значення відхилення напруги, коефіцієнта напруги зворотної послідовності та  $n$ -ї гармонічної складової.

Усі відомі алгоритми оцінки збитків та витрат від показників якості потребують подальшого вдосконалення, застосування адекватних характеристик та параметрів, узгодження з нормативно-правовою базою. Як інтегральну характеристику найбільш широкого застосування, варто розглянути реактивну потужність Фризе:

$$Q_{\Phi} = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

За оцінки поточного рівня електроспоживання вираз для реактивної потужності Фризе  $Q_{\Phi}$  є фактично квадратичною мірою нев'язки між повною  $S$  та активною  $P$  потужністю. Навіть за відсутності реактивних елементів матиме місце співвідношення  $Q_{\Phi} > 0$  у разі нерівномірності протікання процесів.

### 2.3 Аналіз факторів впливу на добовий графік споживання електричної енергії та показників нерівномірності споживання в системах електропостачання

Умови роботи енергетичної системи та наявних в ній електростанцій визначаються режимами електро- та теплоспоживання споживачів і характеризуються відповідними графіками навантаження добовим, тижневим та річним.

Основний графік навантаження – добовий, показаний на рис. 2.5 характеризується значною нерівномірністю споживання з характерними зонами.



Рис. 2.5 – Типовий добовий графік електроспоживання

Електроспоживання протягом доби має різкозмінний характер за відносно короткі проміжки часу, що можуть бути представлені годинними чи навіть хвилинними інтервалами часу, тому забезпечення балансу згенерованої та спожитої електричної енергії настільки складна задача. Дещо простіша задача вирішення тижневої нерівномірності, що в основному полягає у неминучому масовому відключенні генеруючого обладнання на період вихідних днів.

Добовий графік характеризується значною нерівномірністю. Навантаження безперервно змінюється, досягаючи в певні моменти найбільших та найменших значень. У нічний період зберігається навантаження лише цілодобових підприємств та освітлення. О 6–8 годин ранку навантаження зростає з відновленням роботи промислових підприємств та транспорту.

Провал спостерігається о 12–14 год. у зв'язку з обідньою перервою. Максимум має місце у вечірні години, що пов'язано зі зростанням побутового навантаження.

За типом виникнення всі фактори технологічного середовища діляться на метеорологічні та соціально-економічні (рис. 2.6).



Рис. 2.6 – Фактори впливу на добовий графік електроспоживання

Метеорологічні фактори відображають залежність графіків електроспоживання від погодних явищ, що виражаються в зміні довготи світлового дня, часу заходу і сходу сонця, температури повітря, а також виникненні атмосферних явищ і опадів. Соціально-економічні фактори відображають залежність графіка електричних навантажень від показників, викликаних соціально-економічними укладами життєдіяльності та економічної активності, наприклад, від типів днів (робочі, вихідні та святкові), тривалості робочих змін, виробничих програм підприємств, особливостей графіків електроспоживання окремих об'єктів, економічної активності господарюючих суб'єктів.

Зазначені фактори умовно можна розділити на три групи: циклічні, природні та випадкові. Ця класифікація походить від характеру виникнення факторів і відображає їх доступність для включення в прогнозну модель

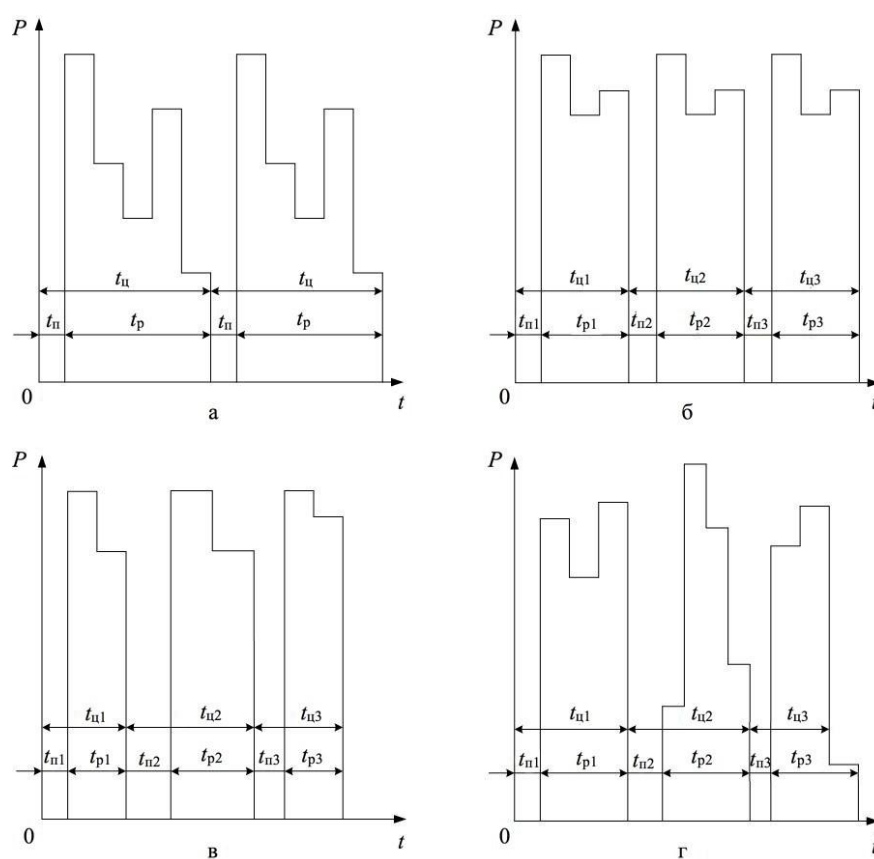


Рис. 2.7 – Основні види індивідуальних графіків споживання для промислових споживачів



Для апроксимації загального графіка навантажень використовується один з двох поширених методів:

- 1) знаходження середнього значення потужності в якості базового рівня на інтервалі часу споживання;
- 2) застосування методу кусочно-постійної інтерполяції, що дає змогу апроксимувати функцію поліномами високих порядків.

Також варто охарактеризувати можливі варіанти класифікацій споживачів. Класифікація споживачів наведена в табл. 2.7.

Табл. 2.7- Класифікація споживачів

Тип споживача	Населення (місто, селище, ферма) промислові підприємства , транспорт (міський, приміський, залізничний) та суб'єкт господарювання (фізичні особи, юридичні особи
Виробничий процес	Циклічно-постійний з можливістю зміни режиму роботи, умовно постійний без можливості зміни режиму роботи, зі змінною продукцією (випуск продукції варіативний), з перервами у роботі
Можливості зміни режиму роботи	Визначається коефіцієнтом гнучкості виробничого процесу. Як варіант відображення коефіцієнти від 0 до 1.
Реакція на сигнали керування	Показник реакції споживача на вимоги оператора щодо зміни режиму споживання. Від умовного миттєвого 0 год. до інертного – 24 год.
Можливості зниження споживання	Визначається коефіцієнтом гнучкості виробничого процесу з врахуванням безбитковості зниження навантаження в даний момент часу.

Кількість малопотужного обладнання з короткочасним пуском.	Для врахування можливостей застосування акумуляторних батарей.
Категорії надійності обладнання	Кількість обладнання та їх потужності у відповідності до категорій надійності
Встановлені джерела РГ	Потужність встановлених джерел РГ для врахування можливості самозабезпечення споживача
Встановлені джерела НВДЕ	Потужність джерел НВДЕ та систем акумуляції для врахування можливості самозабезпечення споживача
Можливості встановлення НВДЕ	Врахування можливості встановлення додаткових джерел НВДЕ для самозабезпечення

У разі невиконання умов збереження балансу, виникає значна частота електричного струму та перетоків за міжсистемними лініями електропередачі. Значні відхилення від балансу призводять до серйозних наслідків, пов'язаних із знеструмленням споживачів, відключенням генераторів електростанцій та інших. Тому в електроенергетичній системі на кожен момент часу має бути резерв потужності, що використовується для відновлення балансу у випадку відхилення прогнозованих значень споживання або раптового виходу з ладу генеруючого обладнання.

## **Висновки до розділу 2**

1. Проведено комплексний аналіз особливостей розвитку та функціонування СЕП та ЛСЕП згідно з вимогами концепції Smart Grid в рамках визначених особливостей процесу енергетичного переходу, що дав змогу виявити тенденцію розширення ролі ОСР та ОМСР у разі регулювання та керування режимами роботи СЕП з АС.

2. За рахунок використання співставного (компаративного) методу проведено аналіз та класифікацію основних відмінностей між традиційними СЕП та на базі концепції Smart Grid з АС, визначено роль АС та наведено їх еволюцію з точки зору основних функціональних властивостей та взаємодії з СЕП та ЛСЕП.

3. Проаналізовано можливості оцінки загального рівня енергоефективності та збитків від нерівномірності добового графіка, що дозволяє врахувати сукупний вплив ряду різних факторів або рушійних сил на загальне енергоспоживання.

4. Виявлено основні чинники, що впливають на нерівномірність добового графіка електроспоживання та основні показники оцінки рівня нерівномірності, на основі яких мають бути розроблені оптимізаційні задачі керування режимами функціонування споживачів у СЕП та ЛСЕП.

**РОЗДІЛ 3**

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ**

**ІННОВАЦІЙНИМИ ПРОЕКТАМИ У**

**СИСТЕМІ З РОЗПОДІЛЕНОЮ**

**ГЕНЕРАЦІЄЮ**

### **3.1 Удосконалення методів прогнозування та оцінки очікуваних ефектів інноваційних проектів по розгортанню інтелектуальних енергомереж рівня 1.0 і 2.0**

Аналіз літератури за інноваційними проектами систем з розосередженою генерацією дозволяє зробити висновок про те, що стандартних методів і підходів до оцінки економічної ефективності таких проектів поки не існує. У найпростішому випадку до економічних ефектів відносять скорочення витрат на ручне збирання свідчень приладів обліку. Одним з таких проектів, за яким представлені дані про економічну ефективність, вираженої як скорочення витрат на збір свідчень, є проект Telegestore італійської компанії Enel. Проект був спрямований на установку інтелектуальних приладів обліку, тобто може бути віднесений до проекту рівня 1.0. У період з 2001 по 2006 рр. було встановлено 32 млн. інтелектуальних приладів обліку, в результаті чого операційні витрати компанії скоротилися на 500 млн.

Іншим підходом, також представленим в літературі, є облік, крім зниження витрат на збір показників по споживанню енергії, і інших вигод для споживача і компанії - постачальника електроенергії: скорочення енергоспоживання в період пікових навантажень, що дозволяє знизити обсяг резервних потужностей в енергосистемі, поліпшення якості енергоменеджменту, що веде до зниження втрат і т.д.

Для оцінки економічних ефектів від цих проектів використовувався єдиний підхід, заснований на методології «витрати - вигоди» (Cost Benefit Analysis). За результатами кожного виконаного проекту ініціатор проекту надавав звіт за спеціально розробленим форматом, в якому були представлені метрики для обліку таких ефектів від виконання проекту як зростання продуктивності всієї енергосистеми, підвищення безпеки, зниження негативних впливів на навколишнє середовище, підвищення КВВП генеруючих потужностей, зниження втрат в мережах, підвищення якості енергопостачання і т.д. (Таблиця 3.1).

Будь-яких перерахунків оцінок ефектів від впровадження інтелектуальних енергомереж в грошовий вираз далі не проводилося, хоча деякі ефекти, наведені в Таблиці 3.1 можуть бути оцінені і в грошовому вираженні.

Таблиця 3.1 - Ефекти від впровадження інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією і показники для їх вимірювання за методологією

Ефекти від розгортання інновацій в системі з активними споживачами	Показники
Підвищення безпеки	Кількість аварій в електромережах, кількість випадків техногенного тероризму
Зниження екологічного навантаження	Обсяг викидів діоксиду вуглецю, діоксиду сірки, оксидів азоту (при роботі всієї енергосистеми)
Зниження вартості енергопостачання	Коефіцієнт використання потужності, втрати в мережах
Підвищення якості енергопостачання	Тривалість і кількість перебоїв у енергопостачанні
Підвищення якості життя	Розвиток цифрової економіки (кількість цифрових компаній), нові можливості по виробництва енергії (кількість і потужність об'єктів мікрогенерації у населення)
Підвищення економічної безпеки	Обсяг імпорту вуглеводнів, доходи населення, нові робочі місця, надходження від податків

Завдяки єдиному підходу до моніторингу проектів, реалізованих в рамках програм RDSI, SGDP і SGDP також вдалося виявити, що до 30% всіх витрат за проектом інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією доводиться на

науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, включаючи проектування, моделювання і тестування мережі.

Аналізуючи показники ефектів інноваційних проектів по розгортанню інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією, представлені в Таблиці 3.1, нескладно помітити, що значна їх частина може бути віднесена до зовнішніх ефектів - так званим позитивним екстерналій. Методи обліку такого роду ефектів добре розвинені на сьогоднішній день для проектів відновлюваної енергетики, які також виробляють значні позитивні зовнішні ефекти. В основі різних підходів до обліку екстерналій в показниках ефективності інноваційних проектів лежить метод приведеної вартості електроенергії (LCoE).

Наведена вартість енергії (LCoE) - середня вартість генерації електроенергії, розрахована для всього періоду експлуатації (або життєвого циклу) електростанції:

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^T A_t \cdot (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T SE \cdot (1+r)^{-t}},$$

де

$I_0$  - питома вартість обладнання з урахуванням інсталяції (грошових одиниць / кв.м.);

$A_t$  - вартість обслуговування обладнання в році  $t$  (грошових одиниць);  $SE$  - кількість виробленої енергії на рік  $t$  (МВт);

$T$  - тривалість періоду експлуатації генеруючого обладнання (років);  $r$  коефіцієнт дисконтування, що відображає зміну вартості грошей в часі.

Розширеним поняттям приведеної вартості електроенергії є системна вартість електроенергії, при розрахунку якої додатково враховуються такі витрати:

- *субсидії*: проекти ВДЕ, як правило, реалізуються за державної підтримки, яка може надаватися або через систему бонусних тарифів, або за допомогою

договорів на надання потужності. Для проектів з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією в Україні цей аспект не є актуальним, так як в даний час електромережеві компаній здійснюють інтелектуалізацію енергомереж за рахунок власних коштів. Однак він може враховуватися в тому випадку, якщо державно підтримка все ж буде здійснюється.

При обліку субсидій в LCoE формула перетворюється в такий вигляд:

$$LCoE = \frac{I_0 + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T At \times (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r)^{-t}},$$

де

$Sub_{N/P}$  - розмір субсидій на одиницю масштабу ІС (одного споживача) для проектів рівня 1.0 або на одиницю потужності генеруючого обладнання рівня 2.0.

• *Витрати на утримання мереж*: Інтеграція ВДЕ в загальну енергетичну систему при досить високому рівні їх проникнення вимагає паралельного ініціювання проекту по інтелектуалізації енергомереж, вартість якого теж необхідно враховувати. У нашому підході даний аспект враховується повністю, а витрати на розвиток ВДЕ враховуються тільки при реалізації проектів рівня 2.0. Обидва даних показника враховані у формулі коефіцієнтом  $I_0$ .

• *Витрати на варіативність*: Засоби, необхідні для підтримки резервних потужностей (як правило, газових електростанцій) в робочому стані. Як показано в деяких джерелах [12], в даний час це один з основних факторів витрат при інтеграції відновлюваних джерел енергії в єдину енергосистему, принаймні до тих пір, поки не будуть розроблені системи зберігання енергії на рівні мереж. Очевидно, що в разі проектів по впровадженню інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією даний вид витрат необхідно розглядати тільки в разі впровадження енергомережі рівня 2.0, що передбачає підвищення рівня проникнення ВДЕ в енергосистемі. З урахуванням даних витрат формула перетворюється до наступного вигляду:



$$LCoE = \frac{I_o + I_v + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T At \times (1+r^{-t})}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r^{-t})},$$

де

$I_v$  - витрати на одиницю резервної потужності.

Вищевказані фактори являють собою прямі витрати на електроенергію, які в даний час враховуються лише частково або взагалі не беруться до уваги при застосуванні методу розрахунку вартості енергії за схемою LCoE. Інтеграція цих системних витрат в розширену модель LCoE дасть більш повне уявлення і потенційної ефективності проектів ВДЕ та ІЕС.

Проте, навіть розширена модель LCoE в повному обсязі відбиває загальну вартість електроенергії для соціуму. Щоб провести всеосяжну оцінку вартості - того, що можна було б назвати «соціальної вартістю електроенергії» або SCoE (Social Cost of Electricity), необхідно прийняти в рахунок ще такі додаткові чинники як:

*Соціальні витрати / ефекти:* На додаток до викидів парникових газів, спалювання вугілля є причиною викиду твердих частинок, піддаючи здоров'я населення небезпеки. Також і функціонування ядерних електростанцій завжди пов'язане з ризиком важкої аварії, де збиток може бути дуже значним.

Більш того, ядерні та вугільні електростанції споживають велику кількість води, яка потім стає непридатна для подальшого використання; ця особливість може бути причиною закриття їх під час посухи [13]. Ці витрати не відображаються в моделі LCoE ні в якості переваг відновлюваних джерел енергії, ні в якості недоліків традиційних джерел енергії. Потенційне зниження цін на нерухомість поблизу електростанцій, в тому числі вітрових електростанцій, також потрапляє в цю категорію і має бути прийнято до уваги. Проекти з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 1.0 також мають позитивні соціальні ефекти, так як зниження втрат в мережах дозволяє знизити обсяги генерації електроенергії і, як наслідок, витрати вуглеводневого палива і

викиди від його спалювання. Соціальні ефекти проектів інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 2.

С урахуванням соціальних витрат формула перетвориться до наступного виду:

$$SCoE = \frac{I_0 + I_v + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T At \times (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r)^{-t}} + S_{cost},$$

$S_{cost}$  - вартісна оцінка негативних екологічних ефектів одиниці виробленої енергії (може бути як позитивним так і негативним членом, в залежності від характеру генерації).

Позитивним аспектом впровадження ВДЕ є скорочення викидів CO<sub>2</sub>, Тобто мінімізація негативного впливу енергетики на навколишнє середовище. У деяких країнах в даний час вже добре розроблені оцінки соціальної вартості CO<sub>2</sub>і робляться спроби включення даної вартості в розрахунок інвестиційних проектів і оцінку їх ефективності. В Україні такі підходи поки не застосовуються, але в зв'язку з обговоренням перспектив ратифікації Паризького угоди по клімату, можуть бути реалізовані на практиці в майбутньому [14].

Як непрямих позитивних екологічних ефектів інноваційних проектів з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією також може розглядатися зниження обсягів викидів, що відбувається в зв'язку зі зниженням обсягів вуглеводневої електрогенерації і зростання рівня проникнення поновлюваних джерел енергії.

*Економічний ефект:* Під економічними ефектами проектів по впровадженню ВДЕ традиційно розуміють зниження (або повне виключення) витрат на вуглеводневе паливо і створення нових високотехнологічних робочих місць. Для проектів з інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією перший зі згаданих економічних ефектів цілком прийнятний. Під економічним ефектом при реалізації інноваційних проектів в області інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією будемо розуміти економію грошових коштів за допомогою зниження витрат електроенергії, досягнуту за рахунок інсталяції

інтелектуальних приладів обліку (при розгортанні інтелектуальної енергомережі рівня 1.0). В укрупненій структурі фактичних втрат електроенергії можна виділити дві групи:

#### 1. Технологічні втрати.

Технологічні втрати включають в себе технічні втрати в електричних мережах, обумовлені фізичними процесами, що відбуваються при передачі електроенергії, витрата електроенергії на власні потреби підстанцій, а також втрати, зумовлені допустимими похибками системи обліку електроенергії. Вони не є збитками електромережевого підприємства в повній мірі цього слова, так як вартість їх нормативного обсягу враховується в тарифі на передачу електроенергії. Кошти на покриття фінансових витрат, пов'язаних з придбанням електроенергії для компенсації технологічних втрат в рамках встановленого нормативу, надходять в мережеву компанію в складі зібраної виручки за передачу електроенергії.

#### 2. Комерційні втрати.

Комерційні втрати неможливо виміряти приладами і розрахувати по самостійним формулами. Вони визначаються математично як різниця між фактичними і технологічними втратами електроенергії і не підлягають включенню в норматив втрат електроенергії. Витрати, пов'язані з їх оплатою, не компенсуються тарифним регулюванням.

Другий, що традиційно враховуються економічних ефектів, пов'язаний зі створенням нових високотехнологічних робочих місць, реалізується тільки в проектах рівня 2.0. З урахуванням економічного ефекту формула буде мати наступний вигляд:

$$SCoE = \frac{I_0 + I_v + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T At \times (1+r^{-t})}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r^{-t})} + S_{cost} + C_{tr},$$

*Ctr* - витрати на передачу по мережі одиниці електроенергії (при впровадженні інтелектуальних енергомереж за рахунок мінімізації технологічних і комерційних втрат даний член буде прагнути до 0)

*Геополітичні ефекти*: «зелена» енергетика є перешкодою на шляху майбутнього підвищення цін на паливо, які є причиною політичних ігор, освіти політичних коаліцій, а іноді навіть розв'язування воєн. Ухвалення рішення на користь стабільного і незалежного джерела енергії може розглядатися як проста, але ефективна страховка від волатильності енергетичного ринку майбутнього, що узгоджується з концепцією сталого розвитку за рахунок ефективного використання місцевих природних ресурсів. Для України облік даного ефекту в розрахунках не представляється актуальним, проте ми залишаємо можливість його обліку в загальній моделі виходячи з міркувань, що розробляється нами методика може бути застосована і для особливих території країни (транскордонних, ізольованих, зі слабо розвиненою енергетичною інфраструктурою). З урахуванням геополітичного чинника формула прийме наступний вигляд:

$$SCoE = \frac{Io + Iv + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T At \times (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r)^{-t}} + S_{cost} + Ctr + GP,$$

де

*GP* - геополітичний ефект, оцінюваний експертним методом за шкалою Черчмена-Акоффа в межах від мінімально можливого до максимально можливого значення SCoE без урахування даного члена.

Аналізуючи розробки в області кількісної оцінки соціальної вартості електроенергії, можна виділити роботу [16], в якій виділено такі складнощі, що виникають при розрахунку соціальних ефектів:

*Відсутність універсальних одиниць і процедур вимірювання*. Для деяких вимірювань соціальних ефектів відсутні необхідні первинні дані. Для подолання даної складності ми пропонуємо використовувати при розрахунках прийняті в

стандартах ДСТУ ISO 14040-14044 показники впливу на середовище проживання людини.

*Специфіка розташування.* Найчастіше рівень забруднення навколишнього середовища залежить від розташування джерела виробництва енергії. Наприклад, якщо джерело розташоване поблизу і з невітряного боку від населених пунктів, то негативні наслідки для здоров'я будуть відчутно більше, ніж від джерела, розташованого на березі водойми, де переважають вітри від населеного пункту. Для подолання даної невизначеності ми пропонуємо використовувати класифікації категорій впливу на середовище проживання людини по ієрархії цінностей VSD (докладніше п 3.2).

*Рівень новизни технології.* Якщо мета полягає в тому, щоб виробити майбутню стратегію і вибрати технології для виробництва і передачі енергії, то головною метою такого розрахунку повинні бути нові технології генерації енергії і інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 2.0. Якщо мета полягає в тому, щоб зрозуміти поточний стан соціальних витрат для різних паливних циклів, то основна увага повинна бути сфокусовано на існуючих технологіях генерації і передачі енергії. При оцінці інтегральної ефективності проектів з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією ми використовуємо обидва варіанти.

*Повний життєвий цикл / облік тільки генерації.* Якщо при оцінці додати етапи паливного циклу, то, ймовірно, соціальні витрати зростуть. Соціальні витрати виробництва електроенергії на увазі під собою не тільки витрати, пов'язані з її генерацією, а також пов'язані з видобутком, переробкою, розподілом і транспортуванням палива; виготовлення будівельних матеріалів і обладнання для електростанції. Таким чином, якщо оцінка буде відбуватися тільки на етапі генерації електроенергії, то соціальні витрати будуть недооцінені. Ми пропонуємо здійснювати облік соціальних витрат по всьому життєвому циклу виробництва і передачі енергії.

*Методи оцінки впливу.* Часто необхідна додаткова інформація, щоб зв'язати функціональні взаємини, описані в літературі, з реальними наслідками.

Наприклад, базовий рівень смертності необхідно пов'язати з функцією, що пояснює процентна зміна ризику смертності, пов'язану зі зміною концентрації забруднення повітря, щоб оцінити кількість постраждалих людей. Для визначеності буде використовувати найбільш поширені методики оцінки впливу на середовище проживання людини, наприклад, методику CML 2001.

*Операційні процедури оцінки.* Кінцева мета розрахунку соціальних витрат полягає у вираженні соціальних витрат (або вигод) в грошових одиницях. Існує два основні підходи: метод виявлених переваг і метод заявлених переваг. При використанні першого здійснюють аналіз поведінки для оцінки здатності оплати (Willingness to Pay, WTP) за здоров'я людини або навколишнє середовище. Прикладом можуть служити витрати на поїздки в місця відпочинку. У другому методі використовуються структуровані опитування, щоб безпосередньо дізнатися WTP здоров'я людини або стану навколишнього середовища. Для визначеності ми використовуємо вартісні оцінки різних видів забруднень, прийняті на законодавчому рівні в якості плати підприємств за негативний вплив на навколишнє середовище.

Проаналізовані вище загальні принципи оцінки різного роду зовнішніх ефектів інноваційних проектів ВДЕ та інтеграції їх в загальний показник системно-соціальної вартості електроенергії можуть бути використані і для оцінки соціально-економічних ефектів інноваційних проектів по впровадженню інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 2.0, передбачають підключення поновлюваних джерел енергії до загальної мережі.

Однак, на відміну від великих проектів з розвитку ВДЕ, інноваційні проекти в області інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією можуть виробляти ще й такі позитивні не враховані раніше соціальні ефекти, як отримання і накопичення нових знань (докладніше цей аспект висвітлювався раніше в п. 1.3.). Тоді формула для розрахунку ефективності інноваційного проекту інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією за розширеною методикою LCoE приклад вигляд:

$$LCoE = \frac{I_o + I_v + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T At \times (1+r^{-t})}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r^{-t})} + Scost + Ctr + Innov,$$

де *Innov* - ефекти накопичення і передачі знань;

*Scost* - вартісні оцінки соціально-значущих екологічних ефектів, яких визначали за формулою оцінки повного життєвого циклу процесу генерації і транспортування енергії.

З огляду на отримані результати, загальна модель розрахунку соціально-економічної ефективності інноваційного проекту по впровадженню інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією може бути представлена у вигляді рисунка 3.1.



Рис. 3.1 - Модель розрахунку ефективності інноваційного проекту в електроенергетиці за розширеною методикою LCoE.

Зауважимо, що при перекладі величини *SE* в формулах (1-6) в грошові одиниці використанні замість поділу агрегованих витрат на вартість виробленої енергії різницю, показник LCoE перетворюється в традиційний показник оцінки комерційної ефективності проекту - показник NPV - в такий спосіб:

$$\begin{aligned}
LCOE \times \sum_{t=1}^T SE \times TR(t)(1+r)^{-t} &= I_0 + \sum_{t=1}^T A_t(1+r)^{-t} \\
LCOE \times \sum_{t=1}^T SE \times TR(t)(1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T SE \times TR(t)(1+r)^{-t} &= NPV \\
NPV &= \sum_{t=1}^T SE \times TR(t)(1+r)^{-t} (LCOE - 1) \\
LCOE &= 1 + \frac{NPV}{\sum_{t=1}^T SE \times TR(t)(1+r)^{-t}}
\end{aligned}$$

Таким чином, показник LCOE, який використовується для оцінки проектів в галузі відновлюваної електроенергетики і показник NPV, який використовується в традиційному проектному менеджменті є взаємозамінними. Отже, вищеописані підходи до обліку зовнішніх ефектів проектів по впровадженню ВДЕ, адаптовані до обліку зовнішніх проектів по впровадженню інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією, можуть бути виміряні в агрегованому показнику комплексного NPV. Комплексний NPV враховує витрати і вигоди всіх учасників інноваційного проекту по впровадженню інтелектуальної енергомережі і, таким чином, відображає загальну цінність проекту для всієї мережі створення вартості.

Для апробації запропонованого підходу розглянемо варіант реалізації модельного інноваційного проекту по впровадженню інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 1.0 на території на 100 тис людей. користувачів з житлового сектора. Мета реалізації проекту для електромережної компанії - зниження втрат при транспортуванні енергії (досягається за рахунок впровадження технологій автоматичного моніторингу та інтелектуальних приладів обліку).

Першим етапом проведемо розрахунок економічних ефектів, які будуть виражені через економію коштів, отриману за допомогою зниження втрат електроенергії.



Обсяг зекономленої електроенергії в рік становитиме:

$$E_{saved} = Q_h \times E_{Cav} \times \Delta EL,$$

де  $Q_h$  - кількість домоволодінь;  $E_{Cav}$  - обсяг споживання енергії на 100 тис. точок підключення (розрахований на основі нормативів споживання комунальних послуг з електропостачання в житлових приміщеннях, обладнаних електричними плитами в установленому порядку в трикімнатній квартирі з трьома проживають (кВт\*год на 1 людину в місяць)).

Далі зробимо розрахунок економічного ефекту від реалізації проекту інтелектуальних енергомереж рівня 1.0 за такою формулою:

$$E_i = E_{saved} \times TR,$$

де  $E_{saved}$  - обсяг зекономленої електроенергії в рік;  $TR$  - тариф на електроенергію в регіоні (для визначеності - тариф для населення і прирівняним до нього категоріям споживачів на друге півріччя 2019 роки) – 1.8 грн / кВт \* год;

$$E_i = 27907200 \times 1,8 = 134\,233\,632 \text{ грн на рік.}$$

Витрати, необхідні для реалізації проекту рівня 1.0 складуть 5000 гривень на одну точку підключення (згідно [17] і [18]).

Розрахуємо чисту теперішню вартість проекту (NPV) з використанням прогнозованих грошових потоків, пов'язаних з планованими інвестиціями, за такою формулою:

$$NPV = \frac{NCF_i}{(1+r)^i} - Inv,$$

де  $NCF_i$  - чистий грошовий потік для  $i$ -го періоду;  $Inv$  - початкові інвестиції;  $r$  - ставка дисконтування (вартість капіталу, залученого для інвестиційного проекту).

При терміні реалізації проекту - 10 років (що узгоджується з Концепцією цифрової трансформації 2030) і ставці дисконтування - 7%,  $NPV_{1.0} \text{ економія} = -122\,965\,508,1 \text{ грн.}$

При обліку тільки економічних ефектів, які будуть виражені через економію коштів за рахунок зниження втрат електроенергії отримаємо негативну NPV проекту. Модифікуємо розрахунок NPV, враховуючи потенційне зростання тарифу на електроенергію в регіоні. Для прогнозування зростання тарифу в

майбутніх періодах побудуємо лінію тренда, засновану на значеннях тарифу за останні 5 років. Отримуємо лінійну залежність  $y = 0,1966t + 3,6487$  при величині достовірності апроксимації  $R^2 = 0,977$ .

С урахуванням коефіцієнтів росту тарифу розрахуємо NPV проекту при обліку тільки економічних ефектів

*NPV<sub>1.0</sub> економія = 71 219 630,63 грн.*

Таким чином, при обліку прогнозу зростання тарифу NPV проекту рівня 1.0, розрахований тільки для електромережної компанії (чисто економічних ефектів) стає позитивним, тобто проект окупається.

Далі розглянемо способи обліку в NPV проекту ефектів, бенефіціарами яких є інші учасники проекту (не електромережева компанія).

### **3.2 Інтерналізація зовнішніх позитивних ефектів інноваційних проектів по інтелектуалізації енергомереж з використанням методології оцінки життєвого циклу і ціннісно-орієнтованого проектування**

Як було показано в попередньому параграфі, основним аспектом соціальної вартості енергії є екологічний. Для оцінки екологічних впливів процесу генерації і передачі електроенергії нами було запропоновано використовувати методологію аналізу повного життєвого циклу продукції.

Методологія аналізу повного життєвого циклу продукції і послуг (Life Cycle Analysis, LCA) в сучасній академічній англomовній літературі є найбільш популярним підходом до оцінки впливу на навколишнє середовище будь-якого виду економічної діяльності на навколишнє середовище. Специфіка методу LCA полягає у визначенні впливу продукту або послуги на навколишнє середовище зі стадії видобутку сировини (або «колиска») до стадії утилізації самого продукту («могила»). В даний час LCA - це потужний інструмент, який дозволяє нам вивчати повну технологічний ланцюжок і виробничу систему будь-якого продукту, вимірювати різні види впливу на навколишнє середовище і, в кінцевому підсумку, приймати більш зважені рішення щодо розвитку того чи іншого виду виробництва. LCA дозволяє вивчити весь ланцюжок поставок для

здійснення виробництва продукції, а також впливу, що виникають в процесі використання і після завершення терміну експлуатації. Це дозволяє зрозуміти, як зміна впливів в одній частині життєвого циклу впливає на інші частини життєвого циклу. Так як з допомогою LCA можна оцінити всі відповідні екологічні впливи, це також дозволяє нам оцінити можливість знаходження компромісів між різними впливами, такими як зміна клімату і виснаження озонового шару.

Як показано в роботах [20] підвищується «екологізація» виробництв стає важливим аспектом діяльності підприємств. Її можна реалізувати шляхом впровадження підходів до управління екологічними аспектами [21], підхід до визначення яких викладено в стандарті ISO 14001.

Поява стандартів для оцінки життєвого циклу, розроблених авторитетної міжнародної організації зі стандартизації ISO, сприяло зміцненню наукової репутації методології та розширенню її подальшого використання. Методологія була реалізована в стандартах серії ISO 14000, зокрема в стандарті ISO 14040 «Екологічний менеджмент. Оцінка життєвого циклу. Принципи та структурна схема» і ISO 14044 «Екологічний менеджмент. Оцінка життєвого циклу. Вимоги та рекомендації». Відповідно до вимог стандарту ISO 14040 виділяють стадії оцінки життєвого циклу.

Процес оцінки починається з визначення меж виробничої системи. Наступний крок полягає в тому, щоб визначити функцію досліджуваної системи, щодо якої будуть здійснюватися всі розрахунки. Для досліджуваних систем наступним кроком є моделювання ланцюжків матеріалів і енергії, а також сировини і викидів. Ланцюжок триває до кінцевого користувача і, в кінцевому підсумку, до кінця терміну служби. Сировина і викиди всього ланцюжка потім сумуються і враховуються відповідно до величини їх впливу.

Останній етап, який є найбільш важливим, це інтерпретація. На етапі інтерпретації фахівці визначають, як вибір моделі і допущення можуть вплинути на результати. Вони визначають вузькі місця в ланцюжку поставок і розробляють рекомендації щодо поліпшення. Вони вважають, що зміни в ланцюжку поставок

можуть вплинути на результати в майбутньому. Вважається, що якість використовуваних даних достатньо, щоб приймати рішення. У багатьох випадках фаза інтерпретації призводить до уточнення трьох інших фаз.

Узагальнюючи рекомендації ДСТУ ISO 14040 для розрахунку екологічних ефектів процесу генерації енергії, виведемо наступну формулу оцінки екологічного ефекту по всьому життєвому циклу:

$$ENlca = \frac{kT(ENm+ENT)+ENcon+T \times ENw}{Vel \times T} + ENu ,$$

де  $ENlca$  - екологічний ефект процесу електрогенерації по всьому життєвому циклу від стадії утилізації відходів виробництва, включаючи виведення з експлуатації генеруючого об'єкта;

$ENlca$  - екологічний ефект процесу електрогенерації по всьому життєвому циклу від стадії утилізації відходів виробництва, включаючи виведення з експлуатації генеруючого об'єкта; природного газу, вугілля, уранової руди);

$ENm$  - екологічні ефекти процесу видобутку одиниці палива (1 тонна)

$ENT$  - екологічні ефекти процесу транспортування одиниці палива;

$ENco$  - екологічні ефекти будівництва генеруючого об'єкта, включаючи видобуток і переробку сировини і матеріалів, необхідних для виробництва генеруючого обладнання;

$ENw$  - екологічні ефекти експлуатації генеруючого об'єкта (переважно ефекти від спалювання вуглеводневого палива);

$ENu$  - екологічні ефекти від утилізації генеруючого об'єкта;  $T$  - життєвий цикл генеруючого об'єкта, років;

$K$  - коефіцієнт використання палива генеруючим об'єктом даної потужності протягом року безперервної роботи.

Для того, щоб визначити конкретні одиниці виміру негативних екологічних ефектів розглянемо існуючі методики і різновиди LCA. Практики застосування

LCA розвивалися окремо від стандартів, методологічних розробок і практичних додатків, що породило безліч підходів до реалізації LCA.

Популярність використання методики EcoInvent пояснюється ще й тим, що дані, зібрані по ній, акумульовані в одній з найбільш представницьких баз даних EcoInvent (некомерційна асоціація дослідних організацій Швейцарії). В даний час EcoInvent є провідною в світі базою по оцінці життєвого циклу (LCA) відповідно до стандартів ISO 14040-14044 і містить набори даних по життєвому циклу більш ніж 12800 продуктів і послуг. Доступ до EcoInvent для освітніх установ безкоштовний, по реєстрації.

### **3.3 Розробка моделі управління інноваційним проектом на основі розмежування витрат і ефектів по ланцюгу створення цінності**

Результати аналізу основоположних документів з інноваційного розвитку найбільших електромережних компаній, проведеного у другому розділі (п.2.2), виявили недостатню скоординованість цілей конкретних інноваційних проектів, які виконуються за Програмою інноваційного розвитку на період 2016-2020 рр. з перспективою до 2025 р з загальними цілями по цифровій трансформації самого електромережевого господарства (Концепція «Цифрова трансформація 2030»), а також з напрямками інноваційного розвитку електроенергетики в області та розвитку мікрогенерації (Проект закону «Про внесення змін «Про електроенергетику» в частині розвитку мікрогенерації», схвалений на засіданні Уряду 31.10.2018, прийнятий у першому читанні 6.02.2019).

Дана недостатня скоординованість найбільш яскраво проявляється в неузгодженості цілей реалізації інноваційних проектів і очікуваних ефектів від їх впровадження, що призводить до виникнення «вузьких місць» процесу управління інноваційним проектом по інтелектуалізації енергомереж, пов'язаних з невизначеністю наслідків проекту і недостатньо ефективною взаємодією з іншими учасниками проекту [22].

Як приклад можна привести ситуацію з установкою інтелектуальних приладів обліку. Електромережні компанії закладають в цілі проекту зниження

витрат на зняття показань приладів обліку зниження втрат електроенергії за рахунок своєчасного виявлення точок наднормативного (перевищує очікувані показники при звичайній роботі електроприладів) споживання електроенергії, в той час як більш довгостроковою метою даного і аналогічних проектів (реалізованих паралельно або послідовно протягом декількох років) є створення банку даних про профілі споживання електроенергії і розробка нових продуктів і послуг на основі цієї інформації. При цьому для генеруючих підприємств, що постачають електроенергію в мережу, важливим є не стільки наявність автоматизованого обліку даних, скільки можливості споживача знизити своє енергоспоживання в пікові години на основі аналізу даних інтелектуальних приладів обліку.

Таким чином короткостроковою метою проекту є просте оснащення споживачів інтелектуальними приладами обліку, при цьому питання частоти зняття показань інтелектуальних приладів обліку і форми їх збору та зберігання електромережних компаній не цікавлять. Довгостроковою метою проекту є формування нових продуктів і послуг на основі зібраних масивів даних і в цьому випадку якість збору і зберігання даних є важливим. Метою проекту для компанії з розширеного складу бенефіціарів (генеруюча компанія) є наявність у споживачів технічних можливостей, необхідних компетенцій і мотивів для управління власним енергоспоживанням.

Недостатнє розуміння всього спектру очікуваних ефектів інноваційного проекту на практиці може призводити до наступних ситуацій: менеджер (одноосібно або в команді) веде проект (здійснює вибір показників ефективності, розподіляє ресурси, здійснює календарне та мережеве планування) до одного результату (очікуваний ефект), а мета проекту спочатку була дещо іншою. Тобто в процесі управління менеджеру необхідно буде додатково коригувати всю схему управління, щоб узгодити цілі і очікувані ефекти. Таке коригування потребують більш високої кваліфікації менеджера, рішення нестандартних завдань, більше часу. Якщо менеджер не впорається з рішенням нестандартних завдань

ітераційного узгодження цілей і завдань проекту - проект не досягне мети, а якщо менеджер впорається з даною проблемою, то, швидше за все, реалізація проекту перевищить бюджет або ліміт часу.

З точки зору теорії управління проектами, рішення даної управлінської проблеми можливо за рахунок введення в цикл управління проектом повторюваних (ітераційних) процедур узгодження цілей і очікуваних ефектів на основі прогнозування та оцінки очікуваних комерційних і некомерційних ефектів з використанням методів описаних у літературі [13,16]. Неповне використання технічних можливостей, що надаються впроваджуваної інноваційною технологією може проявлятися, коли споживач не готовий змінити модель своєї поведінки на активну в силу різних причин. Крайнім випадком прояву неготовності до зміни моделі споживчої поведінки є прояв опортунізму - тобто свідомого ухилення від рекомендованої моделі споживчої поведінки.

Під відсутністю підтримуючого середовища в даному випадку розуміється слабку взаємодію з вузами і науковим середовищем, яке позбавляє доступу до кадрів і каналах передачі інформації, здатним забезпечити інформаційну підтримку природним чином - через особисте спілкування і професійну діяльність. В даному випадку виникає необхідність організовувати спеціальні програми і тренінги, інформаційні кампанії, роботу з волонтерами і т.д., або краще взаємодіяти з вузами, брати участь в організації і змістовному наповненні освітнього процесу.

Основою для подолання виявлених «вузьких місць», повинно служити розмежування витрат і ефектів проекту між розширеним колом його учасників, тобто подолання «розривів» у мережі створення вартості проекту. Розмежування ефектів проекту може бути виконано на основі розрахунку різних видів NPV проекту.

Так, у наведеному в [21]. розрахунковому прикладі кількісної оцінки очікуваних результатів проекту з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 1.0 NPV проекту для єдиного учасника - електромережної компанії навіть з урахуванням потенційного зростання тарифу

на електроенергію, майже що в 80 разів менше, ніж комплексна ефективність проекту, тобто монетизувати цінність для розширеного складу бенефіціарів проекту, включаючи суспільство в цілому. Без урахування потенційного зростання тарифів NPV модельного проекту інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 1.0 взагалі є негативною. Реалізація проектів інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 2.0. є комерційно непривабливою для електромережних компаній навіть з урахуванням прогнозованого зростання тарифів на електроенергію, в той час як громадська вигода таких проектів (комплексний NPV з урахуванням всіх ефектів) в 3,8 рази перевершує витрати на їх реалізацію.

Отже, суспільні витрати на реалізацію проектів з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 1.0 і рівня 2.0 повинні бути пропорційно вище витрат електромережних компаній для того, щоб дотримати баланс інтересів всіх бенефіціарів проекту. Зауважимо, що результати аналізу зарубіжного досвіду реалізації проектів з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією, отримані в п.1.2. підтверджують цей висновок тим, що переважна більшість проектів інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією в країнах-учасниках ISGAN реалізується з державною підтримкою, яка надається як у вигляді фінансових коштів (грантів, субсидій, пільгових позик), так і у вигляді інформаційної підтримки або допомоги у формуванні екосистем проектів.

Інформаційна підтримка, що надається державними та громадськими організаціями, дозволяє знизити ризик неприйняття технології інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією з боку споживачів і, завдяки цьому, розвинути нові напрямки бізнесу електромережних компаній, засновані на використанні їх даних про енергоспоживання, і, отже, підвищити дохідну частину проекту, що належить самій компанії (змінити структуру дохідної частини NPV на користь електромережної компанії).

Допомога у формуванні екосистеми проекту, наприклад, через підключення до проекту університетів і наукових центрів, дозволяє знизити витрати на



тестування інноваційних технологій, розробку і апробацію інноваційних бізнес-моделей надання нових продуктів і послуг електромережних компаній і також як в разі організації інформаційної підтримки, знизити ризик неприйняття технології інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією споживачами.

*Модель інформаційної підтримки.* Інформаційна підтримка інноваційних проектів з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією може здійснюватися багатьма способами - від ініціювання масштабних кампаній в засобах масової інформації до проведення виставкових заходів, різного виду фестивалів, конкурсів і т.д. Для організації інформаційної підтримки можна використовувати накопичений в країні досвід по популяризації енергоефективних технологій і патернів споживчої поведінки. У той же час, багато заходи щодо популяризації та роз'яснення способів використання інноваційних технологій з кластера інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією можуть бути реалізовані онлайн. Онлайн платформа інформаційної підтримки проекту з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією повинна володіти наступним функціоналом:

- *для проекту рівня 1.0:* Приклади моделей інтелектуальних приладів обліку з їх описом, пояснення правил установки інтелектуальних приладів обліку, включаючи фінансові питання, роз'яснення питань кібербезпеки і конфіденційності даних, калькулятор для розрахунку потенційних обсягів економії електроенергії за рахунок зміни патернів енергоспоживання, контакти для отримання більш докладної консультації;

- *для проекту рівня 2.0:* все перераховане вище, а також приклади моделей сонячних панелей (або інших видів мікрогенеруючих пристроїв на основі ВДЕ) і способів їх установки, контакти сервісних організацій, що займаються установкою і обслуговуванням мікрогенеруючих пристроїв, калькулятор для розрахунку потенційно можливих обсягів електрогенерації, калькулятор розрахунку термінів окупності мікрогенеруючого обладнання.

З огляду на той факт, що електромережеві компанії знаходяться в постійному контакті зі своїми клієнтами, такі онлайн платформи доцільно «прив'язувати» до сайтів електромережних компаній. Розробка онлайн платформ може бути здійснена силами місцевих науково-освітніх спільнот, в тому числі, із залученням молоді з числа аспірантів та студентів.

Крім того, велику інформаційну підтримку, особливо, в частині нарощування репутаційного капіталу і зниження ризику неприйняття технології з боку споживача, інноваційним проектам в області інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією можуть надати ЗМІ і екологічні організації, які можуть донести до населення, бізнес-спільноти та представників влади питання співвідношення вигод від проекту для суспільства в цілому і для електромережної компанії зокрема.

*Модель демонстраційного полігону.* Під демонстраційним полігоном ми пропонуємо розуміти фізичну майданчик, на якій реалізується пілотний проект по впровадженню окремих елементів технологи інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією з метою їх тестування і доопрацювання. Головною відмінністю демонстраційного полігону від наукової або науково-виробничої лабораторії є його відкритість, тобто доступність не тільки для безпосередніх учасників проекту, а й для представників зацікавлених сторін - потенційних споживачів тестованих технологій і суміжних з ними продуктів і послуг.

Розміщення демонстраційного полігону на базі ВНЗ або НДІ дозволить забезпечити його відкритість, а також залучення до активної участі в тестуванні та доопрацювання елементів інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією місцевих науково-освітніх спільнот. Крім того, участь представників науково-освітньої спільноти, які одночасно є потенційними споживачами, сприятиме популяризації інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією і зниження ризику неприйняття технології з боку споживачів.

В загалом вигляді послідовність укрупнених етапів реалізації проектів з розвитку інтелектуальних енергомереж з огляду на необхідність подолання виявлених «вузьких місць» може бути представлена в наступному вигляді.



### Покроковий метод узгодження інтересів розширеного складу

В представленій схемі кожен з укрупнених етапів далі деталізується за допомогою таких методів:

- для визначення розширеного складу учасників проекту пропонується використовувати метод аналізу ланцюжка створення цінності, застосовуючи його до всього набору продуктів проекту, включаючи ті, які створюються за новими напрямками бізнесу;
- для визначення частки кожного бенефіціара в загальному ефекті проекту пропонується використовувати розроблений в 3.1-3.2 метод обліку позитивних зовнішніх ефектів проекту з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією, заснований на розрахунку різних видів NPV проекту і визначення їх співвідношення в комплексному показнику NPV. Відбір екологічних та інноваційних ефектів для включення в комплексний показник NPV пропонується проводити за методикою ціннісно-орієнтованого проектування (VSD); оцінку екологічних ефектів пропонується проводити за методикою аналізу повного життєвого циклу продукції (LCA), оцінку інноваційних ефектів - за методом альтернативних витрат;

- для запуску (приведення в дію) моделей узгодження інтересів учасників проекту пропонується вибрати одну із запропонованих вище моделей (або будь-яку їх комбінацію) виходячи з актуальної ситуації в сфері підтримки інноваційної діяльності в регіоні.

Застосування запропонованого методу узгодження інтересів розширеного складу учасників проекту по розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією дозволить підвищити якість управління проектом і максимізувати його позитивні ефекти як для компанії-ініціатора, так і для всієї мережі створення цінності проекту.

## Висновки по третьому розділу

1. Використовувана в даний час в рамках програми технологічного співробітництва ISGAN методика оцінки ефективності інноваційних проектів в області інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією є простим аналіз «Витрати-випуск» (Cost-Benefit Analysis) і не дозволяє отримати загальний інтегральний показник ефективності проекту з урахуванням зовнішніх ефектів. Для подолання даного недоліку існуючої методики аналізу економічної ефективності проектів по впровадженню інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією в цій главі був розроблений метод оцінки екологічних та інноваційних ефектів реалізації інноваційного проекту з розвитку інтелектуальної енергомережі, заснований на комплексному використанні ціннісно-орієнтованого проектування та методу оцінки життєвого циклу продукції (LCA). На відміну від існуючих методик.

2. Апробація запропонованого методу на прикладі модельного проекту з розвитку інтелектуальної енергомережі показала, що витрати електромережевої компанії на інноваційний проект з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 1.0 окупаються тільки при зростанні тарифу на електроенергію, витрати на проект з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 2.0 окупаються тільки при обліку екологічного впливу за повним життєвим циклом, при цьому облік інноваційного ефекту (накопичення знань і навчання в проектах з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією і інтеграції ВДЕ) вносить несуттєвий внесок у підвищення комплексного показника NPV проекту рівня 2.0.

3. Досліджено покроковий метод узгодження інтересів розширеного складу учасників проекту з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією, що включає етап застосування аналізу ланцюжка створення цінності, етап розрахунку декількох видів NPV проекту (без урахування і з урахуванням різних ефектів) і визначення їх співвідношення і етап запуску однієї з моделей узгодження інтересів учасників проекту .

## **РОЗДІЛ 4**

### **РОЗРОБКА STARTUP-ПРОЕКТУ**

#### 4.1 ОПИС ІДЕЇ ПРОЕКТУ СТАРТАПУ

Ідея стартапу полягає у розробці та впровадженні в експлуатацію концентратора вітрового потоку мобільного типу для вітроелектростанції, який зможе поєднувати традиційні характеристики конфузорного і дифузорного типу концентраторів, додаючи до них рухомі частини для маневреності, що повинно збільшити виробництво енергії вітроагрегатами шляхом зменшення втрат.

Київ та інші великі міста в Україні можна забезпечити електроенергією за рахунок вітру на 20–30 %, а це відповідно забезпечить економію споживання газу тепловими електростанціями.

Концентратори вітрового потоку дають змогу підвищити ефективність роботи відновлюваних джерел енергії, наявність концентратора істотно збільшує коефіцієнт використання енергії вітру.

Для практичного використання найрентабельнішими нетрадиційними джерелами є енергетичні установки, забезпечені потокоформуючими елементами і концентраторами вітрового потоку. У цьому випадку екологічні умови і вимоги ефективної роботи забезпечені автоматично і регулюються в системі.

Концентратори вітрового потоку, навіть найпростішої конструкції, дуже ефективні для вітроустановок. Вони дозволяють використовувати малі швидкості вітропотоку та істотно підвищити потужність і вироблення електроенергії. Нові досягнення науки і техніки, постійне зростання вимог щодо зниження ефективності і економічності енергоустановок, рівня надійності і безпеки їх експлуатації, збільшення ступеня корисного використання природної відновлюваної енергії та зменшення матеріалоємності є основними чинниками удосконалення конструктивних рішень енергоустановок з концентраторами вітрового потоку.

Зараз загальноновживаними є концентратори вітрового потоку конфузійного та дифузійного типів, однак його робочі складові є нерухомими, це сильно позначається на ефективності роботи конструкції [1,2]. Тому дуже гостро стоїть проблема у підвищенні мобільності концентраторів вітрового потоку, що

забезпечить зменшення втрат вітрових потоків. В результаті цього вироблена агрегатом електроенергія буде мати меншу собівартість.

Вітроагрегат забезпечений саморегулювальним пристроєм, у якого за зміни швидкості обертання змінюється момент інерції. У процесі роботи агрегату зміна швидкості вітру змінює підйомну силу та перепад тиску на концентраторі вітрового потоку. За рахунок цього починає підвищуватися частота обертання вітроколеса і автоматично включиться в дію регулювальний механізм, який і призведе до зміни кута нахилу концентратора і підтримці постійної величини швидкості обертання колеса.

У таблиці 4.1 подано опис ідеї startup-проекту.

Таблиця 4.1. Опис ідеї startup-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Розробка концентратора для вітроелектростанції мобільного типу	1. Індивідуальне застосування в малих ВЕС	Отримання якісного продукту для економії електроенергії. Економія газу та іншого палива.
	2. Масове впровадження в потужні ВЕС	Отримання якісного продукту для економії електроенергії. Вклад в розвиток галузі «чистої» енергетики.

## 4.2 Характеристика стартап проекту

Загальну структуру вітроенергетичної установки для підвищення коефіцієнта використання енергії вітру зображено на рис. 5.1



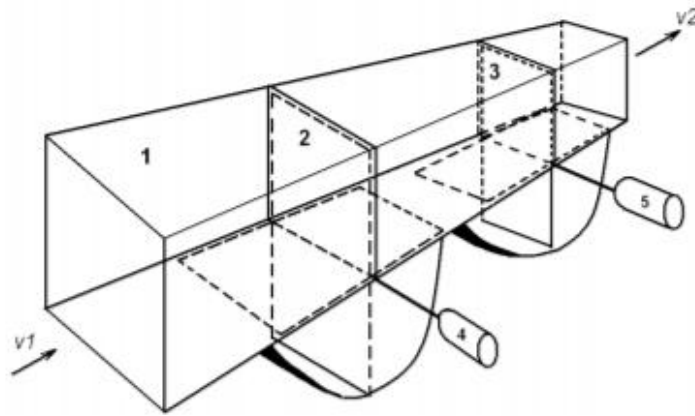


Рис. 4.1 - Загальна структуру вітроенергетичної установки для підвищення коефіцієнта використання енергії вітру

Позитивний ефект представленого зразка мобільного концентратора вітрового потоку в стартап проекті полягає в тому, що конструкція вітроагрегату забезпечує автоматичний розворот вітроколеса за вітром і більш ефективно використовує концентратор, що істотно підвищує коефіцієнт використання вітрового потоку і ефективність всієї установки. Крім цього, до осі стійки наближаються масивні частинки вітроагрегату, що зменшує момент і згинальний вплив на стійку, а, отже, знижує ймовірність поломки вітроагрегату і підвищує його надійність роботи. Додатково до цього використання легкого матеріалу для концентратора вітрового потоку забезпечує зменшення матеріалоємності та зниження вартості вітроагрегату.

Великою проблемою концентраторів звичайних типів, що розповсюджені зараз є великий кут розходження робочої поверхні. Причому, чим більший кут розходження, тим значніше зниження швидкості. У самому концентраторі при русі потоку від входу до виходу відбувається збільшення швидкості.

Для успішного комерційного впровадження ідеї необхідно визначити потенційні сильні, слабкі та нейтральні сторони проекту. В якості конкурента будемо розглядати розповсюджений наразі зразок концентратора вітрового потоку [2]. Дана інформація зведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Характеристики проекту

№ з/п	Техніко-економічні характеристики проекту	Концепції		Сторони проекту		
		Мій проект	Конкуренти	Сильна	Нейтральна	Слабка
1	Постачання системи окремо від обладнання	+	-	+		
2	Ринкова вартість	+	-		+	
3	Можливість централізованого впровадження	+	+		+	
4	Наявність бюджету для реклами та дистрибуції	-	-			+
5	Можливість подальшого розвитку	+	+		+	

Судячи з цього можемо зробити висновок, що представлений зразок дозволить істотно підвищити ефективність роботи основних елементів енергоустановок типу ВЕС.

### 4.3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АУДИТ ІДЕЇ ПРОЕКТУ

Перелік необхідних технологій та засобів поданий в таблиці.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ з/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка	Програмні	наявні	доступні

	алгоритмів та моделей	комплекси, прикладне ПЗ		
2	Створення програмного комплексу	Програмні комплекси, обчислювальна техніка, середовища програмування	наявні	доступні
3	Створення комерційного зразка, його реалізація та просування	Прямий продаж, створення дилерської мережі	наявні	необхідне залучення інвестицій

Як видно із даних, що подані в таблиці, реалізація проекту на перших двох етапах не вимагає залучення інвестиційних чи кредитних коштів. Реалізація проекту цілком можлива у разі успішного пошуку інвестора чи відкриття кредитної лінії.

Комбіновані концентратори потоку більш ефективні. Швидкості потоку в зоні робочого колеса концентратора комбінованого типу вищі, ніж у звичайних концентраторах.

Існуючі напрямки та шляхи удосконалення конструктивних рішень енергоустановок ВЕС дозволяють активізувати роботу зі створення нових технічних рішень енергоустановок і їх елементів з цілеспрямованим формуванням необхідних властивостей, що забезпечують підвищення ефективності і екологічності вітроенергетичних установок.

Ефективність використання конструкції концентратора вітрового потоку мобільного типу можна оцінити при проведенні багатопланових експериментальних досліджень.

Отже, технічні рішення відкривають можливість ширшого використання енергоустановок на основі нетрадиційних джерел енергії, і в першу чергу, вітроустановок, в районах із середнім вітровим потенціалом, оскільки забезпечують істотне підвищення їх ефективності та економічності.

#### **Висновки по розділу 4**

Зараз існує серйозна потреба у використанні альтернативних джерел енергії, наприклад таких, як енергія малопотужних вітрів.

Концепція, яку подано в стартапі, дає поштовх для подальшого розвитку і впровадження технології використання енергії малопотужних вітрів на території міст (мегаполісів) зі значним збереженням паливних та інших екологічно забруднювальних ресурсів.

В цьому розділі дисертації було подано стартап проект де була розглянута ідея розробки концентратора вітрового потоку мобільного типу для вітроелектростанції, який зможе поєднувати традиційні характеристики конфузорового і дифузорового типу концентраторів, додаючи до них рухомі частини для маневреності, що повинно збільшити виробництво енергії вітроагрегатами шляхом зменшення втрат.

**РОЗДІЛ 5**

**ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В**

**НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ**

**МОНТАЖІ ГЕНЕРАТОРА ТГВ-200 (ТЕС)**

В даному розділі досліджується монтаж генератора, під час процесів монтажу якого працівники піддаються дії небезпечних та шкідливих виробничих чинників (НШЧВ). Також буде розглянуто забезпечення умов для безпечного монтажу генератора за допомогою впроваджень заходів з охорони праці.

Технічні характеристики генератора ТГВ-200 наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Технічні характеристики

Найменування ЕУ	Основні характеристики	Значення показника
ТГВ-200-2	Номінальна потужність	200 МВА
	Номінальна напруга	15,75 кВ
	Маса	269 т
	Габаритні розміри	1696 x 415 x 289,5 см

У підрозділі встановлюють обсяги та послідовність виконання робіт, період та тривалість їх виконання. На підставі таких вимог визначають способи доставки та розгрузки устаткування, кількісний склад бригади та рівень кваліфікації (групу з електробезпеки) електротехнічних працівників. Інформацію наведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Послідовність виконання робіт

Монтаж відбувається на станції типу ТЕС в літній період і триватиме 30 днів.

Вид робіт	Спосіб доставки і розгрузки	Період виконання робіт і тривалість	Кількісний склад бригади	Група з електробезпеки
Монтаж генератора ТГВ-200	Транспорт, механічна розгрузка окремих частин	Літній період, 30 робочих днів	6 осіб Позмінна робота не більше 8 годин на добу	IV група

Загальна характеристика об'єкту наведена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 Загальна характеристика об'єкту

Найменування ЕУ	Вид розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія електроприміщення	Категорія з пожежної безпеки
Генератор ТВГ-200	Знаходиться на відкритому повітрі	Окреме приміщення на поверхні землі. Територія яка використовується для монтажу – 180 м <sup>2</sup> .	Пожежебезпечне приміщення	Категорія Б1

Таблиця 5.4. Чинники умов праці та їх показники

Найменування чинника	Основні характеристики	Числове значення показника
Параметри мікроклімату	Температура повітря Швидкість вітру	Зовнішня установка, літній період робіт 15-30 °С До 5 м/с
Важкість праці	Переміщення вантажів Робоче положення Статичні та динамічні навантаження Категорія робіт	До 15 кг вручну Стоячи, поза роботи - незручна Статичні та динамічні навантаження 65 Вт, 280 Вт·год II категорія Робота на висоті



Напруженість праці	Тривалість зосередженого спостереження Тривалість активних дій Змінність	40 % робочого часу 50 % робочого часу 1 зміна, 8 один
--------------------	--	---

Перелік небезпек і шкідливих виробничих чинників:

- 1) Робота на висоті (2м).
- 2) Переміщення вантажів(складових частин конструкції генератора та арматури)
- 3) Напруга під час підключення 220 В.

Оцінка умов праці - II категорія важкості робіт.

Технічні і організаційні заходи наведені в табл.5.5.

Таблиця 5.5. Технічні і організаційні заходи

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
Ізоляція	Робоча струмовідних частин	Робоча. Масляна. 1200 МОм
Захисне заземлення	Протидія розтіканню струму	0,5 Ом
Огороджувальний засіб	Огорожа	Сітчаста, висота 2 м Встановлена по периметру місця монтажу
Категорія робіт щодо заходів безпеки	Робота без напруги	Наряд-допуск Плакати безпеки розміщують на робочій панелі генератора

Засоби індивідуального захисту наведені в табл..5.6.

Таблиця 5.6. Засоби індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Марка або маркування. Модель. Матеріал.	Гарантований термін використання	Технічні характеристики
Захисний одяг	Захист від механічних ушкоджень	Робочий костюм марки «Bavada»	1 рік	Комбінований костюм з бавовни та поліестеру
Захисне взуття	Захист від механічних ушкоджень	Черевики «Netsel»..	6 місяців	<i>Черевики</i> шкіряні
Захист рук	Захист від механічних ушкоджень	Рукавички, поліестер з бавовною та діелектричні	10 робочих змін	Комбіновані, бавовняні, діелектричні
Захист очей	Захист від механічних ушкоджень	Окуляри з полікарбонатним і лінзами марки Peltor	1 рік	Використовуються під час пайки і зварювання
Захист голови	Захист від механічних ушкоджень	Каска марки «Berg»	2 роки	Забезпечує захист голови від механічних травм
Захист від падіння з висоти	Захист від механічних ушкоджень	Страховочний пояс	6 місяців	Використовується під час роботи на висоті більш як 2 м.

Електротехнічні засоби наведені в табл.5.7.

Таблиця 5.7. Електрозахисні засоби

Вид ЕЗЗ	Найменування	Технічні характеристики	Призначення і норми випробувань
Електрозахисний засіб індивідуального захисту	Діелектричний комплект	Для робіт під напругою до 35 кВ	Підключення після ремонту. Що 6 місяців
	Діелектричні рукавички	Для робіт під напругою до 35 кВ	Підключення після ремонту. Що 6 місяців
	Діелектричне взуття	Для робіт під напругою до 35 кВ	Підключення після ремонту. Що 6 місяців
	Діелектрична каска	Для робіт під напругою до 35 кВ	Підключення після ремонту. Що 6 місяців
	Індивідуальний екранувальний комплект одягу	Для робіт під напругою до 35 кВ	Підключення після ремонту. Що 6 місяців

### Розрахунок технічного заходу з безпеки експлуатації

Вихідні дані для розрахунку захисного заземлення підстанції:

1. Наруга обладнання, що заземлюється:  $U_{\text{обл.}} = 110$  (кВ)
2. Струм однофазного замикання на шинах 110 кВ  $I_3 = 13$  кА.
3. Грунт території розміщення електроустаткування. Питомий опір ґрунту  $\rho = 30$  (Ом · м) (чернозем).
4. Для ЕУ напругою більше 20 кВ  $R_{\text{доп}}$  можна прийняти до розрахунку 0,5 (Ом).

5. Природні заземлювачі відсутні.

6. В якості вертикальних заземлювачів будемо використовувати металеві прuti довжиною 5 (м) та діаметром 10 (мм). В якості горизонтального заземлювача будемо використовувати металевий прут прямокутного перерізу з перетином 4x40 (мм), довжиною 6 (м).

Розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{табл}} \cdot \Psi_2 = 30 \cdot 1,3 = 39 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

де  $\Psi_i$  – коефіцієнт сезонності (більше 1), залежить від вологості ґрунту і довжини електродів.

Заземлювачі можна розміщувати біля поверхні землі, або заглиблювати глибше зони промерзання ґрунту (цей показник становить 0,7..0,8 м). В нашому випадку будемо заглиблювати заземлювачі на глибину 0,8 м.

Визначемо опір розтікання вертикального заземлювача за формулою:

$$R_{\text{в1}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_1} \left( \ln \left( \frac{2 \cdot l_1}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l_1}{4 \cdot t - l_1} \right) \right)$$

де  $\rho_{\text{розр}}$  – розрахунковий питомий опір ґрунту для ВЗ, Ом·м;  $l_1$  – довжина ВЗ, м;  $d$  – діаметр, м;  $t$  – відстань від поверхні ґрунту до середини ВЗ, яку визначають за формулою:

$$t = t_0 + \frac{l_1}{2}$$

де  $t_0$  – відстань від поверхні ґрунту, м

$$t = t_0 + \frac{l_1}{2} = 0,8 + \frac{5}{2} = 3,3 \text{ (м)}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{в1}} &= \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_1} \left( \ln \left( \frac{2 \cdot l_1}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l_1}{4 \cdot t - l_1} \right) \right) = \\ &= \frac{39}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 5}{0,01} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) \right) = 8,893 \text{ (Ом)} \end{aligned}$$

Отже, оскільки  $R_{\text{в1}} > R_{\text{доп}}$  (8,893 Ом > 0,5 Ом), то потрібно сполучити декілька вертикальних заземлювачів.

Попередня кількість заземлювачів:

$$n' = \frac{R_{B1}}{R_3} = \frac{8,893}{0,5} = 17,786 \approx 20 \text{ (шт.)}$$

Розрахуємо необхідну кількість заземлювачів за формулою:

$$n' = \frac{R_{B1}}{R_3 \cdot \eta_e} = \frac{8,893}{0,5 \cdot 0,47} = 37,84 \approx 40 \text{ (шт.)}$$

Розрахуємо довжину горизонтального заземлювача за формулою:

$$l_r = a \cdot n = 5 \cdot 40 = 200 \text{ (м)}$$

Визначимо опір струму розтікання горизонтального заземлювача за формулою:

$$R_r = \frac{\rho_{\text{розр.г}}}{2 \cdot \pi \cdot l_r} \ln \left( \frac{2 \cdot l_r^2}{b_r \cdot t_r} \right)$$

де  $\rho_{\text{розр.г}}$  – розрахунковий питомий опір ґрунту ГЗ, Ом·м;  $t_r$  – відстань від поверхні ґрунту до середини ГЗ, м;  $b_r$  – розмір боку кутника, м.

$$R_r = \frac{30 \cdot 3,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 200} \ln \left( \frac{2 \cdot 200^2}{0,04 \cdot 0,48} \right) = 1,274 \text{ (Ом)}$$

Результуючі опір заземлювального пристрою:

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{B1} \cdot R_r}{R_{B1} \cdot \eta_{\text{Геф}} + R_r \cdot \eta_{\text{Веф}} \cdot n}$$

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{B1} \cdot R_r}{R_{B1} \cdot \eta_{\text{Геф}} + R_r \cdot \eta_{\text{Веф}} \cdot n} = \frac{8,893 \cdot 1,274}{8,893 \cdot 0,22 + 1,274 \cdot 0,47 \cdot 40}$$

$$= 0,437 \text{ (Ом)}$$

Отримане значення  $R_{\text{шт}}$  не перевищує допустиме значення:

$$R_{\text{шт}} < R_{\text{доп}}$$

## **Висновки до розділу 5**

В розділі охорони праці був досліджений процес монтажу генератора ТГВ-200 під час якої працівники можуть піддаватися дії НШЧВ

Наведені основні технічні характеристики генератора ТГВ-200 (номінальна потужність, номінальна напруга, маса, габарити), показники умов праці на території проведення робіт (місце та розташування проведення робіт, кваліфікація працівників, важкість праці, напруженість праці та ін.), перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників технічні і організаційні заходи (ізоляція, знаки безпеки, тривалість і порядок виконання робіт, категорії робіт і ін.), засоби індивідуального захисту (одяг, взуття, каска, рукавички, запобіжні монтерські пояс), електрозахистні засоби.

## **Загальні висновки**

1) Ключовою характеристикою розвитку електроенергетичної галузі сьогодні є істотне зниження вартості установок джерел розподіленої генерації, в тому числі відновлюваних джерел електроенергії. Такі джерела дозволяють проводити децентралізацію виробництва електроенергії і масштабний розвиток розподілених джерел в усьому світі. Ця тенденція корінним чином змінює як характеристики споживання електроенергії, так і моделі поведінки споживачів на ринку електроенергії. Споживання стає все більш гнучким і мобільним. Споживачі електроенергії можуть одночасно ставати її постачальниками, що вимагає, в свою чергу, перегляду норм сформованої системи регулювання ринку електроенергії.

2) У разі невиконання умов збереження балансу, виникає значна частота електричного струму та перетоків за міжсистемними лініями електропередачі. Значні відхилення від балансу призводять до серйозних наслідків, пов'язаних із знеструмленням споживачів, відключенням генераторів електростанцій та інших. Тому в електроенергетичній системі на кожен момент часу має бути резерв потужності, що використовується для відновлення балансу у випадку відхилення прогнозованих значень споживання або раптового виходу з ладу генеруючого обладнання.

3) Апробація сучасних методів на прикладі модельного проекту з розвитку інтелектуальної енергомережі показала, що витрати електромережевої компанії на інноваційний проект з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 1.0 окупаються тільки при зростанні тарифу на електроенергію, витрати на проект з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією рівня 2.0 окупаються тільки при обліку екологічного впливу за повним життєвим циклом, при цьому облік інноваційного ефекту (накопичення знань і навчання в проектах з розвитку інтелектуальної мережі з розосередженою генерацією і інтеграції ВДЕ) вносить несуттєвий внесок у підвищення комплексного показника NPV проекту рівня 2.0.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими [Текст] / Базюк Т.М., Блінов І.В., Буткевич О.Ф., Гончаренко І.С., Денисюк С.П. та ін.; За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.
2. Денисюк С.П. Аналіз впливу нерівномірності споживання електроенергії [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 8(64). – С. 9–13.
3. Денисюк С.П. Оцінка ефективності сумісної роботи розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювальні, в електроенергетичних системах [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк, Д.Г. Дерев'янка // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського –2013. – №3(80). – С. 54–59.
4. Праховник А.В. Ефективне використання енергетичних ресурсів та концентрація потоку енергії низькопотенціальних джерел [Текст] / А. В. Праховник, Т.М. Базюк // Енергетика : економіка, технології, екологія : науковий журнал. – 2013. – № 1. – С. 39–46.
5. Денисюк С.П. Активний споживач електроенергії. Проблеми та перспективи його функціонування в Україні [Текст]/ С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Енергетика та електрифікація. – 2013. – №11. – С. 38–42.
6. Кириленко О.В. Інформаційне та нормативне забезпечення організації мультиагентного керування електроенергетичної системи із активним споживачем [Текст] / О.В. Кириленко, С.П. Денисюк, С.Є. Танкевич, Т. М. Базюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2016. – № 1. – С. 29–34.
7. Базюк Т.М. Підвищення ефективності інтеграції розосереджених джерел енергії в мережах систем електропостачання [Текст] / Т.М. Базюк // Зб. пр. Ін-ту електродинаміки. Спец. вип. – 2012. – С. 98–102.
8. Базюк Т.М. Системна інтеграція джерел розосередженої генерації в мережах



- із активним споживачем [Текст] / Т.М. Базюк // Зб. пр. Ін-ту електродинаміки. Спец. вип. – 2013. – С. 136–143.
9. Денисюк С.П. Оптимальний відбір потужності в системах електропостачання [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Енергетика : економіка, технології, екологія. – 2013. – № 2. – С. 50–57.
10. Базюк Т.М. Особливості оцінки енергетичного потенціалу та зміни енергетичного балансу регіону [Текст] / Т.М. Базюк // Спецвипуск журналу "Енергетика: економіка, екологія, технології". – 2013. – С. 17–23.
11. Базюк Т.М. Оптимізація інформаційних потоків при визначенні показників енергоефективності на підприємстві [Текст] / Т.М. Базюк, О.М. Огієвич // Енергетика : економіка, технології, екологія. – 2014. – № 2(36). – С. 129–135.
12. Денисюк С.П. Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 3. – С. 75–79.
13. Базюк Т.М. Оптимізація режимів споживання активним споживачем електричної енергії з мережі [Текст] / Т.М. Базюк, І.В. Притискач // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 1. – С. 95–100.
14. Денисюк С.П. Аналіз впливу джерел розосередженої генерації на електромережу та особливості побудови віртуальних електростанцій [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Електрифікація транспорту. – 2012. – № 4. – С. 23–29.
15. Денисюк С.П. Використання відновлювальних джерел енергії в місті [Текст] / Т.М. Базюк, С.П. Денисюк // Журнал "Экология плюс". – 2013. – № 2 (35). – С. 4–7.
16. Ранжування показників енергоефективності для побудови інтегрованих систем енергопостачання [Текст] / Т.М. Базюк, Ю.М. Чернуха // Зб. праць конференції «Енергетика. Екологія. Людина.» – 2013. – С. 357–367. Режим доступу до журналу: <http://en.iee.kpi.ua/files/2013/konference2013.pdf>

17. Sergii Denysiuk. Algoritms For Optimal Mode Selection Of Energy Prosumer[Текст] / Sergii Denysiuk, Taras Baziuk // Conference Proceedings [2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems] (June 2-6, 2014, Kyiv, Ukraine), p. 171–177.Режим доступу до журналу: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6874174/?reload=true>
18. Базюк Т.М. Застосування показників енергоефективності для побудови інтегрованих систем енергопостачання [Текст] Зб. праць конференції [«Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (6-7 червня 2013 р., смт. Жденієво, Закарпатської обл. ) / Т.М. Базюк, Ю.М. Чернуха / ДНУЗТ –2013. – С. 6.
19. Базюк Т.М. Мікромережі як альтернативний підхід до системної інтеграції джерел розосередженої генерації та активного споживача [Текст] Зб. праць конференції [«Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів» (2013 р., м. Донецьк)] / Т.М. Базюк, Д.С. Трохимчук / – С. 154.
20. Денисюк С.П. Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах [Текст] Зб. праць конференції [«Оптимальне керування електроустановками» (жовтня 2013, м. Вінниця)] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк / – ВНТУ – 2013. – С. 36.
21. Денисюк С.П. Класифікація активних споживачів відповідно до ступеня їх залученості та наявного потенціалу [Текст] Зб. праць конференції [«Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості»] (11-14 червня 2014 р. смт. Воловець, Закарпатської обл.) / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк, В.П. Опришко / –2014. – С. 55–56.
22. Бориченко О.В. Система показників для оцінювання енергетичної ефективності в системі енергетичного менеджменту [Текст] : Зб. тез допов. міжнар. наук.-практ. конф. [«Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2015»], (19–21 травня 2015 р., м. Київ) / О.В. Бориченко, Т.М. Базюк, В.А. Вишняков, Я.В. Рибінська / НТУУ «КПІ». – 2015. С. 23-24.
24. Режим доступу до журн.:

[http://pems.kpi.ua/thesis/PEMS\\_2015/](http://pems.kpi.ua/thesis/PEMS_2015/)

23. Базюк Т.М. Дослідження можливостей підвищення ефективності вітроенергетичних установок різної потужності [Текст] Зб. праць. конференції ["Енергетика. Екологія. Людина."] (травень 2015, м. Київ) /Т.М. Базюк, Д.С. Горенко /– НТУУ «КПІ» – 2015р.
24. Бориченко О.В. Система показників для оцінювання енергетичної ефективності[Текст]: Зб. тез допов. міжнар. наук.-практ. конф. [«Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2016»], (30 травня–1 червня 2016 р., м. Київ)/ О.В. Бориченко, Т.М. Базюк, В.А. Вишняков, Я.В. Рибінська / – НТУУ «КПІ» 2016.С. 64-65. Режим доступу до журн.: [http://pems.kpi.ua/thesis/PEMS\\_2016/](http://pems.kpi.ua/thesis/PEMS_2016/)
25. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы: Под общ. Ред. Акад. НАН Украины А.В. Кириленко / Институт электродинамики НАН Украины. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. – 408 с.
26. EPRI's IntelliGridSM initiative. [Electronic resource] – Mode of ccess: [http:// intelligrid.epri.com](http://intelligrid.epri.com)
27. The Modern Grid Initiative Version 2.0., Conducted by the National Energy Technology Reliability, January 2007. [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.net1.doe.gov/smartgrid/>