

**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
_____ Степан Кудря
«__» _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

**на тему: «Моделі і методи побудови систем електропостачання з
активними споживачами»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕТ-з91мп
ЖУК МИХАЙЛО ІГОРОВИЧ _____

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:

доцент, к.т.н. КАЦАДЗЕ Т.Л. _____

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

_____ Степан Кудря

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
ЖУКУ МИХАЙЛУ ІГОРОВИЧУ

1. Тема дисертації «Моделі і методи побудови систем електропостачання з активними споживачами», 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 активними споживачами

4. Вихідні дані електроенергетична система.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Класифікувати активні споживачі; 2) Визначити особливості роботи системи електропостачання України; 3) Визначити модель активного споживача; 4) Проаналізувати використання технології Smart Grid для підвищення ефективності електропостачання; 5) Формування моделі прийняття рішень активного споживача; 6) Розробити стартап-проєкт; 7) Проаналізувати охорону праці та безпеку в надзвичайних ситуаціях.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1) Класифікація активного споживача; 2) Особливості роботи системи електропостачання в Україні; 3) Використання технології Smart Grid для підвищення ефективності електропостачання; 4) Моделювання активного споживача; 5) Результативність реалізації концепції активного споживача. 6) Формування моделі прийняття рішень активного споживача.

7. Орієнтовний перелік публікацій Колесніченко А.Б., Жук М.І.,
Впровадження системи Smart Grid в систему електропостачання України

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

Михайло ЖУК

Науковий керівник

Андрій КОЛЕСНІЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Атестаційна магістерська дисертація налічує 109 сторінок, 8 ілюстрацій та 35 таблиць.

Об'єкт дослідження – системи електропостачання з активними споживачами.

Предметом дослідження розробки моделей і методів побудови систем електропостачання з активними споживачами, що є актуальним на сучасному етапі розвитку електроенергетики, а також методів та засобів оптимізації нерівномірності процесів споживання електричної енергії використанням механізмів керування попитом на електричну енергію.

В першому розділі надано загальну характеристику систем електропостачання (СЕП) України, висвітлені основні проблеми та методи їх вирішення, зокрема, застосування концепції Smart Grid як платформи побудови СЕП майбутнього.

В другому розділі запропоновано алгоритми побудови систем електропостачання з активними споживачами.

В третьому розділі зроблена оцінка результативності реалізації концепції побудови систем електропостачання з активними споживачами.

В четвертому розділі міститься стартап-проект з розробки інтелектуального приладу обліку енергії.

В п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях під час монтажу трансформатора ТДЦ-125000/110.

Науково-методичну основу виконаних досліджень склали такі методи як: математичного моделювання, теорія ймовірності, комп'ютерне моделювання.

ABSTRACT

The master's dissertation has 109 pages, 8 illustrations and 35 tables

The object of research is power supply systems with active consumers.

The subject of research is the development of models and methods of building power supply systems with active consumers, which is relevant at the present stage of development of electricity, as well as methods and means of optimizing the unevenness of electricity consumption using power management mechanisms.

The first section provides a general description of power supply systems (EPS) of Ukraine, highlights the main problems and methods of their solution, in particular, the use of the concept of Smart Grid as a platform for building EPS of the future.

The second section proposes algorithms for building power supply systems with active consumers.

In the third section the estimation of efficiency of realization of the concept of construction of power supply systems with active consumers is made.

The fourth section contains a startup project to develop an intelligent energy meter.

The fifth section deals with occupational safety and health emergencies during the installation of the transformer TDC-125000/110.

The scientific and methodological basis of the research was such methods as: mathematical modeling, probability theory, computer modeling.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ УКРАЇНИ	11
1.1 Особливості роботи систем електропостачання в Україні.....	12
1.2 Проблеми електропостачання та методи їх вирішення.....	20
1.3 Використання технології Smart Grid для підвищення ефективності електропостачання.....	23
ВИСНОВКИ ДО 1-ГО РОЗДІЛУ	41
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З АКТИВНИМИ СПОЖИВАЧАМИ.....	42
2.1 Розробка класифікації активних споживачів.....	43
2.2 Моделювання активного споживача.....	50
2.3 Формування моделі прийняття рішень для активного споживача.....	55
ВИСНОВКИ ДО 2-ГО РОЗДІЛУ	62
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ АКТИВНОГО СПОЖИВАЧА.....	64
3.1 Результативність реалізації концепції активного споживача.....	65
3.2 Дослідження роботи пристроїв при оптимальних варіантах завантаження устаткування.....	71
ВИСНОВКИ ДО 3-ГО РОЗДІЛУ	73
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП ПРОЕКТ.....	74
ВИСНОВКИ ДО 4-ГО РОЗДІЛУ	84
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	83
ВИСНОВКИ ДО 5-ГО РОЗДІЛУ	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	95
Список використаної літератури.....	96
Додаток 1.....	99

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;

IEA - Міжнародна Енергетична Агенція

IRENA - Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики

MDMS - система керування даними вимірювання;

SCADA - автоматизована система контролю та збору даних.

Вступ

На сьогодні визначено ключові цінності нової електроенергетики: доступність – повне забезпечення споживачів; надійність – стійкість до негативних фізичних та інформаційних впливів; економічність – оптимізація тарифів та зниження загально системних витрат; ефективність – максимізація ефективності використання всіх видів ресурсів виробництва, розподілу та споживання електричної енергії; органічність взаємодії з навколишнім середовищем – максимально можливе зниження шкідливих впливів на довкілля; безпечність – недопущення ситуацій, що загрожують людям та довкіллю. Реалізація зазначених цінностей в сучасних СЕП полягає у забезпеченні вимог зацікавлених сторін щодо клієнтоорієнтованості, зростання ролі керування як окремих елементів так і СЕП в цілому, використання інформаційного забезпечення та комунікацій як основного засобу ефективного керування.

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.

Розвиток СЕП України має відповідати основним цілям та положенням запропонованого міжнародними організаціями International Energy Agency (IEA), International Renewable Energy Agency (IRENA), World Energy Council (WEC), енергетичного переходу (energy transition). Енергетичний перехід – це перехід провідних країн до сталих економік шляхом відновлюваної енергетики, енергоефективності та сталого розвитку, де кінцевою метою є відмова від використання вугілля та інших невідновлюваних енергоресурсів. Безумовною умовою енергетичного переходу, що ставить цілі розвитку світової енергетики до 2050 року, на думку фахівців, є декарбонізація електроенергетики шляхом

збільшення кількості НВДЕ, потенціал яких дозволяє зменшити викиди парникових газів на 60% від сьогоденного рівня.

Енергетичний перехід вимагає забезпечення стабільності мережі в контексті керування зі зростанням ролі операторів систем розподілу (ОСР), які забезпечують безпеку та якість обслуговування, діють в інтересах суспільства, враховуючи витрати та вигоди; застосовують нові бізнес-моделі та клієнтоорієнтовні підходи. Для здійснення такого «процесу переходу енергетики» необхідно провести цілий ряд реформ у сферах енергозабезпечення та енергоспоживання.

Розвиток та поширення СЕП з ОСР на базі Smart Grid дозволяє АС приймати участь у програмах з керування попитом на електричну енергію— Demand Side Management (DSM) для вирішення низки завдань пов'язаних з покриттям нерівномірності добового графіка генерації та споживання енергії як безпосередньо у споживача, так і в рамках віртуальної електростанції – Virtual Power Plant (VPP) та загальносвітовою тенденцією до зростання попитом на електричну енергію.

Для забезпечення відповідності світовим напрямам розвитку електроенергетики, балансів, високого рівня якості та зменшення рівня втрат електричної енергії в СЕП актуальними постають проблеми оптимізації та узгодження графіків виробництва і споживання, враховуючи сучасні можливості мережевих технологій Smart Grid та АС, що обумовлює виникнення локальних систем електропостачання (ЛСЕП). Прикладом ЛСЕП може бути як VPP так і частина СЕП зі значною кількістю АС або джерел НВДЕ.

Тому для аналізу оптимальності процесів у СЕП необхідно створити такий механізм для ОСР, що не обмежений лише оцінкою впливу нерівномірності споживання електричної енергії на показники її якості, а й враховує можливості зменшення втрат шляхом впровадження інноваційних програм DSM для СЕП, які містять АС.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробки моделей і методів побудови систем електропостачання з активними споживачами, а також методів та засобів оптимізації нерівномірності процесів споживання електричної енергії використанням механізмів керування попитом на електричну енергію, що є актуальним на сучасному етапі розвитку електроенергетики.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв’язувались такі наукові задачі:

- визначення проблем електропостачання в Україні та методи їх вирішення;
- використання технології Smart Grid для підвищення ефективності електропостачання;
- аналіз особливостей функціонування СЕП згідно з вимогами концепції Smart Grid, зокрема, дослідити існуючі механізми функціонування оператора розподільних мереж та інтеграції програм DSM в СЕП;
- проаналізувати вплив нерівномірності споживання електричної енергії споживачами на збитки та погіршення якості електричної енергії та якості енергопостачання ЛСЕП;
- розв’язання оптимізаційної задачі для отримання ідеалізованих графіків генерації та споживання АС при застосуванні механізмів керування для отримання мінімальних витрат на оплату електричної енергії;
- оптимізувати режими роботи АС з врахуванням можливості видозміни добового графіка електроспоживання з використанням систем акумуляції електричної енергії;
- оцінити потенціал АС щодо видозміни власного графіка споживання, враховуючи особливості встановленого обладнання та режиму роботи системи;

Об'єктом дослідження: системи електропостачання з активними споживачами.

Предметом дослідження: є створення моделей та методів побудови систем електропостачання з активними споживачами , а також методів та засобів оптимізації нерівномірності процесів споживання електричної енергії використанням механізмів керування попитом на електричну енергію.

Методи дослідження. Науково-методичну основу виконаних досліджень склали такі методи: системного аналізу, 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.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ УКРАЇНИ

1.1 Особливості роботи систем електропостачання в Україні

Концепція інтелектуальної системи електропостачання Smart Grid складається з таких складових як активне споживання, розосереджена генерація (РГ), інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом. Інтелектуальна мережа – це модернізована електрична мережа, яка застосовує інформаційно-комунікаційну систему для автоматизованого збирання даних та реагування на таку інформацію, як поведінка всіх учасників процесу виробництва – трансформації – передачі – споживання енергії з метою покращення ефективності, економічності та стійкості виробництва, розподілу та споживання електроенергії.

Активний споживач реагує та впливає на ринок енергії через систематичні дії і реакції, націлені на мінімізацію витрат і збільшення власного та колективного прибутку. Пристосування до миттєвих цін на ринку та можливість керувати навантаженням для стабілізації графіка добового споживання є одними з найважливіших стимулів до розвитку активних споживачів та формування Microgrid.

Критичним фактором перетворення звичайного споживача на активного є явні прибутки, що витікають з такого перетворення. Споживачі повинні зрозуміти цінність нових технологій та мати бажання змінити свою поведінку і платити за продукти та послуги, які нові учасники ринку можуть запропонувати в рамках інтелектуальних мереж. Вигода, яку отримують споживачі, не завжди може виражатися у грошовому еквіваленті.

При взаємодії інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням, джерел РГ активні споживачі можуть отримувати різного роду вигоди. Рівень активної участі споживачів і цілі взаємодії з гравцями ринку залежать від різних персональних, поведінкових і контекстуальних характеристик споживачів. Серед найбільш важливих характеристик є такі: бажання бути енергонезалежним; гнучкість (можливість пристосування власного попиту на електроенергію та пропозиції виробленої енергії джерелами власної генерації).

Створення нового ринку енергії, орієнтованого на активного споживача, може принести прибутки і для кінцевих користувачів, і для суспільства:

- зменшення споживачів у мережах, які знаходяться далеко від генеруючих потужностей, як наслідок, зменшення втрат у мережах;
- більш повне та прозоре інформування споживачів про стан споживання та плати за електроенергію;
- прибуткову участь на ринку електроенергії через компанії, що займаються керуванням потоками енергії, отриманої від джерел РГ та комплексів (об'єднань) АС;
- більш ефективне споживання енергії;
- заощадження електроенергії.

Енергосистема включає в себе електростанції, електричні та теплові мережі, а також з'єднання між ними - все це пов'язано між собою загальним режимом просто в силу безперервності процесу виробництва, перетворення і розподілу електроенергії та тепла. Електрична або електрична і теплова енергія виробляються на електричних станціях, які можуть складатися як з однієї єдиної установки, так і з групи установок для виробництва електричної енергії.

Електричні мережі являють собою сукупність електроустановок, призначення яких - передача і розподіл електричної енергії, що поставляється електростанціями. Мережа включає в себе підстанції, лінії електропередач, струмоводів, приєднувальну апаратуру, а також засоби управління і захисту.

Розвиток СЕП України має відповідати основним цілям та положенням запропонованого міжнародними організаціями International Energy Agency (IEA), International Renewable Energy Agency (IRENA), World Energy Council (WEC), енергетичного переходу (energy transition). Енергетичний перехід – це перехід держав до сталої економіки шляхом відновлюваної енергетики, енергоефективності та сталого розвитку, де остаточною метою є відмова від використання вугілля та інших

невідновлюваних ресурсів. Безумовною умовою енергетичного переходу, що ставить цілі розвитку світової енергетики до 2050 року, на думку фахівців, є декарбонізація електроенергетики шляхом збільшення кількості НВДЕ, потенціал яких дозволяє зменшити викиди парникових газів на 60% від сьогоденного рівня.

Лібералізація ринків електроенергії, формування конкурентного оптового ринку електроенергії, а потім і розвиток конкуренції на роздрібному ринку ставить завдання по формуванню кривої попиту і в підсумку економічно обґрунтованої ціни електроенергії шляхом підвищення активності споживачів.

Слід зазначити, що в даний час споживач на ринку електричної енергії вкрай обмежений у своїх діях в частині вибору умов споживання електричної енергії: якщо споживач підключений до єдиної енергосистеми - він зобов'язаний оплачувати утримання резервних потужностей, інвестиційні проекти, як традиційної генерації, так і відновлюваних джерел енергії, мережних компаній і т.д. Зазначена особливість обмеженості вибору споживача на ринку пояснюється специфічними рисами ринку електричної енергії:

1. Технологічна цілісність і узгодженість у часі процесів генерації, передачі, розподілу та споживання енергії.

2. Незмога у великих кількостях економічно акумулювати електроенергію.

3. Одночасна дія процесів виробництва, передачі та споживання енергії і немає можливості складування електроенергії викликає сильну залежність режиму і обсягу виробництва енергії від режиму та обсягу її споживання.

4. Одночасна робота всіх електростанцій енергосистеми.

5. Забезпечення надійності електропостачання споживачів при неможливості складування енергії і необхідності суворого відповідності режиму виробництва режиму споживання енергії.

6. Інтенсивність енергетичних процесів, що являє собою протікання у великій швидкості та в зміні навантаження і потужності генерації в часі, з'являється термінова потреба автоматизованого керування технологічними процесами в електроенергетиці і одночасне керування всіма об'єктами енергосистеми.

Перераховані вище вимоги з боку генерації, мережевих компаній і країн за змістом резервних потужностей, оплаті дорогих і не завжди аргументованих інвестиційних програм призводить до щорічних зростань цінових навантажень на споживача, що сильно загострює невдоволення споживачів відсутністю вибору умов споживання електричної енергії.

Вже зараз великі промислові споживачі (в першу чергу - нафтові компанії, алюмінієві заводи) шукають можливості відмовитися або знизити споживання від єдиної енергосистеми. У свою чергу догляд великих споживачів з енергосистеми сприятиме прискореній ескалації цін на електричну енергію для інших споживачів.

Останні десятиліття характеризуються бурхливим розвитком технологій, економіки і суспільства, в яких відбуваються кардинальні зміни, що впливають, в тому числі, і на діяльність енергетичної галузі [1]:

1) Розвиток технологій:

- поява нових пристроїв таких як, накопичувачі електроенергії, вимірювальні пристрої та прилади, електромобілі, технології передачі електроенергії, надпровідники;

- розвиток технологій і підвищення доступності малої генерації (в тому числі нетрадиційної енергетики), розвиток власної генерації у споживачів;

- розвиток інформаційних технологій: поява інтелектуальних систем управління (спостерігають стан елементів системи в режимі реального часу і приймають рішення на основі зібраних параметрах про конфігурацію роботи системи);

2) Зміна вимог і можливостей споживачів: розвиток технологій

накопичення електроенергії, бажання самотійно визначати умови та порядок взаємодії з енергосистемою;

3) Зниження надійності енергопостачання в силу високого ступеня зносу обладнання, як генеруючих об'єктів, так і в мережевому комплексі.

Існують два можливих шляхи подальшого розвитку і вирішення перерахованих проблем:

- екстенсивний шлях розвитку, який передбачає вирішення проблем традиційним способом: нарощування нових потужностей і об'єктів, модернізація обладнання з використанням існуючих технологій. Даний варіант розвитку призведе до подальшого зростання цін на електроенергію, технічного відставання від інших країн (оскільки не ставиться завдання розвиток та інтеграція нових технологій), і, як наслідок, до зниження конкурентоспроможності країни.

- інтенсивний шлях розвитку, який передбачає розвиток і інтеграцію перерахованих технологій в електроенергетику, розвиток інтелектуального управління, мотивацію активної поведінки споживача, реалізацію можливості інтеграції розподіленої генерації [2].

Для вирішення вище зазначених проблем і з метою розвитку та впровадження найсучасніших технологій в електроенергетику ряд країн (в першу чергу США і країни Європейського Союзу), а також Україна затвердили рішення про перехід до інноваційного перетворення галузі на основі нової концепції, що отримала назву Smart Grid. Принципові відмінності традиційного підходу до розвитку енергосистеми та інноваційного підходу на базі концепції Smart Grid представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Існуючі оцінки розвитку енергетики

	Традиційний підхід	Інноваційний підхід (Smart Grid)
Принципи управління	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Централізоване управління; ▪ Автоматичне диспетчеризація; ▪ Нерозвиненість інформаційно-комунікаційних технологій (тільки в учасників оптового ринку електроенергії). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Мультиагентна диспетчеризація (наявність не одного об'єкта управління, а цілої групи об'єктів, які називають агентами), ▪ «Інтелектуальне» (моніторинг керуючими агентами стану об'єктів енергосистеми і самостійне прийняття рішень про параметри їх роботи) управління режимами роботи генерації, мереж; ▪ Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (забезпечення взаємозв'язку і взаємодії між усіма елементами енергосистеми); ▪ Розвиток Microgrid (розвиток генерації, наближеною до місць споживання).
Генератори	Розвиток енергосистеми на базі великої централізованої традиційної генерації	Розвиток енергосистеми за рахунок інтеграції розподіленої генерації (включаючи генерацію споживачів)
Мережеві компанії		Реалізація нових можливостей з управління активами за рахунок застосування нових технологій: автоматичне відновлення після аварій, реакція на запобігання аваріям.

Споживачі	<p>Переважно пасивні відносини споживачів і енергосистеми: приймають умови, які диктуються енергосистемою (містить резерви генерації, оплачує неефективну генерацію, оплачує перехресне субсидування і т.д.)</p>	<p>Поява активних споживачів:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Диктують умови роботи енергосистеми: платить тільки за ті послуги, які потрібні йому (відмова від масштабного будівництва генеруючої потужності (ДПМ), ліній електропередач, змісту пікової генерації) 2) Конкурують з генерацією (переважно в пікових режимах роботи) за рахунок: <ul style="list-style-type: none"> - управління своїм енергоспоживанням (використовуючи накопичувачі
------------------	--	---

		<p>електроенергії, використовуючи потенціал по перенесенню навантаження на інший час);</p> <p>- управління режимом роботи власну генерацію (в тому числі за рахунок реалізації можливості видачі її в мережу)</p>
Держава	<p>Оновлення обладнання на основі існуючих технологій, будівництво нових потужностей і об'єктів, «ручне» управління галуззю (стримування тарифів для кінцевого споживача при необхідності реалізації масштабних інвестиційних програм, зміст «Вимушеної» генерації, резервів і т.д.)</p>	<p>Зниження кінцевих цін для споживача, оновлення обладнання із застосуванням нових технологій, підвищення надійності, безпеки, енергопостачання, зниження викидів, розвиток нових технологій.</p>

1.2 Проблеми електропостачання та методи їх вирішення

Україна на даний період часу знаходиться на початковому етапі зміни свого розвитку. Необхідним є перехід до нових структур у вигляді інтегрованих інтелектуальних електропостачальних систем (ІЕС), які являються собою інтеграцію саморегулюючих систем електропостачання, побудованих за мультиагентним принципом на інтелектуальній основі. Ідеологія, створення та керування такими системами є найважливішою проблемою, яка потребує проведення великої кількості досліджень[3].

У результаті аналізу виявлено основні фактори, що вимагають необхідність кардинальних перетворень в електроенергетиці під впливом складних умов, особливу увагу потрібно виділити таким факторам, що зображені на рис. 1.1.

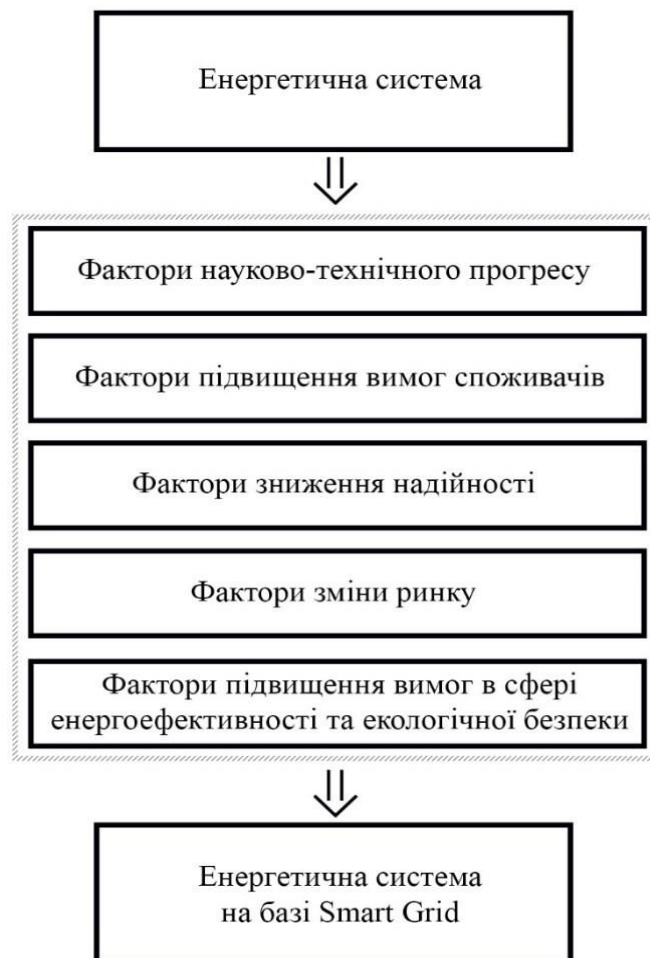


Рис. 1.1 – Фактори перетворень в електроенергетиці

Наведенні фактори виставили на перший план проблему розвитку електроенергетики за допомогою традиційних підходів та попередньо існуючих принципів і способів, охоплюючи технологічний базис.

Впродовж останніх років ведеться активне обговорення проблеми створення інтелектуальних електроенергетичних систем (ІЕС). Основні чинники, що впливають на створення ІЕС: значне поширення відновлюваних джерел енергії, додатковий попит на електроенергію, що пов'язаний із переходом на електромобілі, розвиток сучасних інформаційних технологій, за допомогою яких можна створити якісні нові вискоєфективні системи моніторингу та керування.

Вчені та дослідники відносять такі фактори, які впливають на енергетичну галузь наведенні у таблиці 1.2.

Великі електрокомпанії ЄС, США, Канади, Японії та інших країн вже почали реалізувати великі проекти, що ґрунтуються на головних положеннях концепції Smart Grid. Політика розвинених країн світу, принципи побудови та функціонування лібералізованих енергетичних ринків спрямовані саме на стимулювання енергозбереження та підвищення ефективності електровикористання.

Концепція Smart Grid ґрунтується на ретельно скоординованому, комплексному вирішенні проблеми перебудови енергетичного сектору економіки і має враховувати особливості електроенергетичної системи нашої країни. Перш за все, передбачає досягнення заданої надійності й економічності функціонування системи електропостачання, обумовлених, зокрема, станом основного обладнання і активної поведінки споживача. За визначенням USA Department of Energy Grids 2030 інтелектуальна мережа Smart Grid – це повністю автоматизована система, що забезпечує двосторонній потік електричної енергії та інформації між електричними станціями і електроприладами.

Таблиця 1.2 – Фактори впливу на енергетичну галузь

Фактор впливу	Зміни у енергетичній галузі
Підвищення рівня життя	дефіцит джерел електричної енергії
	постійно зростаючі вимоги до надійності і якості електропостачання з боку споживачів
Загальний економічний розвиток	постійне підвищення вартості електричної енергії в усьому світі, вимоги екологічної та промислової безпеки функціонування енергетичних об'єктів, зниження загальносистемних витрат
Соціальна привабливість галузі	старіння і наростаючий дефіцит кваліфікованих кадрів в енергетичній галузі
	зростання вимог зацікавлених сторін до результатів діяльності енергетичних компаній

Тому на даний час для України стоїть основне завдання створення та побудова та впровадження нових структур у вигляді інтелектуальних інтегрованих електропостачальних систем, які прогнозують інтеграцію самокерованих систем електропостачання, побудованих за мультиагентним принципом на інтелектуальній основі; впровадження комплексного моніторингу таких систем, що включає оцінку стану та діагностики їх елементів.

1.3 Використання технології Smart Grid для підвищення ефективності електропостачання

У міжнародній практиці під концепцією інтелектуальної енергетичної системи (Smart Grid) (далі - ІЕС) розуміється система поглядів на електроенергетику, яка відображає:

- ключові вимоги до енергетичної системи;
- характеристики енергетичної системи, що дозволяють реалізувати зазначені вимоги;
- основні елементи базису для реалізації зазначених вимог.

В рамках розвивається за кордоном концепції Smart Grid різноманітність вимог зводиться до групи ключових вимог (цінностей) нової електроенергетики, сформульованих як: доступність, надійність, економічність, ефективність, екологічність і безпеку[4].

Ключові вимоги, які пред'являються до енергетичної системи і відображають думку всіх зацікавлених сторін (держави, споживачів, регуляторів, енергетичних компаній, збутових компаній і комунальних організацій, власників, виробників обладнання та ін.), Розрізняються для різних країн. Серед основних в даний час виділяються: доступність електроенергії для споживачів, надійність енергопостачання, ефективність використання ресурсів і технологій, економічність (оптимізація тарифів для споживача), гнучкість (в частині реакції на зміни вимог споживачів), екологічність (зниження негативного впливу на навколишнє середовище), безпеку, клієнтоорієнтованість.

В основу концепції Smart Grid покладено такі ключові принципи: розвиток і інтеграція інтелектуальних технологій в електроенергетику, інтеграція в енергосистему розподіленої генерації, розвиток «інтелектуального» управління енергосистемою, розробка і впровадження в управління електричною мережею інформаційних технологій нового покоління, мотивація активної поведінки споживача.

Таким чином, одним з базових підходів концепції Smart Grid, необхідних для реалізації ключових цінностей зазначеної концепції, є клієнтоорієнтованість, яка полягає в тому, що споживач купує властивість активного учасника ринку електроенергії і самостійно формує вимоги до обсягу одержуваної електроенергії, якості та характеру її споживчих властивостей і енергетичних послуг.

Слід зазначити, що питання орієнтації на клієнта набули актуальності в 80-х рр. XX століття в період формування і становлення теорії маркетингу взаємовідносин. На першому етапі виникла концепція управління ланцюгом поставок (supply-chain management - DCM), Моделі ланцюга створення цінності і використання зазначених концепцій в логістиці. Зазначені моделі базуються, в першу чергу, на економії витрат. Новий виток розвитку зазначена теорія отримала в зв'язку з розвитком управлінських технологій в інтегрованих системах (JIT, TQM) і інтеграцією в систему управління компанією нових інформаційних технологій і систем (ERP, CRM).

В якості альтернативного напрямку в середині 90-х рр. XX століття починає розвиватися підхід управління ланцюгами попиту (demand-chain management). На відміну від попередньої концепції, що відрізняється неурою до споживачів і концентрується на управлінні витратами, нова концепція, навпаки, орієнтується на інтереси споживача в якості відправної точки для координації. У моделі DCM процеси координації розглядаються уздовж ланцюжка створення цінності. При цьому клієнт стає безпосереднім учасником ланцюжка створення цінності.

Активізація споживача в галузі через його включення в процес створення цінності на основі системи методів і механізмів Demand Chain Management трансформувалася в галузеву систему механізмів активізації споживачів - Demand Side Management, яка представляє собою набір заходів, спрямованих на зміну поведінки споживачів, спрямованих на :

- підвищення енергоефективності (загальне зниження рівня споживання);

- управління попитом (вирівнювання графіка навантаження шляхом згладжування піків, зміщення навантаження в області нижчого споживання, стимулювання попиту в провалах графіка енергосистеми);
- створення конкуренції на роздрібних ринках електроенергії, в тому числі за рахунок формування локальних систем енергопостачання (наприклад, на рівні міст), що включають в себе горизонтальний рівень взаємодії між споживачами[5.6].

В даний час властивість активного учасника ринку електроенергії для споживача в конструкції ринку електроенергії може бути реалізовано обмежено, що обумовлено, в першу чергу, технологічними особливостями, як самої енергосистеми, так і споживача, а також сформованою системою організаційно-економічних відносин на ринку.

Основні положення, прийняті у разі розробки та розвитку концепції Smart Grid:

1. Концепція Smart Grid передбачає систематизоване перетворення електроенергії і впливає на такі основні елементи: генерацію, постачання і розподіл (враховуючи і комунальну сферу).

2. В майбутньому електричну систему розглядають на подібні мережі Інтернет інфраструктура, призначена для підтримки енергетичних, інформаційних, економічних і фінансових взаємовідносин між усіма суб'єктами енергетичного ринку та іншими зацікавленими сторонами.

3. Розвиток і функціонування електросистеми повинні бути направлені на задоволення та узгоджені всіма зацікавленими сторонами, основних вимог - ключових цінностей, вироблених у результаті спільного бачення усіма зацікавленими сторонами цілей і шляхів розвитку електроенергетики.

4. Довгострокове перетворення електричної енергії ґрунтується на розвитку існуючих та створення нових функціональних можливостей електросистеми і її елементів, які спрямовані на досягнення цих основних цінностей.

5. Електрична мережа розглядається як основний об'єкт створення нового технологічного базису, який дасть можливість істотного поліпшення досягнутих і створення нових функціональних властивостей енергосистеми.

6. Створення концепції орієнтована на всі основні етапи розвитку: від дослідження до практичного використання та виробництва - і охоплює наукову, нормативно-правову, технологічну, технічну, організаційну, управлінську та інформаційну сфери.

7. Впровадження концепції має інноваційний характер і відображає перехід до нового технологічного укладу в електроенергетиці та в економіці в цілому.

У звіті європейською комісією було визначено, що інтелектуалізація енергетичних мереж посідає одне із головних місць в рішеннях і директивних документах головних органів провідних країн, електроенергетичних організацій, компаній і наукових виданнях.

Проведене дослідження підтвердило, що саме розвиток і здійснення функціональних властивостей, які були розглянуті, дадуть можливість збільшити ефективність електроенергетики і забезпечити вимоги всіх зацікавлених сторін.

Для забезпечення більш ефективної інтеграції РГ та АС у мережу переваги для споживачів та мережевої компанії повинні бути очевидними та відповідати їхнім очікуванням. Споживачі отримують таку перевагу, як активна поведінка (тобто перехід від стратегії звичайного споживача до активного), що вплине на зменшення втрат енергії в мережах електропостачання як через використання власної генерації, так і через використання систем керування навантаженням з метою його зміни в часі відповідно до поточних цін на електроенергію. Крім того, споживачі отримують можливість обирати постачальників енергії (власна генерація, віртуальна електростанція, традиційні генератори, мережа і т.д.), а також її варіантів енергії [зелена енергія – від нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ), енергія від традиційних джерел, енергія підвищеної якості].

Активні споживачі з чітким уявленням про свою участь і можливості у новому ринку та можливістю отримання прибутку через використання всіх своїх можливостей стануть дієвим стимулом для перетворення сучасного суспільства на суспільство сталого розвитку.

Крім економічних мотивів окремих споживачів та енергетичних компаній, на розвиток інтелектуальних мереж та активного споживання буде впливати низка інших факторів, до яких можна віднести такі: політичні події, що відбуваються в світі та мають прямий і непередбачуваний вплив на ситуацію на ринку; поведінку учасників ринку; пасивні та активні будинки; відношення ціна/продуктивність для місцевого виробництва.

Перевагами активного споживача над звичайним є такі:

- можливість самостійно генерувати енергію, що дає змогу забезпечувати більший рівень самостійності;
- можливість отримувати прибуток від продажу надлишкової енергії;
- оптимізація використання енергії залежно від миттєвих цін;
- підвищення рівня надійності енергопостачання та якості електроенергії в мережі;
- пристосування до графіка добового споживання через використання систем керування навантаженням, що дасть змогу без створення незручностей для споживачів та суттєвої зміни графіка споживання позитивно впливати на мережу;
- вирівнювання та оптимізація графіка споживання.

Для масштабного розвитку децентралізованої генерації необхідне відповідне вдосконалення інфраструктури розподільних мереж. Здійснення цього потребує ухвалення цільових інвестиційних програм, у яких могли би брати рівноправну участь як енергоспоживачі, так і енергокомпанії. Дуже важливо забезпечити безперешкодний доступ установок малої генерації до електричних мереж для продажу надлишкової електроенергії центральній мережі, особливо в години піків електроспоживання[8].

Активні споживачі створюють нові умови конкуренції для традиційних постачальників ринку електроенергії, зокрема: додаткову пропозицію потужності на ринок; зниження потреби в потужностях для пікового попиту; ринок системних послуг; додаткову пропозицію послуг з регулювання частоти та напруги; забезпечення надійної автономної роботи в аварійному режимі «острова»; мережеві компанії; участь в оптимізації поточних і перспективних режимів завантаження мережі, виникнення еластичного попиту на послуги.

Активні споживачі обумовлюють наступні ефекти в мережі та енергосистемі :

- зниження капітальних і операційних витрат на магістральні мережі при підвищенні системної надійності та надійності електропостачання великих споживачів, підключених до електромереж;
- зниження потреби в резерві мережевих потужностей в електричних мережах, пристроях компенсації реактивної потужності і витрат з їх експлуатації;
- оптимізацію режимів завантаження мереж і зниження витрат на компенсацію втрат потужності та електроенергії;
- зниження витрат на компенсацію збитків від аварійних обмежень в подачі потужності і енергії у вузли живлення розподільних мереж (мереж споживачів) і на аварійні ремонти в електричних мережах;
- зниження пікових навантажень і потреби в генеруючих потужностях для їх забезпечення та підтримки нормативних резервів;
- вирівнювання графіка навантаження, зниження потреби в маневрених потужностях, зниження вимог до обов'язкового внутрішньодобового розвантаження обладнання електростанцій;
- нові можливості для підтримки системної надійності за рахунок оперативного керування режимами, власними генеруючими і акумулюючими потужностями великого споживача.

Активні споживачі обумовлюють зростаючу конкуренцію з боку локальних торговельних майданчиків як для локальних, так і оптових ринків.

Необхідні умови формування активних споживачів:

– підвищення технологічних можливостей, оперативності та автоматизації керування навантаженнями промислових, комерційних і побутових споживачів, системами освітлення, опалення та кондиціонування:

- розширення регульовальних діапазонів;
- оснащення керуючими елементами для віддаленого керування режимами;
- єдиний інтерфейс для інтегрованого керування різними типами струмоприймачів у споживача;

Зміна економічної поведінки агентів-споживачів з пасивного на активну змінює їх функції та роль в енергосистемі через появу нових можливостей: дії з управління попитом і надання додаткових системних послуг з регулювання навантаження, що наділяє споживача здатністю конкурувати з генерацією. Інтеграція такого споживача в систему організаційно-економічних відносин на ринках електроенергії вимагає проведення додаткових досліджень в частині методологічного забезпечення процесу його активізації. Рішення даної проблеми вимагає розробки концепції активного споживача, для чого, в свою чергу, потрібно вивчення теоретичних основ споживчої поведінки. При цьому оскільки прийняті агентами-споживачами рішення спираються на ціни на електричну енергію та витрати на енергопостачання - в рамках теоретичних основ слід розглядати тільки економічну поведінку споживачів[9].

Крім того, зміна ролі агентів-споживачів електроенергії в їх відношенні з енергосистемою визначає необхідність адаптації споживачів до особливостей ринку електроенергії, яка стає можливою при створенні математичних моделей, що відображають економічні інтереси споживачів, що вимагає більш детального вивчення досліджень з математичного представлення інтересів споживачів.

У сучасних умовах, у тому числі й на ринку, реалізація функцій

активного споживача в різних галузях народного господарства обмежена, що пов'язано, в першу чергу, з доступністю технологій накопичення електроенергії та розосередженої генерації, а також з конструкцією ринку електроенергії: відсутністю ринку системних послуг, що надаються споживачем щодо зниження навантаження, відсутністю можливості видачі в мережу електроенергії від власної генерації.

Розглянемо в загальному випадку можливі варіанти взаємодії активного споживача з іншими елементами системи енергопостачання (рис.1.2). До таких елементів можна віднести: систему енергопостачання; іншого активного споживача; звичайного споживача. Окремо варто виділити можливість активним споживачем надавати додаткові послуги системі енергопостачання, наприклад регулювати власне споживання на вимогу системного оператора.

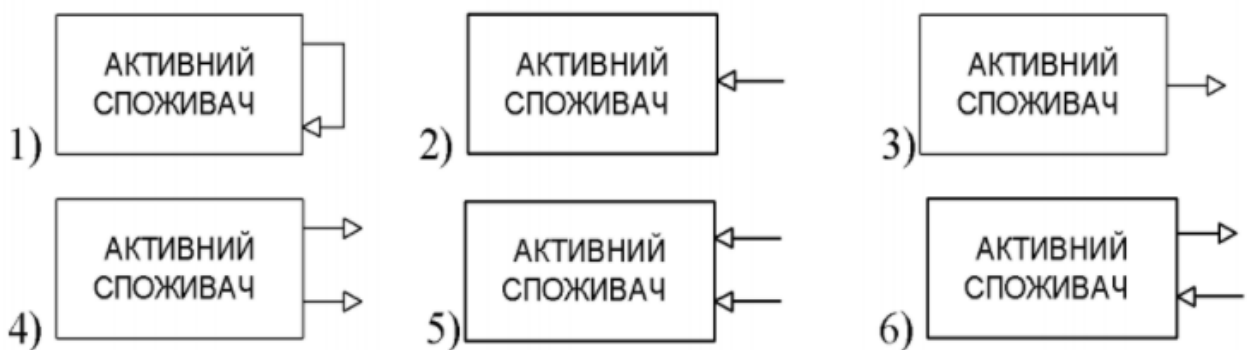


Рис. 1.2 - Можливі варіанти взаємодії активного споживача з іншими елементами системи енергопостачання.

Згідно з рис. 1.2 активний споживач має можливість:

- 1) забезпечувати самого себе електроенергією;
- 2) отримувати електроенергію від мережі або іншого АС;
- 3) отримувати електроенергію від кількох джерел ззовні;
- 4) передавати електроенергію в мережу або іншому споживачеві (активному чи звичайному);
- 5) передавати електроенергію кільком споживачам електроенергії;
- 6) частину електроенергії отримувати ззовні, а частину передавати

(активному, звичайному споживачеві або мережі).

Основне обладнання, використання якого створює умови до перетворення звичайного споживача на активного, розділимо на такі групи: джерела розосередженої генерації; системи керування навантаженням споживача; акумуляторні батареї; поєднання кількох одиниць перерахованого обладнання.

Основні вимоги для бізнесу, що зазначає концепція Smart Grid, можуть набувати різної форми[10]:

- безпечніший процес виготовлення продукції, здійснюється через підвищення надійності електропостачання;
- збільшення задоволення споживачів;
- зростання обсягів продажів внаслідок кращого рівня обслуговування споживачів;
- зменшення виробничих витрат через скорочення приборів та перерви у роботі енергетичної системи.

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика функціональних властивостей сьогодишньої електроенергетичної системи і електроенергетичної системи на базі концепції Smart Grid

Електроенергетична система сьогодні	Енергетична система на базі концепції Smart Grid
Одностороння комунікація між елементами або її відсутність	Двосторонні комунікації
Централізована генерація складно інтегрована розосереджена генерація	Розосереджена генерація
Топологія – переважно радіальна	Переважно мережева
Реакція на наслідки аварії	Реакція на запобігання аварії
Робота обладнання до відмови	Моніторинг і самодіагностика, що продовжують строк експлуатації обладнання

Ручне відновлення	Автоматичне відновлення
Схильність системних аварій	Запобігання розвитку системних аварій
Ручне і фіксоване виділення мережі	Адаптивне виділення
Перевірка обладнання за місцем	Віддалений моніторинг обладнання
Обмежений контроль перетоків потужності	Керування перетіканнями потужності
Недоступна або сильно запізнена інформація про ціну для споживача	Ціна в реальному часі

Фактори, що визначають необхідність кардинальних перетворень в електроенергетиці, розвиток концепції Smart Grid, нові ринкові умови та цілі розвитку світової енергетики обумовили виникнення поняття енергетичний перехід. Можна стверджувати, що позицій IEA і IRENA приближенні та навести деякі результати дослідження IEA і IRENA «Перспективи енергетичного переходу» (Perspectives for the Energy Transition):

Ймовірно, що близько 70% всього енергобалансу в 2050 р. буде низьковуглецевим в основному за рахунок ВДЕ, енергоефективності, а також технологія вилучення та збереження вуглецю. Щоб здійснити енергетичний перехід потрібно значних додаткових політичних заходів у сфері покращення енергетичної політики та правил роботи ринків електричної енергії;

1. Успішна інтеграція ВДЕ в роботу електроенергетичних систем стає ключовим елементом економічно ефективного енергетичного переходу;

2. Забезпечення доступу до сучасних енергетичних послуг для тих, хто немає до них доступу, залишається основним (поряд з поліпшенням якості довкілля через використання екологічно чистих енергетичних технологій);

3. Енергетичний перехід, крім виробництва та розподілу енергії, охоплюватиме і сектори кінцевого споживання: на електромобілі припадатиме домінуюча частка пасажирських і вантажних перевезень;

розгортання ВДЕ має перейти за межі енергетичного сектору в теплопостачання і транспорт;

4. Пріоритетним стане більш доступне, надійне та стійке біоенергопостачання.

На сьогодні для електроенергетики в цілому можна визначити такі ознаки сучасного енергетичного переходу:

1) перехід до більш гнучкої архітектури енергетичних систем за рахунок зростання частки ВДЕ та РГ в енергобалансі, розвитку інтелектуальних мереж систем (Smart Grid) у взаємозв'язку з розвитком технологій та ринку зберігання енергії, а також за рахунок появи активних споживачів (prosumer та prosumage);

2) перехід до нових технологій: генерація електроенергії на базі ВДЕ, використання силової електроніки, систем зберігання енергії, водневої енергетики, цифрової платформи (Cloud-технології) і Big Data, Internet of Things, високих фінансових технологій;

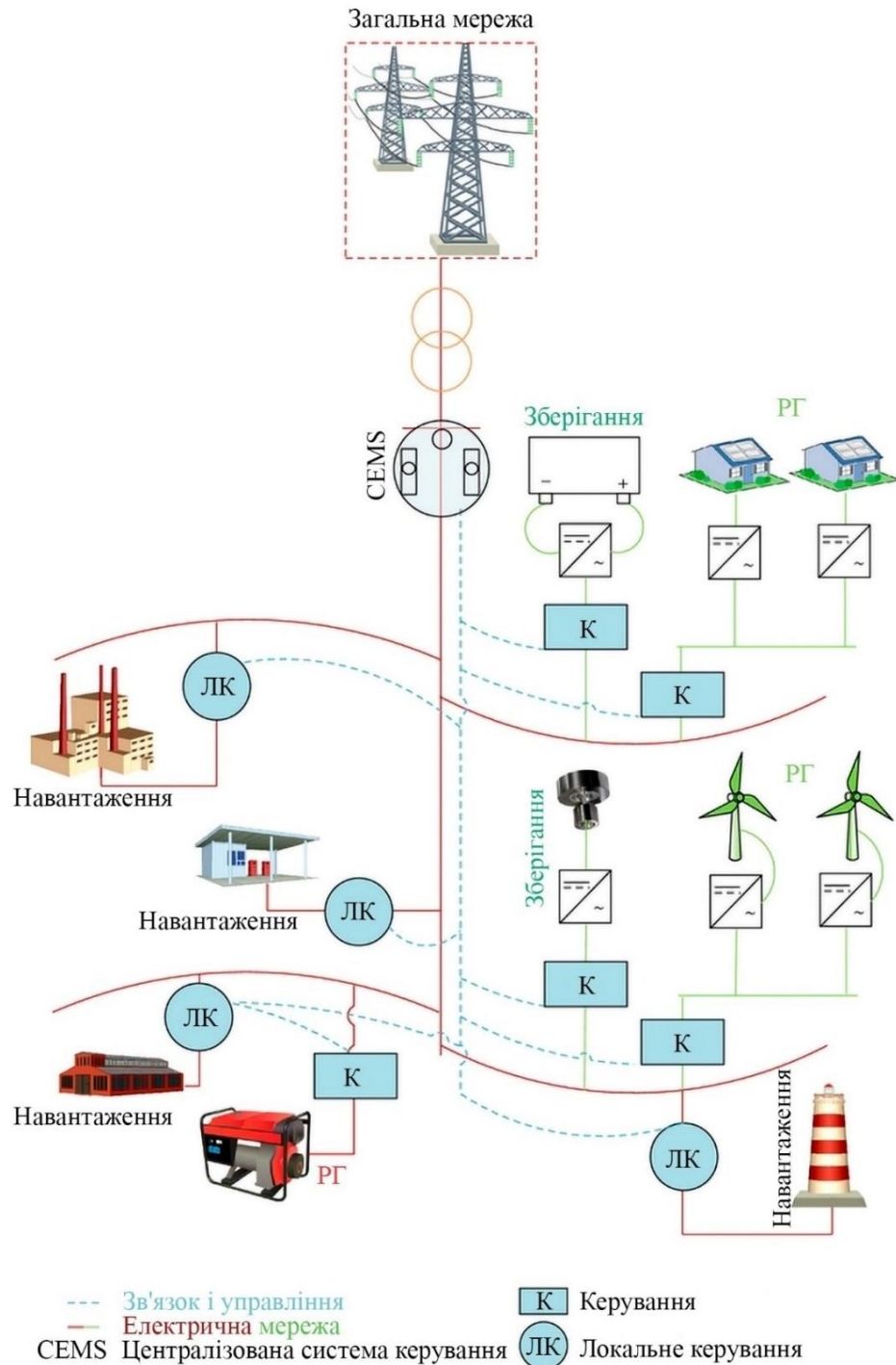
3) перехід до новішої бізнес-моделі електроенергетики: від традиційного ланцюжка формування доданої вартості «генерація – трейдинг – передача – збут» до моделі «Інтернету енергії» (Internet of Energy) і надання послуг у sms- середовищі, а також перехід до розвитку нових сервісів для «споживачів - виробників» енергії;

4) трансформація системи регулювання ринку електроенергетики: перехід від підтримки ВДЕ і конкуренції на ринку електроенергії до пріоритету підтримки споживача, інтеграції локальних рішень, а також від постачання енергії до «з'єднання потужностей» в рамках «Інтернету енергії» (Energy net), перехід до гнучкого ринку.

Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) визначило, що потрібно здійснити системний енергетичний підхід, що має прогнозувати:

- взаємодію секторів електроенергетики, опалення, охолодження та транспорту;

- енергоефективність пов'язана з відновлюваної енергетики ;
- узгодження національної, регіональної та муніципальної політики;
- у разі припинення виплат на викопні палива і атомну енергетику, введення вуглецевого ціноутворення та створення однакових умов.



- Рис.1.3 – Приклад локальної енергетичної системи з джерелами РГ
Для ефективного впровадження нових ринкових механізмів та

забезпечення системного підходу у разі інтеграції зазначених вище положень варто розглядати не загальну енергосистему України, а її локальну складову. Узагальнена локальна електроенергетична система (ЛЕС) – це група взаємопов'язаних споживачів та генераторів в з чітко окресленими електричними межами, які по відношенню до загальної мережі виступають як один контрольований об'єкт (рис. 1.3).

ЛЕС на певному етапі розвитку зможе підключатися і відключатися від мережі для роботи в режимі підключення до загальної мережі, або в режимі незалежного функціонування. У загальному вигляді структура ЛЕС складається з декількох джерел електроенергії, пристроїв її акумулювання та засобів регулювання потоків електроенергії[11.12,13].

Умовно рівні приєднання ЛЕС до загальної мережі можна розділити на 3 рівні (рис. 1.4):

- 1) джерела генерації малої потужності, що включають і системи акумулювання;
- 2) джерела генерації середньої та великої потужності;
- 3) мікромережі які мають загальну точку приєднання до мережі.

Основними відмінностями між ЛСЕП (локальні системи електропостачання) та традиційною електроенергетичною системою є:

- 1) джерела розосередженої генерації (РГ) мають набагато менший розмір порівняно з основними генераторами;
- 2) потужність, що генерується у разі розподільної напруги, може бути підключена безпосередньо до споживача;
- 3) джерела РГ встановлюються близько до споживача, забезпечуючи ефективне електропостачання з необхідними параметрами напруги і частоти без суттєвих втрат електроенергії, які відбуваються у звичайних електромережах.

Ефективність та надійність роботи ЛЕС базуються на пошуку її оптимальної архітектури відносно розподілу потоків електроенергії та інформації про стан всіх її вузлів.

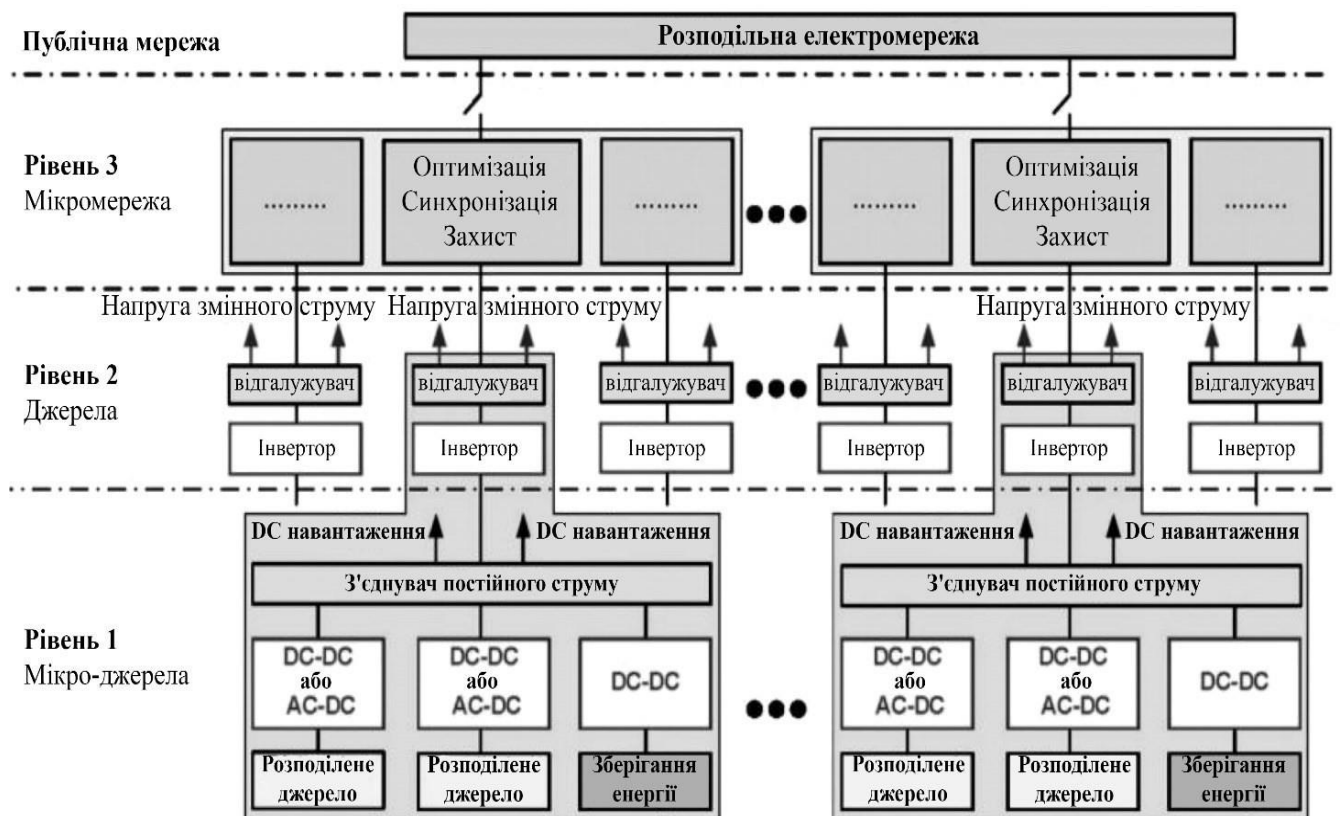


Рис. 1.4 – Структура ЛЕС на прикладі трьох рівнів приєднання до мережі

Як варіант ЛЕС, варто додатково виділити системи типу «енергетичний хаб» – фіксований набір вузлів мережі, що становить єдиний спеціалізований простір для постачання різноманітних видів енергоресурсів.

Для створення енергетичних хабів в Україні необхідним є комплексне використання можливостей математичного та технічного забезпечення, широке впровадження сучасних інформаційно-обчислювальних комплексів, розробка нових теоретичних засад, що адекватно враховують побудову СЕП на базі Smart Grid систем (рис. 1.5).

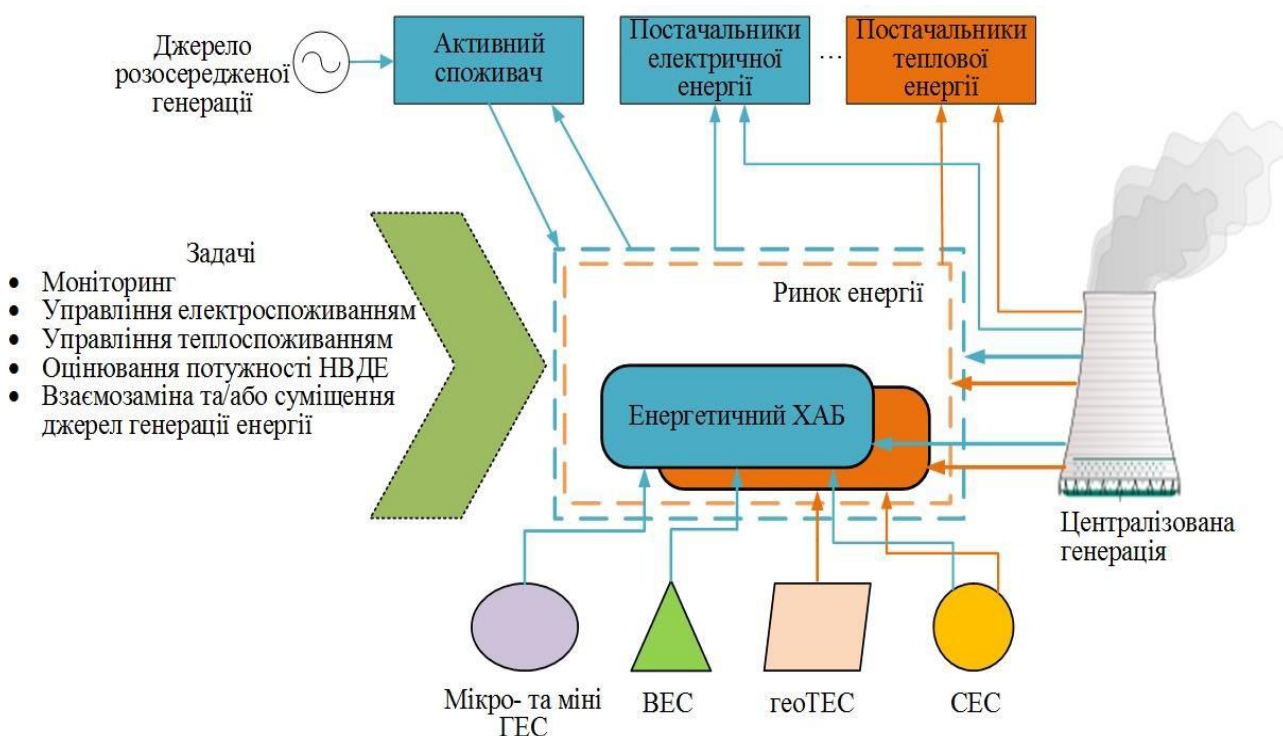


Рис. 1.5 – Структура інтегрованої інтелектуальної енергопостачальної системи

У результаті інтеграції систем енергопостачання на рівнях виробництва і споживання енергоносіїв виникає необхідність спільного розгляду електричних, теплових і газових розподільних мереж для вирішення завдань оптимізації поточкорозподілу в інтегрованих системах енергопостачання, оптимізації добових режимів у разі їх диспетчеризації, аналізу надійності енергопостачання за використання інтегрованих систем та ін[14].

Таблиця 1.3 – Характеристика можливих джерел РГ

Характеристики	Сонячна	Вітрова	Міні-ГЕС	Дизель генератор	Когенерація
Географічне положення	Залежить	Залежить	Залежить	Будь-де	Залежить від палива
Викиди парникових газів	Відсутня	Відсутня	Відсутня	Високі	Залежить від палива
Керованість генерацією	Відсутня	Відсутня	Відсутня	В будь-який момент	Залежить від палива

Типовий інтерфейс	Силовий перетворювач (DC-DC-AC)	Силовий електронний перетворювач (AC-DC-AC)	Синхронний або індукційний генератор	відсутній	Синхронний генератор
Керування потоком потужності	MPPT, напруга постійного струму (+P, ±Q)	MPPT, обертаючий момент контроль (+P, ±Q)	Керовані (+P, ±Q)	Керовані (+P, ±Q)	Подача палива, автоматичне регулювання напруги (+P, ±Q)

У рамках ЛЕС розрізняють поняття MicroGrid – інноваційна концепція малої енергетики, що передбачає створення локальних мережевих енергетичних структур. Уніфікована структура системи MicroGrid включає акумуляторні батареї, перетворювальні пристрої напруги, контролери заряду/розряду, різнотипні генератори в тому числі РГ та НВДЕ характеристика яких наведена у таблиці, а також навантаження (рис. 1.6).

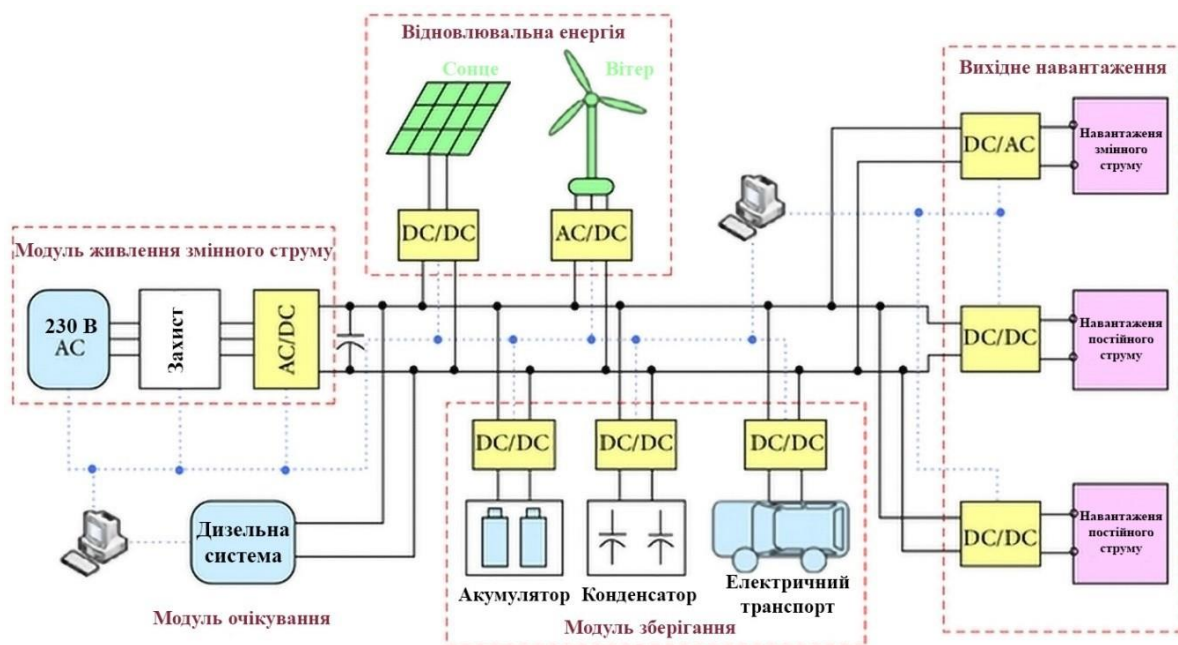


Рис. 1.6 – Приклад архітектури Microgrid

До систем Microgrid відносять приватні будинки типу «розумний будинок», автономні та/або підключені до загальної мережі локальні електротехнічні об'єкти – фермерські господарства, віддалені дослідницькі станції, морські та космічні комплекси, що мають забезпечувати умови функціонування та технологічні завдання приєднаного навантаження. Реалізація узгодженого керування пристроями споживання та генерації в Microgrid дає змогу забезпечувати стабільність та високий рівень енергоефективності функціонування системи.

Функціонування інтегрованих енергопостачальних систем згідно з положеннями енергетичних хабів поки для умов України практично не досліджувалось. Необхідно виконати глибокий аналіз та адаптацію до вітчизняних умов світового досвіду, на основі чого можуть бути сформульовані актуальні задачі досліджень.

Енергетичний хаб розглядається як об'єкт, в якому декілька видів енергоносіїв можуть бути перетворені, оброблені та накопичені. Він є інтерфейсом між різними енергоносіями та навантаженнями, передбачаючи велику кількість технологій для виробництва, перетворення, транспортування та зберігання енергії та складається з різноманітних компонентів: теплових, електричних та газових мереж.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1) Досліджено розвиток системи електропостачання в Україні. Системи електропостачання в Україні мають певні недоліки такі як: стрімке підвищення ціни на електроенергію; застарілі активи; пониження надійності електропостачання; низькі показники якості електроенергії; великі втрати електричної енергії в мережах; перебільшене адміністративне вплив в діяльність ринку і його суб'єктів; підвищенні тарифи на виготовлення й передачу електричної енергії, які економічно непереконливі.

2) Визначено основні аспекти розвитку та функціонування системи електропостачання та локальної системи електропостачання згідно концепції Smart Grid. Виявлено тенденцію розширення ролі ОСП та ОМСР у разі регулювання та керування режимами роботи СЕП з АС.

3) Проведено порівняльну характеристику та відмінності між традиційною системою електропостачання та системою електропостачання на основі концепції Smart Grid. Впровадження концепції Smart Grid в систему електропостачання України та напрямки її розвитку.

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З АКТИВНИМИ
СПОЖИВАЧАМИ

2.1 Розробка класифікації активних споживачів

Для побудови системи управління попитом, тобто для розробки механізмів реалізації та стимулювання активного споживача в Україні, необхідно розробити класифікацію споживачів з точки зору потенціалу участі в програмах управління попитом. Традиційно в електроенергетиці виділяються наступні класифікаційні ознаки (таблиця 2.1):

– *якісні класифікаційні ознаки*: види споживачів, наявність у споживача власної генерації, вид одержуваного ефекту регулювання, вид технологічного процесу споживача, вид кінцевого споживання.

– *кількісні показники*: потенціал допустимого зниження навантаження, швидкість зниження навантаження, максимально можлива тривалість раптових відключень, що не призводить до зриву технологічного процесу, максимально можлива тривалість роботи в умовах регулювання навантаження[15].

Таблиця 2.1 - Порівняльна характеристика різних типів споживачів електроенергії

№ п / п	Основна ознака класифікації	Класифікаційні групи споживачів
1.	Вид споживачів	<ul style="list-style-type: none">- Населення (побутові споживачі):<ul style="list-style-type: none">- Міське;- Сільське;- Промислові споживачі:- Великі (750 кВа і вище);- Дрібні (до 750 кВа)- транспорт:- Електрифікований залізничний;- Електрифікований міський;- Непромислові споживачі;- Сільськогосподарські товаровиробники.

2.	Наявність у споживача власної генерації	<ul style="list-style-type: none"> - Споживачі з великої генерацією; - Споживачі із середньою генерацією; - Споживачі з дрібною генерацією; - Споживачі без генерації.
3.	Наявність у споживача власного джерела генерації електроенергії	<ul style="list-style-type: none"> - Власне джерело відсутнє. - У споживача є власне джерело, який не видає енергію в мережу. - У споживача є власне джерело, який видає енергію в мережу. - У споживача є власний резервний або аварійне джерело живлення
4.	Вид одержуваного ефекту регулювання	<ul style="list-style-type: none"> - Зниження навантаження в години максимуму; - Збільшення навантаження в години провалу; - Обидва види ефекту; - Збереження балансу енергосистеми; - Відключення навантаження.
5.	Ступінь активності споживача (ступінь участі споживача в регулюванні)	<ul style="list-style-type: none"> - Відсутній; - Устаткування споживача регулюється автоматичними приладами з заданими ціновими параметрами; - Устаткування споживача регулюється автоматично по команді системного оператора (енергосистеми); - Устаткування споживача регулюється самим споживачем по команді системного оператора; - Устаткування споживача регулюється самим споживачем у відповідь на цінові сигнали ринку.
6.	Вид технологічного процесу споживача	<ul style="list-style-type: none"> - Процес однаковий для кожного циклу, але за рахунок зміни часу початку циклу (змінний графік включення) можна перенести навантаження з годин максимального навантаження енергосистеми; - Процес безперервний, але продукція різна по електроємна, а сам процес регулюємо за інтенсивністю; - Процес допускає переривання або зупинку; - Процес вільний від обмежень на зниження навантаження.

7.	Потенціал допустимого зниження навантаження	- 0%; - 10%; - 30%; - 50%; - 75%; - 100%;
8.	Швидкість зниження навантаження (час, необхідний для реалізації ситуаційного зниження навантаження (завчасність попередження))	- 0 годин; - 1 год; - 3:00; - 8:00; - 24 години.
9.	Максимально можлива тривалість раптових відключень, що не призводить до зриву технологічного процесу	- 1 секунда; - 1 хвилина; - 30 хвилин; - більше 30 хвилин

Мотивація активної поведінки кінцевого споживача полягає в забезпеченні можливості самостійного зміни споживачами обсягу і функціональних властивостей (рівня надійності, якості і т.п.) одержуваної електроенергії на підставі балансу своїх потреб і можливостей енергосистеми з використанням інформації про характеристиках цін, обсягів поставок електроенергії, надійності, якості та ін.

Даний механізм реалізується за рахунок встановлення на стороні споживача спеціальних систем автоматизації, що реагують в період пікових навантажень в енергосистемі на підвищення цін шляхом спланованого скидання навантаження за рахунок зниження енергоспоживання або відключення заздалегідь спланованого переліку пристроїв. Зазначена система може застосовуватися як для великих промислових споживачів, так і для домогосподарств. Може передбачатися як ручне регулювання відключення енергоспоживаючих установок, так і автоматичне. Такий підхід з одного боку дозволяє споживачам оптимізувати свої витрати на енергопостачання, а з

іншого енергетичним компаніям мінімізувати капітальні вкладення і експлуатаційні витрати (в тому числі шляхом зниження завантаження неефективних пікових електростанцій).

Передбачається удосконалення процедур технологічного приєднання генеруючих потужностей з метою забезпечення інтеграції розподіленої генерації (а також систем акумулювання електроенергії) в енергосистему, крім того, здійснюється перехід до створення «мікромереж» (microgrid - англ.) На стороні споживачів. Збільшення обсягів розподіленої генерації супроводжується виникненням додаткових ризиків, пов'язаних з їх більш мобільною природою і менш стабільними характеристиками, що може привести до зниження надійності. Для нівелювання зазначених ризиків необхідно організація двосторонньої комунікації, більш інтенсивне інформаційне забезпечення, впровадження «інтелектуального» контролю.

Крім того, реалізація концепції Smart Grid передбачає для споживачів, що мають власну генерацію, можливість в години пікових навантажень продажу електроенергії на ринок. Для цього необхідно забезпечити надання споживачам інформації про ціни, стан енергосистеми.

Використання джерел РГ та систем керування навантаженням під час їхньої експлуатації передбачає отримання максимального прибутку, що проявляється через реалізацію виробленої або зекономленої електроенергії. Тому при коригуванні режимів роботи СЕП з АС для найактивніших споживачів така задача є першочерговою. Інший варіант можливий, якщо генератор призначений для регулювання або збереження балансу, тоді важливішим може буде дотримання режиму.

Що стосується використання акумуляторних батарей (АБ), то основним їхнім завданням є мінімізація витрат шляхом накопичення електроенергії від власних джерел розосередженої генерації або від мережі електропостачання за час, коли вона є дешевшою, та її використання, коли ціна на електроенергію зростає. Перемикання навантаження на живлення від АБ в години, коли ціна на електроенергію висока, крім економії для споживача

сприяє ще і зменшенню загального навантаження мережі в пікові та напівпікові години, що, в свою чергу, позитивно впливає на роботу системи енергопостачання[16].

Також можливим є комбінування кількох типів обладнання АС, що сприяє отриманню більшого ефекту від їхнього використання. Окремим питанням є взаємозв'язок різного роду АС між собою. Основними вигодами, які можна отримати від такого зв'язку, є: часткове розвантаження мереж; підвищення якості та надійності енергопостачання споживачів; оптимізація режимів роботи СЕП; подовження терміну експлуатації мереж та обладнання; зменшення перетоків електроенергії.

Комбінуючи основне обладнання активного споживача, можна виділити такі типи активних споживачів: лише з використанням джерел РГ; лише з використанням систем керування навантаженням (СКН); лише з використанням АБ; зі спільним використанням – РГ та СКН, РГ та АБ, СКН та АБ, а також РГ, АБ та СКН.

Залежно від вибраного варіанту взаємодії АС з іншими елементами системи енергопостачання можна встановити варіанти взаємодії обладнання АС між собою.

Актуальними на цей момент є: розробка алгоритмів взаємодії обладнання між собою; алгоритми розподілу електроенергії від власних джерел РГ; алгоритм вибору режиму живлення. Особливостями АС у наведеному випадку є:

1. Наявність технологічних установок (сукупність або окремі одиниці):
 - споживаюче обладнання, здатне до зміни (перенесення на інший час) навантаження;
 - власні джерела РГ;
 - накопичувачі електроенергії;
 - системи керування навантаженням.
2. Здійснення діяльності з керування попитом, що включає[17,18]:
 - маневрування енергоспоживанням (зниження або перенесення

навантаження за часом) з метою надання системної послуги, оплачуваної ринком електроенергії, або виходячи з мінімізації витрат на електроенергію;

- керування власною генерацією: визначення ступеня її завантаження, а також обсягу власного споживання від неї і обсягу електроенергії, що постачається на ринок;

- керування режимом накопичення електроенергії: накопичення електроенергії, що виробляється власним генеруючим джерелом, або накопичення електроенергії, споживаної з енергосистеми;

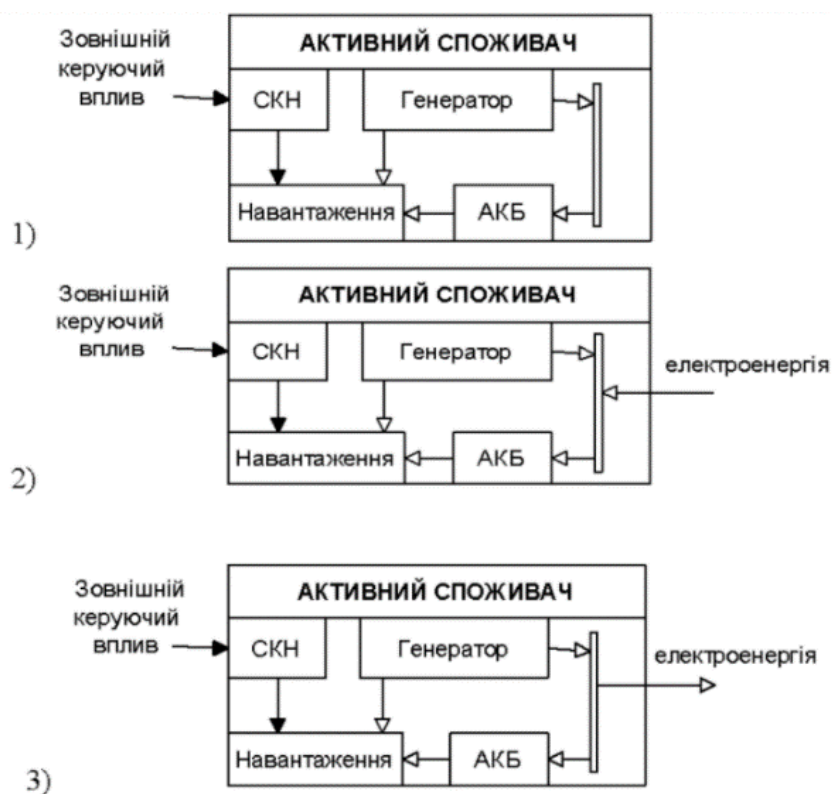
- споживання накопиченої електроенергії;

- продаж накопиченої електроенергії на ринок.

3. Функції АС в електроенергетичній системі:

- керування власним енергоспоживанням відповідно до необхідності виконання своїх виробничих планів з випуску продукції або забезпечення енергією домогосподарства, оптимізуючи свої витрати на покупку електроенергії з зовнішніх ринків;

- визначення ступеня своєї участі в наданні додаткових послуг, що полягають у наданні керованих активних і реактивних навантажень



(потужностей) для керування з боку системного оператора;

Рис. 2.2- Основні зв'язки між обладнанням АС: 1) автономний режим роботи; 2) споживання електроенергії ззовні; 3) передача надлишкової електроенергії.

– визначення умов завантаження власної потужності (за її наявності), для формування заявки на участь у купівлі/продажу електроенергії на оптовому і роздрібному ринках.

Концепція активного споживача в енергосистемі реалізується через механізми управління енергоспоживанням (Demand Side Management), які передбачають різні форми взаємодії і результатів для споживачів, електроенергетичних ринків, енергосистеми і навколишнього середовища.

2.2 Моделювання активного споживача

Для розробки методів і механізмів реалізації концепції активного споживача в енергетиці необхідно розглянути різні підходи до моделей опису поведінки споживачів, характеристики їх інтересів.

Поведінка споживачів вивчається різними науками виходячи з

вирішення різних завдань: в класичній економічній теорії - з точки зору вибору споживачами найкращого товарного набору згідно з його корисності і відповідно до наявних бюджетними обмеженнями, в маркетингу - з точки зору здатності задовольняти потреби споживача, в 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 (вільне володіння) вибір дій і спотворення інформації), в поведінкової економіки - з точки зору впливу соціальних і психологічних чинників на економічну поведінку споживачів.

Модель активної системи[18,19,20]:

У загальному випадку задача управління активною системою, описується наступним чином:

1. y - змінна, що характеризує стан системи;
2. $y \in A$, де A – допустима нескінченність;
3. Для стану системи в поточний момент часу характерна залежність від керуючих впливів η , причому $\eta \in U$,

$y = G(\eta)$; де:

U - множина допустимих керуючих впливів;

$G : U \rightarrow A$ - модель керованої системи;

4. Функціонал $\varphi(\eta; y)$ на множині $U \times A$ визначає ефективність функціонування суб'єкту з точки зору управляючого суб'єкту.

Завдання для керуючого органу полягає у виборі з допустимих управлінь, яке максимізує його ефективність при відомій реакції системи на керуючий вплив.

$$K(\eta) \rightarrow \max_{\eta \in U}$$

Відмінності в управлінні активними і пасивними системами полягають в наступному:

- для пасивних систем (Наприклад, суб'єкти системи являють собою технічні засоби) залежність об'єкта управління від керуючого впливу $y = G(\eta)$ є моделлю функціонування системи. Тобто для будь-якої пасивної системи з точки зору управління характерний детермінізм: відсутність у об'єкта управління свободи вибору свого стану, власних цілей, можливості прогнозувати поведінку керуючого суб'єкта.

- для активних систем (в яких суб'єкти системи або хоча б один суб'єкт набувають властивість активності: наявність власних інтересів і переваг, свободу вибору і т.д.) з'являється нова вимога до моделі системи $G(\cdot)$: Облік прояви активності у об'єктів управління[21]. Зазначені прояви характеризуються наступним: об'єкти управління прагнуть до вибору таких своїх станів (стратегій поведінки), які є найкращими з точки зору переваг при заданих або прогнозованих значеннях керуючих впливів, а керуючі впливи, в свою чергу, залежать від станів керованих суб'єктів.

Тому при наявності у керуючого суб'єкта моделі активної системи задача управління полягає в формуванні оптимального управління $\eta^* = \tilde{\eta}(y) \in U$, $\tilde{\eta} : A \rightarrow U$: тобто η^* максимізує його ефективність.

$$\eta^* \in \text{Arg max}_{\eta \in U} K(\eta) = \{\eta \in U | \forall v \in U, K(\eta) \geq K(v)\}^2$$

Модель активної системи задається наступними параметрами:

1. *Склад* - сукупність учасників: суб'єктів і об'єктів, які є елементами активної системи;
2. *Структура* - сукупність зв'язків між учасниками активної системи (в тому числі інформаційних, керуючих та ін.);
3. *Число періодів функціонування* - наявність / відсутність динаміки при виборі стратегій учасниками активної системи протягом аналізованого періоду часу (одноразовий або багаторазовий вибір);
4. *Цільові функції учасників активної системи* - функції, що відображають інтереси (функції корисності, виграшу, переваги) або переваги

(бінарні, нечіткі, метризовані і ін). Передбачається, що учасники системи не утворюють коаліції, тоді під їх раціональним поведінкою розуміється вибір станів (стратегій), максимізує їх цільові функції.

5. *Допустимі множини станів (стратегій) учасників активної системи* - стану (стратегії), що враховують індивідуальні і загальні обмеження, що накладаються зовнішніми (довкілля) та внутрішніми (що застосовуються технології) факторами.

6. *Порядок функціонування* - послідовність, з якою учасники активної системи отримують інформацію і формують стратегію поведінки.

7. *інформованість учасників* - інформація про істотні зовнішні і внутрішні по відношенню до системи параметрах, якою володіють учасники при виборі стратегії поведінки.

Представлені параметри формують механізм функціонування активної системи (в широкому сенсі) - сукупність законів, правил і процедур взаємодії учасників системи[22]. Механізм управління (у вузькому сенсі) являє собою сукупність правил прийняття рішень учасниками активної системи при заданих її склад, структуру і т.д.

При складанні базової моделі розглядається активна система, що складається з одного керуючого суб'єкта (центру) і n керованих суб'єктів (активних елементів). Вже згадана система є детермінованою, оскільки її учасники функціонують в умовах повної інформованості.

Вже згадана модель є базовою, оскільки з одного боку з точки зору структури і опису (дослідження) вона є найпростішою, оскільки в ній не враховуються ускладнюють фактори, такі як динаміка, відсутність інформації (невизначеність) (зазначені фактори враховуються в розширеннях базової моделі), а з іншого - з її використанням можна виявити основні закономірності управління активними системами, щоб потім використовувати їх при переході до аналізу більш складних систем.

Загальна постановка задачі управління активними системами:

1. Активні елементи визначають вектор стратегій

$y = (\psi_1, \dots, \psi_n) \in A$, незалежно вибираючи його компоненти.

2. Цільова функція i -го активного елемента $f_i(U, \eta)$ задає його переваги на множині $A * U$.

3. Множина рішень дії активного елемента $P(\eta)$ - множина рівноважних стратегій активного елемента при заданому управлінні $\eta \in U$. При одноелементній структурі активної системи $P(\eta)$ - множина точок максимуму цільової функції. При багатоеlementної – множина рівноваг.

Множина рішень гри відображає припущення центру (дослідника операцій) про поведінку керованих суб'єктів (активних елементів) при заданому управлінні.

4. Інтереси активної системи в цілому ідентифікуються з інтересами керуючого суб'єкта-центру, на позиції якого знаходиться дослідник здійснюваних операцій.

5. Дослідник операцій формулює передбачувані стратегії активних елементів з множини рішень гри. Існують два «граничних» підходи:

- метод максимального гарантованого результату (МГР): центр передбачає найгірший для нього вибір активних елементів;
- гіпотеза доброзичливості: центр передбачає найкращий для нього вибір активних елементів.

6. Завдання управління активною системою полягає в пошуку: допустимого управління цільову η^* , максимізуючи цільову функцію центру:

$$K(\eta) = \max_{y \in P(\eta)} \Phi(\eta, y)$$

Слід зазначити, що центр в розглянутій задачі має правилом першого ходу і призначає свою стратегію, яка залежить від стратегій активних елементів $\eta = \tilde{\eta}(y)$.

Методика обґрунтування стратегії АС, яка включає формування графіка енергоспоживання та режиму завантаження власної генерації[23]:

1. Задаються параметри роботи кожної електромережі з АС.

2. Формуються можливі комбінації графіка роботи (режими) кожної електромережі з АС на період планування (наприклад, на добу) у вигляді матриці, де кількість рядків відповідає максимальній для побудованої системи кількості можливих комбінацій графіка навантаження, а кількість стовпців – кількості періодів планування (наприклад, годин). Для неіснуючих режимів роботи у матриці ставляться нульові елементи.

3. Задається грошовий еквівалент вигоди графіка споживання для кожного режиму роботи (відповідає всьому періоду планування – доба) для кожної виділеної системи.

4. Задаються цінові параметри: витрати на виробництво одиниці електроенергії на власному генеруючому обладнанні, ціна на купівлю електроенергії з мережі, ціна на продаж електроенергії в мережу.

5. На підставі запропонованої моделі, виходячи із завдання мінімізації витрат споживача на енергопостачання і з урахуванням ступеня задоволеності графіком електроспоживання, визначається на період планування (на кожну годину доби) графік електроспоживання для кожного енергоспоживаючого обладнання споживача, а також обсяг вироблення власної генерації для кожного енергогенеруючого обладнання з розподілом обсягу, що спрямовується на внутрішнє споживання, та обсягу продажу на ринок.

2.3 Формування моделі прийняття рішень для активного споживача

За основу при розробці моделі прийняття рішень активного споживача прийнята модель, розроблена Інститутом проблем управління РАН [25], яка була деталізована і адаптована до опису поведінки активного споживача в інтересах вирішення завдання управління попитом в такий спосіб.

Розіб'ємо проміжок часу, для якого здійснюється планування, на T періодів (для визначеності на 24 періоду по одній годині). Нехай споживач має N одиницями енергоспоживаючого обладнання. Робота типової одиниці

обладнання моделюється графіком навантаження, що визначає потужність, споживану обладнанням в кожен з 24-х планових періодів[26].

Матриця A_n всіх можливих графіків навантаження для обладнання $n \in \overline{1, N}$ формується на кожен годину наступної доби. Матриця містить T стовпців (кількість годин на періоді планування), $t \in \overline{1, T}$, і R рядків (кількість режимів роботи (комбінацій графіків роботи)). При цьому для уніфікації всіх матриць прийнято, що кількість рядків відповідає кількості режимів роботи у одиниці енергоспоживаючого обладнання, має максимальну кількість режимів (комбінацій графіків) роботи з усіх наявних.

Поява нулів в рядку означає, що обладнання має бути виключене в відповідні години, одиниць - що споживання включено у відповідні години. При цьому для неіснуючих режимів роботи - відповідні рядків матриці будуть заповнені нулями. R_n - потужність n -ої одиниці енергоспоживаючого обладнання (кВт),

Приклад матриці A_n для кондиціонера наведено в таблиці 2.2:

- можлива як безперервна робота протягом заданого часу, так і переривчаста робота з заданим інтервалом;
- параметри роботи: порядковий номер обладнання $n = 2^2$.

Табл. 2.2 - Приклад транспонованої матриці навантажень кондиціонера

Можливе навантаження g	Час																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Кондиціонер (n=2)																							
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...																								
...	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R_n	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Визначимо через a^n елемент матриці A_n , $a^n \in \{0;1\}$, що відповідає режиму роботи $g \in \overline{1, R}$ і стовбцю $t \in \overline{1, T}$, $A^n = (a_{rt}^n)_{r \in \overline{1, R}, t \in \overline{1, T}}$; Тоді якщо для обладнання n споживачем вибрано графік навантаження g , то загальне споживання в момент

t записується так $V_t = \sum_{n=1}^N a_{rt}^n P_n$, де $z = z_1 \dots z_N$ – вектор змінних, що співвідноситься з набором вибраних режимів роботи електрообладнання $n \in 1, N, z_n \in 1, R_n$.

Грошовий еквівалент вигідності визначає цінність для споживача використання n -ої одиниці обладнання в заданому режимі в період планування i , в загальному випадку, визначається, як максимальна ціна на електроенергію, яку споживач готовий заплатити за використання n -ої одиниці обладнання протягом періоду планування в режимі r [27].

Слід зазначити, що на практиці оцінка грошового еквівалента вигідності є складною соціально-економічним завданням з виявлення переваг споживачів. В економічній теорії еквівалентом цього є кількісна оцінка корисності. Грошові оцінки вигідності того чи графіка споживання мають виключно індивідуальний, суб'єктивний характер: для одного споживача, який не працює і проводить основний час вдома, байдуже, в який час дивитися телевизор (грошовий еквівалент вигідності буде однаковий протягом дня), для працюючого споживача цінність має перегляд телевизора за 1-2 години до сну (грошовий еквівалент вигідності протягом дня буде нульовим, і тільки за дві години до сну матиме позитивне значення). Передбачається, що тільки конкретний споживач може дати оцінку грошового еквівалента вигідності електроспоживання для конкретного типу електрообладнання.

Для збору даних для розрахунку грошового еквівалента вигідності необхідне оснащення споживача «розумними лічильниками», які підключаються до кожного енергоспоживаючого приладу, фіксують інформацію про часовому інтервалі (передбачається погодинна дискретність), обсягах споживання електроенергії і ціною на електроенергію на ринку, і передають зазначені інформаційні сигнали в інформаційний центр, розташований також на стороні споживача [28].

Нехай дано безліч можливих цін на електроенергію s з i елементів та ймовірність розподілу інформації про багато людей по часу P : $s, t \rightarrow p$. Тоді грошовий еквівалент в момент часу t є математичне очікування цін у даний

момент t за розподілом P :

$$d_n(t) = \sum_i^i c_i \cdot P(c_i, t)$$

де c – i -й елемент множини C .

Припустимо, що тариф на електроенергію залежить тільки від часу доби енергетична компанія набуває електроенергію у споживача за тією ж ціною, що і продає, тобто

$$c^I(t) = c^E(t) = c^{IE}(t)$$

$$f(\bar{z}, \bar{g}^I, \bar{g}^E) = \sum_{n=1}^N d_{z_n} - \sum_{t=1}^T c^I(\cdot) \left[\sum_{n=1}^N a_{z_{nt}}^n \cdot P_n^{nomp} - g_t^I \right] + \sum_{t=1}^T \left[c^E(\cdot) \cdot g_t^E - \sum_{m=1}^M c_m(t, g_{mt}) \right]$$

В такому випадку цільову функцію споживача можна записати так:

$$\begin{aligned} f(\bar{z}, \bar{g}^I, \bar{g}^E) &= \sum_{n=1}^N d_{z_n} + \sum_{t=1}^T \left[c^{IE}(t) \cdot g_t^E - c^{IE}(t) \cdot (a_{z_{nt}}^n \cdot P_n^{nomp} - g_t^I) - C(t) \right] = \\ &= \sum_{n=1}^N d_{z_n} + \sum_{t=1}^T \left[c^{IE}(t) \cdot (g_t - a_{z_{nt}}^n \cdot P_n^{nomp} - C(t)) \right] \end{aligned}$$

З формули видно, що з економічної точки зору споживачеві байдуже, чи пускати вироблену електроенергію в першу чергу на власні потреби або постачати її цілком в мережа. Таким чином, можна вважати, що

$$g_t^E = g_t, \quad g_t^I = 0$$

Тоді

$$f(\bar{z}, \bar{g}^I, \bar{g}^E) = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left[d_{z_n} / T - c^{IE}(t) \cdot a_{z_{nt}}^n \cdot P_n^{nomp} \right] + \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M \left[c^E(t) \cdot g_{mt} - c_m(t, g_{mt}) \right]$$

У задачі відсутні обмеження, що зв'язують вибір змінних, тому окремо можна проводити максимізацію і частини цільової функції, пов'язаної зі споживанням,

$$f_z(\bar{z}) = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left[d_{z_n} / T - c^{IE}(t) \cdot a_{z_{nt}}^n \cdot P_n^{nomp} \right]$$

Частини, що пов'язана з власною генерацією

$$f_g(\overline{g^I}, \overline{g^E}) = \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M [c^E(t) \cdot g_{mt} - c_m(t, g_{mt})]$$

Це означає, що присутність власної генерації при наявності можливостей поставки її в мережу за ціною закупівлі не впливає на прагнення споживача максимально знижувати власне енергоспоживання в періоди високої ціни (що зазвичай передбачається програмами тарифного управління попитом) - витрати на електроенергію замінюються втраченим прибутком від недопостачання електроенергії в мережу.

Якщо, як передбачається вище, споживач може незалежно управляти потужністю джерел власної генерації, то завдання максимізації f_g також розпадається на M незалежних завдань вибору потужності генерації для кожної з M наявних енергетичних установок.

Якщо, як передбачається, користувач незалежно може управляти графіками споживання різних приладів, то задача максимізації цільової функції розпадається на N задач вибору оптимального варіанту завантаження устаткування (рядки матриці A_n) для кожного приладу

$$f_z(\overline{z}) = \sum_{n=1}^N \left[d_{z_n} - \sum_{t=1}^T [c^{IE}(t) \cdot a_{z_{nt}}^n \cdot P_n^{nomp}] \right]$$

Слід зазначити, що, для домогосподарств може бути запропонована реалістична модель оптимальної поведінки активного споживача, адекватно описує основні мотиви прийняття рішень по енергоспоживанню і власної генерації. Крім того, у багатьох важливих з практичної точки зору ситуаціях (зонні тарифи в умовах некритичності обмежень по одноразово споживаній потужності, рівність ціни споживаної і переданої в мережу енергії) оптимізаційна задача споживача допускає надзвичайно просте рішення, істотно більш ефективне з точки зору обчислень, ніж загальні методи, запропоновані в літературі.

Методика обґрунтування стратегії активного споживача, що включає формування графіка енергоспоживання та режиму завантаження власної

генерації:

1. Задаються параметри роботи кожної одиниці електроспоживаючим обладнання: можливість переривання графіка роботи, тривалість роботи, інтервального включення і т.д.

2. Будуються можливі комбінації графіка роботи (режими) кожної одиниці обладнання на період планування (наприклад, на добу) у вигляді матриці, де кількість рядків відповідає максимальному з усіх одиниць енергоспоживаючого обладнання кількістю можливих комбінацій графіка навантаження, а кількість стовпців - кількості періодів планування (наприклад, годин). Для неіснуючих режимів роботи - решта матриці заповнюється нулями.

3. Здається грошовий еквівалент вигідності графіка споживання для кожного режиму роботи (відповідає всьому періоду планування - добі) для кожної одиниці енергоспоживаючого обладнання.

4. Задаються цінові параметри: витрати на виробництво одиниці електроенергії на власному генерує обладнанні, ціна на покупку електроенергії з мережі, ціна на продаж електроенергії в мережу.

5. На підставі запропонованої автором моделі виходячи з завдання мінімізації витрат споживача на енергопостачання і з урахуванням ступеня задоволеності графіком енергоспоживання визначається на період планування (на кожну годину доби) графік енергоспоживання для кожної одиниці енергоспоживаючого обладнання споживача, а також обсяг вироблення власної генерації для кожної одиниці генеруючого обладнання з розподілом обсягу, направляється на внутрішнє споживання і обсягу продажу на ринок.

У загальному випадку стратегія покупки електроенергії з мережі і обсягу завантаження власної генерації виглядає наступним чином[29]:

Якщо витрати на виробництво одиниці електроенергії на власній генерації перевищують ціну на електроенергію, споживану мережі, - споживачеві слід купувати весь обсяг електроенергії на ринку і не завантажувати власну генерацію. Якщо витрати на виробництво одиниці

електроенергії на власній генерації нижче ціни на електроенергію, яка споживається з мережі ($c_m(t) < c^l(t)$), - споживачеві слід завантажувати власну генерацію на максимальний обсяг, а залишився необхідний обсяг - споживати з енергосистеми.

Якщо ціна на електроенергію, що видається в мережу, перевищує витрати на виробництво одиниці електроенергії на власній генерації ($c^E(t) > c_m(t)$) - споживачу слід виробляти електроенергію, більше, ніж за критерієм 1 і продавати її на ринок.

Якщо ціна на електроенергію, що видається в мережу, нижче витрат на виробництво одиниці електроенергії на власній генерації ($c^E(t) < c_m(t)$) - споживачу слід виробляти електроенергію в обсязі, необхідному для внутрішнього споживання за критерієм 1, і нічого не продавати на ринок.

Таким чином, на основі аналізу існуючого досвіду управління споживачів в енергетиці і з урахуванням зміни ролі споживачів в енергосистемі в дисертаційному дослідженні запропонований інструмент (методика обґрунтування стратегії активного споживача, що включає формування графіка енергоспоживання і режиму завантаження власної генерації, в основу якої покладено модель прийняття рішень активним споживачем), що відображає економічні інтереси споживача і дозволяє йому реалізовувати свої функції. Розроблений автором інструмент може використовуватися для наступних цілей:

- самим активним споживачем для формування стратегії свого енергоспоживання;
- може прийматися за основу при мультиагентному моделюванні відгуку споживачів на тарифні механізми управління попитом, тобто використовуватися енергетичною компанією і регулятором для вироблення механізмів впливу на активних споживачів.

В процесі моделювання популяція агентів, відповідним окремим споживачам, із запропонованим алгоритмом прийняття рішень, але з різними параметрами (профілями переваг, набором електроприладів і режимів їх

роботи, потужностей локальної генерації) занурюється в умови загальної тарифної політики. В результаті моделювання виявляється зміна графіка сукупного споживання при фіксованому меню тарифів. Цей «відгук попиту» (demand response) використовується потім для пошуку оптимальної тарифної політики за допомогою, наприклад, алгоритмів локального пошуку (методу Ньютона або градієнтного спуску). В цілому таке моделювання дозволяє зробити надійні передбачення про ефективність планованих заходів тарифного регулювання.

- для автоматизації управління навантаженням споживача;
- для оцінки економічного ефекту для споживача від участі в управлінні попитом.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Основними характеристиками активного споживача є наявність сукупності або окремих одиниць технологічних установок, що включають енергоспоживаюче обладнання, власну генерацію і накопичувачі електроенергії, а також здійснення діяльності з управління попитом.

2. На базі сформульованих характеристик активного споживача позначені його основні функції в енергосистемі, які включають управління власним енергоспоживанням, визначення ступеня своєї участі в наданні додаткових послуг з регулювання навантажень і визначення умов завантаження власних генеруючих потужностей (при їх наявності).

3. Аналіз потенціалу реалізації функцій активного споживача на прикладі різних галузей показує, що в поточних умовах реалізація його функцій обмежена, що зумовлено технологічними причинами і діючої конструкцією ринку електричної енергії. При цьому для ряду галузей потенціал реалізації функцій активного споживача відсутній як в поточних умовах, так і на перспективу, що зумовлено особливостями технологічного процесу.

4. Однією з ключових функціональних характеристик інтелектуальної енергетичної системи є мотивація активної поведінки кінцевого споживача, під якою розуміється забезпечення можливості реалізації його функцій з використанням інформації про характеристиках цін, обсягів поставок електроенергії, надійності, якості та ін.

5. Концепція активного споживача в енергосистемі реалізується через систему механізмів активізації споживачів (Demand Side Management), що включає в себе програми управління попитом (Demand Response) і енергоефективності.

6. Реалізація концепції активної споживача пред'являє ряд вимог до розвитку енергосистеми: технологічні, економічні та організаційні вимоги.

7. В даний час невідома модель управління споживанням і генерацією активного споживача, яка підходила б для опису як домогосподарств, так і для промислових споживачів, дозволяла врахувати втрати споживача в разі вибору

різних графіків навантаження, включала в себе управління власну генерацію, і, в той же час, була досить простою в обчисленні для того, щоб лягти в основу поведінки агентів-споживачів в рамках мультиагентної системи моделювання енергосистеми в рамках вирішення завдання управління попитом шляхом тарифного регулювання.

8. На базі аналізу існуючого досвіду управління споживачів в енергетиці і з урахуванням зміни ролі споживачів в енергосистемі запропонований інструмент (методика обґрунтування стратегії активного споживача, що включає формування графіка енергоспоживання і режиму завантаження власної генерації), що відображає економічні інтереси споживача і дозволяє йому реалізовувати свої функції.

9. Запропонована методика може використовуватися різними суб'єктами для вирішення різних завдань: самим активним споживачем - для формування стратегії свого енергоспоживання і для автоматизації управління навантаженням споживача, енергетичної компанії і регулятором - для мультиагентного моделювання відгуку споживачів на тарифні механізми управління попитом, а також для оцінки економічного ефекту для споживача від участі в управлінні попитом.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ АКТИВНОГО СПОЖИВАЧА

3.1 Результативність реалізації концепції активного споживача

Оцінка результативності реалізації концепції активної споживача нерозривно пов'язана з оцінкою ефектів від реалізації концепції Smart Grid в цілому. Можемо виділити три категорії переваг, отриманих від реалізації активної поведінки споживачів: прямі, непрямі і інші переваги. Прямі переваги з'являються у споживачів, які здійснюють дії з управління попитом, а непрямі та інші переваги - отримують інші споживачі і стейкхолдери. Система таких переваг доопрацьована автором в частині можливості кількісної оцінки і представлена в таблиці 3.1[32,33].

Як видно з таблиці 3.1. Оцінка результативності реалізації концепції активної споживача є складним завданням, що вимагає зокрема моделювання роботи енергосистеми в нових умовах. Проте на базі запропонованої автором методики обґрунтування стратегії активного споживача, що включає формування графіка енергоспоживання і режиму завантаження власної генерації, можна здійснити оцінку одного з ефектів, одержуваних споживачами - зниження витрат на енергопостачання за рахунок оптимізації графіків енергоспоживання і режимів роботи власної генерації.

Також слід зазначити, що крім розглянутого вище ефекту, суттєвою складовою результативності реалізації концепції «активної» споживача буде зниження маржинальних цін на ринку і отримання додаткового доходу від надання оплачуваних системних послуг щодо зниження навантаження. Для проведення оцінки зазначених ефектів потрібне проведення складних розрахунків на базі моделювання роботи енергосистеми в нових технологічних умовах[34,35,36].

Таблиця 3.1 - Оцінка результативності реалізації концепції активної споживача

Тип переваги	Реципієнт	Ефект		Характеристика	Можливість кількісної оцінки
Пряме	Споживачі, які беруть участь в програмах по управлінню попитом	Економічний ефект		Зниження витрат на енергопостачання за рахунок оптимізації графіків енергоспоживання і режимів роботи власної генерації	Оцінюється з використанням вибору стратегії активного споживача, що включає формування графіка енергоспоживання і режиму завантаження власної генерації, запропонованої автором
				Оплата системних послуг, що надаються споживачем	Може оцінюватися як еквівалент завантаження генерації. Вимагає моделювання режиму роботи енергосистеми в нових технологічних умовах.
		підвищення надійності		Зниження збитків від порушення надійності і якості електроенергії, що постачається	Вимагає вартісної оцінки збитків (втрат) від порушення надійності і якості енергопостачання у споживачів.
				Участь в заходах щодо зниження ризику системних відключень	
непряме	інші споживачі	ринковий вплив	короткострокові	Зниження маржинальних цін на електроенергію за рахунок оптимізації роботи енергосистеми	Вимагає моделювання режиму роботи енергосистеми в нових технологічних умовах, і, як

		довгостроков е	Зниження капітальних вкладень у будівництво нових генеруючих потужностей, як наслідок зниження максимуму електричного навантаження енергосистеми, розвитку і інтеграції розподіленої генерації	наслідок, моделювання зміни цін на оптовому і роздрібному ринку, обумовлених активізацією споживача, збільшенням частки розподіленої генерації, а також моделювання зміни тарифу на передачу електричної енергії.
			Зниження капітальних вкладень у будівництво об'єктів електромереж за рахунок зміни принципів управління існуючими лініями, механізмів управління попитом, інтеграції розподіленої генерації і зниження вимог щодо резервування	
		надійність	Зниження ймовірності аварійних відключень	Вимагає вартісної оцінки збитків (втрат) від порушення надійності і якості
			наявність диверсифікованих ресурсів для підтримки надійності системи	

Тип переваги	Реципієнт	Ефект	Характеристика	Можливість кількісної оцінки
				енергопостачання у споживачів.
інші	Інші споживачі, Постачальники, Мережеві компанії, Регулятори, Держава	Посилення конкуренції	Реалізація програм з управління попитом наділяє споживача здатністю конкурувати з генерацією.	Відсутня можливість кількісної оцінки
		Екологія	Скорочення викидів забруднюючих речовин, парникових газів	
		Підвищення безпеки і стійкості функціонування енергосистеми	За рахунок підвищення надійності енергопостачання, зміни принципів управління роботою енергосистеми, розвитку розподіленої генерації - можливість для оперативного переходу споживачів до автономного енергопостачання на рівні MicroGrid в разі системних аварій	
		Можливість вибору	Споживачі і виробники можуть вибирати ступінь своєї участі в наданні системних послуг, а також перелік споживаних з енергосистеми послуг.	
		Розвиток технологій	Розвиток технологій в енергомашинобудування, електротехнічної промисловості, інформаційних і комунікаційних технологіях, необхідних для технологічної реалізації концепції інтелектуальної енергетики.	

3.2 Дослідження роботи пристроїв при оптимальних варіантах завантаження устаткування

Апробація запропонованої методики без урахування оптимізації роботи власної генерації була проведена з частковим використанням даних [37].

Розглядалася робота наступних пристроїв:

- кондиціонер: порядковий номер обладнання $n = 1$, електроспоживання обладнання (номінальна потужність) $P1 = 1$ кВт·год., тривалість роботи $d1 = 3$ г.;
- електромобіль: порядковий номер обладнання $n = 2$, електроспоживання (номінальна потужність) нерівномірно $P2 = 0,79-3,56$ кВт, тривалість зарядки $d2 = 19$ год.;
- пральна машина: порядковий номер обладнання $n = 3$, електроспоживання обладнання (номінальна потужність) $P3 = 0,95$ кВт·год., тривалість роботи $d3 = 3$ г.;
- телевізор: порядковий номер обладнання $n = 4$, електроспоживання обладнання (номінальна потужність) $P4 = 0,3$ кВт·год, тривалість роботи $d3 = 5$ г.;

Приймалася ціна на електроенергію для роздрібних споживачів затверджених указом НКРЕ 2019 року (багатотарифний облік із застосуванням тарифу, диференційованого по зонах доби).

Грошовий еквівалент прийнятий на підставі вигідності графіка споживання умовних даних (оскільки відсутня можливість збору інформації від приладів інтелектуального обліку та вимірювання).

Вихідні дані і підсумковий розрахунок оптимальних графіків навантаження представлені в додатку 1. Зокрема, оптимальним варіантом графіка роботи для споживача є:

- для кондиціонера: варіант 3 (робота з 11.00 по 12.00, з 15.00 по 16.00 і з 19.00 по 20.00);
- для електромобіля: варіант 4 (зарядка з 16.00 по 10.00);

- для пральної машини: варіант 3 (робота з 3.00 до 5.00);
- для телевізора: варіант 5 (робота з 11.00 до 15.00).

Сумарні витрати на енергопостачання при оптимальних варіантах завантаження устаткування (з урахуванням ступеня задоволеності обраними графіками для кожного електроприладу). Економія за добу в порівнянні з варіантами, яким відповідають найбільші можливі витрати (без врахування ступеня задоволеності обраним графіком) становить 10%.

Слід зазначити, що наведений приклад є вкрай обмеженим, оскільки змодельований на основі умовних даних, а також в силу невисокої волатильності ціни на електроенергію на ринку, що обумовлено вибором зонного тарифу.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1 На підставі класифікаційних ознак, виділених з використанням традиційних характеристик споживачів і основних факторів, що впливають на поведінку активного споживача, виявлених при розробці інструменту реалізації його функцій, запропонована класифікації споживачів з точки зору ступеня залученості споживачів в ланцюжок створення цінності і потенціалу участі в програмах з управління попитом.

2 Характеристики, які послужили основою для розробки класифікації, дозволяють в подальшому використовувати її з метою розробки або адаптації механізмів реалізації та стимулювання активної поведінки споживача для кожної виділеної категорії споживачів.

3 Запропоновано систему механізмів реалізації та стимулювання активної поведінки споживача в Україні, заснована на принципах мотиваційного управління. За результатами аналізу зарубіжного досвіду, а також особливостей ринку електричної енергії в Україні сформовані основні положення запропонованих механізмів.

4 Розроблений підхід до формування системи механізмів реалізації та стимулювання «активного» споживача в Україні дозволяє визначити систему заходів щодо зміни організаційно-економічних відносин в українській електроенергетиці, спрямованих на створення економічних стимулів, по-перше, дозволяють інтегрувати в енергосистему власну генерацію споживача, а, по друге, побудувати гнучку систему тарифів, спрямованих на формування бажаної поведінки споживачів

5 Визначено місце розробленої методики обґрунтування стратегії активного споживача, що включає формування графіка енергоспоживання і режиму завантаження власної генерації, в системі оцінки результативності реалізації концепції активного споживача. Проведено розрахунки щодо застосування зазначеної методики для оцінки зниження витрат на електроенергію в на прикладі окремого домогосподарства.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА STARTUP-ПРОЕКТУ

4.1 ОПИС ІДЕЇ ПРОЕКТУ

Дуже відчутною проблемою в системі електропостачання України є відставання від енергетично розвинених країн у впровадженні та реалізації сучасних технологій, обладнання, приладів та засобів забезпечення ефективного та надійного функціонування електричних мереж та систем.

Активним споживачем називають того, який реагує та впливає на ринок енергії через систематичні дії і реакції, які націлені на мінімізацію витрат і збільшення власного та колективного прибутку. Повною мірою реалізувати потенціал можна тільки поєднуючи функції обліку, контролю, керування навантаженням з акумулюванням енергії в місцях споживання та інтеграції джерел розосередженої генерації малої потужності в мережі споживачів.

З метою отримання максимального ефекту від інтеграції активних споживачів, необхідним є здійснення оптимізації режимів роботи споживачів для ефективного регулювання їх роботи.

Напрямок розвитку та впровадження «розумних лічильників» (приладів, які здатні збирати інформацію про споживання електроенергії) контролюється і підтримується державою в багатьох зарубіжних країнах. Облік електроенергії за допомогою «розумних лічильників» дозволяє оптимізувати енергоспоживання, знижувати комерційні й технічні втрати енергії, зменшувати необхідність у нових енергетичних потужностях і, нарешті, надає кінцевому споживачеві можливість управляти своїм енергоспоживанням у режимі реального часу.

Проблема розкрадання електроенергії залишатиметься актуальною в умовах зростання вартості електроенергії, зниження платоспроможності споживачів та відсутності ефективної правової бази щодо фінансової відповідальності за розкрадання електроенергії. Для вирішення проблеми розкрадання електроенергії одночасно з технічними необхідно використовувати організаційні заходи.

Впровадження інтелектуальних приладів обліку набуває на сьогоднішній день все більшої актуальності. Це пов'язано з імплементацією нової моделі ринку електричної енергії та з метою моніторингу і формування достовірних даних комерційного обліку.

Тому розробка інтелектуального приладу обліку енергії є перспективною та комерційно вигідною задачею. У таблиці 4.1 подано опис ідеї startup-проекту.

Таблиця 4.1. Опис ідеї startup-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Розробка інтелектуального приладу обліку енергії	1. Індивідуальне застосування для обліку енергії	Отримання якісного продукту для визначення обліку енергії. Отримання більшої кількості даних пов'язаних з кількістю використаної енергії
	2. Застосування інтелектуальних приладів обліку енергії у якості підсистеми «глобальної» системи обліку енергії	Можливість створення конкурентоздатної, комерційної системи глобального обліку енергії
	3. Застосування інтелектуальних приладів обліку енергії як складової системи обліку енергії	Можливість створення багаторівневої системи обліку енергії, що матиме високі комерційні показники

Для успішного комерційного впровадження ідеї визначаються потенційні сильні, слабкі та нейтральні сторони проекту. Конкурентами інтелектуального приладу обліку енергії є звичайні прилади обліку енергії.

Дана інформація зведена в таблиці 4.2.\

Таблиця 4.2. Характеристики проекту

№ з/п	Техніко- економічні характеристики проекту	Концепції		Сторони проекту		
		Мій проект	Конкур енти	Сильн а	Нейтра- льна	Слабка
1	Постачання системи окремо від обладнання	+	+	+		
2	Можливість використання великого масиву даних	+	-	+		
3	Можливість загального впровадження	+	-			+
4	Наявність бюджету для реклами та дистриб'юції	-	+		+	
5	Можливість подальшого розвитку	+	+		+	

4.2 ВИМОГИ ДО ЗАСОБІВ ОБЛІКУ

Наш інтелектуальний прилад для обліку енергії повинен задовольняти загальні вимоги до засобів обліку:

- відповідність діючим нормативним документам.
- можливість роботи маршрутизаторів/модемів та приладів обліку з відкритими протоколами (наприклад DLMS/COSEM);

– наявність модуля зв'язку для роботи в системі (PLC, ZigBee, GSM/GPRS тощо);

– прилади обліку повинні мати можливість фіксації, збереження та передачі інформації на верхній рівень щодо будь-якого втручання в роботу засобів обліку;

– підтримка роботи внутрішнього годинника при зникненні живлення – можливість дистанційної параметризації;

– можливість комутації та обмеження потужності споживання.

Прилади обліку повинні:

- забезпечувати періоди інтеграції величин, що вимірюються за 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60 хвилин.

- забезпечувати збереження інформації при втраті живлення не менше 40 діб.

- мати можливість зовнішньої синхронізації ходу внутрішніх годин.

- мати можливість підключення резервного живлення.

- зберігати в пам'яті інформацію як про всі випадки доступу до режиму параметрування, так і про нештатні ситуації.

Лічильники прямого ввімкнення мають мати вбудований комутуючий пристрій (контактор) розрахований на максимальний струм електролічильника, з можливістю проведення відключень, (підключень) по веденій програмі або згідно отриманої команди.

4.3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АУДИТ ІДЕЇ ПРОЕКТУ

Перелік необхідних технологій та засобів поданий в таблиці.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ з/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
-------	--------------	--------------------------	----------------------	------------------------

1	Розробка алгоритмів та моделей	Програмні комплекси, прикладне ПЗ	наявні	доступні
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.

4.3 АНАЛІЗ РИНКОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПУСКУ STARTUP-ПРОЕКТУ

Для визначення ринкових можливостей і можливості виходу на ринок необхідно провести аналіз попиту. Дана інформація зведена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку startup-проекту

№ з/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців	>33
2	Загальний обсяг продажів	н/д
3	Динаміка ринку	зростає

4	Наявність обмежень	немає
5	Специфічні умови до стандартизації	загальні для енергетики
6	Середня норма рентабельності	н/д

Як видно із таблиці, на сьогодні ринок є привабливим для виходу з комерційним зразком. Це пов'язано з невеликою кількістю головних гравців на ринку, що є, як правило, і постачальниками обладнання, про недолік чого говорилося вище. Динаміка ринку зростає. Це пояснюється модернізацією обладнання та переходом компаній до сучасних методів керування бізнесом, де гнучкості та надійності приділяється загроз і можливостей.

Потенційними клієнтами можуть бути великі енергетичні компанії, так і більш дрібні підприємства, що займаються ремонтом, обслуговуванням обладнання на договірних умовах або на умовах підряду. Характеристика потенційних клієнтів подана в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів startup-проекту

№ з/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Вимоги споживачів
1	Потреба у гнучкій системі обліку енергії	Енергетичні компанії, ремонтні організації, виробники обладнання	Справедлива ціна, гнучкість, перспективність, простота, можливість інтеграції з різним обладнанням

Якщо аналізувати фактори якого бізнесу в Україні характерні з точки зору загроз нестабільна економічна та політична ситуація, недосконалість законодавства тощо. Серед можливостей варто відзначити не переповненість ринку та бажання

основних потенційних клієнтів до оновлення та модернізації обладнання та технологій.

Серед основних конкурентів варто відзначити великих виробників обладнання, що часто разом із ним продають і прилади обліку енергії. Тому основною задачею має стати захоплення частини ринку відновленого обладнання, а також співпраця з тими виробниками, які ще не мають подібного продукту .

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

В розділі стартап проекту була представлена ідея розробки інтелектуального приладу обліку енергії. Облік електроенергії за допомогою такого приладу дозволить оптимізувати енергоспоживання, знизити комерційні й технічні втрати енергії, зменшувати необхідність у нових енергетичних потужностях і надає кінцевому споживачеві можливість управляти своїм енергоспоживанням у режимі реального часу.

Вигодою для користувачів інтелектуальних приладів обліку енергії буде отримання якісного продукту для визначення обліку енергії та отримання більшої кількості даних пов'язаних з кількістю використаної енергії, також такий пристрій може бути корисний у спробах боротьби з розкраданням електроенергії. Динаміка ринку приладів обліку електроенергії зростає. Це пояснюється модернізацією обладнання та переходом компаній до сучасних методів керування бізнесом, де гнучкості та надійності приділяється загроз і можливостей.

Потенційними клієнтами можуть бути великі енергетичні компанії, так і більш дрібні підприємства, що займаються ремонтом, обслуговуванням обладнання на договірних умовах або на умовах підряду.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЇ ПІД ЧАС
МОНТАЖУ ТРАНСФОРМАТОРА ТДЦ-
125000/110

Вступ

В даному розділі досліджується монтаж силового трифазного масляного трансформатора ТДЦ-125000/110, під час процесів монтажу якого працівники піддаються дії небезпечних та шкідливих виробничих чинників (НШЧВ). Також буде розглянуто забезпечення умов для безпечного монтажу трансформатора за допомогою впровадження заходів з охорони праці.

До процесів, що мають зв'язок з виконанням робіт по монтажу трансформаторів такого типу відносять:

- 1) Підготовка до монтажних робіт.
- 2) Монтаж частин трансформатора (системи газовідвідних трубопроводів, елементів захисту і експлуатаційного контролю трансформатора та ін.).
- 3) Технологічні операції з доведення характеристик ізоляції до необхідних (підсушування, сушка).
- 4) Випробовування і включення трансформатора в роботу.

Працювати всередині бака дозволяється тільки в тому випадку, якщо з бака повністю видалені масляні пари, виймальних частина не висить над баком і всередині бака застосовані переносні лампи з напругою не вище 12 В. Забороняється використовувати для промивання бака і арматури трансформатора бензин або інші легкозаймисті речовини. Видаляти залишки масла з баків і очищати їх внутрішню поверхню дозволяється лише з витягнутою і відведеної в сторону виймальної частини.

Застосовувані при монтажі гумові ущільнення не повинні мати механічних пошкоджень, розтріскування і розшарування.

До початку сушіння трансформаторів електричним струмом корпусу, трубопроводи та балки трансформаторів повинні бути заземлені.

Не допускається суміщення монтажних робіт на трансформаторі з роботами за його випробуванням та розміщенням.

5.1 Загальна характеристика об'єкта

Трансформатор ТДЦ-125000/110 розташований в розподільчій мережі з дотриманням всіх вимог по місцю встановлення та нормальних умов роботи:

- висота установки над рівнем моря – 15 м;
- середньодобова температура повітря - не вище 30 °С;
- середньорічна температура повітря - не вище 20 °С;
- відхилення напруги живлення від номінального, відхилення частоти від номінальної повинні відповідати вимогам не перевищують 5%;

Масляні трансформатори по критеріям вибухонебезпечності відносяться до категорії Б1, клас зони приміщення П-І.

Технічні характеристики трансформатора ТДЦ-125000/110 наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Показники технічних характеристик ЕУ

Найменування ЕУ	Основні характеристики	Числове значення показника
Трансформатор ТДЦ-125000/110.	Номінальна потужність	125 МВА
	Номінальна напруга	110/10,5 кВ
	Маса	126 т
	Маркування	ТДЦ-125000-110-10,5
	Габаритні розміри	7.5 x 5 x 7 м
Трансформаторное масло	Марка Т-1500У	26760 кг

Загальна характеристика об'єкту наведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 Загальна характеристика об'єкту

Найменування ЕУ	Вид розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія електроприміщення	Категорія з пожежної безпеки
Трансформатор ТДЦ-125000/110.	Знаходиться на відкритом у повітрі	Окреме приміщення на поверхні землі. Територія яка використовується для монтажу – 120 м ² .	Пожеженебезпечне приміщення	Категорія Б1

5.2 Визначення обсягів і послідовності робіт у ході експлуатації або під час модернізації енергетичного об'єкту

Показники умов праці при монтажі трансформатора наведені в таблиці 5.3.

Монтаж виконується в літній період і триватиме 20 днів.

Таблиця 5.3. Показники умов праці при монтажі трансформатора

Вид робіт	Спосіб доставки і розгрузки	Період виконання робіт і тривалість	Кількісний склад бригади	Група з електробезпеки
Монтаж трансформатора ТДЦ-125000	Транспорт, механічна розгрузка окремих частин	Літній період, 20 робочих днів	8 осіб Позмінна робота не більше 8 годин на добу	IV група

5.3 Визначення та оцінка показників умов праці на робочих місцях

Показники умов праці під час виконання вказаних у пункті 5.2 робіт для бригади електротехнічних працівників наведено у табл. 5.4.

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 4,8 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 60 Вт, 270 Вт·год II категорія Робота на висоті
Напруженість праці	Тривалість зосередженого спостереження Тривалість активних дій Змінність	45 % робочого часу 55 % робочого часу 1 зміна, 8 один 15 % робочого час

5.4 Визначення шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Небезпечні фактори, що можуть з'явитися через незадовільну організацію роботи:

- допуск роботи в будівельній зоні без захисних касок;
- виконання робіт без наряду-допуску;
- виконання робіт на висоті без застосування охоронних засобів;
- відсутність контролю керівниками за виробництвом робіт;

Небезпечні і шкідливі виробничі чинники (НШВЧ), які виникають у ході виконання робіт по монтажу трансформатора, наведено в табл. 5.5. До табл. 5.5 занесено перелік небезпек і шкідливих виробничих чинників.

Роботи виконуються не під напругою.

Таблиця 5.5. Перелік небезпек і шкідливих виробничих чинників

Небезпеки і шкідливі чинники
Робота на висоті
Робота назовні
Переміщення вантажів(складових частин трансформатора та арматури)
Напруга під час підключення 220 В
Оцінка умов праці II категорія важкості робіт

5.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці

Технічні і організаційні заходи наведені в табл.5.6.

Таблиця 5.6. Технічні і організаційні заходи

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
Ізоляція	Робоча струмовідних частин	Робоча. Масляна. 1600 МОм
Захисне заземлення	Протидія розтіканню струму	0,5 Ом
Огороджувальний засіб	Огорожа трансформатора	Сітчаста, висота 2,5 м, Встановлена по периметру місця монтажу
Категорія робіт щодо заходів безпеки	Робота без напруги	Наряд-допуск на 1 робочу зміну Плакати безпеки розміщають на робочій панелі трансформатора

5.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Результати вибору ЗІЗ наведено у вигляді таблиці 5.7.

Таблиця 5.7. Перелік засобів індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Марка або маркування. Модель. Матеріал.	Гарантований термін використання	Технічні характеристики
Захисний одяг	Захист від механічних ушкоджень	Робочий костюм марки Карго	1 рік	Комбінований костюм з бавовни та поліестеру
Захисне взуття	Захист від механічних ушкоджень	МЗ «Ardon». Черевика.	6 місяців	Черевика 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 полікарбонатними лінзами марки Peltor	1 рік	Використовуються під час паїрки і зварювання
Захист голови	Захист від механічних ушкоджень	Каска SH	2 роки	Забезпечує захист голови від механічних травм
Захист від падіння з висоти	Захист від механічних ушкоджень	MARSHFL S-23	6 місяців	Використовується під час роботи на висоті більш як 2 м.

Перелік заходів і засобів наведений в табл.5.9.

Таблиця 5.9. Перелік заходів і засобів

Група заходів	Вид заходу	Критерії вибору
Технічні	Відповідна категорія приміщення (Б)	Горючі рідини (ГР) в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні або пароповітряні суміші
	Відповідна зона в електроприміщенні (П-I)	Приміщення, в якому застосовуються або зберігаються горючі рідини з температурою спалаху вище 61 °С.
	Наявність первинних засобів до тушіння пожеж (вогнегасник, пожежний інвентар)	Порошковий вогнегасник. Щит з інвентарем.
	Автоматична система пожеже тушіння	Емність, установка до розпилення, сповіщувач, оповіщувач
Організаційні	Навчання та тренінги	Постійні періодичні (раз на рік)
	Перевірка ізоляцій	Відповідно до вимог
	Перевірка засобів пожеже тушіння	Відповідно до технічних умов
	План дій з попередження надзвичайних ситуацій	Відділ з охорони праці

5.7 Розрахунок технічного заходу з безпеки експлуатації

Вихідні дані для розрахунку захисного заземлення підстанції:

1. Наруга обладнання, що заземлюється: $U_{\text{обл.}} = 110 \text{ (кВ)}$
2. Струм однофазного замикання на шинах 110кВ $I_3 = 12,92 \text{ кА}$.
3. Ґрунт території розміщення електроустаткування. Питомий опір ґрунту $\rho = 30 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$ (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 прутки довжиною 5 (м) та діаметром 10 (мм). В якості горизонтального заземлювача будемо використовувати металевий прут прямокутного перерізу з перетином 4х40 (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 Ψ_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

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

$$R_{B1} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_1} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l_1}{4 \cdot t - l_1} \right) \right) =$$

$$= \frac{39}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 5}{0,01} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) \right) = 8,893 \text{ (Ом)}$$

Отже, оскільки $R_{B1} > R_{\text{доп}}$ ($8,893 \text{ Ом} > 0,5 \text{ Ом}$), 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

У розділі охорони праці був досліджений процес монтажу трансформатора ТДЦ-125000/110.

1) Наведено основні технічні характеристики трансформатора ТДЦ-125000/110 (номінальна потужність, номінальна напруга, маса, габарити), показники умов праці на території проведення робіт (місце та розташування проведення робіт, кваліфікація працівників, важкість праці, напруженість праці), перелік небезпечних і шкідливих виробничих, технічні і організаційні заходи (ізоляція, знаки безпеки, тривалість і порядок виконання робіт, категорії робіт і ін.), засоби індивідуального захисту (одяг, взуття, каска, рукавички), електрозахисті засоби.

2) Проведений розрахунок захисного заземлення корпусу трансформатора, вибрано горизонтальні заземлювачі довжиною $l_r = 200$ м, результуючий опір яких складає $R_{шт} = 0,437$ Ом. Отримане значення $R_{шт}$ не перевищує допустиме значення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Системи електропостачання в Україні має певні недоліки такі як: стрімке підвищення ціни на електроенергію; застарілі активи; пониження надійності електропостачання; обмежена кількість добавлення нових споживачів електричної енергії; низький показник якості електроенергії; великі втрати електричної енергії в мережах; немає прозорості і послідовності у політики; перебільшене адміністративне вплив в діяльність ринку і його суб'єктів; підвищенні тарифи на виготовлення й передачу електричної енергії, які економічно непереконливі.

Однією з ключових функціональних характеристик інтелектуальної енергетичної системи є мотивація активної поведінки кінцевого споживача, під якою розуміється забезпечення можливості реалізації його функцій з використанням інформації про характеристиках цін, обсягів поставок електроенергії, надійності, якості та ін.

Концепція активного споживача в енергосистемі реалізується через систему механізмів активізації споживачів (Demand Side Management), що включає в себе програми управління попитом (Demand Response) і енергоефективності.

На підставі класифікаційних ознак, виділених з використанням традиційних характеристик споживачів і основних факторів, що впливають на поведінку активного споживача, виявлених при розробці інструменту реалізації його функцій, запропонована класифікації споживачів з точки зору ступеня залученості споживачів в ланцюжок створення цінності і потенціалу участі в програмах з управління попитом.

Характеристики, які послужили основою для розробки класифікації, дозволяють в подальшому використовувати її з метою розробки або адаптації механізмів реалізації та стимулювання активної поведінки споживача для кожної виділеної категорії споживачів.

Запропоновано систему механізмів реалізації та стимулювання активної поведінки споживача в Україні, заснована на принципах мотиваційного управління. За результатами аналізу зарубіжного досвіду, а також особливостей ринку електричної енергії в Україні сформовані основні положення запропонованих механізмів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Танкевич С.Е., Блинов И.В., Денисюк С.П. и др., Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы. под общ. ред. акад. НАН Украины А.В. Кириленко. Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2014. 408 с.
2. Базюк Т.М., Блінов І.В., Буткевич О.Ф., Гончаренко І.С., Денисюк С.П., Жуйков В.Я., Кириленко О.В., Лук'яненко Л.М., Миколаєць Д.А., Осипенко К.С., Павловський В.В., Рибіна О.Б., Стелюк А.О., Танкевич С.Є., Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Під заг. Ред. Акад. НАН України О.В. Кириленко. Киев: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
3. Волкова И. О., “Активный потребитель : реалии и прогнозы,” Москва, 2014. 14 с.
4. Стогній Б. С., Кириленко О.В, Праховник А.В., Денисюк С.П., “Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні,” Техн. електродинаміка, С. 52–67, 2012.
5. S. Denysiuk, V. Opryshko, and R. Strzelecki, “The Smart Grid concept implementation by expanding the use of demand side managment and modern power electronic installations,” Енергетика: економіка, технології, екологія., vol. 4, pp. 7–16, 2016.
6. Кириленко О.В., Танкевич С.Є., Блінов І.В., “Україна та світ: нормативне забезпечення інтелектуальних електроенергетичних систем за концепцією Smart Grid.,” Стандартизація, сертифікація, якість., vol. 4, no. 89, С. 38 – 44, 2014.
7. G. Benysek and R. Strzelecki, “Modern power-electronics installations in the Polish electrical power network,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 15, no. 1, pp. 236–251, 2011.
8. Закон України Про електроенергетику.
9. НКРЕКП, Постанова Про затвердження Кодексу систем розподілу Відповідно. НАЦІОНАЛЬНА КОМІСІЯ, ЩО ЗДІЙСНЮЄ ДЕРЖАВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРАХ ЕНЕРГЕТИКИ ТА КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУГ,

2018, pp. 1–2.

10. Закон України Про ринок електричної енергії. .
11. J. M. Zepter, A. Lüth, P. Crespo del Granado, and R. Egging, “Prosumer integration in wholesale electricity markets: Synergies of peer-to-peer trade and residential storage,” *Energy Build.*, vol. 184, pp. 163–176, 2019.
12. Денисюк С.П., Опришко В.П., “Research on demand side management programs and analysis of their usage efficiency,” *Technol. Audit Prod. Reserv.*, vol.3, no. 1(29), p. 69, 2016.
13. Василега П.О. Електропостачання. Суми: ВТД “Університетська книга,” 2007.
14. Находов В. Ф., Замулко А. І., Аль Шарарі М. І., Медінцева Д. О., “Оценка влияния изменения спроса потребителей на электрическую мощность на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы,” *Наукові вісті НТУУ “КПІ*, №. 1, С. 31, 2016.
15. Соловьева И.А., Дзюба А.П., “Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды,” №.7(19), С. 97–113, 2013.
16. Y. Veremiichuk, I. Prytskach, O. Yarmoliuk, and V. Opryshko, “Energy Hub Function Optimization Models During Ukrainian Energy Resources Market Liberalization,” *Power Electr. Eng.*, vol. 34, pp. 49–52, 2017.
17. Доценко Д. І. Денисюк С. П. “Оцінка рівнів неоптимальності енергетичних процесів в електропередавальних організаціях,” 2018. 192 с.
18. Брага О.О., Кондотратьев С.С., Банін Д.Б. “Моделирование режимів з апроксимацією добових графіків навантаження поліномами високого порядку,” *Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів “Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики,”* С. 24– 27, 2016.
19. Полищук А.П., Семериков С.А., Численные методы в объектно-ориентированной методологии. Кривий Ріг: КГПИ, 1998. 75 с.
20. Базюк Т.М. “Підвищення енергоефективності локальних систем енергопостачання із активним споживачем та розосередженою генерацією,” *КПІ ім. Ігоря Сікорського*, 2016. 222 с.

21. Базюк Т.М. “Підвищення енергоефективності локальних систем енергопостачання із активним споживачем та розосередженою генерацією,” КПП ім. Ігоря Сікорського, 2016. 222 с.
22. Лазуренко А.П., Лисичкина Д.С, Черкашина Г.И. “Новый подход к классификации потребителей электрической энергии,” Світлотехніка та електроенергетика, №. 1, С. 76–80, 2008.
23. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Муравлев А.И., Качество электроснабжения промышленных потребителей. Томск, 2014. 90 с.
24. D. Sanders, A. Hart, M. Ravishankar, and J. Brunert, An analysis of electricity system flexibility for Great Britain. Imperial College London, 2016. 103 p.
25. A. Kumar, “Beyond technical smartness: Rethinking the development and implementation of sociotechnical smart grids in India,” Energy Res. Soc. Sci., vol. 49, no. November 2018, pp. 158–168, 2019.
26. D. Kolokotsa, “The role of smart grids in the building sector,” Energy Build., vol. 116, pp. 703–708, 2016.
27. K. Kimani, V. Oduol, and K. Langat, “Cyber security challenges for IoT-based smart grid networks,” Int. J. Crit. Infrastruct. Prot., vol. 25, pp. 36–49, 2019.
28. A. Kaygusuz, “Closed loop elastic demand control by dynamic energy pricing in smart grids,” Energy, vol. 176, pp. 596–603, 2019.
29. G. Dubois et al., “It starts at home? Climate policies targeting household consumption and behavioral decisions are key to low-carbon futures,” Energy Res. Soc. Sci., vol. 52, no. February, pp. 144–158, 2019.
30. Опришко В.П. “Аналіз оптимальності функціонування систем акумуляції електроенергії в локальних системах електропостачання,” in IV Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS'17», С. 51–52. 2017,
31. Івахнов А.В., Лазуренко О.П., Федорчук С.О. “Моделювання системи накопичення електроенергії як високоманевреної потужності з застосуванням в різних вузлах енергосистеми,” Вісник Харківського

національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, С. 40–43, 2018.

32. Лазуренко А.П., Черкашина Г.И., “Аккумуляция энергии в бытовом секторе,” Світлотехніка та електроенергетика, №. 4, С. 57–63, 2008.

33. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. Київ: Текст, 2010. 264 с.

34. Опришко В.П. “Механізми реалізації програм керування попиту на електричну енергію у світовій практиці,” Енергетика: економіка, технології, екологія, №3, С. 44–51, 2018.

35. Замулко А.І., Веремійчук Ю. А. “Дослідження графіків електричних навантажень груп споживачів електричної енергії,” Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 2, С. 82–85, 2014.

35 Кремер Н.Ш, Путко Б.А., Тришин И.М., Фридман М.Н, Исследование операций в экономике. Москва: ЮНИТИ, 2006. 439 с.

36 MATLAB Primer R 2019 a. The MathWorks, Inc., 2019.

37 Juan M. Lujano-Rojas, Claudio Monteiro, Rodolfo Dufo-Lopez, Jose L. Bernal-Agustin. Optimum residential load management strategy for real time pricing demand response programs // Energy Policy. 2012 Vol. 45. P. 671- 679

Додаток 1

Таблиця 1 – Матриця можливих графіків роботи кондиціонера

Можливі графіки	Час																								Грошовий еквівалент вигідності для користувача графіку енергоспоживання Грн/кВт
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	74,4
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	103,2
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	139,2
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	38,4

Таблиця 2 – Матриця можливих графіків роботи електромобіля

Можливі графіки	Час																								Грошовий еквівалент вигідності для користувача графіку енергоспоживання Грн/кВт	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		24
	1	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	1,65	1,35	1,29	84,0
	2	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	1,65	1,35	146,4
	3	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	1,65	43,2
	4	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	196,8
	5	1,68	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	2,24	2,07	1,99	1,76	81,6
	6	1,76	1,68	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	2,24	2,07	1,99	110,4
	7	1,99	1,76	1,68	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	2,24	2,07	91,2
	8	2,07	1,99	1,76	1,68	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	2,24	62,4
	9	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	129,6
	10	2,54	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	40,8
	11	3,02	2,54	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	127,2
	12	3,36	3,02	2,54	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	48,0

Таблиця 3 – Матриця можливих графіків роботи пральної машини

Можливі графіки	Час																								Грошовий еквівалент вигідності для користувача графіку енергоспоживання Грн/кВт	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		24
	1	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,2
	2	0	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86,4
	3	0	0	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98,4
	4	0	0	0	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
	5	0	0	0	0	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91,2
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,95	0,95	0,95	0	0	0	50,4
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,95	0,95	0,95	0	0	93,6
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,95	0,95	0,95	0	100,8
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,95	0,95	0,95	64,8	

Таблиця 4 – Матриця можливих графіків роботи телевізору

Можливі графіки																									Грошовий еквівалент вигідності для користувача графіку енергоспоживання Грн/кВт		
	Час																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
	1	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124,8	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91,2	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50,4	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62,4	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	139,2	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	100,8	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	57,6	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	124,8	
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	96,0	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	67,2	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	81,6	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	134,4	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	76,8
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	64,8
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	84,0
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	55,2
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	122,4
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	86,4	

Таблиця 5 – Ціни на електроенергію

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
p(t)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	4,03	4,03	4,03	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	4,03	4,03	4,03	4,03	3,39	3,39	1,01	1,01

Таблиця 6 – Затрати на енергоспоживання по кожному можливому графіку для кондиціонера

Затрати, грн.																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	4,03	0	0	0	3,39	0	0	0	4,03	0	0	0	0	0	0	0	0	11,45
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,39	0	0	0	3,39	0	0	0	4,03	0	0	0	0	0	0	0	10,81
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,39	0	0	0	3,39	0	0	0	4,03	0	0	0	0	0	0	10,81
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,39	0	0	0	3,39	0	0	0	4,03	0	0	0	0	0	10,81

Таблиця 7 – Затрати на енергоспоживання по кожному можливому графіку для електромобілю

Затрати, грн.																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
1	1,22	1,11	0,96	0,86	0,84	0,83	3,18	0	0	0	0	0	12,07	11,39	10,24	8,61	9,03	8,34	8,02	7,09	5,70	5,59	1,36	1,30	97,75
2	1,30	1,22	1,11	0,96	0,86	0,84	3,30	3,18	0	0	0	0	0	12,07	11,39	10,24	10,24	9,03	8,34	8,02	5,97	5,70	1,67	1,36	96,79
3	1,36	1,30	1,22	1,11	0,96	0,86	3,34	3,30	3,18	0	0	0	0	0	12,07	11,39	12,17	10,24	9,03	8,34	6,75	5,97	1,70	1,67	95,96
4	1,67	1,36	1,30	1,22	1,11	0,96	3,43	3,34	3,30	2,68	0	0	0	0	0	12,07	13,54	12,17	10,24	9,03	7,02	6,75	1,78	1,70	94,66
5	1,70	1,67	1,36	1,30	1,22	1,11	3,83	3,43	3,34	2,78	2,68	0	0	0	0	0	14,35	13,54	12,17	10,24	7,59	7,02	2,01	1,78	93,11
6	1,78	1,70	1,67	1,36	1,30	1,22	4,43	3,83	3,43	2,81	2,78	2,68	0	0	0	0	0	14,35	13,54	12,17	8,61	7,59	2,09	2,01	89,35
7	2,01	1,78	1,70	1,67	1,36	1,30	4,88	4,43	3,83	2,88	2,81	2,78	2,68	0	0	0	0	0	14,35	13,54	10,24	8,61	2,26	2,09	85,20
8	2,09	2,01	1,78	1,70	1,67	1,36	5,20	4,88	4,43	3,22	2,88	2,81	2,78	2,68	0	0	0	0	0	14,35	11,39	10,24	2,57	2,26	80,29
9	2,26	2,09	2,01	1,78	1,70	1,67	5,44	5,20	4,88	3,73	3,22	2,88	2,81	2,78	2,68	0	0	0	0	0	12,07	11,39	3,05	2,57	74,20
10	2,57	2,26	2,09	2,01	1,78	1,70	6,65	5,44	5,20	4,10	3,73	3,22	2,88	2,81	2,78	2,68	0	0	0	0	0	12,07	3,39	3,05	70,41
11	3,05	2,57	2,26	2,09	2,01	1,78	6,77	6,65	5,44	4,37	4,10	3,73	3,22	2,88	2,81	2,78	3,18	0	0	0	0	0	3,60	3,39	66,69
12	3,39	3,05	2,57	2,26	2,09	2,01	7,09	6,77	6,65	4,58	4,37	4,10	3,73	3,22	2,88	2,81	3,30	3,18	0	0	0	0	0	3,60	71,67

Таблиця 8 - Затрати на енергоспоживання по кожному можливому графіку для пральної машини

Затрати, грн.																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
1	0,96	0,96	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,88
2	0	0,96	0,96	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,88
3	0	0	0,96	0,96	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,88
4	0	0	0	0,96	0,96	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,88
5	0	0	0	0	0,96	0,96	3,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,75
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,83	3,83	3,22	0	0	0	10,88
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,83	3,22	3,22	0	0	10,27
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,22	3,22	0,96	0	7,40
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,22	0,96	0,96	5,14

Таблиця 9 – Затрати на енергоспоживання по кожному можливому графіку для телевізору

Затрати, грн.																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ	
1	0	0	0	0	0	0	1,21	1,21	1,21	1,02	1,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,66
2	0	0	0	0	0	0	0	1,21	1,21	1,02	1,02	1,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,47
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1,21	1,02	1,02	1,02	1,017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,28
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,02	1,02	1,02	1,017	1,017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,09
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,02	1,02	1,017	1,017	1,017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,09
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,02	1,017	1,017	1,017	1,017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,09
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,017	1,017	1,017	1,017	1,209	0	0	0	0	0	0	0	0	5,28
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,017	1,017	1,017	1,209	1,21	0	0	0	0	0	0	0	5,47
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,017	1,017	1,209	1,21	1,21	0	0	0	0	0	0	5,66
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,017	1,209	1,21	1,21	1,21	0	0	0	0	0	5,85
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,209	1,21	1,21	1,21	1,02	0	0	0	0	5,85
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,21	1,21	1,21	1,02	1,02	0	0	0	5,66
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,21	1,21	1,02	1,02	0,3	0	0	4,76
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,21	1,02	1,02	0,3	0,3	0	3,85
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,02	1,02	0,3	0,3	0	2,64
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,02	0,3	0,3	0	1,62
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0	0,61
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0,30

Таблиця 10 – Оцінка варіантів графіка роботи електроприборів

Кондиціонер			Електромобіль			Пральна машина			Телевізор		
	Σ			Σ			Σ			Σ	
1	62,95	Hi	1	-13,75	Hi	1	52,32	Hi	1	119,14	Hi
2	92,39	Hi	2	49,61	Hi	2	83,52	Hi	2	85,73	Hi
3	128,39	Так	3	-52,76	Hi	3	95,52	Так	3	45,12	Hi
4	27,59	Hi	4	102,14	Так	4	57,12	Hi	4	57,32	Hi
			5	-11,51	Hi	5	85,45	Hi	5	134,12	Так
			6	21,05	Hi	6	39,52	Hi	6	95,72	Hi
			7	6,00	Hi	7	83,33	Hi	7	52,32	Hi
			8	-17,89	Hi	8	93,40	Hi	8	119,33	Hi
			9	55,40	Hi	9	59,66	Hi	9	90,34	Hi
			10	-29,61	Hi				10	61,35	Hi
			11	60,51	Hi				11	75,75	Hi
			12	-23,67	Hi				12	128,74	Hi
									13	72,05	Hi
									14	60,95	Hi
									15	81,36	Hi
									16	53,58	Hi
									17	121,79	Hi
						18	86,10	Hi			

Таблиця 11 – Енергоспоживання кондиціонера при оптимальному виборі споживача

Об'єм енергоспоживання, кВт.																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3,00

Таблиця 12 – Енергоспоживання електромобілю при оптимальному виборі споживача

Об'єм енергоспоживання, кВт.																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
4	1,65	1,35	1,29	1,21	1,10	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	0	0	0	0	0	3,56	3,36	3,02	2,54	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	33,06

Таблиця 13 - Енергоспоживання пральної машини при оптимальному виборі споживача

Об'єм енергоспоживання, кВт.																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
3	0	0	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,85

Таблиця 14 Енергоспоживання телевізора при оптимальному виборі споживача

Об'єм енергоспоживання, кВт																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,50

Сумарне енергоспоживання при оптимальних варіантах завантаження обладнання, кВт

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
1,65	1,35	2,24	2,16	2,05	0,95	0,85	0,83	0,82	0,79	1,30	0,30	0,30	0,30	1,30	3,56	3,36	3,02	3,54	2,24	2,07	1,99	1,76	1,68	40,41

Ціна на електроенергію $p(t)$, грн./кВт.год

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	4,03	4,03	4,03	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	4,03	4,03	4,03	4,03	3,39	3,39	1,01	1,01

Сумарні затрати на енергопередачу при оптимальних варіантах завантаження обладнання, грн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
1,67	1,36	2,26	2,18	2,07	0,96	3,43	3,34	3,30	2,68	4,41	1,02	1,02	1,02	4,41	12,07	13,54	12,17	14,27	9,03	7,02	6,75	1,78	1,70	113,43

Сумарне енергоспоживання

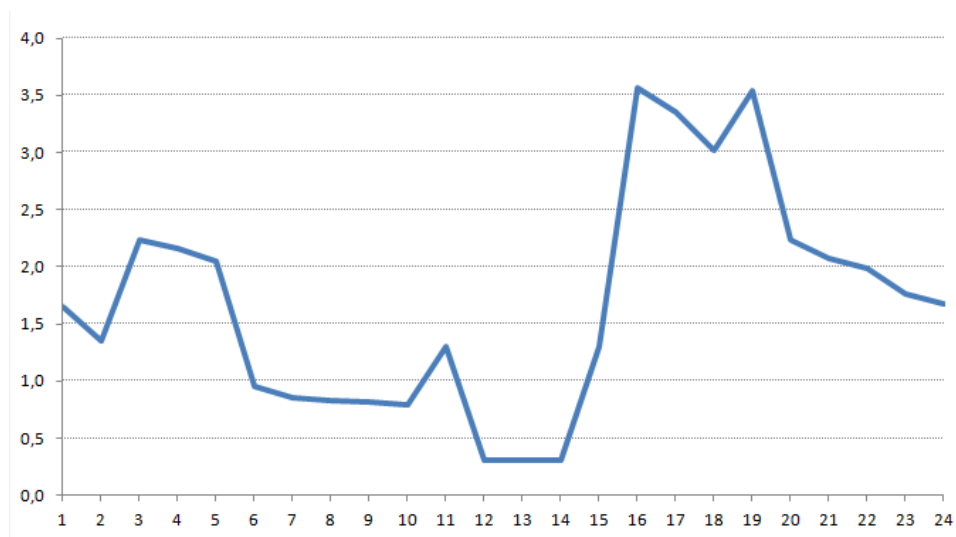


Рис. 1 – Сумарні показники оптимальному виборі споживачів