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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання _____
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО
«___»_____2024 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітня програма Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «*Управління попитом на електричну енергію з використанням сучасних ринкових механізмів*»
Виконав (-ла): студент (-ка) ІІ курсу, групи ОН-21мп

Шестаков Владислав Андрійович_____ _____
(прізвище, ім'я по батькові) (підпис)

Науковий керівник _*к.т.н., доц.* Замулко А.І_____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Нормаконтроль _*к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.* _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент_____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи: 97 сторінок, 22 рисунків, 17 таблиць та 65 посилань до використаних джерел інформації.

Актуальність теми: лібералізація ринку електричної енергії спонукала до пошуку можливостей забезпечення управління попитом на енектричну енергію з використанням сучасних ринкових механізмів, а саме можливостей сигментів ринку та перспективи попиту споживача.

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективності постачання електричної енергії на РЕЕ шляхом використання механізмів управління попитом.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішіти такі завданя:

1) здійснення комплексного аналізу питань пов'язаних з функціонуванням ринку електричної енргії в частині забезпечення постачання;

2) Дослідити правове регулювання питань управління попитом на електричну енергію, в тому числі в частині цінового регулювання;

3) Визначити основні пріорітетні задачі постачальника електричної енергії в умовах необхідності забезпечення управління попиту на електричну енергію;

4) Забезпечити практичну реалізацію задач оптимізації для електропостачальника на ринку електричної енергії.

Об'єктом дослідження є процеси управління попитом на РЕЕ.

Предметом дослідження є методи та процеси керування попитом на РЕЕ.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблено методику управління попитом на електроенергію. Запропоновано комплексний підхід до управління попитом, який інтегрує алгоритми прогнозування, аналізу даних та оптимізації на основі сьогоденних ринкових умов.

Практичне значення отриманих результатів. У магістерській дисертації отримані наукові результати, які мають цінність для подальшого розвитку та впровадження інноваційних підходів в області управління попитом на електроенергію.

Апробація результатів дослідження. Результати дослідження викладені у дисертаційній роботі висвітлені на VIII Міжнародній науково-технічній та навчально-методичній конференції, «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи Зрозвитку – PEMS» (Київ, 15–17 листопада 2022 р.), та Аспірантських читаннях імені професора Артура Веніаміновича Праховника (Київ, 10-11 квітня 2023 р.). Описані методики апробовані в процесі проходження практики на прикладі компанії що постачає електричну енергію комерційним споживачам.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи відображено у двох публікаціях: Кузьмичов А.І., Чернецька Ю.В., Шестаков В.А. Пошук та аналіз чутливості часових оптимальних планів постачання енергетичних ресурсів із застосуванням надбудови SolverTable. Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2022. Том 24. № 2. С. 62-71. DOI: http://drsp.ipri.kiev.ua/article/view/275103

Шестаков В.А., Особливості формування цін на електричну енергію для непобутових споживачів в умовах змін законодавства України // Збірник наук. праць VIII міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку –PEMS'2022". [Київ, 15-17 листопада 2022 р.]

Шестаков В.А., Модель взаємодії між постачальником та споживачем електричної енергії зі зменшенням вартості за допомогою лічильників АСКОЕ // Навчально - науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту конф. "Аспірантські читання імені професора Артура Веніаміновича Праховника". [Київ, 10-11 квітня 2023 р.]

Ключові слова: управління попитом, енергоефективність, ринок електричної енергії україни, прогнозування споживання енергії, штучний інтелект, моделювання, кластеризація.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ 6
ВСТУП 7
Розділ 1 ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ 9
1.1 Огляд сучасного ринку електроенернетики України 9
1.1.1 Аналіз особливостей нормативно-правової бази України в сфері енергетики 10
1.1.2 Тенденції розвитку електроенергетичного ринку України 12
1.2 Сучасні тенденції управління попитом 17
1.2.1 Актуальні проблеми ринку електроенергії 21
1.3 Аналіз та класифікація споживачів електричної енергії 25
1.3.1 Специфіка роботи різних категорій споживачів 27
1.3.2 Особливості площадок вимірювання споживання електроенергії 28
1.3.3 Наявність маневрених потужностей 32
Висновок до 1 розділу 34
2 СУЧАНІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ 35
2.1 Задачі постачальника електричної енергії 35
2.2 Вирішення задач моделювання 36
2.2.1 Методи прогнозування попиту на електричну енергію 38
2.2.2 Економетричні моделі та їх використання в управлінні попитом 44
2.3 Використання штучного інтелекту в моделюванні 47
2.4 Оцінювання потенціалу споживачів для агрегації 50
Висновок до 2 розділу 53
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧ, ПОВ'ЯЗАНИХ З УПРАВЛІННЯ ПОПИТУ НА РІВНІ ПОСТАЧАЛЬНИКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ 54
3.1 Вирішення задачі оптимізації розподілу економічного портфелю електропостачальника 54
3.2 Аналіз погодинних графіків груп споживачів 57

3.3 Формування погодинних прогнозних графіків споживачів електричної енергії 63
3.4 Використання ієрархічного кластерного аналізу 67
3.5 Перевірка достовірності результатів 70
Висновок до 3 розділу 73
РОЗДІЛ 4 СТАРТАП ЗІ СТВОРЕННЯ БІЗНЕС МОДЕЛІ 74
4.1 Опис ідеї стартапу 75
4.1.1.Унікальність та інноваційність ідеї 76
4.2 Аналіз конкурентних програмних продуктів 79
4.2.1 Огляд існуючих програмних продуктів у сфері управління попитом на електричну енергію 81
4.2.2 Визначення конкурентних переваг пропонованого стартапу 84
4.3 Комерціалізація методики прогнозування 85
4.3.1 Визначення потенційних ринків та клієнтів для стартапу 86
4.3.2 Розробка стратегії комерціалізації та бізнес-моделі 87
4.4 Пошук цільової аудиторії 88
4.4.1 Розробка маркетингових стратегій для залучення цільової аудиторії 88
4.5 Формування комерційної пропозиції 89
4.5.1 Опис основних характеристик та переваг продукту 89
4.5.2 Розробка стратегії ціноутворення та продажу 90
Висновок до 4 розділу 91
ВИСНОВКИ 92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 94

ПЕРЕЛІК УМНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ЕЕ - електрична енергія;

ММС - Market Management System

ЛСЕП - локальні системи електропостачання;

МСР - мала система розподілу;

НВДЕ - нетрадиційні та відновлювані джерела енергії;

ОЕС - об'єднана енергетична система

ОР - оператор ринку Державне підприємство – оператор РДН та ВДР

ОРЕ - оптовий ринок електроенергії Включає в себе РДД, РДН, ВДР, БР

ОСП - оператор системи передачі

ОСР - оператор системи розподілу;

РЕЕ - ринокелектроенергії;

РГ - розподілена генерація;

РЕР - розподілені енергетичні ресурси

РЕТ - розподілені енергетичні технології

РЕТ - проєкти комерційні проекти учасників ринку електроенергії та споживачів, спрямовані на монетизацію

використання РЕТ

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

В контексті української економіки, сектор електроенергетики виступає як ключовий інфраструктурний елемент, який в даний час переживає значні перетворення на ринку. Електрична енергія вирізняється своїми унікальними перевагами в порівнянні з іншими джерелами енергії, однак її використання пов'язане з деякими обмеженнями, зокрема щодо зберігання та акумуляції, що впливає на стабільність роботи енергетичної системи. Важливим завданням для учасників ринку електроенергії є вдосконалення взаємодії та управлінських методів в умовах формування ефективного ринку, а також інтеграції української електроенергетичної системи з міжнародними енергетичними мережами. У цьому контексті, питання управління попитом на електроенергію, підвищення енергоефективності та дотримання стандартів якості у світлі європейської інтеграції, а також адаптація національної енергетичної системи до мереж з альтернативними та відновлюваними джерелами енергії стають особливо актуальними. Забезпечення якості електроенергії, управління попитом та енергоефективністю, а також інтеграція з європейським ринком електроенергії вимагають особливої уваги. Необхідно також адаптувати Об'єднану енергетичну систему України до регіональних мереж, що використовують альтернативні та відновлювані джерела енергії.

Для розвитку існуючих енергосистем та їх функціонування на більш високому рівні якості рекомендується впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у сфері електропостачання та моніторингу електромереж. Нова модернізована енергосистема повинна відповідати таким вимогам, як узгоджене управління, що робить її більш енергоефективною та економічною. Обмін також має відбуватися за допомогою взаємодії між електростанціями та транспортними та розподільними компаніями, що займаються транспортуванням і розподілом електроенергії споживачам. Попит на електроенергію має природні добові та сезонні коливання. Останнім часом галузь перейшла від централізованого до ринкового управління та характеризується відносною повільністю у впровадженні ринкових механізмів коригування графіків навантаження в електроенергетичній системі, при цьому

специфіка галузі та самого продукту створюють певні труднощі переходу до управління попитом на електроенергію на основі ринкових принципів. Це створює певні труднощі в електропостачанні. Одним із перспективних напрямків вирішення окреслених вище проблем вирішення проблем пов'язаних з задачею упрявління попитом на електроенергію.

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективності постачання електричної енергії на РЕЕ шляхом використання механізмів управління попитом.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішіти такі завданя:

1) здійснення комплексного аналізу питань пов'язаних з функціонуванням ринку електричної енргії в частині забезпечення постачання;

2) Дослідити правове регулювання питань управління попитом на електричну енергію, в тому числі в частині цінового регулювання;

3) Визначити основні пріорітетні задачі постачальника електричної енергії в умовах необхідності забезпечення управління попиту на електричну енергію;

4) Забезпечити практичну реалізацію задач оптимізації для електропостачальника на ринку електричної енергії.

Об'єктом дослідження є процеси управління попитом на РЕЕ.

Предметом дослідження є методи та процеси керування попитом на РЕЕ.

Апробація результатів дослідження. Описані методики мають пройти апробацію на прикладі компанії що постачає електричну енергію комерційним споживачам.

Перспективнм напрямком є впровадження інформаційних технологій у сферу енергопостачання та сучасних методів управління попитом в енергетиці. Існуючі системи електроенергії недостатньо розкриті, і необхідні подальші дослідження щодо модернізації та інформатизації вітчизняної електроенергетики, що відповідав би сучасним вимогам якості та надійності поставок електроенергії.

Розділ 1 ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

1.1 Огляд сучасного ринку електроенернетики України

Реформа енергетичного сектору є важливою для економічної та національної безпеки України. Добре функціонуючий сектор електроенергії, привабливий для інвесторів і стимулюючий розвиток економічної активності, стане можливим лише за умови успішного проведення антикризових реформ.

Трансформація енергетичного сектору стала першочерговим завданням на порядку денному реформ уряду України. Україна вже зробила певні кроки в напрямку енергоефективності, кращого управління ринком електроенергії (РЕЕ).

Однак, незважаючи на ці зусилля, дані переконливо свідчать про те, що енергетичний сектор залишається однією з найбільш вразливих сфер економіки України.

В Україні працюють три типи генеруючих потужностей: теплових електростанцій (парові турбіни і різного типу дизель-генератори), гідроелектростанції (власне гідроелектростанції та гідроакумулюючі станції)

і атомні електростанції. Роль вітрових і сонячних електростанцій незначна; хоча це збільшується поступово.

На сьогодні ситуація в електроенергетиці характеризується такими параметрами: загальна потужність усіх електростанцій України становить 52 ГВт, у тому числі 33,5 ГВт (64,4%) на ТЕС, 13,8 ГВт (26,5%) на атомних станціях і 4,7 ГВт (9,0%) на гідроелектростанціях. Структура виробництва електроенергії значно відрізняється від структури встановленої потужності. Електростанціями України виробляється 185,2 ГВт*год, з них на ТЕС – 45,4% (при цьому встановлена потужність ТЕС становила 64,4%), АЕС – 47,9% (26,5% встановленої потужності), ГЕС 6,6% (9,0% встановленої потужності).

Така невідповідність між встановленою потужністю та обсягами виробництва зумовлена спотворенням в цінових налаштування (детальніше див. Тарифи та

платіжна дисципліна), не високий рівень оснащення зношеність, низька якість палива (українське енергетичне вугілля, газ і мазут, значна частина якого імпортується). Крім того, собівартість електроенергії, виробленої на АЕС, значно нижча, що є додатковим стимулом для обмеження використання виробленої теплової електроенергії. До того ж там складають вільні потужності ГЕС – 6,6% від загального обсягу електроенергії та 9,0% від потужності генерації.

Проте експортні можливості обмежені відсутністю інвестицій у модернізацію електроенергетики мережі, що призводить до неполадоку мережі.

1.1.1 Аналіз особливостей нормативно-правової бази України в сфері енергетики

З метою виконання зобов'язань у рамках Договору про створення Енергетичного Співтовариства, українські державні органи влади спільно з Секретаріатом Енергетичного Співтовариства (ECS) розпочали процес транспозиції Третього Енергетичного Пакету шляхом прийняття Закону України "Про ринок електричної енергії України". Цей документ враховує результати запропонованої моделі, яка була обговорена з відповідними організаціями України. Запропонована модель передбачає укладення двосторонніх договорів (позабіржова торгівля) на покупку-продаж електричної енергії заздалегідь, в той час як централізований ринок буде організовано на етапі за добу до доби постачання. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та коммунальних послуг (НКРЕКП), відіграє роль у регулюванні мінімальної участі на Ринку "на добу наперед", щоб забезпечити достатню ліквідність. Безперервний Внутрішньодобовий ринок (ВДР) буде організовано з метою забезпечення більшого хеджування (страхування від небалансів) учасників ринку перед Оператором системи передачі (ОСП).

Зокрема, відповідно до наведеної моделі, повідомлення про фізичні двосторонні угоди та відповідні графіки подаються Оператору ринку (ОР) до закриття воріт для позабіржової торгівлі, за добу до дня постачання. Постачальники (або споживачі, що напрямку купують електроенергію на ринку) і Виробники

надають криві заявок/пропозицій на Ринок "на добу наперед" (РДН) на годинній основі. Пропозиція виробників на РДН формується блоками (крім випадків електроенергії з ВДЕ, де гарантований покупець подає загальну пропозицію на РДН). Постачальники (та/або споживачі, які купують для власного споживання) подають заявки на основі власного прогнозу попиту. Заявки на РДН повинні відповідати обсягу, який ще не було законтрактовано в рамках двосторонніх угод, і враховувати зобов'язання щодо резервів. Централізоване управління роботою РДН здійснюється Оператором Ринку (ОР).

Розвиток енергетичного законодавства в Україні є одним із пріоритетів і напрямків реалізації енергетичної стратегії. Роль енергетичного права в реалізації політики держави у сфері енергозбереження полягає у виявленні соціального спрямування та позиції енергетичного права у визначенні функції, форми та змісту діяльності держави, його мета: раціональне використання та економічне споживання первинної енергії, перетворення енергії та природних енергетичних ресурсів у народному господарстві здійснюється за допомогою техніко-економічних і правових методів.

Нормативна база:

- Закон України «Про ринок електричної енергії»;
- Постанова Кабінету Міністрів України від 09.08.2017 № 559 «Про утворення Координаційного центру із забезпечення запровадження нового ринку електричної енергії».

Нормативно-правові акти НКРЕКП, що регулюють функціонування ринку електричної енергії відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії»

- Правила ринку;
- Правила ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку;
- Кодекс системи передачі;
- Кодекс систем розподілу;
- Кодекс комерційного обліку електричної енергії;
- Правила роздрібного ринку електричної енергії

Структура правового забезпечення виглядає наступним чином:

- правові норми.
- організаційне та функціональне забезпечення;
- юридична відповідальність.

1.1.2 Тенденції розвитку електроенергетичного ринку України

Електроенергія являє собою продукт, що зазнає стійкого зростання попиту у всьому світі. Очікування Міжнародної енергетичної агенції свідчать, що до 2040 року обсяг споживання електроенергії збільшиться на 40%, що аналогічно до зростання споживання нафти за останні 25 років (див. рисунок 1.1). Такий тренд спостерігається не тільки у країнах, що входять до Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD), але й у країнах, які не є членами цієї організації (див. рисунок 1.2).

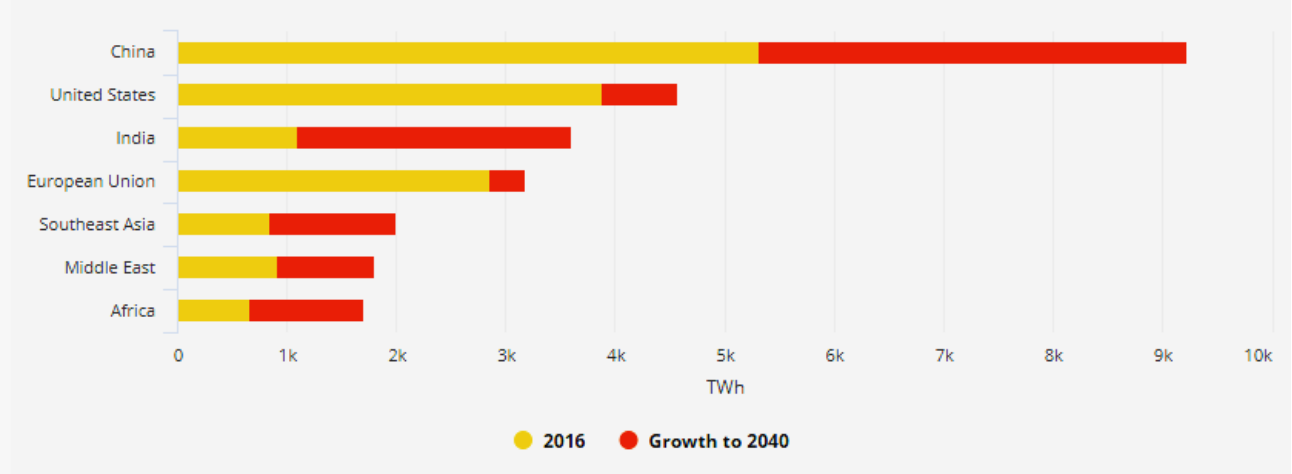


Рисунок 1.1 – Попит на електроенергію за регіонами [1]

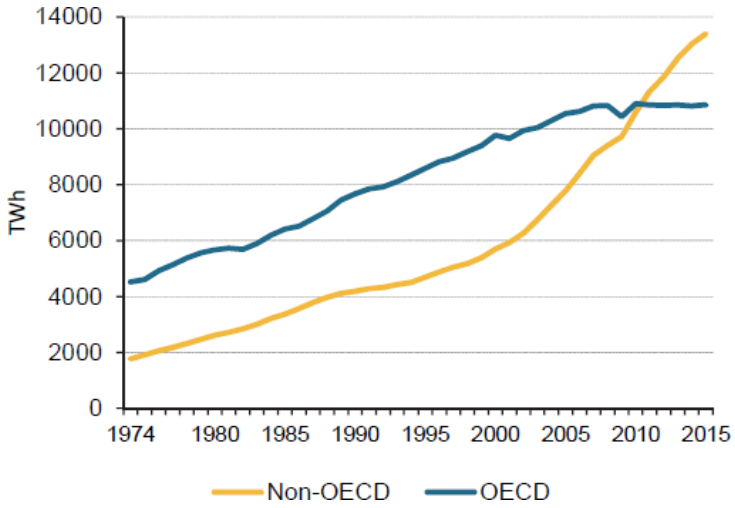


Рисунок 1.2 – Загальний виробіток електроенергії країнами

Розвиток електроенергетики відкриває нові перспективи для теплоенергетичного сектору та транспорту, а також сприяє збільшенню частки в загальному кінцевому споживанні майже на 25%. Політична підтримка та розвиток ініціатив у цій сфері прогнозують зростання кількості електромобілів до 280 мільйонів одиниць до 2040 року, порівняно з 2 мільйонами на сьогоднішній день (див. рисунок 1.3). Враховуючи масштабність майбутніх потреб у електроенергії та виклики, пов'язані з децентралізацією постачання, не дивно, що в 2016 році світові інвестиції у електроенергетику перевищили інвестиції в нафтогазовий сектор, що підкреслює важливість електроенергетичної безпеки як пріоритетного напрямку. Поширення цифрових технологій в усіх сферах економіки сприяє підвищенню ефективності та гнучкості енергетичних систем. Однак це також вносить нові виклики, які потребують невідкладного вирішення для забезпечення стабільності та безпеки енергетичних систем.

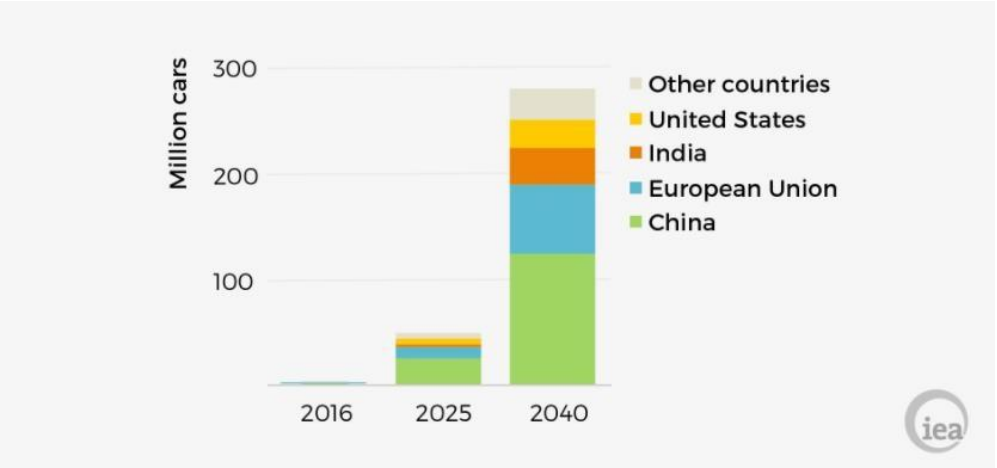


Рисунок 1.3 – Прогнозоване зростання кількості електромобілів [1]

Оглядаючи динаміку джерел генерації електроенергії та використовувані види палива, можна відмітити деякі ключові тенденції. Традиційно, основною силою у виробництві електроенергії було використання різних видів фосільного палива, проте останніми роками відновлювані джерела енергії почали відігравати значну роль у світовому енергетичному ландшафті (рисунки 1.4-1.5). Між 2015 і 2016 роками спостерігалося зниження виробництва електроенергії з фосільних джерел, продовжуючи тенденцію четвертого року зниження. Серед фосільних палив, використання таких як вугілля та нафта, показало найбільше зменшення. Також було зафіксовано спад у виробництві ядерної енергії.

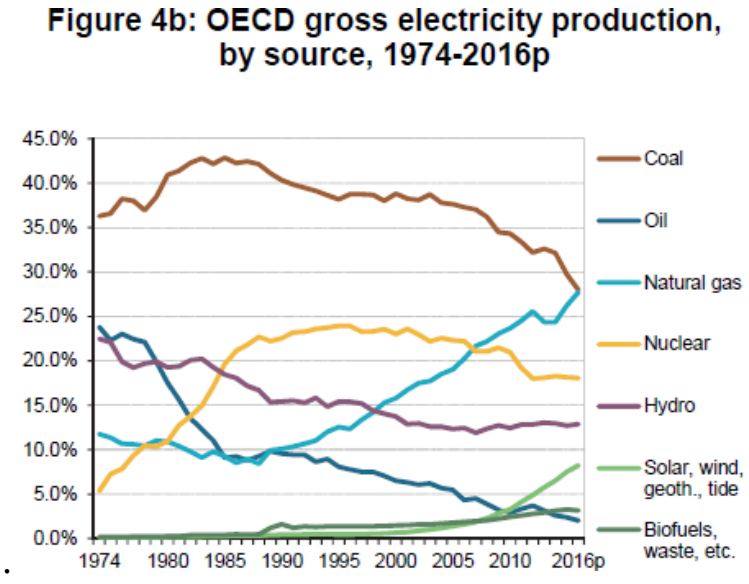


Рисунок 1.4 – Генерація електроенергії країн OECD за джерелами [1]

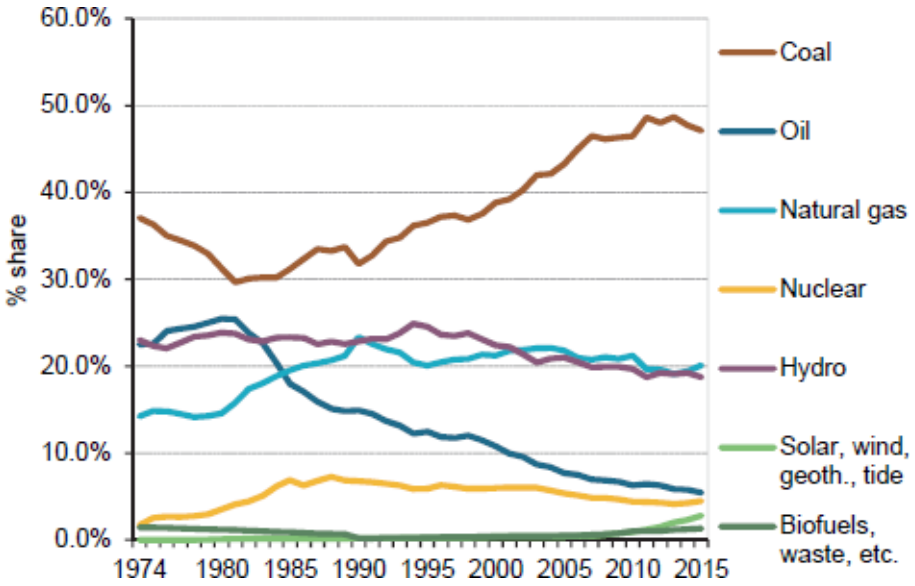


Рисунок 1.5 – Генерація електроенергії країн не членів OECD за джерелами

У той же час, виробництво електроенергії з природного газу та з відновлюваних джерел енергії, як-от вітрова та сонячна енергія, продемонструвало стабільне зростання. Гідроенергетика також показала збільшення обсягів генерації у 2016 році.

На сучасному етапі глобальна економіка проходить через значні зміни з метою скорочення викидів парникових газів. В цьому контексті електроенергія стає ключовим фактором у стратегії зниження вуглецевих викидів. З одного боку, поліпшення ефективності використання електроенергії та збільшення її виробництва з відновлюваних джерел сприятимуть зменшенню обсягу парникових газів. З іншого боку, очікується, що частка електроенергії в загальному споживанні зросте, особливо у транспортному секторі через розширення використання електромобілів, а також в опаленні та охолодженні за допомогою електричних теплових насосів. Ця тенденція до широкомасштабної електрифікації, поєднана з виробництвом електроенергії з низьким рівнем викидів CO2, вважається критичною для поступового скорочення викидів парникових газів від фосільних джерел у другій половині століття.

Реалізація цих змін потребує значних інвестицій у виробництво електроенергії, її транспортування та розподіл, а також у сферу електропобутових товарів. Основним викликом є забезпечення цих інвестицій без втрати

доступності електроенергії як для домогосподарств, так і для енергоємних промислових секторів. Крім того, необхідно забезпечити інновації та інвестиції для збереження стабільності постачання електроенергії, враховуючи зростаючий попит та мінливість виробництва відновлюваних джерел, залежних від сонячної активності, вітру та опадів.

Перебудова електроенергетичних ринків є ключовою для підтримки політичних цілей в області енергетики, включаючи:

- стимулювання інвестицій у генерацію електроенергії, яка є гнучкою та має низький рівень вуглецевих викидів;
- фокус на інвестиціях у надійні та адаптивні електричні мережі, які можуть впоратися зі зростаючою кількістю відновлюваних джерел енергії та новими способами використання електроенергії;
- заохочення використання енергоефективного обладнання та побутових приладів;
- забезпечення доступності енергії для промислових підприємств та домогосподарств.

Важливим аспектом є збереження балансу між пропозицією (виробництвом) та попитом на електроенергію (споживанням), оскільки будь-яке порушення цього балансу може призвести до нестабільності системи. Традиційно, для задоволення базового навантаження використовуються «негнучкі генератори», тоді як гнучкі генератори використовуються для покриття пікового попиту. Зі зростанням частки таких змінних джерел, як вітрова та сонячна енергія, стає необхідним забезпечення більш гнучкої виробничої потужності, особливо коли виробництво від змінних джерел є низьким. Щоб гарантувати безпеку постачання електроенергії, достатня потужність генерації повинна бути доступною для постійного задоволення попиту. Балансування пропозиції та попиту в короткостроковій перспективі здійснюється з використанням первинних резервів (активованих протягом секунд), вторинних резервів (активованих протягом декількох хвилин) та третинних резервів (активованих протягом 15 хвилин). Проте енергетичні компанії можуть не бажати зберігати резервні електростанції,

які використовуються лише у випадках пікового попиту. Більше того, генерація електроенергії х відновлюваних джерел, що має пріоритет у європейській мережі, виробляють все частіше електроенергію, яка обслуговує більшість або всі потреби, тим самим ускладнюючи традиційним джерелам генерації електроенергії заробляти гроші.

Управління попитом на електроенергію як альтернативний метод балансування ринку передбачає стратегії зниження споживання електроенергії в моменти її дефіциту. Цей підхід втілюється через ринкові механізми, що надають стимули для гнучкості попиту, зокрема через диференційоване ціноутворення в різний час. Центральну роль у цій системі відіграють передові технології, такі як інтелектуальні (SMART) електромережі та сучасні «розумні» лічильники.

1.2 Сучасні тенденції управління попитом

Для забезпечення ефективності та економічності у сфері виробництва, розподілу та споживання електроенергії критично важливим є точне відстеження споживацького навантаження на різних етапах виробництва. З огляду на складність енергетичних систем, яка включає розподільчі мережі та системи передачі, а також широкий спектр завдань, які лежать на учасниках ринку, вирішення цієї задачі вимагає уваги до різних часових інтервалів.

На короткостроковому рівні, в межах секунд, де коливання навантаження є мінімальними та мають випадковий характер, балансування виробництва та споживання забезпечується системою автоматичного регулювання частоти та потужності. У випадках, коли виникають більш значні коливання в межах декількох хвилин, ефективний розподіл навантаження між активними джерелами потужності контролюється за допомогою диспетчерських методів.

При більш тривалих часових періодах, таких як години чи дні, коли коливання навантаження стають ще більш виразними, необхідно підключати або відключати окремі блоки електростанцій та здійснювати перерозподіл енергії між суміжними системами. Цей процес вимагає ретельного управління виробництвом енергії,

оптимізації структури генеруючих потужностей у кожен момент часу, з урахуванням витрат на пуск та холостий хід блоків, а також урахування мінімально необхідних обсягів відпуску електроенергії.

У ситуаціях, коли впродовж тривалих часових відрізків, таких як тижні, відбуваються значні коливання навантаження, ефективне задоволення попиту на електроенергію з урахуванням наявних ресурсів у мережі досягається шляхом управління запасами первинних енергоносіїв та плануванням обслуговування обладнання. Для забезпечення стабільної роботи енергосистеми в майбутньому необхідно проводити аналіз її реакції на потенційні аварійні ситуації, використовуючи автоматизовані методи аналізу режимів мережі.

У режимі реального часу, для перевірки телеметричних даних та сигналів, які надають інформацію про абсолютні значення та фазові кути напруг, використовуються методи оцінювання стану. На основі цих даних визначаються оцінки миттєвих значень навантаження.

Для економічного розподілу навантаження в системі автоматичного регулювання частоти та потужності застосовуються процедури дуже короткострокового прогнозування навантаження з прогнозними горизонтами від секунд до хвилин. Система короткострокового прогнозування навантаження забезпечує інформацію для оптимізації режимів роботи гідростанцій, визначення активних блоків станцій, розподілу навантаження між станціями на відновлюваних джерелах енергії та теплових станціях, а також оцінки енергетичних потоків. Прогнози навантаження на періоди від тижнів до місяців необхідні для планування розподілу первинних енергоресурсів та ремонтних робіт. Для стратегічного планування розвитку енергосистеми, введення нових потужностей та капітального будівництва потрібні довгострокові прогнози з горизонтом від одного року і більше.

У контексті глобальної та національної лібералізації ринків електроенергії, набуває особливої ваги розробка і впровадження стратегій управління попитом для різних категорій споживачів та для енергетичних компаній в цілому.

Фундаментальною основою таких стратегій є сегментування ринку та прогнозування попиту на електроенергію.

Залежно від обраної моделі ринку, ці завдання можуть вирішуватися різними методами на різних рівнях управління в енергосистемі. Особливості електроенергії як товару, зокрема неперервність процесів генерації та споживання та обмежені можливості накопичення електроенергії в масштабах енергосистеми, вимагають особливої уваги до точного прогнозування попиту. Переоцінка попиту може призвести до нераціонального використання ресурсів та заморожування оборотних коштів, тоді як недооцінка може спричинити значні фінансові втрати для енергокомпаній через підвищення вартості маневрових ресурсів та зниження надійності електропостачання. Аналізуючи різницю у цінах на балансуючому ринку, ринку «на добу наперед» та внутрішньодобовому ринку, можна оцінити фінансові втрати учасників ринку через неточності в короткостроковому прогнозуванні електричного навантаження. Хоча такі оцінки можуть бути приблизними, вони вказують на потенціал економічного ефекту від підвищення точності прогнозування попиту на 1%.

На оптовому ринку електроенергії України у 2020 році, згідно з попередніми даними, вартість одного МВт·год похибки в прогнозах «на добу наперед» для операторів електромереж становила приблизно 225 гривень. Аналіз економічного виграшу від уменьшення помилок у прогнозуванні технологічних втрат мережевих компаній з прогнозним горизонтом від 12 до 36 годин вказує на те, що покращення точності прогнозів на 5% може знизити загальні витрати на компенсацію небалансів до 184 млн. гривень на рік. Це, у свою чергу, дозволить знижувати тарифи на розподіл та передачу електроенергії для усіх споживачів.

Окрім прогнозування навантаження, значний вплив на балансову стабільність і ефективність роботи енергосистеми має точність прогнозування обсягів поставки електроенергії виробниками з відновлюваних джерел енергії, а також точність прогнозування небалансів. Важливим є також прогнозування оптових цін на електроенергію, яке безпосередньо впливає на якість рішень учасників ринку. Враховуючи специфіку ОЕС України, була розроблена класифікація видів

прогнозування, заснована на трьох параметрах: частоті отримання інформації, дискретності та глибині прогнозування, як це представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 -Дискретність основних видів прогнозування

Вид прогнозу	Дискретність		Горизонт прогнозування
	Отримання	Прогнозування	
Годинний	1 хв.	10 хв.	10–60 хв.
Добовий (оперативний)	10 хв.	1 год.	1–24 год.
Тижневий (короткостроковий)	1 год	1 доба	1–7 діб
Місячний	1 доба	1 тиждень	1–4 тижнів.
Річний (середньостроковий)	1 тиждень	1 місяць	1–12 місяців
Багаторічний (довгостроковий)	1 місяць	1 рік	1–5 років

Серед ключових чинників, що впливають на зміни загального електричного навантаження (ЗЕН), можна виокремити декілька головних категорій:

- календарні фактори (час дня, день тижня, місяць, сезон, порядковий номер тижня і т.д.);
- метеорологічні умови (температура повітря, швидкість і напрямок вітру, рівень вологості, облачність, наявність опадів або інших природних явищ);
- технічні аспекти (навантаження від великих промислових споживачів, режими роботи регуляторів споживання, технічні втрати енергії, наявність альтернативних джерел тепла, впровадження новітніх технологій тощо);
- астрономічні зміни (варіації часу сходу та заходу сонця протягом року);
- економічні індикатори (вплив змінних тарифів, ціна на електроенергію на оптовому та роздрібному ринках, ВВП, індекс промислового виробництва, індекси фондових ринків, валютні курси тощо).

Для короткострокового прогнозування навантаження, наприклад для електропостачальної компанії, першорядне значення мають метеорологічні та календарні фактори. Важливо також враховувати специфіку режимів роботи енергоємних підприємств, якщо вони становлять значну частку клієнтів компанії.

Окремим завданням є прогнозування навантаження в певні години доби, зокрема оцінка максимального добового навантаження та часу його настання. Хоча ці прогнози можуть базуватися на стандартних погодинних прогнозах, увага до конкретних особливостей може значно покращити точність прогнозування.

1.2.1 Актуальні проблеми ринку електроенергії

Згідно з чинним законодавством, ринок електроенергії визначається як комплекс взаємозв'язків між різними учасниками ринку, які виникають у процесі купівлі та продажу електричної енергії, а також у процесі надання допоміжних послуг, передачі і розподілу електроенергії, і постачання електроенергії кінцевим споживачам. Впровадження нової моделі ринку електроенергії включає в себе кілька ключових сегментів: ринок двосторонніх контрактів, ринок «на добу наперед», внутрішньодобовий ринок, балансуючий ринок, ринок допоміжних послуг і інші. Це відображено на Рисунку 1.6, де представлена структура ринку електроенергії.

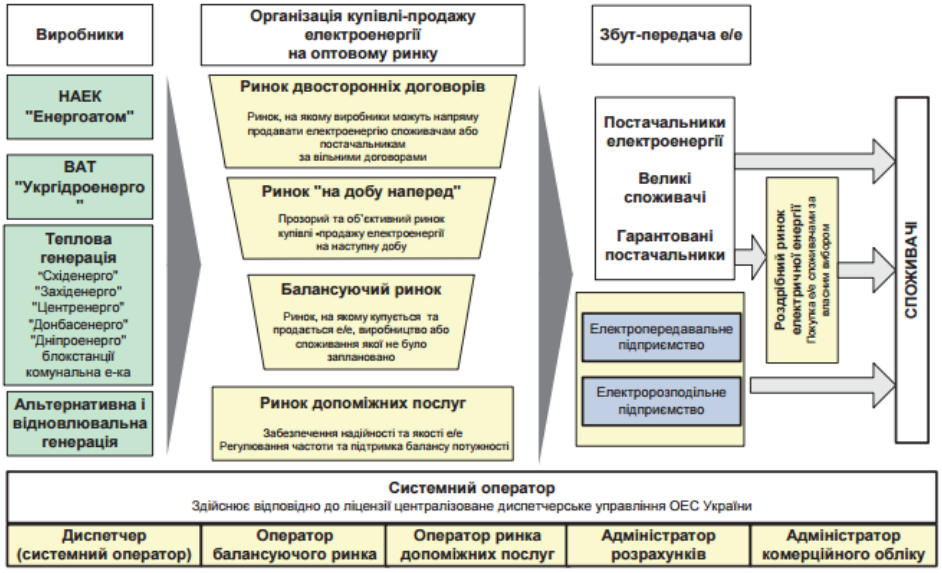


Рисунок. 1.6. Ринок електричної енергії .

Розглянемо детальніше окремі сегменти цього ринку:

– Ринок двосторонніх контрактів являє собою сегмент, на якому укладаються прямі договори купівлі-продажу електроенергії між двома учасниками ринку, які не входять до організованих сегментів ринку, за винятком угод на постачання електроенергії кінцевим споживачам.

– Балансуючий ринок електричної енергії – це організований сегмент ринку, створений оператором системи передачі електроенергії з метою забезпечення достатніх обсягів електроенергії для балансування виробництва, імпорту та споживання в реальному часі, а також для урегулювання системних обмежень в Об'єднаній енергетичній системі України і фінансового урегулювання небалансів.

– Внутрішньодобовий ринок електричної енергії створений для забезпечення гнучкості у вирівнюванні попиту та пропозиції електроенергії в короткостроковому аспекті.

Основні елементи ринку електроенергії України характеризуються наступним чином:

Сегмент безперервної торгівлі електроенергією, що функціонує після завершення операцій на ринку «на добу наперед» і протягом усього часу фізичного постачання електроенергії;

Ринок електроенергії «на добу наперед», який визначається як сегмент, де транзакції купівлі-продажу електроенергії відбуваються за день до фактичної доби постачання;

Ринок допоміжних послуг, що створює відносини між оператором системи передачі та постачальниками допоміжних послуг для підтримки стабільності та надійності електропостачання.

Впровадження директних договорів між виробниками електроенергії, такими як атомні та теплові електростанції, та промисловими споживачами дає змогу останнім вибирати найбільш вигідні умови закупівлі енергії, підтримуючи при цьому конкуренцію на ринку. Ринок двосторонніх договорів, де продаж електроенергії здійснюється безпосередньо між виробниками та споживачами або постачальниками, сприяє більш ефективній взаємодії на ринку (див. Рис. 1.7).

Цей напрямок розвитку ринку стимулює виробників до модернізації обладнання для підтримки конкурентоспроможних цін, особливо важливо це для тих, хто використовує застарілі технології. Однак відновлювана енергетика, яка наразі потребує державних преференцій, залишається окремим випадком.

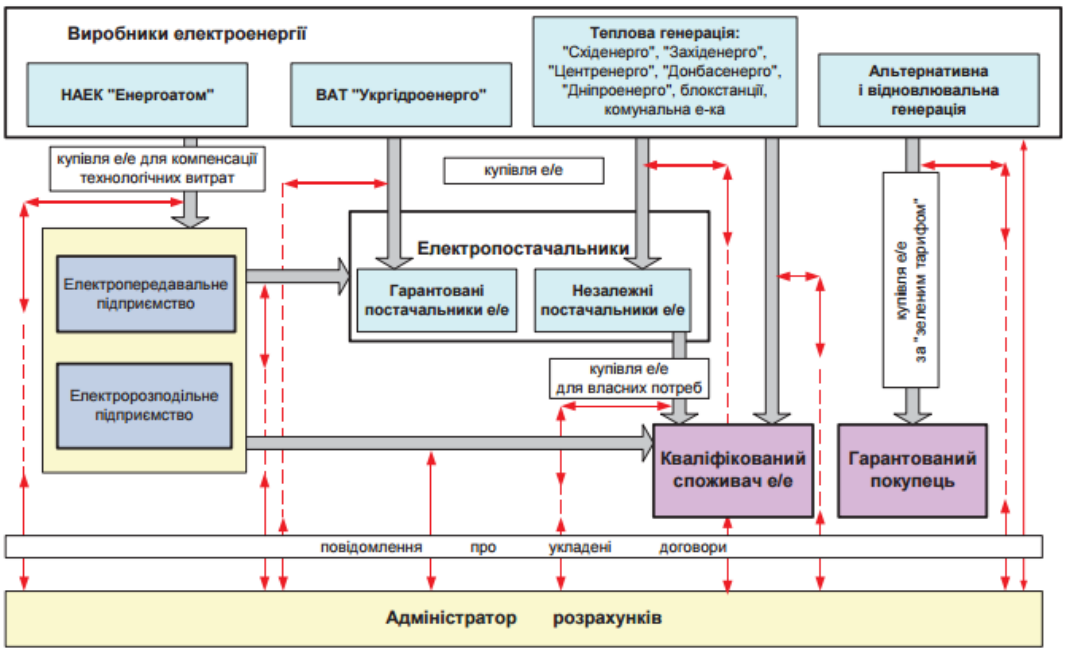


Рисунок 1.7. Ринок двосторонніх договорів

На ринку електроенергії України важливу роль відіграє ринок «на добу наперед». На цьому ринку учасники подають до оператора ринку пропозиції з вказівкою цін на купівлю та продаж електроенергії, а також із зазначенням термінів проведення цих операцій. Цей процес є фундаментом для торгівлі електроенергією «на добу наперед» (див. Рис.1.8).

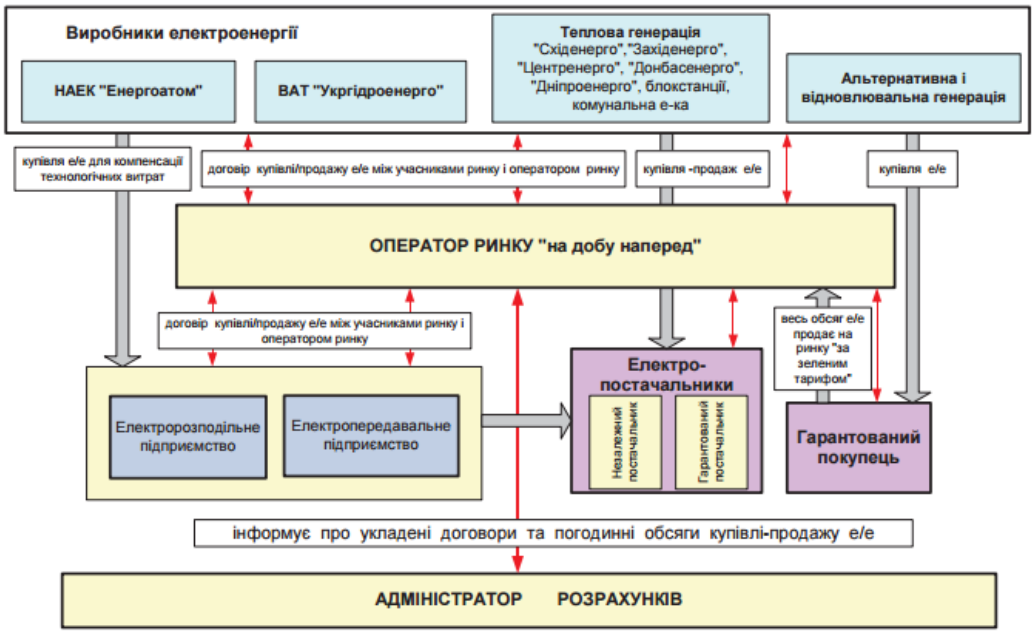


Рисунок1.8. Ринок «на добу вперед»

Ще один ключовий елемент ринку електроенергії України – це балансуючий ринок. На цьому ринку учасники подають заявки на збільшення або зменшення свого навантаження до системного оператора з метою купівлі або продажу електроенергії. Ця діяльність відбувається у режимі реального часу (див. Рис. 1.9).



Рисунок.1.9. Балансуючий ринок

Аналітичне дослідження сектору електроенергії в Україні демонструє, що цей сектор все ще має місце для розвитку і вдосконалення. Електроенергетична галузь в Україні є частиною природних монополій, які потребують державного контролю і регулювання.

1.3 Аналіз та класифікація споживачів електричної енергії

Термін «Споживач електричної енергії» (далі - «СЕЕ») означає окремих споживачів або групу споживачів, які можуть формувати розширену систему «СЕЕ». Кількість рівнів такої розширеної системи «СЕЕ» залежить від цілей дослідження і лімітується кількістю доступних джерел у системі «Електропостачання».

Закінчення 31 грудня 2020 року терміну тимчасового надання права на універсальну послугу для певних груп споживачів згідно з пунктом 13 розділу XVII Закону України «Про ринок електричної енергії» означає, що з 1 січня 2021 року лише побутові споживачі та малі непобутові споживачі матимуть право на отримання універсальної послуги.

Згідно із статтею 62 частини першої статті 1 цього Закону, побутовим споживачем вважається індивідуальний споживач (фізична особа, яка використовує електроенергію для потреб свого домогосподарства і не займається при цьому професійною чи господарською діяльністю) або колективний споживач (фізична особа, для якої розрахунок споживання електричної енергії здійснюється згідно з інструкціями загального розрахункового засобу, призначеного для обліку електроенергії, спожитої для власних потреб побутового споживача). Також до цієї категорії належать юридичні особи, створені шляхом об'єднання фізичних осіб, які не ведуть професійної або господарської діяльності.

Згідно з пунктом 42 частини першої статті 1 Закону малими непобутовими споживачами є не побутові споживачі, а споживачі, які купують електричну енергію для власного споживання, електрообладнання яких приєднано до електромереж договірної потужності. до підключеного споживача. До 50 кВт.

У зв’язку з викладеним договір про постачання електричної енергії постачальником електричної енергії, з метою забезпечення права споживача на універсальну послугу з постачальником електричної енергії, для виконання споживачем спеціального обов’язку щодо надання універсальної У разі надання універсальних послуг з 1 січня 2020 року споживачі, які відповідають критеріям, встановленим частиною першою статті 1 статті 42 Закону та статтею 62 Закону (з договірною потужністю 50 кВт) (включаючи споживачів). Частиною першою статті 1 закону є право на універсальну послугу.

В даний час для непобутових споживачів, які споживають великі обсяги електроенергії, побудова автоматичної комерційної системи вимірювання електроенергії стала надзвичайно актуальною проблемою.

1.3.1 Специфіка роботи різних категорій споживачів

Залежно від деталей роботи всіх споживачів можна розділити на кілька груп, яким передбачено три режими роботи: тривалий режим, в якому приймач може працювати тривалий час, і температура окремих частин приладу не перевищуйте межі, встановлені нормативними документами. Короткочасний У коли період роботи недостатньо тривалий, щоб температура окремих частин обладнання досягла постійного значення, але час простою дуже тривалий, щоб обладнання встигало охолонути до температури навколишнього середовища. Короткі періоди чергування періодів роботи та відпочинку, загальна тривалість циклу не перевищує 10 хвилин, нагрівання не перевищує допустимі значення та охолодження не досягає температури навколишнього середовища. Більшість електродвигунів, які використовуються в основних технічних вузлах і механізмах, працюють в тривалому режимі. Електричні приводи, такі як вентилятори, насоси та компресори, працюють при досить високих постійних або незначних коливаннях навантажень протягом годин або змін поспіль. У довгостроковій перспективі електродвигуни застосовуються на верстатах холодної обробки металу, деревообробці, коли при змінних навантаженнях і коротких зупинках електродвигун не встигає охолонути до температури навколишнього середовища, а час циклу перевищує 10 хв. Верстати, молотки, преси та ін.

У короткочасному режимі працюють більшість електроприводів допоміжних механізмів металорізальних верстатів, а також механізми відкривання гідрозатворів, усіх типів заслінок тощо. Електродвигуни, допоміжні приводи і деякі головні приводи мостових кранів, підйомників, лебідок і подібного обладнання працюють у повторюваному короткочасному режимі. До цієї групи також відносяться зварювальні апарати, які працюють при постійних великих стрибках напруги.

Нагрівальні прилади і електропечі працюють в тривалому режимі з постійними або слабо змінними навантаженнями. Режим роботи електроосвітлення характеризується різкими змінами і постійністю навантаження при включенні і

зміні джерела живлення. Режим роботи У житлових будинках: ліфти, пожежні насоси, автоматичні системи димовидалення, аварійне освітлення в коридорах, вестибюлях, холах, сходах у будинках висотою 16 поверхів і більше, шлагбауми, встановлені на даху будинків висотою більше 50 метрів Входить. До першої категорії відносяться також електроприймачі спеціального призначення, встановлені в АТС, каналізаційних насосних станціях, базових підсилювальних пунктах і радіотрансляційних пунктах, водоканалізаційних вузлах, а також приймачі всередині будинків незалежно від поверховості будинку. Місця скупчення великої кількості людей (театри, кінотеатри, клуби тощо), реципієнти спеціальних медичних закладів (операційні, пологові будинки, центри невідкладної допомоги, промисловість) 1 2 3 t,c 4 T перерва в електропостачанні Вони можуть загрожувати життя споживачів і завдають великої матеріальної шкоди з пошкодженням обладнання, масовими браками продукції, тривалими перервами складних технологічних процесів виробництва.

До другої категорії відносяться приймачі в житлових будинках висотою від 6 до 16 поверхів, споживачі в будівлях будь-якого поверху, де встановлені підлогові електроплити, адміністративні та громадські будівлі, медичні та дитячі Включає електроприймач установ. Школи та навчальні заклади. На промислових підприємствах до другої категорії належать ресивери. Перебої в живленні приймача пов'язані зі значним недовипуском продукції, простоєм персоналу, техніки, промислового транспорту.

1.3.2 Особливості площадок вимірювання споживання електроенергії

В енергетиці України в умовах створення енергетичного ринку висувають вимоги до систем обліку та рівня їх автоматизації, точності, надійності та повноти. Точність і достовірність інформації, яку отримує система, визначається засобами інформаційно-вимірювальної техніки та принципами їх використання. Основними характерними показниками використання інформаційно-вимірювальної техніки є точність, достовірність і одночасність. Точність – якість інформації, отриманої від вимірювального пристрою. Надійність – автоматизація процесу отримання та

перевірки високоякісної інформації від вимірювального обладнання. Одночасність – це процес одночасного прийому інформації приладом обліку електроенергії в точці обліку. Основним завданням удосконалення системи обліку електричної енергії також є отримання достовірного балансу виробництва, передачі, розподілу та споживання електричної енергії в межах держави, а також показників якості електричної енергії, спожитої споживачами. Однак для комплексного виконання функції управління системою енергопостачання із зазначеними вище характеристиками необхідно забезпечити, щоб у разі порушення договору про постачання (користування) електричної енергії вона впливають на споживачів електричної енергії.Також необхідно вжити заходів щодо забезпечення . Сама система комерційного обліку електроенергії – це комплексна система, яка в режимі реального часу відображає дані лічильників обліку електроенергії та здійснює автоматичну обробку даних для оперативного інформування учасників енергетичного ринку про перетікання електроенергії.

Вважається, що автоматизація та мінімізація втручання людини в процес обліку електроенергії запобіжить необґрунтованому використанню електроенергії та сприятиме безперебійній роботі національної енергосистеми.

Які існують автоматичні системи обліку електроенергії?

Найпоширенішою такою системою є АСКОЕ — автоматизована система комерційного обліку електроенергії. Це система передачі даних від лічильника комерційного обліку підприємства до власного сервера та сервера енергопостачальника.

АСКОЕ споживача включає:

• Лічильник.

• Канали передачі даних споживачам та енергопостачальним організаціям.

• Промислове комп'ютерне комунікаційне обладнання та обладнання передачі даних для збору та обробки даних вимірювань.

• Програмне забезпечення АСКОЕ.

ЛУЗОД (локальний пристрій збору та обробки даних) для розрахунку спожитої електричної енергії та забезпечення вимірювання, збору, зберігання та обробки

інформації про кількість і параметри перетоків електричної енергії та вартість спожитої електроенергії Набір засобів обліку встановлено с. потужність. ЛУЗОД має інтерфейс дистанційного зчитування даних, що функціонує в рамках автоматизованої системи комерційного обліку АСКОЕ. Принципова відмінність між ЛУЗОД та АСКОЕ полягає в тому, що у ЛУЗОД немає необхідного для цього програмного забезпечення, тому клієнти, які встановили ЛУЗОД, мають можливість переглядати та контролювати дані про електроенергію та енергоспоживання онлайн.Це неправда.

У зв'язку з набранням чинності «Стандарту комерційного обліку електроенергії» (СКОЕЕ) назва системи автоматизації ЛУЗОД більше не використовується офіційно, але визначення ЛУЗОД залишається в обігу і, як і раніше, використовується в професійних середовище енергетиків. У ККОЕЕ замість ЛУЗОД включено нове визначення. АСЗД - Автоматизована система збору даних комерційного обліку - Вид автоматизованої системи, що складається з підсистеми збору даних комерційного обліку та підсистеми керування лічильником електроенергії.

Зараз не всі підприємства в Україні мають автоматизовані системи зчитування даних про споживання електроенергії. Споживачі з подібними системами належать до групи споживачів «А», а всі інші — до групи «Б».

Для споживачів електричної енергії групи «А», які є вільними споживачами, погодинна ціна електричної енергії визначається погодинним графіком фактичного споживання електричної енергії цими споживачами та погодинною ціною електричної енергії, що купується на ринку.Формується виходячи з ціни.

Для споживачів групи «Б» ціна розраховується з урахуванням погодинного графіка споживання та погодинної ринкової ціни споживачів групи Б через їх постачальників.

Якщо на підприємстві запроваджено погодинну систему розрахунків за електроенергію (АСКОЕ або ЛУЗОД/АСЗД), тобто відноситься до категорії «А», Споживач має можливість впливати на свій щоденний рахунок за електроенергію. Такі системи погодинно фіксують фактичну кількість електроенергії, спожитої

конкретним споживачем, і щодня передають ці дані оператору системи. У цьому випадку рахунок за електроенергію залежить від графіка споживання протягом доби. Наприклад, вночі рахунок за електроенергію буде дешевшим. Таким чином, підприємства з переважно нічним або цілодобовим графіком роботи отримають значно нижчі рахунки за електроенергію.

Також на ціну електроенергії для споживачів категорії «А» впливає відхилення обсягу попереднього замовлення від фактичного споживання, яке не є усередненим по енергосистемі. Підприємства без систем АСКОЕ чи ЛУЗОД/АСЗД, тобто споживачі категорії «В», закуповують електроенергію переважно в денних навантаженнях, тобто навантаженнях у період, коли електроенергія дорожчає.

Новий ринок електроенергії дає споживачам можливість обрати постачальника з найкращими для них умовами. А за наявності погодинних систем обліку можна чітко спрогнозувати споживання своєї компанії, перенести споживання з денного на нічний, відійти від моделі середніх показників енергосистеми та розробити персональні показники кожної компанії. Підтримка економічно заохочена.

Споживачі електроенергії мають можливість вибрати відповідного постачальника та укласти договір з ціною, яка враховує добовий графік споживання електроенергії, за умови наявності погодинного лічильника електроенергії, що дозволяє споживачу значно заощадити на витратах.

Таким чином, енергопостачальна компанія може передбачити кількість електроенергії, спожитої споживачами групи «А», а отже може запропонувати більш вигідні тарифи на електроенергію. Тому постачальники можуть точніше планувати закупівлі електроенергії, зменшувати дисбаланси та оптимізувати витрати.

Кращі європейські практики, засновані на запровадженні нового ринку електроенергії в Україні, забезпечують практично повний автоматичний облік споживання електроенергії.

1.3.3 Наявність маневрених потужностей

Однією з основних властивостей електрики, яка розглядається, є неможливість накопичення достатньої кількості.

Споживання, тобто генерація і споживання електричної енергії, має відбуватися одночасно.

Потреби споживачів електроенергії визначаються внутрішніми речами-вільним режимом його функціонування або режимом, залежним від технологічних процесів підприємства. Споживачі, як правило, не погоджуються з виробником щодо намірів виробника щодо режиму роботи та пов'язаного з ним споживання електроенергії. Головним завданням виробників електроенергії є задоволення попиту споживачів. Умовою дотримання характеристик електричної енергії, крім неперевищення, є гнучке та швидке реагування пропозиції на зміни попиту. На практиці це означає, що графік споживання електроенергії нерівномірний.

Враховуючи природу та характеристики електроенергетики, вирівнювання (стиснення) планування електричних навантажень є надзвичайно актуальним питанням, вирішення якого дозволить створити стійкі умови роботи АЕС і ТЕС.

Враховуючи природу та характеристики електроенергетики, вирівнювання (стиснення) планування електричних навантажень є надзвичайно актуальним питанням, вирішення якого дозволить створити стійкі умови роботи АЕС і ТЕС.

Підвищена неоднорідність графіків навантаження (ГЕН) створює умови для збільшення споживання палива для виробництва електроенергії.

Таким чином, ситуація з нерівномірним навантаженням є дуже невигідною як з точки зору енергетики, так і з точки зору економії, а також спричиняє екологічно шкідливі викиди.

Джерело безперебійного живлення на будь-якому промисловому підприємстві забезпечує ефективну роботу технологічних процесів. Це пояснюється тим, що безперервність виробничого процесу може вплинути як на якість виготовленого продукту, так і на терміни виконання поставлених завдань. При плануванні електропостачання основним джерелом енергозабезпечення промислових

підприємств є електропідстанція (ТП). Основний перелік навантажень промислових підприємств (до 90%) відноситься до споживачів II і III категорій для забезпечення надійності. Такі навантаження можуть залишатися знеструмленими протягом короткого часу. Безперебійне електропостачання таких споживачів забезпечується автономними трансформаторами, які перемикаються в ручному режимі. Решта навантаження відноситься до споживачів I категорії надійності. Ці навантаження є безперебійними та підключеними до незалежних підстанцій із можливостями автоматичного резервування, а найбільш критичні навантаження (контролери, системи керування, серверне обладнання тощо) є. Відбувається збій мережі. Друге підключення може призвести до програмних збоїв і збоїв при підключенні через однофазний або трифазний джерело безперебійного живлення. Оскільки на промислових підприємствах потужність важливих споживачів часто становить не менше 10 кВт, для гарантованого енергопостачання рекомендується купувати ДБЖ з можливістю подвійного перетворення. Таке джерело безперебійного живлення не тільки забезпечує живлення при відновленні основної мережі або установці резервної підстанції, але і виконує роль стабілізатора напруги, фільтруючи всі можливі перешкоди на вході.

Щодо сучасних засобів (електрохімічні накопичувачі електроенергії, водневі технології, біогазові технології, узгодження графіків генерування та споживання електроенергії тощо), то вони поки що існують в перспективі і знаходяться на різних етапах розробки і застосування в електроенергетичних системах.

Висновок до 1 розділу

У першому розділі дослідження було зосереджено увагу на ключових характеристиках та динаміці розвитку електроенергетичного ринку України, відображаючи сучасні тренди в управлінні попитом на електричну енергію. Був проведений глибокий аналіз сучасної структури ринку, включаючи детальний огляд нормативно-правового регулювання у цій сфері та розгляд поточних тенденцій його розвитку.

Важливість дослідження полягає у виявленні та аналізі ключових проблематик, пов’язаних з електроенергетикою, включаючи розгляд специфіки діяльності різних категорій споживачів та оцінку їх маневрених потужностей. Також було розглянуто існуючі методи вимірювання споживання електроенергії та визначено потенціал для розвитку управління попитом в майбутньому.

Актуальність дослідження підкріплюється необхідністю розробки нових наукових підходів до моделювання та прогнозування споживання електроенергії, зокрема в контексті діяльності електропостачальників. Це стає ключовим фактором для формування стратегій управління та планування, спрямованих на забезпечення стабільності та оптимізації ефективності ринку електроенергії.

Подальше розвиток та вдосконалення систем управління попитом, заснованих на взаємодії роздрібних постачальників та агентів управління попитом, може сприяти покращенню якості послуг у сфері електроенергетики в Україні. Результати аналізу демонструють важливість вирішення завдань, пов’язаних з ефективним постачанням електричної енергії до кінцевих споживачів.

2 СУЧАНІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1 Задачі постачальника електричної енергії

Електропостачальники, ведучи діяльність у складному енергетичному середовищі, стикаються з різноманітними задачами, спрямованими на забезпечення надійного, ефективного та сталий постачання електроенергії для комерційних споживачів. Однією з ключових задач є прогнозування попиту на електроенергію, яка вимагає розробки імовірнісних та статистичних моделей, що враховують різноманітні фактори, такі як погода, виробничі обсяги та інші, для точного планування обсягів постачання.

Іншою важливою задачею є класифікація та ієрархічна кластеризація споживачів. Розробка інтелектуальних алгоритмів для точного групування різних категорій споживачів дозволяє ефективно управляти споживанням та пристосовувати стратегії постачання до різних потреб.

Крім того, електропостачальники стикаються з необхідністю інтеграції відновлювальних джерел енергії в систему постачання. Це включає в себе вдосконалення систем прогнозування та управління для оптимізації використання енергії, що генерується зеленими технологіями.

Загалом, вирішення цих завдань вимагає від електропостачальників використання передових технологій, розвитку цифрових рішень та постійного вдосконалення стратегій управління, щоб вони могли ефективно відповідати на зростаючі виклики у сфері енергетики.

Активне впровадження систем контролю та звітності для забезпечення ефективного моніторингу та управління електроенергетичними процесами є однією з ключових задач забезпечення високого рівня якості надання послуг споживачам. Для досягнення цієї мети електропостачальники використовують різноманітні технології для моніторингу та аналізу параметрів електропостачання.

2.2 Вирішення задач моделювання

З точки зору постачальника, головним завданням є створення точних прогнозів погодинного, щоденного та довгострокового попиту на електроенергію, як правило, для великої кількості різних моделей попиту. На жаль, на практиці часто використовуються слабкі прогностичні моделі, що може призвести до завищених або занижених прогнозів. Крім того, прикладні програмні рішення також часто нестабільні. Тому існує велика потреба в ефективному та прозорому програмному забезпеченні, яке могло б прогнозувати енергетичні навантаження для багатьох клієнтів.

Розробка ефективної методології для прогнозування потужності електричних навантажень вимагає індивідуалізованого підходу, що враховує специфіку кожної конкретної ситуації. Основою такого прогнозування є аналіз історичних даних про споживання енергії та врахування зовнішніх факторів, що впливають на попит. Важливим аспектом у створенні прогнозної системи є також забезпечення її здатності до збереження і архівування результатів, а також регулярна перевірка її ефективності. Це забезпечує постачальникам можливість оцінювати точність отриманих прогнозів, що в кінцевому рахунку дозволяє мінімізувати витрати, які виникають у разі переоцінки або недооцінки попиту на енергію. Впровадження таких універсальних принципів і цілей у кожному сегменті енергетичного ринку дозволить досягти бажаних результатів. Для аналізу в даній роботі вважається, що прогноз зовнішніх факторів, таких як погодні умови, є точним, тому невизначеність, яка виникає з цих факторів, не береться до уваги. Також використовувалася стандартна методика розподілу навчальних вибірок для порівняння точності різних прогнозних процедур.

Методи прогнозування попиту на електричну енергію є важливою складовою стратегії електропостачальників для ефективного управління енергетичними ресурсами та забезпечення стабільності системи. Декілька ключових методів використовуються для прогнозування попиту на електроенергію:

Статистичні методи:

− Часові ряди: Аналіз історичних даних споживання електроенергії для виявлення циклічних та сезонних коливань, що дозволяє побудувати прогнози на основі минулих трендів.

− Регресійний аналіз: Врахування впливу різних факторів (економічних, погодних тощо) на попит для побудови математичних моделей прогнозування.

Машинне навчання:

− Нейронні мережі: Використання штучних нейронних мереж для аналізу складних нелінійних зв'язків у даних та прогнозування попиту на електроенергію.

− Методи класифікації та кластеризації: Групування споживачів за схожими характеристиками для точнішого прогнозування їхнього споживання.

Експертні методи:

− Метод Делфі: Залучення експертів для допомоги у визначенні та уточненні параметрів, що впливають на попит.

Смішані методи:

− Комбінація моделей: Використання кількох методів прогнозування одночасно для отримання більш точних та надійних результатів.

Ці методи допомагають електропостачальникам адаптувати свої стратегії до змін у попиті та забезпечувати ефективне розподіл електроенергії, що є важливим для забезпечення стабільності енергетичної системи та задоволення потреб споживачів.

2.2.1 Методи прогнозування попиту на електричну енергію

Статистичні методи прогнозування є важливим інструментом у контексті управління попитом на електричну енергію, особливо в умовах невизначеності та змінливості ринкових умов. Для розрахунку прогнозу та порівняння параметрів (в тому числі точності) були обрані наступні статистичні моделі прогнозування:

1) регресійні моделі;
2) авторегресійні моделі;
3) модель прогнозу на основі середнього згладжування;
4) наївна модель.

Регресійний аналіз полягає у дослідженні взаємозв'язків між різними змінними. Головна ціль цього процесу - прогнозування або опис вартості однієї змінної (залежної) з використанням даних про інші змінні (незалежні).

Для цього можна використовувати різноманітні методики, від простих, як лінійна регресія, до складних, як непараметричні моделі, включаючи гаусівські процеси та нейронні мережі. Ці підходи можуть базуватися як на класичній статистиці та теорії імовірностей, так і на принципах машинного навчання, які зосереджені більше на здатності до точного прогнозування. Вибір конкретного методу залежить від багатьох чинників, включаючи розмір доступного набору даних. Великі датасети вимагають застосування більш складних методів, що можуть адекватно моделювати багаторівневі залежності, тоді як менші датасети схильні до перенавчання. Однак слід враховувати, що хоча складніші методи надають більш точні прогнози, вони можуть бути важчими для інтерпретації, в той час як методи з меншою кількістю параметрів є більш прозорими та легшими для розуміння.

У контексті прогнозування потужностей немає універсального методу, який би був оптимальним у всіх випадках. Важливим є порівняння ефективності різних методів на конкретному датасеті, але слід враховувати, що результати можуть варіюватися в залежності від специфіки даних. Також,

крім точності прогнозів, існують інші важливі аспекти: легкість інтерпретації моделі, важлива для розуміння процесів, та ефективність в обчислювальному плані, що має велике значення для короткострокових прогнозів.

В цій роботі вибір був зроблений на користь класичного методу машини опорних векторів (SVM). Для незалежних змінних були використані дані про рівень споживання енергії та інші відповідні фактори, у тому числі історичні дані та сезонні зміни, представлені у вигляді фіктивних змінних. Залежна змінна в моделі - це прогнозоване значення споживання.

У регресійній моделі прогнозування припускається, що функція f лінійно залежить від параметрів w. Варто зазначити, що безпосередня лінійна залежність від незалежних параметрів x не є жорсткою вимогою, дозволяючи моделі бути гнучкою у визначенні залежностей між змінними.

$$y = f(w, x) + v = \sum_{j=1}^{N} w_j * g_j(x) + v, \quad (2.1)$$

У випа дку коли функція $g \equiv id$ формула (2.1) прийме вигляд:

$$y = \sum_{j=1}^{N} w_j x_j + v = \langle w, x \rangle + v, \quad (2.2)$$

де x_j – компоненти вектора незалежних змінних x.

Значення параметрів у випадку лінійної регресії визначають через метод найменших квадратів, який є особливо ефективним у ситуаціях, де випадкові змінні слідують гаусівському розподілу.

Різниці $y_i - f(x_i)$ між фактичними значеннями залежної змінної і відновленими називаються називають регресійними лишками.

Перехресна перевірка з використанням одноразового поділу вибірки на дві частини - навчальну (training set) та тестову (validation set або testing set) - дозволяє виконувати аналіз та оцінку ефективності моделі. Для зменшення варіативності результатів застосовується метод багаторазової перехресної перевірки з різними розбиттями навчальної та тестової вибірки, а отримані

результати усереднюються.

Однак простий випадковий вибір у моделях часових рядів не завжди є адекватним, оскільки тестова вибірка може не відповідати часовому ряду даних. У таких випадках, зазвичай модель будується на даних за певний часовий період і тестується на даних з наступного періоду.

Авторегресійні моделі та моделі часових рядів:

Розроблені для включення часової структури в аналізовані дані, моделі часових рядів використовують різноманітні форми, такі як ARMA, ARIMA, GARCH та інші, для адекватного відображення залежностей у часі.

У контексті лінійної регресії, оцінка параметрів моделі часто здійснюється через метод найменших квадратів, який є особливо ефективним у ситуаціях, де випадкові змінні слідують гаусівському розподілу.

Перехресна перевірка з використанням одноразового поділу вибірки на дві частини - навчальну (training set) та тестову (validation set або testing set) - дозволяє виконувати аналіз та оцінку ефективності моделі. Для зменшення варіативності результатів застосовується метод багаторазової перехресної перевірки з різними розбиттями навчальної та тестової вибірки, а отримані результати усереднюються.

Однак простий випадковий вибір у моделях часових рядів не завжди є адекватним, оскільки тестова вибірка може не відповідати часовому ряду даних. У таких випадках, зазвичай модель будується на даних за певний часовий період і тестується на даних з наступного періоду.

Авторегресійні моделі та моделі часових рядів: Розроблені для включення часової структури в аналізовані дані, моделі часових рядів використовують різноманітні форми, такі як ARMA, ARIMA, GARCH та інші, для адекватного відображення залежностей у часі.

Регресійна модель прогнозування

Модель $ARMA(p, q, k)$ (p, q – цілі числа, що задають порядок моделі, k – кількість езогенних факторів) - рівняння, що описує наступний процес генерації часового ряду $\{Xt\}$:

$$X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i X_{t-i} \sum_{i=1}^{q} \beta_i \varepsilon_{t-i}, \quad (2.3)$$

де c – константа, $\{\varepsilon t\}$ - білий шум, тобто послідовність незалежних і однакових

розподілених випадкових величин (як правило, нормальних) з нульовим середнім, $\alpha i \ \dots \ \alpha p$, $\beta i \ \dots \ \beta q$ - авторегресійні коефіцієнти і коефіцієнти ковзаючого середнього, відповідно.

Приймемо заміну L: $LXt = xt-1$ тоді вираз (2.3) прийме вигляд

$$X_t = c + \left(\sum_{i=1}^{p} \alpha_i L^i\right) X_t + \left(1 + \sum_{i=1}^{q} \beta_i L^i\right) \varepsilon_t, \quad (2.4)$$

Перенесемо авторегресійну частину в ліву частину рівняння, отримаємо

$$\left(1 - \sum_{i=1}^{p} \alpha_i L^i\right) X_t = c + \left(1 + \sum_{i=1}^{q} \beta_i L^i\right) \varepsilon_t, \quad (2.5)$$

У випадках, коли в авторегресійному поліномі присутні одиничні корені, процес виявляється нестаціонарним. Корені, що мають значення менше одиниці, зазвичай не беруться до уваги у практичних дослідженнях через їх стохастичний характер. Тому, для визначення стаціонарності часових рядів проводиться аналіз на наявність одиничних коренів. Модель ARMA (p, d, q), де d визначає порядок інтегрування (тобто рівень диференціювання початкового часового ряду), а p і q вказують на порядки авторегресійної (AR) та ковзаючої середньої (MA) компонентів ARMA-процесу відповідно

до d-го порядку диференціювання, може бути представлена у формі операторних рівнянь.

$$\alpha(L)\Delta^d X_t = c + \beta(L)\varepsilon t, \Delta = 1 - L \qquad (2.6)$$

Моделювання складної сезонності за допомогою гармонійної регресії

На рис. 2.1. показані сезонні складові, отримані на основі гармонічної авторегресійної моделі. Вона включає щоденну, щотижневу та річну складову.

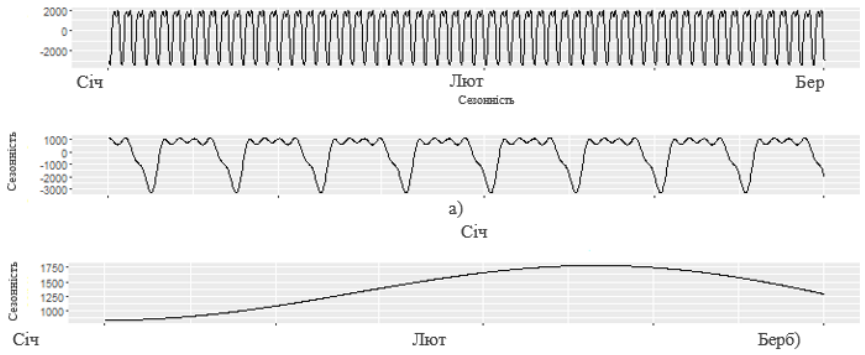


Рисунок 2.1 – Сезонні складові в даних енергоспоживання, отримані на основі авторегресійної моделі (а – доба, б –тиждень, в- рік)

На рис. 2.2 також наведено значення гармонік ряду Фур'є, лінійна комбінація яких використовується для фіксації щорічної складової у відповідній моделі.

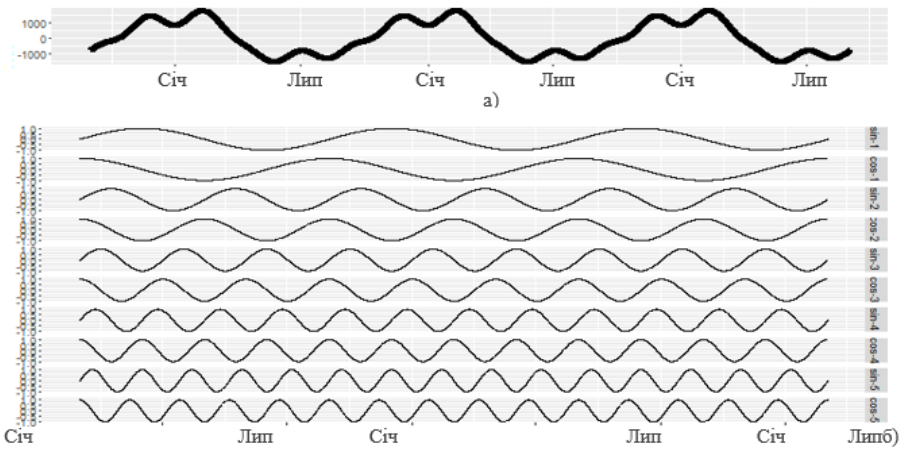


Рисунок. 2.2 Гармоніки для річної сезонності а – щорічні повторення, б – гармонічні компоненти

На рис. 2.2 показано п'ять пар гармонічних складових, і їх кількість може бути змінена для підвищення точності прогнозування.

Центральною частиною дослідження є розробка моделі, заснованої на методі усереднення. Концепція ансамблевого навчання, яка застосовується в статистиці та машинному навчанні вже багато років, використовується як основа для цієї моделі. Суть цього підходу полягає в інтеграції виходів з множини алгоритмів навчання для підвищення точності та ефективності прогнозування. Варіативність між окремими моделями зазвичай сприяє покращенню загальних результатів.

Цей метод особливо корисний у прогнозуванні часово-залежних даних, де комбінація прогнозів з різних джерел може надати більш точний результат, ніж використання однієї окремої моделі. Існують різні методи усереднення, включаючи просте усереднення, зважене усереднення, де вага кожного прогнозу визначається на основі його точності, а також багато інших підходів, заснованих на регресійних моделях.

У цьому аналізі використовувалася базова схема усереднення, яка представляє собою інтуїтивно зрозумілий спосіб комбінування прогнозів з трьох різних моделей. Було розраховано середнє значення прогнозів, отриманих від кожної моделі окремо. Незважаючи на свою простоту, цей метод виявився дуже ефективним і широко використовується у сфері бізнесу та економічного прогнозування.

2.2.2 Економетричні моделі та їх використання в управлінні попитом

Економетричні моделі дуже поширені у світовій практиці економічного аналізу. Кожен із них вирізняється специфічними теоретичними положеннями та унікальними методологічними підходами до проблеми, вирішення яких потребує побудови відповідних економетричних моделей. Щодо застосування цих моделей для дослідження енергетичного сектору України, варто зазначити, що більшість цих моделей були побудовані з метою прогнозування попиту на електроенергію. Іншими словами, основним припущенням, на якому будуються ці моделі, є інституційна стабільність досліджуваної економічної системи. На жаль, такі припущення не відповідають реальній ситуації, в якій працює українська електроенергетика. З плином часу потрібні нові дослідження в цій галузі. Предметом дослідження є виробництво та споживання електроенергії, виробничі (внутрішні) зв'язки між галузями промисловості та зовнішньоекономічні зв'язки в електроенергетиці. Для цього дослідження використовувався висхідний підхід . Тобто кожен компонент ВВП, а саме особисте споживання, інвестиції, державні витрати, експорт та імпорт, досліджувався окремо (див. таблицю 2.1, рівняння 1-4).

Однак, оскільки обсяг інвестицій в електроенергетику незначний, немає сенсу досліджувати цю частину ВВП за допомогою економетричних методів. Щодо державних витрат на електроенергію, неможливо визначити, що таке «державний мандат» на виробництво електроенергії за цих обставин. Таким чином, рівняння 5-12 у таблиці були фактично оцінені. 1.

Розглядаючи операції імпорту/експорту електроенергії (рівняння (5) і (6)), ми очікуємо, що залежність експорту від обмінного курсу (гривня/долар) має бути позитивною, а залежність імпорту від курсу гривні бути негативним. Проте оцінка цих залежностей показує, що обидві змінні негативно залежать від обмінного курсу. Тобто, коли гривня падає, зростає імпорт і експорт електроенергії. З іншого боку, результати, отримані шляхом оцінки рівняння, узгоджуються з нашими початковими очікуваннями. Отже, враховуючи

різницю між рівняннями (5) і (6), бачимо, що девальвація гривні та збільшення перевищення виробництва електроенергії над споживанням позитивно впливають на чистий експорт електроенергії, повністю відповідає попереднім припущенням.

Таблиця 2.1 - Економетричні моделі

Рівняння	Змінні
(1) $GDP = \sum_{i=1}^{2} C_i + \sum_{i=1}^{2} I_i + \sum_{i=1}^{2} G_i + \left(\sum_{i=1}^{2} X_i - \sum_{i=1}^{2} M_i \right)$	GDP – ВВП; C_i – споживання електроенергії (млн кВт/год); I_i – інвестиції в сектор електроенергетики; G_i – державні витрати в секторі електроенергетики; X_i – експорт електроенергії в Україну, млн кВт/год; M_i – імпорт електроенергії з України, млн кВт/год
(2) $C_i = f_{\text{I}}(C_i(-1), \text{DI/DefC})$	$C_i(-1)$ – споживання електроенергії за попередній період; DI – оподаткований дохід; DefC – дефлятор споживчих цін
(3) $I_i = f_{\text{II}}(K_m, r)$	K_m – капітал (основні фонди) основного виду діяльності; r – облікова кредитна ставка
(4) G_i – екзогенна змінна	G_i – державні витрати в секторі електроенергетики
Зовнішньоекономічні зв'язки (5) $X_i = f_{\text{III}}(\text{Exch_r}, \text{Excess})$ (6) $M_i = f_{\text{IV}}(\text{Exch_r})$	Exch_r – реальний обмінний курс; Excess – надлишок виробництва електроенергії
Промислові взаємозв'язки (7) $Y_1 = f_{\text{V}}(\alpha \cdot Y_{\text{ін пром}}, \text{Arrears})$, (8) $Y_{\text{ін пром}} = f_{\text{VI}}(\beta \cdot Y_1)$, $\alpha = 0{,}87$ та $\beta = 0{,}86$	Y_i – обсяги виробництва електроенергії; $Y_{\text{ін пром}}$ – обсяги виробництва промислової продукції; Arrears – заборгованість між підприємствами; α та β – коефіцієнти, що, відповідно, відображають питому вагу сектора електроенергетики (інших промислових галузей) у проміжному споживанні інших галузей промисловості (галузі електроенергетики)
Виробництво електроенергії (9) $Y_1 = Y_{\text{ТЕС}} + Y_{\text{ГЕС}} + Y_{\text{АЕС}}$ (10) $Y_1 = f_{\text{VII}}(K_m, L_m)$ (11) $Y_{\text{ТЕС}} = f_{\text{VIII}}(\text{coal, coxe, braucoal, peat, oil, gas, mazut})$ (12) $Y_{\text{ТЕС}} = f_{\text{VIII}}(R)$	$Y_{\text{ТЕС}}$, $Y_{\text{ГЕС}}$ та $Y_{\text{АЕС}}$ – обсяги виробництва електроенергії на ТЕС, ГЕС та АЕС, відповідно, L_m – чисельність працівників в секторі електроенергетики, зайнятих основним видом діяльності, R – обсяги виробництва енергоносіїв в Україні, Coal – обсяги виробництва вугілля, coxe – кокс, braucoal – буре вугілля, peat – торф, oil – нафта, gas – газ, mazut – мазут
Споживання електроенергії (13) $C_1 = f_{\text{IX}}(P, \text{GDP_r})$	P – споживчий тариф на електроенергію, GDP_r – обсяги реального ВВП

Метою дослідження виробничих відносин було показати важливість електроенергетики для інших галузей промисловості (таблиця 2.1, рівняння (7) і (8)). Побудувавши набір імітаційних рівнянь для оцінки взаємозалежності між випусками двох галузевих груп (енергетики та інших галузей), ми виявили, що граничний вплив виробництва електроенергії на промислове виробництво (0,458) відповідає. Було показано, що майже 90 разів продуктивніше промислової продукції. Граничний вплив промислового

виробництва на виробництво електроенергії (0,005). Таким чином, підтверджується важливість електроенергетики для всієї промисловості України. З нашої точки зору, одним із найцікавіших аспектів цього дослідження є виробництво електроенергії. Було зроблено спробу описати асортимент виробництва електроенергетики та оцінити рівняння (9)-(12). При цьому окремо розглядалися джерела виробництва електроенергії ТЕС, ГЕС і АЕС. Модель (9) найкраще пояснити, розглянувши визначення логарифма. Серед усіх змінних, розглянутих у рівнянні (9), коефіцієнт, що відповідає виробництву електроенергії на ТЕС, є найвищим. Така ситуація спричинена тим, що більша частина електроенергії в Україні виробляється на ТЕС. Ця модель є адекватною з досить великим коефіцієнтом R2 Іншим припущенням у дослідженні виробництва електроенергії було те, що обсяг виробництва електроенергії залежить від капіталу (основних фондів) і робочої сили, зайнятої в основній діяльності (модель (10)). Зроблено спробу оцінити функцію Кобба-Дугласа. Як показують розрахунки (таблиця 2.1, рівняння (10)), найбільш прийнятною є лінійна залежність вироблення електроенергії від цих змінних. Це означає, що капітал і праця є взаємозамінними елементами в енергетичному секторі. Від'ємний і статистично значущий коефіцієнт змінного капіталу в електроенергетиці України настільки високий (порівняно з рівнем праці), що чітко проявляється закон спадаючого граничного продукту, і навіть граничний продукт дещо від'ємний.

Припущення, що виробництво електроенергії на теплових електростанціях залежить від обсягів виробництва основних енергоносіїв у країні, включаючи вугілля, кокс, буре вугілля, торф, нафту, газ та мазут, було перевірено в цій роботі (див. таблиця 2.1, рівняння (11)). Статистичний аналіз виявив позитивний зв'язок між виробництвом електроенергії на ТЕС та видобутком коксу, газу, бурого вугілля та інших ресурсів (згідно з даними у таблиці 2.1). Водночас, деякі енергоносії мають негативні коефіцієнти зв'язку, що не відповідає початковим гіпотезам моделі. Отже, було вивчено альтернативну модель, яка аналізує залежність виробництва електроенергії від загального

обсягу енергоносіїв (модель (12)). Проте, враховуючи показники адекватності цієї моделі, вона також виявилася малоефективною у поясненні залежності, вказуючи на те, що виробництво електроенергії в Україні більше залежить від імпортованих енергоносіїв.

Як бачимо, вивчення механізмів функціонування електроенергетики викликає багато запитань у дослідників, що, власне, робить цю сферу дуже привабливою для наукових досліджень. У рамках нашого дослідження було знайдено відповіді лише на деякі запитання, залишаються певні прогалини. Подальші дослідження електроенергетики мають практичне та наукове значення, оскільки дозволяють проаналізувати вплив змін на українську економіку. При цьому слід враховувати, що в умовах перехідної економіки найбільш прийнятним є підхід, який дозволяє врахувати вплив взаємодії факторів попиту та пропозиції електроенергії (ефект зворотного зв’язку) .

2.3 Використання штучного інтелекту в моделюванні

Штучний інтелект (ШІ) є відносно новою технологією широкого застосування цифрових технологій, зокрема, алгоритмів обробки великих масивів даних для удосконалення процесів забезпечення різних аспектів життєдіяльності суспільств. Застосування цієї технології ще не має чіткого стандарту, і термін "штучний інтелект" не має жорсткого визначення, оскільки продовжується вивчення його можливостей у різних сферах. Для цього дослідження розглядаються основні принципи використання цього нового явища в людському житті, зосереджуючись передусім на його можливостях у сфері енергетики.

Існують різноманітні сфери та методи застосування штучного інтелекту (ШІ), які можна класифікувати для полегшення подальшого аналізу можливостей його впровадження на практиці.

Однією з головних областей використання ШІ є персоналізація. Це включає алгоритми створення "профілю клієнта" або цільових характеристик, які в подальшому можуть бути використані для цільового звернення до потреб

клієнта. Наприклад, в сфері продажу товарів та послуг цей підхід дозволяє розробляти системи рекомендацій. Такі системи визначають рейтинг клієнтів, що дозволяє рекомендувати товари, проводити фінансові операції або надавати персоналізовані фізичні вправи відповідно до індивідуальних потреб користувачів.

Взаємодія та спілкування включають алгоритми, які забезпечують обмін інформацією між машинами та людьми через різні засоби, такі як голосові, текстові, відео- чи графічні форми. Результати цих алгоритмів можуть виявлятися у формі чат-ботів, голосових помічників, моделей аналізу настроїв та намірів тощо.

Виявлення шаблонів і аномалій є алгоритмами, спрямованими на визначення закономірностей в наборах даних та їх порівняння з відомими шаблонами. Це дозволяє оцінювати, чи відповідають дані встановленому шаблону, чи виявляються відхилення або аномалії. У цих алгоритмах застосовується машинне навчання для виявлення таких наборів даних. Вони можуть бути використані, наприклад, для виявлення шахрайства, виявлення людських помилок та інших аномальних явищ.

Алгоритми розпізнавання використовують машинне навчання та інші когнітивні методи для identифікації об'єктів та даних в різних форматах, таких як зображення, відео, аудіо, текст. Ці алгоритми базуються на класифікації невпізнаваних даних.

Алгоритми досягнення цілей спрямовані на досягнення конкретних завдань у системах, які працюють за цільовим принципом, використовуючи методи машинного навчання та інші когнітивні підходи. Ці алгоритми надають можливість знаходити оптимальні рішення за допомогою ітераційного навчання через спроби та помилки. Припускається, що визначена функція вартості використовується для оцінки ефективності рішення. Застосування цих алгоритмів може охоплювати різноманітні сценарії, такі як ігри, оптимізація ресурсів і логістики, торги та аукціони в режимі реального часу, а також моделювання сценаріїв.

Процеси прогнозування та прийняття рішень включають різноманітні алгоритми обробки інформації, що охоплюють описову аналітику, прогнозування та проективну аналітику. Ці алгоритми спрямовані на прогнозування майбутніх значень для наборів даних, визначення та аналіз поведінки населення, а також вибір оптимального підходу та оптимізацію діяльності.

Прогнозування в основному базується на аналізі історичних та поточних даних, щоб передбачити можливі результати в майбутньому. Цей процес спрямований на допомогу людині при прийнятті обґрунтованих рішень. Використання алгоритмів прогнозування може включати аналіз мінулих та поточних взаємозв'язків, щоб створити прогнози та моделі майбутнього.

Вищезазначені сценарії використання можуть застосовуватись як окремо, так і в комбінації, для вирішення конкретних завдань у системах штучного інтелекту. Це відкриває можливість вдосконаленого прогнозування, що сприяє ефективній автоматизації процесів та допомагає приймати інформовані рішення.

Однією з ключових особливостей у сфері прогнозування в енергетиці є необхідність швидкої обробки великих обсягів даних, які включають інформацію про погодні умови, прогнози споживання та виробництва енергії, стан технічного обладнання та роботу енергетичних мереж. Це відкриває перспективи для використання технологій штучного інтелекту (ШІ) в цій галузі. Наприклад, точне прогнозування погодних умов може сприяти кращому плануванню та оптимізації роботи енергогенеруючих установок, що підвищує їхню продуктивність. Крім того, впровадження ШІ в системи передачі енергії може сприяти стабільності мережі, виявляючи та адаптуючись до непередбачених змін у виробництві чи споживанні енергії. Це забезпечує можливість прийняття оперативних рішень, таких як включення або відключення певних джерел енергії чи додаткових систем, для підтримки стабільності та надійності енергетичної системи в режимі онлайн.

2.4 Оцінювання потенціалу споживачів для агрегації

Агрегація у сфері електроенергетики представляє собою стратегію об'єднання невеликих споживачів електроенергії в єдиний суб'єкт для управління попитом, оптимізації витрат та забезпечення більшої стійкості в енергетичній системі. Цей підхід базується на ідеї, що колективна участь в агрегації надає споживачам значних переваг.

Однією з ключових задач агрегації є здатність об'єднувати споживачів, які індивідуально мають невеликі потреби в електроенергії, в узгоджені групи. Це дозволяє агрегаторам здійснювати ефективне управління енергопотребою та гнучко реагувати на зміни на ринку.

Однією з основних переваг агрегації є економія масштабу. Об'єднання споживачів дозволяє отримати значні економічні вигоди, такі як зменшення витрат на закупівлю енергії та доступ до більших можливостей на ринку. Крім того, споживачі мають можливість активно брати участь у ринкових механізмах, таких як реактивні торги, отримуючи більшу гнучкість у виборі тарифів та оптимального режиму споживання.

Важливою частиною агрегації є інноваційне використання технологій управління та моніторингу електроенергії. Агрегатори можуть впроваджувати системи автоматизації та інтелектуальні рішення для ефективного прогнозування споживання та взаємодії з ринковими платформами. Узагальнюючи, агрегація в електроенергетиці є потужним інструментом, який сприяє створенню більш стійкої, ефективної та інноваційної енергетичної системи шляхом уніфікації та координації зусиль ряду малих споживачів. Оцінка потенціалу споживачів для агрегації включає в себе чітке визначення критеріїв, які відіграють ключову роль у визначенні ефективності та можливостей участі кожного учасника.

Обсяг споживаної енергії: Цей критерій визначає розмір енергетичного впливу кожного потенційного учасника. Великий обсяг споживаної енергії

може свідчити про значний вплив на стабільність енергетичної системи, роблячи цей аспект важливим для оцінки.

Гнучкість у споживанні: Аналіз готовності споживачів змінювати своє споживання є ключовим елементом успішної агрегації. Чим більша гнучкість, тим ефективніше можна управляти їхнім енергетичним попитом відповідно до змін на ринку.

Географічне розташування: Цей критерій визначає фізичне розташування споживачів в енергетичній мережі. Розглядається їхнє географічне розташування, що впливає на можливість їхнього об'єднання в єдиний агрегат для спільного управління.

Технічна готовність: Аналіз наявності та готовності технічних засобів є важливим аспектом. Споживачі повинні бути оснащені технічними рішеннями, які дозволяють активну участь у програмах агрегації та взаємодію з системами управління.

Потреба в додаткових послугах: Визначення потреби споживачів в додаткових енергетичних послугах стає основою для визначення, наскільки агрегація може відповідати їхнім розширеним потребам і забезпечити більш широкий спектр послуг. Ці критерії є важливими етапами в оцінюванні потенціалу для агрегації та дозволяють розробляти індивідуальні стратегії для кожного учасника, сприяючи більш ефективному та адаптивному управлінню енергетичним попитом.

Для забезпечення об'єктивної оцінки потенціалу споживачів для участі в програмах агрегації важливим є ретельний збір та аналіз відповідних даних.

Історичне споживання: Одним із важливих етапів є детальний аналіз історичного споживання електроенергії кожним учасником. Це включає вивчення споживчих звичок протягом ряду років, що дозволяє отримати глибоке розуміння їхнього енергетичного паттерну та поведінки.

Рівень гнучкості: Здатність споживачів гнучко реагувати на зміни в енергетичній системі визначається рівнем їхньої гнучкості. Проведення

аналізу цього аспекту дозволяє визначити, наскільки вони готові та здатні адаптуватися до різноманітних впливів, що впливають на енергетичний ринок.

Технічна готовність: Ефективна участь у програмах агрегації передбачає наявність відповідної технічної бази. Оцінка технічної готовності включає аналіз наявності та стану технічних засобів, таких як системи автоматизації, які можуть сприяти активній участі в агрегаційних програмах.

Цей стадійний підхід до збору та аналізу даних є важливим кроком у визначенні потенціалу споживачів для участі в програмах агрегації, що дозволяє зробити обґрунтовані та інформовані рішення в контексті ефективного управління енергетичним попитом.

Важливо підкреслити, що оцінка потенціалу виступає ключовим інструментом для енергетичних компаній у розробці та впровадженні не лише ефективних, але й стратегічно направлених програм агрегації. Цей підхід дозволяє створювати інноваційні рішення для управління енергетичним попитом, що сприяє не тільки підвищенню ефективності, але й стабільності у сучасному енергетичному ландшафті.

У висновку, важливо визначити, що оцінка потенціалу споживачів для агрегації є важливим інструментом, який визначає майбутнє енергетичної системи. Її проведення сприяє створенню стійких та інноваційних стратегій управління електроенергією, що відповідають викликам сучасного ринку та сприяють сталому розвитку енергетики.

Висновок до 2 розділу

У цьому розділі дисертації ми детально розглянули та проаналізували сучасні підходи до розв'язання завдань математичного моделювання в енергетичному секторі. Визначили, що в контексті енергетики моделювання виступає як потужний інструмент оптимізації, спрямований на підвищення ефективності управління попитом на електричну енергію.

Проведений аналіз методів прогнозування попиту на електричну енергію, включаючи економетричні моделі, дозволив нам докладно розглянути їхню сутність та застосування в управлінні попитом. Окресливши фактори, які впливають на участь споживачів, ми виявили перспективи в подальшому використанні отриманих знань у практиці управління попитом на електроенергію.

Особлива увага приділена оцінці потенціалу споживачів для агрегації, яка визначається як важливий аспект у розвитку систем управління попитом. Дана оцінка розкриває можливості підвищення ефективності управління та взаємодії між учасниками енергетичного ринку.

Загальний інтерес до розробки та вдосконалення математичних моделей та методів прогнозування визначає перспективи для подальшого впровадження отриманих знань у практиці управління попитом на електроенергію. Результати даного дослідження є важливим внеском у сферу енергетичної науки та сприятимуть подальшому розвитку і вдосконаленню систем енергетичного управління.

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧ, ПОВ'ЯЗАНИХ З УПРАВЛІННЯ ПОПИТУ НА РІВНІ ПОСТАЧАЛЬНИКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

3.1 Вирішення задачі оптимізації розподілу економічного портфелю електропостачальника

Метод моделювання задачі про пошук часових оптимальних планів електропостачання включає в себе використання транспортної задачі, адаптованої до особливостей енергетичного менеджменту. Класична модель транспортної задачі в цьому контексті має три ключові складові: план (X), цільова функція (ЦФ) та обмеження.

Відмінності використання транспортної задачі для енергетичного менеджменту визначаються особливостями енергетичного споживання. Споживання енергетичних ресурсів є нерівномірним у часі, враховуючи зміни протягом доби, у вихідні та робочі дні тижня, а також в розрізі сезонів року. Однак ці зміни є прогнозованими, що дозволяє здійснювати управлінські рішення на основі прогнозних значень.

Додаткові аспекти враховують різницю в технічних характеристиках джерел енергії, а також враховуються фактори, такі як цінова політика власників джерел енергії та тарифна політика держави. Критерій оптимізації залишається мінімізацією витрат в інтересах споживачів, проте можливі й інші варіанти.

У вирішенні цієї задачі враховано структуру та складові оптимального розподілу обмежених ресурсів для постачання електричної енергії. Результати розв'язання використовуються в інтересах постачальника, який забезпечує потреби 60 кінцевих споживачів електричної енергії в різних регіонах України. При цьому враховуються технічні характеристики джерел енергії, їхні пропозиції, та динаміка попиту у часових періодах.

Розглянемо числовий приклад впровадження описаної моделі, використовуючи можливості електронно-табличного моделювання в середовищі Excel.

Горизонт планування складається з часових періодів t1 ... t24, які визначають структуру моделі числом стовпців у всіх таблицях. У даному прикладі розглядається тривимірна взаємодія між джерелами енергії (Дж1 ... Дж12) як виробниками електричної енергії та п'ятьма споживачами електроенергії (Сп1 ... Сп5). Матриці відповідних розмірів визначаються за зазначеними часовими періодами, кожна з яких має 24 стовпці (див. рис. 3.1).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
2	Години	Погодинні ціни продажу									Максимальний об'єм продажу								
3		Джерело 1	Джерело 2	Джерело 3	Джерело 4	Джерело 5	Джерело 6	Джерело 7	Джерело 8	Джерело 9	Джерело 1	Джерело 2	Джерело 3	Джерело 4	Джерело 5	Джерело 6	Джерело 7	Джерело 8	Джерело 9
4	1	1 700,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	1 657,50	1 662,60	1 666,00	0	0,00	3	1	1	1	10	0	265
5	2	1 049,96	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	1 023,71	1 026,86	1 028,96	0	0,00	3	1	1	1	10	0	238
6	3	1 049,96	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	1 023,71	1 026,86	1 028,96	0	0,00	3	1	1	1	10	0	214
7	4	1 049,99	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	1 023,74	1 026,89	1 028,99	0	0,00	3	1	1	1	10	0	184
8	5	1 049,96	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	1 023,71	1 026,86	1 028,96	0	0,00	3	1	1	1	10	0	171
9	6	1 049,88	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	1 023,63	1 026,78	1 028,88	0	0,00	3	1	1	1	10	0	158
10	7	1 040,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	1 014,00	1 017,12	1 019,20	0	0,00	3	1	1	1	10	0	151
11	8	2 700,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	2 632,50	2 640,60	2 646,00	0	0,00	3	1	1	1	10	20	147
12	9	2 800,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	2 730,00	2 738,40	2 744,00	0	0,00	3	1	1	1	10	20	165
13	10	3 159,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 080,03	3 089,50	3 095,82	0	0,00	3	1	1	1	10	20	196
14	11	3 043,83	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	2 967,73	2 976,87	2 982,95	0	0,00	3	1	1	1	10	20	219
15	12	3 148,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 069,30	3 078,74	3 085,04	0	0,00	3	1	1	1	10	20	226
16	13	3 159,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 080,03	3 089,50	3 095,82	0	0,00	3	1	1	1	10	20	238
17	14	3 199,95	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 119,95	3 129,55	3 135,95	0	0,00	3	1	1	1	10	20	236
18	15	3 300,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 217,50	3 227,40	3 234,00	0	0,00	3	1	1	1	10	20	238
19	16	3 300,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 217,50	3 227,40	3 234,00	0	0,00	3	1	1	1	10	20	238
20	17	3 759,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 665,03	3 676,30	3 683,82	0	0,00	3	1	1	1	10	20	265
21	18	3 974,88	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 875,51	3 887,43	3 895,38	0	0,00	3	1	1	1	10	20	289
22	19	3 974,86	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 875,49	3 887,41	3 895,36	0	0,00	3	1	1	1	10	20	282
23	20	3 899,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 801,53	3 813,22	3 821,02	0	0,00	3	1	1	1	10	20	275
24	21	3 759,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	3 665,03	3 676,30	3 683,82	0	0,00	3	1	1	1	10	20	264
25	22	2 980,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	2 905,50	2 914,44	2 920,40	0	0,00	3	1	1	1	10	20	251
26	23	2 704,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	2 636,40	2 644,51	2 649,92	0	0,00	3	1	1	1	10	20	226
27	24	1 800,00	0,00	2 102,50	2 701,00	2 714,00	2 757,00	1 755,00	1 760,40	1 764,00	0	0,00	3	1	1	1	10	0	227

Рисунок. 3.1 - Початкові дані пропозиції ціни та обсягу

Для вирішення завдання за допомогою вбудованого рішення Excel Solver розмістимо зазначені значення у різні комірки: матрицю потоків від джерел (діапазон значень P4:X27) та матрицю погодинних цін (діапазон значень B4:J27) комірках плану X, суму питомих витрат споживання C (комірка AP4: AP27) на потоки до джерел X у комірці ЦФ, обмеження балансу обсягів вироблення та споживання електроенергії (діапазон значень C4:N8) визначимо як Спожито, рівне споживання C, обмеження щодо лімітів джерел енергії (діапазон значень AC4:AK27) не перевищують пропозицій (діапазон значень P4:X27).

Із врахуванням вказаних пропозицій був отриманий оптимальний графік розподілу ресурсів (рис. 3.2). Знайдені потоки ресурсів забезпечать мінімальні витрати на закупівлю електроенергії, враховуючи попит споживачів та технологічні обмеження джерел, у різні часові періоди.

	A	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	BD
2	Години	Оптимальний план закупівлі									Всього погодинно	Оптимальна вартість закупівлі									Всього погодинно
3		Споживач 1	Споживач 2	Споживач 3	Споживач 4	Споживач 5	Споживач 6	Споживач 7	Споживач 8	Споживач 9	МВт	Споживач 1	Споживач 2	Споживач 3	Споживач 4	Споживач 5	Споживач 6	Споживач 7	Споживач 8	Споживач 9	МВт
4	1	0	0	3	1	1	1	0	0	256,5	262,5	0	0	6307,5	2701	2714	2757	0	0	427329	441808,5
5	2	0	0	3	1	1	1	0	0	231,4	237,4	0	0	6307,5	2701	2714	2757	0	0	238101,53	252581,03
6	3	0	0	3	1	1	1	0	0	207,9	213,9	0	0	6307,5	2701	2714	2757	0	0	213920,95	228400,45
7	4	0	0	3	1	1	1	0	0	178	184	0	0	6307,5	2701	2714	2757	0	0	183160,26	197639,76
8	5	0	0	3	1	1	1	0	0	164,4	170,4	0	0	6307,5	2701	2714	2757	0	0	169161,16	183640,66
9	6	0	0	3	1	1	1	0	0	151,8	157,8	0	0	6307,5	2701	2714	2757	0	0	156184,35	170663,85
10	7	0	0	3	1	1	1	0	0	144,5	150,5	0	0	6307,5	2701	2714	2757	0	0	147274,4	161753,9
11	8	0	0	0	1	1	1	0	15,5	147	165,5	0	0	0	2701	2714	2757	0	40929,3	388962	438063,3
12	9	0	0	0	0	0	1	0	16,1	165	182,1	0	0	0	0	0	2757	0	44088,24	452760	499605,24
13	10	0	0	0	0	0	0	0	16,2	196	212,2	0	0	0	0	0	0	0	50049,932	606780,72	656830,65
14	11	0	0	0	0	0	0	0	15,8	219	234,8	0	0	0	0	0	0	0	47034,479	653266,79	700301,27
15	12	0	0	0	0	0	0	0	15,6	226	241,6	0	0	0	0	0	0	0	48028,406	697219,04	745247,45
16	13	0	0	0	0	0	0	0	15,9	238	253,9	0	0	0	0	0	0	0	49123,082	736805,16	785928,24
17	14	0	0	0	0	0	0	0	16,1	236	252,1	0	0	0	0	0	0	0	50385,773	740084,44	790470,21
18	15	0	0	0	0	0	0	0	15,4	238	253,4	0	0	0	0	0	0	0	49701,96	769692	819393,96
19	16	0	0	0	0	0	0	0	15	238	253	0	0	0	0	0	0	0	48411	769692	818103
20	17	0	0	0	0	0	0	0	14,6	265	279,6	0	0	0	0	0	0	0	53674,009	976212,3	1029886,3
21	18	0	0	0	0	0	0	0	14,3	289	303,3	0	0	0	0	0	0	0	55590,287	1125765,5	1181355,8
22	19	0	0	0	0	0	0	0	14,3	282	296,3	0	0	0	0	0	0	0	55590,007	1098492,3	1154082,3
23	20	0	0	0	0	0	0	0	14,6	275	289,6	0	0	0	0	0	0	0	55673,041	1050780,5	1106453,5
24	21	0	0	0	0	0	0	0	14,9	264	278,9	0	0	0	0	0	0	0	54776,9	972528,48	1027305,4
25	22	0	0	0	0	0	0	0	15,3	251	266,3	0	0	0	0	0	0	0	44590,932	733020,4	777611,33
26	23	0	0	0	1	1	1	0	13,6	226	242,6	0	0	0	2701	2714	2757	0	35965,363	598881,92	643019,28
27	24	0	0	3	1	1	1	0	0	218,4	224,4	0	0	6307,5	2701	2714	2757	0	0	385257,6	399737,1

Рисунок. 3.2 - Оптимальний план закупівлі

У результаті проведеного дослідження була вирішена задача оптимізації витрат постачальника на електричну енергію через розв'язання проблеми пошуку часових оптимальних планів. Застосовані методи моделювання та інструменти, зокрема стандартна надбудова Розв’язувач в середовищі Excel, дозволили визначити графік розподілу ресурсів, що забезпечує мінімізацію витрат відповідно до заданих обмежень. Знайдені потоки ресурсів враховують попит споживачів та технологічні обмеження джерел енергії в різні часові періоди. Отримані результати є важливим внеском у раціональне управління постачанням електроенергії та створюють підґрунтя для подальших досліджень у сфері оптимізації використання енергетичних ресурсів.

3.2 Аналіз погодинних графіків груп споживачів

Робота постачальника на ринку електричної енергії передбачає регулярне прийняття рішень в умовах невизначеності. Одним із основних етапів прийняття стратегічних рішень є прогнозування загального погодинного графіку споживання електроенергії за укладеними договорами постачання споживачам, з урахуванням особливостей різних споживчих моделей, притаманних різним групам споживачів.

На оптовому та балансуючих сегментах ринку електричної енергії, постачальник має невеликий вплив на ціни, тобто, фактично, він приймає запропоновані ціни за моделлю «price-taker». Рентабельність постачальника здебільшого залежить від його можливості ефективно спрогнозувати графік навантаження всієї сукупності своїх споживачів та здійснити закупівлю оптимального погодинного обсягу на оптовому ринку за середньозваженими цінами, нижчими за ціни продажу на роздрібному ринку.

Рішення проблеми покриття нерівномірних потреб споживачів в електроенергії традиційно реалізовувалося різними способами.

Існують різні методи управління попитом на електроенергію, які поділяються на такі напрямки:

– методи конструктивно-технічного контролю, що застосовуються під час аварійних ситуацій або відключень електроенергії, коли необхідно розвантажити енергосистему. При цьому таке розвантаження може здійснюватися автоматично за допомогою АЧР або вручну диспетчерами за спеціальними аварійними графіками.

- адміністративно-правові методи управління попитом - це комплекс систематичних заходів, які здійснюють адміністративно-правовий вплив на споживачів електричної енергії, а у разі виникнення проблем в енергосистемі щодо обсягів постачання електричної енергії, метою є встановлення певних меж або напрямків.

- економічні методи управління попитом на електроенергію. Це передбачає використання влади тарифних структур для надання споживачам відповідних ринкових (цінових) сигналів для впливу на режим споживання електроенергії в різні періоди часу. Здійснення цього контролю включає встановлення економічно обґрунтованих тарифів і цін на продукцію та послуги. Його рівень має враховувати поточні та інвестиційні витрати природної монополії та відповідний розмір прибутку та враховувати економічне становище країни. рівень споживчого та платоспроможного попиту; Вирішальним елементом в управлінні цим етапом є формування тарифного меню для кожного сегмента роздрібного ринку електроенергії.

- останнім кроком у побудові комплексної системи управління енергоспоживанням є ефективне використання можливостей організації комунікаційної політики в електроенергетиці. Такий спосіб забезпечить ефективну координацію попиту та пропозиції суб'єктів регіонального роздрібного ринку електричної енергії, збереження та збільшення частки ринку постачання електричної енергії та забезпечення конкурентної переваги в електроенергетиці над іншими енергооператорами в майбутньому. Енергетика завжди була закритою галуззю і цим питанням приділялося недостатньо уваги, тому комунікація зі споживачами дуже важлива для енергетичних компаній. Вирішити цю проблему можна в першу чергу за рахунок потоку інформації, який має надавати компанія. Окрім споживачів, адресатами комунікаційної політики є різноманітні контактні аудиторії, зокрема власний персонал компанії, маркетингові посередники, акціонери, вищі органи державної влади (законодавчої та виконавчої).

Основні взаємодії суб'єктів електроенергетики, методи управління та використання математичних засобів для подальшого моделювання та маніпулювання даними відображені на структурній схемі інтегрованого управління споживанням електроенергії. Ключовими кроками впровадження єдиного управління енергоспоживанням є:

- Формування структурної моделі для реалізації комплексного керування енергоспоживанням та забезпечення ефективного впливу кожного компонента моделі на процес керування.

- Визначення актуальних показників управління енергоспоживанням на основі використання методів кластеризації та математичної статистики для аналізу регіональних показників.

- Формування методу, здатного вирішити задачу пошуку оптимального рішення при використанні комплексного керування живленням в умовах невизначеності вихідної інформації та множинних критеріїв системи. Комплексні рішення для вирішення проблеми управління попитом на електроенергію на всіх етапах виробництва, передачі, розподілу та споживання енергії, як ключового елемента забезпечення ефективного та надійного функціонування енергетичного комплексу.



Рисунок 3.3 – Структура комплексного керування електроспоживанням

Найбільш очевидним шляхом вирішення проблеми збільшення маневреної потужності в ОЕС України є будівництво нових гідроелектростанцій (ГЕС), будівництво та використання парогазових і газотурбінних енергоблоків (ПГУ і

ГТУ). Це модернізація існуючого обладнання ГЕС за рахунок збільшення діапазону регулювання потужності гідроагрегату.

На жаль, такий спосіб побудови оптимальної структури генеруючих потужностей в енергосистемі України потребує значних фінансових і матеріальних витрат та тривалого часу. Так само вирішення проблеми покриття нерівномірних попитів на електроенергію через потоки енергії суміжними енергосистемами потребує не лише значного збільшення пропускної спроможності існуючої електромережі, а й вжиття додаткових заходів, вимагає часу та коштів. Поліпшити якість електроенергії.

З іншого боку, вирішення цієї проблеми слід шукати не тільки в напрямку створення та введення в експлуатацію додаткових мобільних генеруючих потужностей «великої» електроенергетики, яка в основному складається з гідроелектростанцій та гідроелектростанцій. Режим виробництва та передачі електричної енергії в складній енергосистемі істотно спрощується, а підвищення ефективності її роботи можна досягти шляхом ефективного управління споживчим попитом на електроенергію.

Водночас можна також стверджувати, що цей спосіб вирішення зазначених проблем слід визнати найдешевшим, найшвидшим і найпрактичнішим на сьогодні для енергетики України. Крім того, в сучасних ринкових умовах для залучення споживачів електроенергії та вирівнювання графіків навантаження енергосистеми необхідно залучати економічні (стимулюючі), а не адміністративні (обмежувальні) методи управління. Як показує світовий досвід, такий підхід до вирішення проблеми покриття неоднорідності графіків навантажень в енергосистемах використовується в багатьох країнах і дозволяє досягти значних позитивних результатів.

В основному, для досягнення значних результатів в управлінні споживанням електроенергії в енергосистемах загальною умовою є отримання економічної вигоди для споживачів при регулюванні попиту на електроенергію та енергію. При цьому контроль попиту споживачів на електроенергію та енергію

здійснюється за допомогою цін на електроенергію. Тому будуть розглянуті економічні способи управління споживчим попитом на електроенергію.

В табл. 3.1. наведено сценарії використання систем керування.

Таблиця 3.1 - Сценарії використання систем керування попитом

Сценарій використання	Енергосистеми споживачів	Енергосистеми з використанням мереж РСК	Ізольовані енергосистеми
Надійність			
Локалізація і відключення пошкодженої ділянки, відновлення енергоживлення	резервована серверна платформа для промислових користувачів	для енергокомпаній та селищ	ізольовані енергосистем одного споживача та енергосистеми громадського використання
Моніторинг технічногстану обладнання	енергоресурси промислових підприємств та резервовані серверні платформи для моніторингу систем	для енергокомпаній, селищ та агрегаторів	«Те ж»
Виділення генератоорів як балансуюче навантаження	енергоресурси промислових підприємств та резервовані серверні платформи для моніторингу систем	-	«»
Виділення генератоорів на автономну роботута повторнасинхронізція ззовнішньою мережею післяаварії	енергоресурси промислових підприємств та резервован серверні платформи для моніторингу систем	для енергокомпаній та селищ	-
Оптимізація витрат			
Оптимізація розподілення навантаження між енергоресурсами	для всіх рівнів енергосистем споживачів	для енергокомпанії та селищ	«»

Оптимізація по кретерію скорочення енерговтрат	для будівель, будинків та промислових підприємств	Для підстанцій локального регулювання	«»
Керування за вартісним критерієм	промислові та підприємства проміжні станції	для енергокомпанії та селищ	-
Продаж електроенергії			
Оптимізація використання енергоресурсів для можливості продажу електроенергії	промислові підприємства та проміжні станції	Для селищ та агрегаторів	-
Якість електроенергії			
Координоване кервання напругоюта реактивною потужністю	для будівель і будинків	Енергокомпанії, їта підстанці локаотного регулювання селищ	«»
Керування частотою та активною (в потужністю ізольованому режимі)	для будівель, будинків промисловості тацентрів обробки даних	Енергокомпанії, підстанці їта локаотного регулювання селищ	«»
Додаткові можливості			
Можливість керування в ручному режимі	для всіх рівнів енергосистем споживачів	для всіх рівнів енергосистем споживачів	«»
Керування за графіком	для промисловості	для енергокомпаній та селищ	«»
Індивідуальна участь на ринку електроенергії	для промисловості	для енергокомпаній та селищ	«»
Участь на ринку електроенергії в якості агрегатора	для всіх рі енергосисте внів мспоживачів	для енергокомпаній та селищ	-
Дистанційн е налаштування	для всіх рі енергосисте внів мспоживачів	для всіх рівнів енергосистем споживачів	«»

3.3 Формування погодинних прогнозних графіків споживачів електричної енергії

Формування погодинних прогнозних графіків споживачів електричної енергії включає кілька ключових етапів, що охоплюють збір, аналіз та обробку даних. Початковим етапом є збір планових обсягів споживання електроенергії від споживачів портфелю постачальника на наступний розрахунковий період (див. рис. 3.4). Цей процес вимагає систематичного отримання інформації від підприємств, організацій або домогосподарств щодо їхніх прогнозованих потреб у електроенергії на певний період.

	A	B	C	D	E	F
1	**Назва споживача**	**Группа а/б**	**ОСР**	**Плановий обсяг кВт*год**	**Середнє історине споживання кВт*год**	**Очікуване споживання**
2	Споживач 1	а	ОСР №1	500	400	450
3	Споживач 2	б	ОСР №1	1 000	100	550
4	Споживач 3	а	ОСР №2	300 000	280 000	290000
5	Споживач 4	а	ОСР №2	30 000	35 000	32500
6	Споживач 5	а	ОСР №2	7 000	9 000	8000
7	Споживач 6	б	ОСР №2	109 283	109 000	109141,5
8	Споживач 7	б	ОСР №2	840 717	840 000	840358,5
9	Споживач 8	б	ОСР №2	25 000	50 000	37500
10	Споживач 9	б	ОСР №3	33 000	35 000	34000
11	Споживач 10	б	ОСР №4	1 000	2 000	1500
12	Споживач 11	б	ОСР №5	10 000	10 000	10000
13	Споживач 12	б	ОСР №5	300	500	400
14	Споживач 13	а	ОСР №5	25 000	25 000	25000
15	Споживач 14	а	ОСР №6	8 000	10 000	9000
16	Споживач 15	а	ОСР №6	20 000	20 000	20000
17			**Всього**	**1 410 800**	**1 426 000**	**1 418 400**

Рисунок. 3.4 – Планові обсяги споживання на наступний період

Наступний етап аналізу історичних даних споживання, де використовуються історичні дані про споживання за минулі періоди для кожного споживача (діапазон значень E2:E16). Цей аналіз дозволяє виявити тенденції та закономірності у споживанні електроенергії в різні періоди, враховуючи фактори, такі як сезонність, робочі та вихідні дні, святкові періоди та інші. Важливо враховувати достовірність інформації, яку надає споживач,

що є значущим репутаційним чинником, впливаючим на формування подальших прогнозів. Розумним рішенням є використовувати середнє значення між планованими обсягами споживача та середнім історичним споживанням. Це обґрунтовано тим, що відхилення від заявленого обсягу може мати як позитивний, так і негативний характер. Врахування середнього значення дозволяє знизити можливий небаланс, особливо у випадку, коли споживач надає недостовірні або змінюючіся дані. Такий підхід сприяє стабільній та достовірній оцінці обсягів споживання електроенергії, забезпечуючи більш точні та надійні прогнози.

Після аналізу історичних даних проводиться профілювання погодинного графіку споживання Операторів Систем Розподілу (ОСР). На цьому етапі враховуються отримані планові обсяги закупівель, які служать основою для формування прогнозованого погодинного графіку. Зазвичай дані від ОСР щодо графіків споживання в минулі періоди включають погодинні графіки групи «Б», що є типовим графіком для кожного ОСР, а також погодинні графіки групи «А», які мають унікальні характеристики для кожного споживача.

Для здійснення прогнозу необхідно розрахувати планові коефіцієнти для кожної години доби, враховуючи розділення часу два періоди: робочі та вихідні дні. Коефіцієнт для робочого дня обчислюється як середнє значення години t_n для кожного робочого дня n_n, що призводить до отримання прогнозованого обсягу споживання для кожної години $t_{прог.}$, записаної у стовпці AG (див. рис. 3.5).

	A	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
1	Робочі дні	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Середній обсяг	Коф.
2	1	9150	9328	9412	9576	9698			10431	11398	12086	12037	11317			11042	12249	12706	12873	12779			11548	11639	11863	12100	11824			10955	11092	11 231,95	0,00107048
3	2	8094	8249	8284	8437	8549			9221	10071	10761	10658	9970			9801	10822	11214	11433	11346			10198	10319	10603	10758	10509			9831	10019	9 965,77	0,00094980
4	3	7490	7713	7760	7831	7933			8510	9404	9970	9799	9203			9034	10038	10396	10574	10462			9316	9534	9709	9821	9716			9246	9360	9 223,59	0,00087907
5	4	7250	7452	7512	7562	7676			8214	9096	9631	9483	8865			8766	9730	10077	10254	10099			8932	9253	9355	9605	9323			9017	9098	8 920,45	0,00085018
6	5	7315	7492	7478	7609	7682			8213	9116	9658	9495	8870			8759	9754	10116	10301	10104			8977	9273	9356	9547	9360			9115	9231	8 946,41	0,00085265
7	6	8020	8190	8168	8274	8347			8984	9827	10437	10219	9551			9482	10467	10907	11039	10836			9634	9893	10020	10136	9985			9891	10044	9 656,86	0,00092036
8	7	10002	10293	10313	10451	10476			11186	12084	12688	12450	11654			11729	12775	13277	13394	12979			11709	11955	12085	12143	11985			12330	12351	11 832,23	0,00112769
9	8	12857	13210	13193	13356	13231			14244	15213	16090	15552	14589			14860	15964	16512	16630	15892			14381	14694	14874	14734	14502			15505	15462	14 797,95	0,00141034
10	9	14499	14806	14793	14944	14927			16149	17282	18103	17426	16555			17118	18136	18716	18844	18048			16644	16964	17321	16902	16647			17285	17316	16 791,95	0,00160038
11	10	15369	15550	15570	15738	15818			17391	18583	19226	18429	17551			18725	19361	20001	20281	19518			17998	18261	19131	18362	17881			18316	18085	17 961,14	0,00171181
12	11	15605	15555	15667	15781	15877			17759	18761	19317	18557	17933			19230	19689	19974	20442	19834			18415	18354	19858	18713	18165			18490	17959	18 178,86	0,00173256
13	12	15488	15414	15464	15539	15652			17680	18350	18917	18240	17733			19129	19304	19585	19945	19825			18294	18123	20029	18472	17923			18154	17696	17 952,55	0,00171099
14	13	15206	15121	15274	15247	15320			17384	17960	18395	17561	17239			18575	18830	18975	19334	19428			17955	17668	19922	18028	17488			17625	17194	17 533,14	0,00167102
15	14	15251	15143	15278	15211	15317			17296	17813	18164	17311	17037			18497	18551	19048	18958	19278			17844	17580	19766	17907	17316			17423	17002	17 408,68	0,00165916
16	15	15082	15060	15204	15127	15145			17097	17855	17912	16986	16735			18411	18265	18934	18692	18958			17468	17220	19487	17634	17018			17169	16721	17 190,00	0,00163832
17	16	14934	14892	15040	14914	14937			16789	17606	17624	16629	16376			18328	17930	18593	18428	18502			17164	16911	19270	17397	16679			16835	16587	16 925,68	0,00161313
18	17	14775	14787	14955	14811	14793			16757	17346	17336	16458	16124			18419	17357	18387	18163	18153			17103	16824	19081	17429	16586			17250	16993	16 813,05	0,00160239
19	18	14653	14701	14869	14802	14824			16811	17334	17413	16478	16029			18428	17522	18476	18252	18157			17108	16965	18969	17533	16787			18224	18066	16 927,32	0,00161328
20	19	15082	15153	15388	15410	15374			17659	18220	18497	17377	16922			19133	18952	19496	19531	18922			18168	18298	19410	18486	17853			18406	18312	17 729,50	0,00168974
21	20	16230	16403	16585	16624	16290			18697	19578	19651	18499	17799			19759	19919	20300	20209	19095			18727	18786	19408	18679	17883			18190	18033	18 424,73	0,00175600
22	21	15893	16166	16236	16334	15881			18376	19387	19507	18335	17448			19380	19715	19985	19803	18449			18184	18378	18763	18105	17266			17533	17469	18 026,95	0,00171809
23	22	14799	15019	15148	15205	14830			17361	18408	18486	17228	16544			18304	18834	19007	18782	17358			17155	17398	17656	17139	16267			16459	16468	16 993,41	0,00161958
24	23	12947	13126	13326	13342	13196			15445	16454	16479	15417	14982			16418	16982	17128	16852	15742			15370	15604	15876	15541	14828			14710	14644	15 198,14	0,00144848
25	24	11004	11170	11302	11439	11468			13301	14183	14215	13271	13208			14216	14826	15005	14783	14073			13470	13692	13983	13741	13319			12812	12919	13 245,45	0,00126238

Рисунок. 3.5 – Прорахунок коєфіцієнтів для профілю робочого дня

Наступним кроком проводиться розрахунок уявного місячного обсягу споживання $V_{уяв.}$ (рис. 3.6), який буде використовуватися для подальшого визначення профілю місяця з урахуванням кількості робочих і вихідних днів.

Дата	Місяць	Днів	Роб. Днів	Вих. Днів
01.12.2023	грудень	31	21	10
Умовний місячний обсяг споживання				10 492 464,56

Рисунок. 3.6 – Уявний місячний обсяг

Коєфіцєнт k_n розраховується як $\frac{t_{прог.}}{V_{уяв.}}$:

$$k_n = \frac{t_{прог.}}{\sum_{t24роб.}^{t1роб.} \cdot D_{роб.} + \sum_{t24вих.}^{t1вих.} \cdot D_{вих.}} \quad (3.1)$$

Після проведення розрахунків погодинних коефіцієнтів для кожної години доби (рис. 3.5, діапазон значень AH2:AH25), переходимо до детального розкладання місячного обсягу кожного окремого споживача на 744 години, для місяця з 31-м днем.

	C	D	E	F
1			Споживач 7	
2	Година	Коєфіцієнти	Погодинний обсяг МВт*год	840,717
3	1	0,00107048		0,900000
4	2	0,00094980	=F2*D3	0,799000
5	3	0,00087907	0,739047	0,739000
6	4	0,00085018	0,714758	0,715000
7	5	0,00085265	0,716838	0,717000
8	6	0,00092036	0,773764	0,774000
9	7	0,00112769	0,948067	0,948000
10	8	0,00141034	1,185698	1,186000
11	9	0,00160038	1,345469	1,345000
12	10	0,00171181	1,439150	1,439000
13	11	0,00173256	1,456596	1,457000
14	12	0,00171099	1,438462	1,438000
15	13	0,00167102	1,404856	1,405000
16	14	0,00165916	1,394884	1,395000
17	15	0,00163832	1,377362	1,377000
18	16	0,00161313	1,356184	1,356000
19	17	0,00160239	1,347159	1,347000
20	18	0,00161328	1,356315	1,356000
21	19	0,00168974	1,420590	1,421000
22	20	0,00175600	1,476296	1,476000
23	21	0,00171809	1,444424	1,444000
24	22	0,00161958	1,361610	1,362000
25	23	0,00144848	1,217763	1,218000
26	24	0,00126238	1,061302	1,061000

Рисунок. 3.6 – Прорахунок осбягів для споживача № 7

Для отримання кінцевого планованого обсягу споживання необхідно помножити коефіцієнт kn на загальний місячний обсяг споживання F1.

Остаточні погодинні прогнозні графіки надають важливу інформацію для електропостачальників та енергетичних систем, дозволяючи їм ефективно планувати та управляти виробництвом та постачанням електроенергії, забезпечуючи стабільність та ефективність енергетичного ринку.

3.4 Використання ієрархічного кластерного аналізу

Починаючи з лютого 2022 року бойові дії спричинені повномасштабним вторгненням РФ мають широкий вплив на графіки споживання електричної енергії. З початку воєнних дій, щонайменше 85 разів було завдано ракетних ударів по енергетичній інфраструктурі [2], що призводили до відключень споживачів електричної енергії та відповідно мало суттєвий вплив на роботу пастильників,

Відповідно перед постачальниками постає потреба в вивчені впливу пошкодження енергетичної інфраструктури на графіки споживання

Метою дослідження є визначення можливості виокремлення змін в графіках споживання в результаті вражень об’єктів енергетичної інфраструктури.

Для проведення дослідження було проведено ієрархічну агломеративну кластеризацію, погодинних даних по одній з областей України для визначення змін в графіках споживання після здійснення ракетних обстрілів, як один з ефективних методів виявлення закономірностей споживання електричної енергії [3].

Для проведення дослідження було виконано комп’ютерне програмування

в інтерактивному середовищі Google Colabs, яка надає зручний інтерфейс для виконання коду на мові програмування Python. За допомогою сервісу було проведено ієрархічну агломеративну кластеризацію погодинних даних споживання в мережі одного с операторів системи розподілу за 4 місяці, з вересня по грудень 2022 року. Програмою було проаналізовано 5088 значень та визначено 4 кластерні групи.

```python
from sklearn.cluster import AgglomerativeClustering
import pandas as pd

i1 = 4   # Початкова кількість кластерів
i2 = 4   # Кінцева кількість кластерів

# Задаємо опції виведення для виведення всіх рядків
pd.set_option('display.max_rows', None)
pd.set_option('display.max_columns', None)
pd.set_option('display.width', None)
pd.set_option('display.max_colwidth', None)

x = p.to_numpy().reshape(-1, 5)  # (рядки, стовпці) Крок

def print_cluster(number):
    kmeans = AgglomerativeClustering(n_clusters=number).fit(x)
    Yhat = kmeans.fit_predict(x)

    # Отримання індексів елементів шостого кластеру
    # У Python індексація з 0, label = номеру кластера -1
    cluster_six_indices = [index for index, label in enumerate(Yhat) if label == 2]

    import matplotlib.pyplot as plt

    plt.figure(figsize=[20, 3])
    plt.plot(kmeans.fit_predict(x), '-rs')  # Діаграма з точками
    plt.show()

    # Виведення елементів n кластеру
    print(f"Елементи третього кластеру ({number} кластери):")
    print(p.iloc[cluster_six_indices])

while i1 <= i2:
    print_cluster(i1)
    i1 = i1 + 1

# Повертаємо обмеження виведення до стандартних значень
pd.reset_option('display.max_rows')
pd.reset_option('display.max_columns')
pd.reset_option('display.width')
pd.reset_option('display.max_colwidth')
```

Рисунок. 3.7 - Програмний код, що застосовується в рамках дослідження

Створення NumPy масиву для аналізу даних:

x = p.to_numpy().reshape(-1, 5)

У цьому рядку коду дані з колонки DataFrame p перетворюються на NumPy масив та змінюють форму, розбиваючи дані на групи по 5 елементів.

Створення об'єкту AgglomerativeClustering та кластеризація:

kmeans = AgglomerativeClustering(n_clusters=number).fit(x)

Створюється об'єкт методу агломеративної кластеризації з 4 кластерами, і цей метод застосовується до даних x.

Отримання міток кластерів:

Yhat = kmeans.fit_predict(x)

Мітки кластерів отримуються за допомогою методу fit_predict для кластеризованих даних x.

Побудова графіка з використанням бібліотеки Matplotlib:

```
plt.figure(figsize=[20, 3])
plt.plot(kmeans.fit_predict(x), '-rs')
plt.show()
```

Здійснюється імпорт бібліотеки Matplotlib, після чого будується графік, який відображає результати кластеризації. Кожна точка на графіку представляє образець з набору даних. Точки відображають приналежність до різних кластерів, які були сформовані методом агломеративної кластеризації.

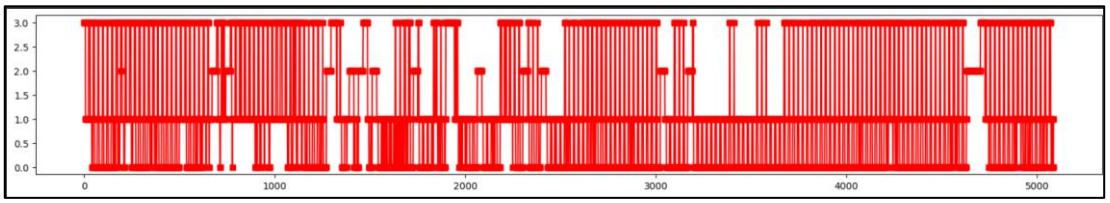


Рисунок. 3.7 – Лінійний графік відображення розподілу даних між кластерними групами

В кластерну групу №3, за результатами проведеного дослідження, було відібрано 7 діб: 31.10.2022, 23-24.11.2022,16.12.2022, 19-21.12.2022. Відповідно до даних з відкритих джерел саме в ці дні в мережі ОСР застосовувались масові відключення споживачів електричної енергії через враження об’єктів енергетичної інфраструктури.

Таким чином, отримані результати дослідження можуть бути застосовані для вивчення особливостей в змінах графіків споживання електричної енергії в регіонах що зазнали ракетних обстрілів та подальшого застосування при розробці прогнозів погодинного споживання для оптимізаційних моделей прийняття рішень постачальниками електричної енергії.

3.5 Перевірка достовірності результатів

Виконання перевірки результатів здійснюється шляхом комплексного порівняння та аналізу отриманих даних погодиного споживання з системи управління ринком ММС. Під час цього процесу ретельно порівнюються інформація, що надається електропостачальнику у Д+1 (доба наступна після доби постачання) від ОСР, та прогнозовані погодинні графіки споживання.

Порівняння даних полягає в оцінці відповідності фактичних обсягів споживання електроенергії запланованим значенням. Результати такого порівняння визначають ступінь точності прогнозу та дозволяють ідентифікувати можливі розбіжності чи аномалії. Помилка прогнозування на один крок вперед в момент часу t дорівнює:

$$e_t = X_t - \mathrm{P}_t, \qquad (3.2)$$

де X_t – значення вхідної послідовності в момент часу t, P_t – прогноз на момент часу t.

Аналіз охоплює виявлення та уточнення причин відхилень між фактичними та прогнозованими показниками. Цей процес допомагає визначити фактори, які можуть впливати на точність прогнозу та вдосконалити методи прогнозування електропотреби.

На рисунку 3.8 відображено результати прогнозування обсягу споживання, зокрема, стовпець C3:C33 ілюструє загальні подобові фактичні спожиті обсяги. Зазначені дані розкривають особливості та динаміку електропотреби протягом місяця.

	Дата	Споживання	Прогноз	Небаланс -	Небаланс +	Небаланс %
3	01.12.2023	481 500	462 014	-19 486	0	-4,05%
4	02.12.2023	466 530	443 748	-22 782	0	-4,88%
5	03.12.2023	443 495	443 748	0	253	0,06%
6	04.12.2023	467 111	436 599	-30 512	0	-6,53%
7	05.12.2023	468 559	436 599	-31 960	0	-6,82%
8	06.12.2023	470 688	436 599	-34 089	0	-7,24%
9	07.12.2023	491 600	457 131	-34 469	0	-7,01%
10	08.12.2023	477 105	457 131	-19 974	0	-4,19%
11	09.12.2023	447 723	464 514	0	16 791	3,75%
12	10.12.2023	451 200	464 514	0	13 314	2,95%
13	11.12.2023	494 621	484 648	-9 973	0	-2,02%
14	12.12.2023	504 655	509 662	0	5 007	0,99%
15	13.12.2023	512 645	509 662	-2 983	0	-0,58%
16	14.12.2023	495 180	509 662	0	14 482	2,92%
17	15.12.2023	504 577	509 662	0	5 085	1,01%
18	16.12.2023	470 409	463 962	-6 447	0	-1,37%
19	17.12.2023	457 215	463 962	0	6 747	1,48%
20	18.12.2023	455 217	484 677	0	29 460	6,47%
21	19.12.2023	458 580	484 677	0	26 097	5,69%
22	20.12.2023	454 970	490 794	0	35 824	7,87%
23	21.12.2023	438 403	473 807	0	35 404	8,08%
24	22.12.2023	455 339	461 807	0	6 468	1,42%
25	23.12.2023	449 035	441 088	-7 947	0	-1,77%
26	24.12.2023	414 774	409 235	-5 539	0	-1,34%
27	25.12.2023	417 980	426 767	0	8 787	2,10%
28	26.12.2023	410 248	431 924	0	21 676	5,28%
29	27.12.2023	434 023	431 924	-2 099	0	-0,48%
30	28.12.2023	430 408	431 924	0	1 516	0,35%
31	29.12.2023	442 389	431 924	-10 465	0	-2,37%
32	30.12.2023	455 400	411 840	-43 560	0	-9,57%
33	31.12.2023	427 710	411 840	-15 870	0	-3,71%
34	Всього:	14 249 291	14 178 045	-298 156	226 911	3,68%

Рисунок. 3.8 - Результати прогнозування погодинних графіків споживання на грудень 2023 року

Особлива увага приділяється аналізу першої декади місяця, де відзначаються значущі обсяги небалансу.

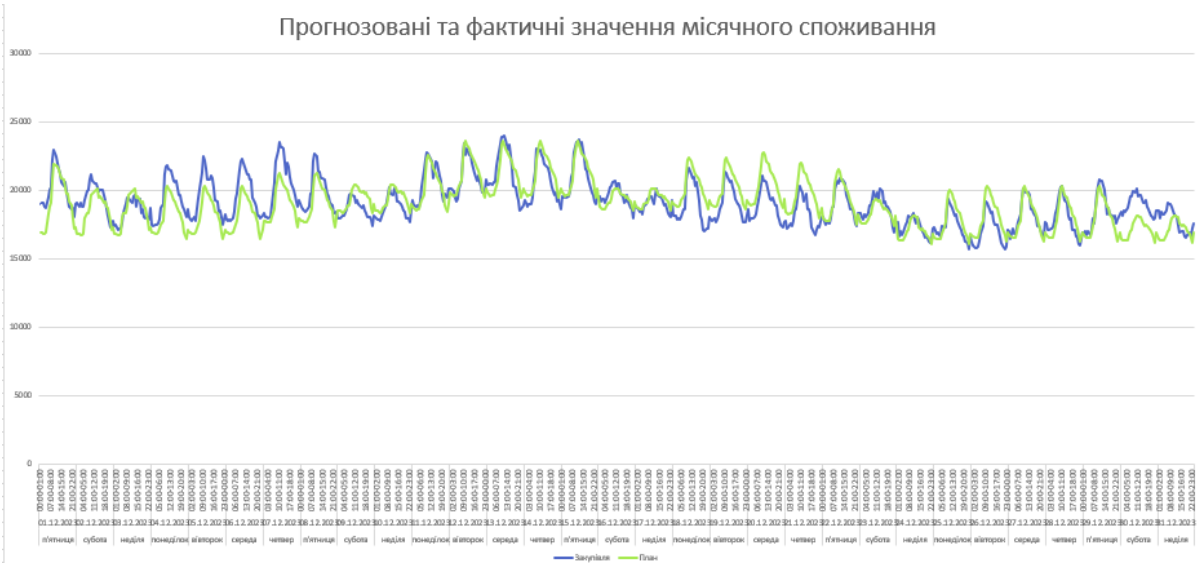


Рисунок. 3.9 - Діаграма порівняння прогнозованого та фактичного споживання за грудень 2023 року споживачів постачальника «Х»

Врафік свідчить про виявлені розбіжності між фактичним споживанням та попередніми прогнозами. Зазначені відхилення є наслідком отримання недостовірних обсягів планового споживання, які споживачем подані перед початком періоду постачання. Важливо відзначити, що обсяги небалансу мають суттєвий вплив на фінансові показники будь-якого постачальника, підкреслюючи необхідність точності та достовірності інформації щодо планованого споживання для забезпечення ефективного управління електроенергетичним портфелем.

Загальний обсяг споживання, представлений як сума споживання брупи А та групи Б, розкриває динаміку електропостачання на щоденній основі. Окремо вказані обсяги закупівлі електроенергії та небаланси, що вказують на різницю між фактичним споживанням та запланованими обсягами.

Динаміка негативного та позитивного відхилення вказує на те, що деякі дні перевищують прогнозовані обсяги, тоді як інші залишаються під ними. Важливим критерієм точності прогнозу є відсоткове відхилення, яке в даному випадку становить 3,68% обсягів небалансів від факту споживання, що свідчить про загальну невелику похибку в прогнозуванні.

Аналізуючи динаміку небалансу протягом місяця, можна виявити систематичні тенденції та визначити, чи є певні дні, коли прогноз є найменш точним. Це може вказати на потребу у виправленні моделі або уточненні даних.

Важливим етапом є також вивчення статистичних показників, які дозволяють об'єктивно оцінити точність моделі прогнозу та надати рекомендації для її подальшого вдосконалення.

Цей аналіз слугує основою для розуміння ефективності прогнозу та визначення шляхів його вдосконалення з метою досягнення максимальної достовірності в подальшому.

Висновок до 3 розділу

Вісвітлино практичну реалізацію задач, пов'язаних з управлінням попиту на рівні постачальника електричної енергії. Однією з ключових вирішених задач було оптимізовано розподіл економічного портфелю електропостачальника, що дозволило ефективно управляти фінансовими ресурсами та підвищити економічну стійкість.

У другому підрозділі проведено аналіз погодинних графіків різних груп споживачів, що надало глибоке розуміння їхнього споживання та динаміки в різні періоди.

Третій підрозділ присвячено формуванню погодинних прогнозних графіків споживачів електричної енергії. Власна методика складання прогнозу визначила принципи прогнозування, що дозволило ефективно передбачати споживання енергії в різні періоди часу.

Четвертий підрозділ описує використання ієрархічного кластерного аналізу для оцінки впливу обстрілів енергетичного сектору України на споживання електроенергії. Це дозволило ефективно реагувати на непередбачені ситуації та підтримувати стійкість системи.

Висновки результатів прогнозування підкреслили ефективність застосованих методик, де обсяг небалансів становив лише 3,68%. Це свідчить про високу точність та надійність розроблених моделей, що є важливим кроком удосконалення системи управління попитом на електроенергію та забезпечення ефективного функціонування енергетичного ринку.

РОЗДІЛ 4 СТАРТАП ЗІ СТВОРЕННЯ БІЗНЕС МОДЕЛІ

Розвиток стартапів та їх трансформація у вдалий бізнес відіграє ключову роль у розвитку національної економіки, формуванні інтелектуального потенціалу країни, який становить фундамент для подальшого економічного прогресу. Важливим аспектом успіху є розуміння інновацій як основи для сталого розвитку держави. Тим не менш, процес створення та виведення на ринок стартап-проектів несе в собі значний ризик, і, за даними різних досліджень, тільки близько 10-20% із них досягають комерційного успіху. Самі по собі ідеї стартапів не мають значної вартості без їх інтеграції в практичну бізнес-модель. Основне завдання проектного менеджера на початкових етапах розвитку стартапу полягає у переосмисленні та адаптації ідеї проекту до реальних умов бізнесу, що включає розробку концепції продукту або послуги, спрямованої на конкретну цільову аудиторію в рамках поточної ринкової ситуації.

Поява Інтернету полегшила пошук споживачів та інвесторів, пошук ресурсів і перетин кордонів між ринками в різних країнах. Мобільність, гнучкість і велика кількість стартап-проектів збільшили загальну кількість інноваційних ідей.

Механізмом успішного розвитку стартапів є взаємодія сукупності фінансових, інтелектуальних, інформаційних ресурсів, організаційних структур, специфічних форм і методів, які впливають на інвестиційний процес в інтересах розвитку малих підприємств. формується навмисно, включаючи його наслідки. Інноваційна компанія. Активний розвиток інноваційних стартап-компаній відбувався в умовах нового технологічного укладу переходу від індустріального суспільства до інформаційного суспільства, що призвело до підвищення ролі особистісних факторів, знань та інформації.

4.1 Опис ідеї стартапу

Однією з помітних викликів у секторі енергопостачання України є затримка у впровадженні передових технологій, обладнання та інструментів для ефективної та безпечної роботи електричних мереж порівняно з розвиненими енергетичними країнами. Ключовим елементом в цьому контексті є роль активного споживача, який впливає на енергетичний ринок через свої дії та реакції, спрямовані на оптимізацію витрат і збільшення доходів, як особистих, так і колективних. Ефективне використання цього потенціалу можливе шляхом інтеграції систем обліку, контролю та управління навантаженнями, а також через акумулювання енергії у точках споживання та інтеграцію джерел розподіленої генерації малої потужності в мережу споживачів. Для досягнення максимальної ефективності від інтеграції активних споживачів критично важливою є оптимізація їх робочих режимів, що дозволить регулювати їхню діяльність більш ефективно.

Основна мета проекту полягає у розробці та впровадженні системи, яка сприятиме оптимізації споживання електроенергії та енергозбереженню, тим самим забезпечуючи більш ефективне та обдумане використання ресурсів. У рамках маркетингового дослідження визначаються ключові характеристики проекту, а також розглядаються основні напрямки застосування пропонованого рішення і його переваги в порівнянні з конкуруючими пропозиціями. Аналіз ринку дозволяє виявити потенціал для впровадження нової послуги та розробити стратегію її ринкового запуску в рамках заданого проекту.

Детальний опис концепції, способів застосування та переваг для споживачів викладено у Таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї: створення системи керування роботою споживачів на основі прогнозу попиту на електроенергію.	1. Інформаційні технології	Онлайн система моніторингу
	2. Автономні та локальні об’єкти	Можливість працювати автономному режимі
	3. Аварійний режим	Забезпечення енергоспоживанням найбільш відповідальним навантаженням
	4. Планування роботи навантажень	Можливість надання витрати на електроенергію за рахунок планування роботи навантажень

4.1.1.Унікальність та інноваційність ідеї

Ідея створення системи керування роботою споживачів на основі прогнозу попиту на електроенергію не являється новою. Унікальність та іноваційність даної ідеї полягає в новітніх технологіях та засобах прогнозування енергоспоживанням.

Таблиця 4.2 - Перелік необхідних технологій та засобів.

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

Управлінські системи представляють собою комплексні інформаційно-керуючі механізми, які спрямовані на синхронізацію управління децентралізованими енергетичними ресурсами, інструментами контролю режимів та конфігурацій енергомереж, а також місцевими системами регулювання навантаження. Були розроблені та проаналізовані різні сценарії застосування таких систем.

Для зручності оцінки сильних та слабких сторін, а також нейтральних аспектів ідеї проекту, була складена таблиця 4.3.

Таблиця 4.3 - Оцінка сильних та слабких сторін

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент3			
1.	Система збору даних	Збір та збереження статистичних даних	Збір та збереження статистичних даних	Збір та збереження статистичних даних	Збір та збереження статистичних даних		+	
2.	Прогнозування енергоспоживання	Прогноз на базі нейронної мережі з попередньою фільтрацією часового ряду	Прогноз на базі нейронної мережі	Прогноз на базі авторегресійної моделі	Прогноз на базі нейронної мережі			+
3.	Керування навантаженнями на основі прогнозу	Можливість персонально налаштувати процес керування або автоматично	Автоматичне керування	Напівавтоматичне керування	Автоматичне керування		+	
4.	Система заохочень	Система заохочень використання системи	Не має	Не має	Доповнюються відповідно до налаштування користувача			+

Як випливає з даних, представлених у таблиці, початкові етапи впровадження проекту не потребують зовнішнього фінансування, такого як інвестиції або кредити. У разі успішного пошуку фінансової підтримки від інвесторів або відкриття кредитних можливостей, подальше продовження проекту буде реалізовано.

4.2 Аналіз конкурентних програмних продуктів

Ініціатива з реагування на попит у сфері енергоспоживання відкриває для кінцевих споживачів можливості активної участі у ринкових процесах шляхом адаптації їхнього енергоспоживання відповідно до поточної ситуації на ринку електроенергії.

Ця програма енергоефективності спрямована на впровадження в підприємствах передових технологій та обладнання, які сприяють зниженню енергетичної інтенсивності та переходу на інноваційні процеси та використання джерел розподіленої генерації енергії.

Керування навантаженням дозволяє споживачам оптимізувати свій графік споживання енергії та отримувати винагороди за зменшення споживання або за готовність до таких дій.

Нерівномірність попиту на електроенергію від споживачів є постійною характеристикою, незалежно від обраної моделі ринку, і проявляється у зміні попиту впродовж дня, тижня, сезону чи року.

У цьому дослідженні акцентується увага на стратегії управління попитом, що включає стимулювання споживачів до балансування навантажень в енергосистемах. Цей підхід є важливим в умовах, де спостерігається значна нерівномірність у використанні електроенергії протягом дня, тижня або різних сезонів року.

Балансування електричного навантаження веде до зменшення необхідності у використанні маневрових електростанцій, економії паливно-енергетичних ресурсів та зниження втрат електроенергії.

Для ілюстрації потенційної економії енергії розглядається приклад побутової поведінки споживачів. В домогосподарствах, особливо енергоємними є холодильники та кондиціонери повітря. Наприклад, звичайний холодильник об'ємом 190-200 літрів без енергетичного рейтингу використовує приблизно 1,33 кВт·год на добу (близько 486 кВт·год на рік), тоді як холодильник з високою енергоефективністю та 4-зірковим рейтингом

(наприклад, виробництва LG) споживає близько 0,88 кВт·год (320 кВт·год на рік). Використання такого енергоефективного холодильника може забезпечити економію електроенергії до 166 кВт·год щорічно.

Дослідження виявило, що стандартний кондиціонер без енергетичного рейтингу з потужністю 1,5 тони та спліт-системою має середнє споживання близько 2,512 кВт·год. У порівнянні, сучасні енергоефективні кондиціонери з 4, 3 та 2 зірками енергетичного рейтингу (прикладом можуть слугувати моделі від LG) витрачають в середньому лише 1,78, 1,88 та 2,024 кВт·год відповідно. Використання кондиціонера з 4-зірковим рейтингом забезпечує значну економію енергії до 311 кВт·год на рік у порівнянні з моделями з 2 зірками.

Аналіз капіталовкладень та ефективності витрат показує схожі результати для холодильників і кондиціонерів у житлових та комерційних умовах. Однак час експлуатації обладнання різниться, як це видно з таблиці 4.4.

Впровадження заходів з підвищення енергоефективності приносить користь як окремим споживачам, так і суспільству в цілому. Для споживачів, зокрема, переваги полягають у економії використання електроенергії та зменшенні ризику перебоїв у енергопостачанні.

Важливо оцінити загальну економію енергії (у ГВт·год) і зниження пікового навантаження (у МВт) за весь період служби кожного впровадженого енергозберігаючого заходу.

Таблиця 4.4– Оцінка енергозберігаючого обладнання

Показник	Житловий сектор				Комерційний сектор			
	Кондиціонер		Холодильник		Кондиціонер		Холодильник	
	2*	4*	Без*	4*	2*	4*	Без*	4*
Потужність, Вт	2024	1785	147	97	2024	1785	147	97
Життєвий цикл, р	10	10	15	15	10	10	15	15
Використання, год/рік	1260	1260	3300	3300	1800	1800	3300	3300
Щорічне споживання	2554	2243	486	320	3648	3205	486	320

4.2.1 Огляд існуючих програмних продуктів у сфері управління попитом на електричну енергію

В наукових джерелах часто зустрічаються терміни, такі як управління навантаженнями (LM), управління з боку попиту (DSM) та реакція на попит (DR), які використовуються для опису різноманітних інноваційних проектів у сфері енергетики. Ці проекти з управління навантаженням можуть включати в себе заходи як встановлення енергоефективного обладнання, регулювання навантаження, зсув навантаження, зниження пікових навантажень, вирівнювання провалів навантаження, а також застосування технологій децентралізованої генерації та зберігання енергії.

Методи управління навантаженням можна класифікувати на дві категорії: прямі та непрямі. У рамках прямих програм, енергетичні компанії мають змогу безпосередньо контролювати обладнання споживачів за попередньою домовленістю. У випадку непрямих програм, рішення про участь у програмі приймається споживачами і при позитивному виборі, вони користуються певними перевагами. Різні методики управління навантаженням детально ілюстровані на схемі, представленій на рисунку 4.1.

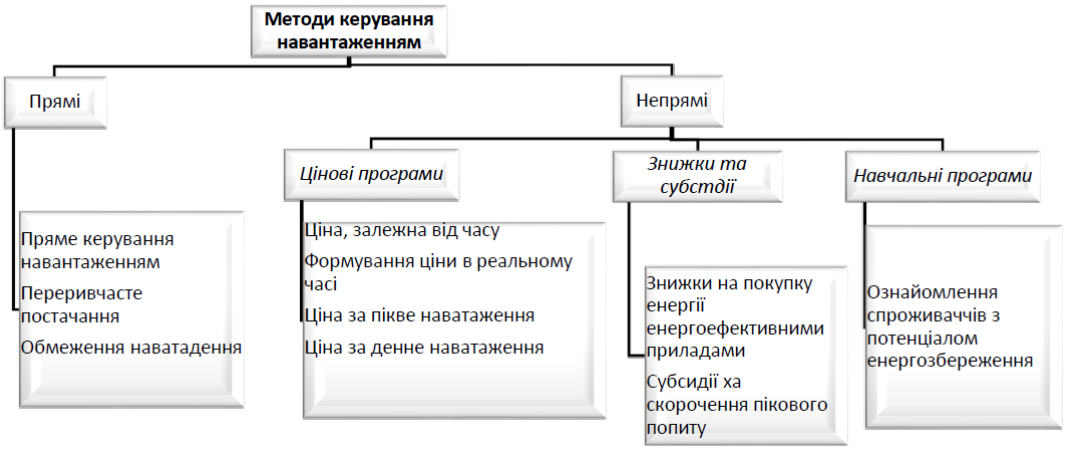


Рисунок 4.1 – Класифікація методів керування навантаженням

Пряме управління навантаженням включає дистанційне управління обладнанням споживачів для регулювання їх роботи в періоди пікового споживання або під час критичних ситуацій. Побутові пристрої, такі як водонагрівачі, насоси для басейнів, кондиціонери, пральні та посудомийні машини, є типовими прикладами обладнання, яке регулюється у житлових просторах.

Пільгові тарифи є одним із методів ціноутворення, який надає споживачам стимул для зниження споживання електроенергії під час пікових навантажень або в надзвичайних ситуаціях. Такі програми вимагають укладення договору між енергокомпанією та споживачем для визначення параметрів переривання навантаження. Використання обмежувачів попиту або систем віддаленого сповіщення допомагає у зменшенні загального навантаження.

Програми обмеження навантаження зазвичай пропонують фінансові інцентиви або знижені тарифи в обмін на обмеження максимального попиту на електроенергію в моменти, коли в енергосистемі виникає дисбаланс. Цей підхід особливо ефективний для великих промислових споживачів.

У контексті управління попитом на електроенергію, існує кілька ключових тарифних стратегій, які застосовуються для мотивації споживачів до оптимізації їх споживання. Основні з них включають:

Варіабельні тарифи, що базуються на часі доби: Ціни на електроенергію різняться у залежності від часу споживання - день, ніч, вихідні дні, сезонні періоди. Ціни зафіксовані для певних часових вікон.

Тарифи, що базуються на реальному часі: Ціни можуть змінюватися кожну годину, адаптуючись до поточних витрат на електроенергію.

Диференційовані ціни під час пікових навантажень: Цей підхід передбачає вищі тарифи під час пікових періодів, які визначаються заздалегідь.

Цілодобовий піковий тариф: Ціни підвищуються на цілий день, який визначається заздалегідь як піковий.

Тарифи для екстремальних пікових періодів: Ціни підвищуються під час особливо високих пікових періодів, які відбуваються протягом окремих днів, з фіксованими ставками для інших часових періодів.

Також існують програми, що пропонують знижки та субсидії як стимул для споживачів інвестувати в енергоефективне обладнання чи брати участь у програмах зниження попиту. Едукативні ініціативи направлені на підвищення свідомості споживачів про доступні програми управління навантаженням і їхні переваги.

На рисунку 4.3 представлені різні типи прямих ініціатив, які також можна розглядати як програми стимулювання. Ці ініціативи залежать від заохочень, які пропонуються споживачам, і базуються на договорах, розроблених операторами енергомереж та комунальними компаніями. Участь у цих програмах є добровільною, але несумлінне виконання зобов'язань може призвести до пенальті.

Цінові програми можуть бути імплементовані непрямо, маючи на меті відображення вартості виробництва електроенергії. Вибір участі в цих програмах залежить від споживачів. Вони можуть змінювати своє споживання електроенергії відповідно до змін у цінах, керуючись власними економічними розрахунками.

Існує шість основних стратегій управління попитом на електроенергію, кожна з яких впливає на зміну навантажувальних профілів:

1. Зниження пікового навантаження
2. Вирівнювання падінь навантаження
3. Перенесення навантаження у часі
4. Загальне зниження споживання енергії
5. Загальне збільшення навантаження
6. Впровадження адаптивного графіка навантаження.

4.2.2 Визначення конкурентних переваг пропонованого стартапу

Концепція розробки системи для управління активністю споживачів, яка базується на прогнозуванні попиту на електроенергію, не є новітньою. Однак, інноваційність цієї ідеї криється в розробці передової системи прогнозування споживання енергії.

Системи управління представляють собою комплексні інформаційно-керуючі механізми, здатні забезпечувати гармонійне управління розподіленими енергетичними ресурсами, інструментарієм для контролю режиму роботи та конфігурації енергомереж, а також місцевими установками для управління навантаженням. Розробка різноманітних сценаріїв використання таких систем є ключовим аспектом цього підходу.

Таблиця 4.5-Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: чиста	В кого краще - в того купують	Покращення товару та сфери обслуговування
2. За рівнем конкурентної боротьби: локальна	Належить до енергетичного ринку збуту;	Розширення функціоналу та орієнтації користувачів
3. За галузевою ознакою: міжгалузева	Притаманна різним галузям застосування;	Розширення функціоналу та галузей застосування
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова та товарно-видова	Належить до систем прогнозування та керування	Розширення фукціоналу пристрою
5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Чим дешевше – тим привабливіше; Чим краще – тим рентабельніше;	Покращення цінової політики та якості товару
6. За інтенсивністю: не марочна	Не жорстка конкуренція	Агресивні та не агресивні форми піару

4.3 Комерціалізація методики прогнозування

Оцінка ринкового потенціалу та можливостей для входу на ринок передбачає глибокий аналіз попиту на продукт або послугу. Ключові результати цього аналізу були узагальнені та представлені у вигляді таблиці 4.6. Ця таблиця містить детальну інформацію, що відображає поточні тенденції та попит на ринку, що є важливим для визначення стратегії входу на ринок та подальшого розвитку проекту.

Таблиця 4.6 Попередня характеристика потенційного ринку startup-проекту

п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	Кількість головних гравців, од	100
	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	700
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутність масового виробника
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	31

4.3.1 Визначення потенційних ринків та клієнтів для стартапу

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту наведено в табл. 4.7

Таблиця характеристика потенційних клієнтів Таблиця 4.7

п / п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	Кількість головних гравців, од	100
	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	700
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутність масового виробника
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	31

4.3.2 Розробка стратегії комерціалізації та бізнес-моделі

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки наведено в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 - Базова стратегія конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	З погляду аналізатора – ні, з погляду прогнозного керування– так	Буде шукати нових розширяючі функціонал і потенціал продукту, а також існуючі клієнти у конкурентів самовільно будуть використовувати більш кращій продукт	Ні, не буде, так як це зменшить клієнтську базу	Помірна, місцями агресивна

4.4 Пошук цільової аудиторії

Таблиця 4.9 – Цільова аудиторія

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в точному прогнозі енергоспоживання. Планування роботи генераторів. Оптимізація енергоспоживання.	Регіони з критичними потребами резервного постачання та регіони з несприятливим кліматом віддалені регіони	Робота в аварійних та безаварійних режимах. Робота в автномному режимі.	до продукції: точність; надійність; дешевизна; якість; до компанії-постачальника: точність; брендінг та відомість; гарантійність;

4.4.1 Розробка маркетингових стратегій для залучення цільової аудиторії

Розроблення маркетингової програми стартап-проекту наведено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Маркетингова стратегія.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити
1	«Тримати руку на пульсі»; «Бути у тренді»; Прогнозування попиту, керування навантаженнями	Економія енергоносіїв	Створення надійного бренду; Постійний розвиток та апгрейд системи та компанії у всіх напрямках; Заняття усіх можливих ніш у енергетичній галузі для створення монополії; Дотримуватися схеми ціна – якість.

4.5 Формування комерційної пропозиції

Таблиця 4.11 – Комерційна пропозиція

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Задоволення потреб, планування та керування роботою споживачів, отримання рекомендацій на основі прогнозу	Збут товару та задоволення запитуваних потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Власна
2		Збут та реклама товару та задоволення запитуваних потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Залучена

4.5.1 Опис основних характеристик та переваг продукту

Таблиця 4.11 SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Система збору даних; Прогноз енергоспоживання; Керування споживачами; Передобробка даних;	Слабкі сторони: Передобробка даних; Не захищені дані;
Можливості: Покращення безпомилковості інформації; Надійність захищеності інформації при її передачі;	Загрози: Передача інформації; Зберігання інформації; Захист інформації;

4.5.2 Розробка стратегії ціноутворення та продажу

В табл 4.12 можна побачити визначення меж встановлення ціни.

Таблиця 4.12 - Ціноутворення

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	130-150% від ціни нашого продукту	150-170% від ціни нашого продукту	20000 - 100000 грн зі 100 проданих од.	700/1500 грн

Висновок до 4 розділу

На основі проведеного аналітичного дослідження, розроблений проект демонструє потенціал для комерційної реалізації на ринку. Спостерігається зростаючий інтерес до продуктів подібного характеру, що збільшує можливості для їх розповсюдження серед споживачів. Однак це також створює конкурентний тиск у секторі, де динаміка ринку сприятлива для впровадження нового проекту.

Проект володіє значним потенціалом для втілення, зокрема завдяки потенційним цільовим групам клієнтів у регіонах зі специфічними потребами у резервному енергопостачанні та несприятливих кліматичних умовах. Основними бар'єрами для входження на ринок можуть стати відсутність виробничих потужностей для масового виробництва та інтенсивна конкуренція з боку великих виробників аналогічних товарів. Проте, за умови активної конкурентної стратегії, проект має всі шанси на успіх і можливість утвердити себе на ринку.

Враховуючи вищезгадані фактори, подальше впровадження проекту є обґрунтованим і обіцяє бути економічно вигідним.

ВИСНОВКИ

Було досліджено та розглянуто ключові аспекти управління попитом на електричну енергію з використанням сучасних методів математичного моделювання та прогнозування. Аналіз електроенергетичного ринку України в контексті сучасних тенденцій вказав на необхідність акцентування уваги на розвитку ефективних стратегій управління та планування, спрямованих на підвищення стабільності та оптимальної ефективності енергетичного сектору. Електропостачальник, виступаючи ключовим учасником ринку, відіграє важливу роль у вирішенні цих завдань.

Детальний аналіз сучасних підходів до математичного моделювання показав, що моделювання в енергетиці є потужним інструментом оптимізації, спрямованим на підвищення ефективності управління попитом на електричну енергію. Методи прогнозування, такі як економетричні моделі, стали важливим засобом передбачення попиту та розробки стратегій управління.

Особлива увага була приділена оцінці потенціалу споживачів для агрегації, що визначається як ключовий аспект у розвитку систем управління попитом. Ця оцінка відкриває нові можливості для підвищення ефективності управління та взаємодії між учасниками енергетичного ринку.

В рамках магістерської дисертації були успішно вирішені наступні задачі:

Здійснено комплексний аналіз питань, пов’язаних з функціонуванням ринку електричної енергії в Україні, з акцентом на аспекти забезпечення постачання. Вивчення ринкових умов та тенденцій дозволило ідентифікувати ключові виклики та можливості для оптимізації роботи енергосистеми.

Проведено дослідження правового регулювання в сфері управління

попитом на електричну енергію, зокрема, аналіз нормативно-правової бази та механізмів цінового регулювання. Цей аналіз сприяв кращому розумінню регуляторних рамок та їх впливу на ринкові процеси.

Визначено основні пріоритетні завдання для постачальників електричної енергії в контексті управління попитом. Особлива увага була приділена стратегіям оптимізації та інноваційним підходам до управління, що включають в себе використання сучасних технологій та методів прогнозування.

Проведено практичну реалізацію задач оптимізації для електропостачальника, демонструючи на конкретних прикладах, як сучасні методики управління попитом можуть підвищити ефективність та стабільність роботи в енергетичній сфері.

Результати досліджень вносять важливий вклад у розуміння комплексних механізмів управління попитом на електричну енергію і можуть бути використані для подальшого розвитку стратегій оптимізації на ринку електроенергії в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. 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.

4. S. Denysiuk, V. Opryshko, and R. Strzelecki, "The Smart Grid concept implementation by expanding the use of demand side managment and modern powerelectronic installations," Енергетика: економіка, технології, екологія., vol. 4, pp. 7–16, 2016.

5. 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.

6. 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.

7. Про електроенергетику: Закон України. № 575/97-ВР від 16.10.1997 зі змінами.

8. Про ринок електричної енергії: Закон України № 2019-VIII від 13.04.2017 р.

9. Про затвердження Кодексу систем розподілу: Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 310.

10. 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.

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. Находов В. Ф., Замулко А. І., Аль Шарарі М. І., Медінцева Д. О., “Оцінка впливу зміни попиту споживачів на електричну міць на нерівномірність,” Наукові вісті НТУУ "КПІ, №. 1, С. 31, 2016.

13. Y. Veremiichuk, I. Prytyskach, 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.

14. Доценко Д. І. Денисюк С. П. “Оцінка рівнів неоптимальності енергетичних процесів в електропередавальних організаціях,” 2018. 192 с.

15. Брага О.О., Кондтратьєв С.С,. Банін Д.Б. “Моделювання режимів з апроксимацією добових графіків навантаження поліномами високого порядку, ”Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів“Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики,” С. 24– 27, 2016.

16. Полищук А.П., Семериков С.А., Чисельні методи в об'єктно-орієнтованій методології. Кривий Ріг: КГПИ, 1998. 75 с.

17. Базюк Т.М. “Підвищення енергоефективності локальних систем енергопостачання із активним споживачем та розосередженою генерацією,” КПІім. Ігоря Сікорського, 2016. 222 с

18. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії: Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 311.

19. Блінов І.В., Попович В.І. Концептуальна рольова модель обміну даними комерційного обліку на європейському ринку електроенергії // Електропанорама, 2011. – №11 – С.30 – 34.

20. Коцар О.В. Комплексне забезпечення достовірності та актуальності даних комерційного обліку в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів і балансуючого ринку // Енерг. та електрифікація, 2011. – №3 – С.27 – 39.

21. Положення про Інформаційно-консультаційний центр по роботі зі споживачами електричної енергії, затверджене постановою НКРЕКП від 12.03.2009 № 299.

22. Лір В. Економічні механізми управління попитом на ринку електроенергії / В. Лір// Економіст. – 2015. - №2. –С. 9 – 13

23. Attia HA. Mathematical formulation of the demand side management (DSM) problem and its optimal solution. In: 14th int middle east power syst conf; 2010. p. 953–959.

24. Воробієнко П. П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : підручник / П. П. Воробієнко, Л. А. Нікітюк, П. І. Резніченко. – Київ : САММІТ – Книга , 2010. – 708 с.

25. Закон України «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг» від 22.09.2016 № 1540-VIII // Відомості Верховної Ради – 2016. – № 51. – с 833.

26. Finamore B., Zhaoguang H., Weizheng L. et al. Demand-side management in China. Benefits, barriers, and policy recommendations/Natural Resources Defense Council. [S. l.,] URL: http://www.nrdc.org/air/energy/chinadocs/dsm.pdf.

27. Сколько еще газ, нефть и уголь будут ключевыми для энергетики Украины: прогноз эксперта https://www.segodnya.ua/economics/enews/skolko-eshche-gaz-neft-i-ugol-budut-klyuchevymi-dlya-energetiki-ukrainy-prognoz-eksperta-1116650.html

28. Макаров А.А. и др. Перспективы мировой энергетики до 2040 г./ А.А. Макаров // Мировая экономика и международные отношения. - 2014. - № 1.- С. 3-20.

29. Державне підприємство «Енергоринок». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gp.er.gov.ua.

30. Праховник А.В., Розен В.П., Дегдярев В.В. Енергозберігаючі режими електропостачання гірничодобувних підприємств . – М: Недра. 1985. – 229с.

31. Механізми функціонування нової моделі ринку електричної енергії України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: : https://nerc.gov.ua

32. Hobbs B., Rijkers F. Strategic Generation With Conjectured Transmission Price Responses in a Mixed Transmission Pricing. System – Part I: Formulation // IEEE Transactions on power systems, 2004, Vol.19, №2, p.707–717.

33. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем. М.: Высш. шк., 1987, 272 с.

34. Schweppe F.C., Caramanis M.C., Tabors R.E., Bohn R.E. Spot Pricing of Electricity. Norwell (MA): Kluwer, 1988, 355 p.

35. Bai X., Shahidehpour S.M., Ramesh V.C., Yu E. Transmission Analysis by Nash Game Method // IEEE Trans. Power Sys, 1997, № 12(3), p. 1046–1052.

36. Purchala K., Meeus L., Belmans R. Zonal network model of European interconnected electricity network // Working Paper K.U.Leuven, 2005, 8p. – (esat.kuleuven.be/electa/publications/fulltexts/pub_1469.pdf).

37. Ольховский Г.Г. Состояние и перспективы тепловой энергетики// Электрические станции, 2005, №2, с.12–21.

38. Barreto T.L. Technological Learning in Energy Optimisation. Models and Deployment of Emerging Technologies: PhD thesis. Zurich, 2001, 295 p.

39. Turton H., Barreto L. The extended energy-systems ERIS model: An verview // Environmentally Compatible Energy Strategies Project, 2004, 44 p. – http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-04-010.pdf.

40. Bahn O., Kypreos S. MERGE-ETL: An optimization equilibrium model with two different endogenous technological learning formulations// ENE, 2002, 40 p. – http://www.eem.web.psi.ch/Publications/Other_Reports/PSI_02-16.pdf.

41. Barquin J., Vazquez M. Cournot Equilibrium Calculation in Power Networks: An Optimization Approach with Price Response Computation // Power Systems: IEEE Transactions, 2008, Vol.23, №2, p.317 – 326.

42. Centeno E., Reneses J., García R., Sánchez J.J. Long-term Market Equilibrium Modeling for Generation Expansion Planning // Bologna Tech Conference, June 23-26, 2003. Bologna (Italy), 2003, 7 p. – http://www.iit.upcomillas.es/docs/IIT-03-019A.pdf.

43. Dixit A.K., Pindyck R.S. Investment Under Uncertainty. Princeton: Princeton University Press, 1994, 468 p.

44. Yang M., Blyth W. Modeling Investment Risks and Uncertainties with Real Options Approach //A Working Paper for an IEA Book: Climate Policy. Uncertainty and Investment Risk. Paris: IEA, 2007, 30 p. – http://www.iea.org/textbase/papers/2007/ROA_Model.pdf.

45. Botterud A., Korpas M., Vogstad K.-O., Wangensteen I. A dynamic simulation model for long-term analysis of the power market // 14th PSCC, 24-28 June 2002. Sevilla, 2002, 7 p. – http://www.citeulike.org/group/7502/article/3507965.

46. Sánchez J.J., Centeno E., Barquín J. System dynamics modelling for electricity generation expansion analisys // 15th PSCC, 22-26 August 2005. Liege, 2005, 7 p. – http://www.systemdynamics.org/conferences/2007/proceed/papers/SANCH367.pdf.

47. Ford A. Simulating the Impact of a Carbon Market on the Electricity System in the Western U.S.A. // Proceedings International System Dynamics Conference. Nijmegen (Netherlands), 2006, 55 p. – http://www.wsu.edu/~forda/Carbon Paper 06 Conf.pdf.

48. Gnansounou E., Dong J., Pierre S., Quintero A. Agent-Based Model for Market Oriented Planning of Power Generation Expansion // Power Systems Conference and Exposition (PSCE'04), 2004, p. 457–462.

49. Haurie A., Zaccour G., Smeers Y. Stochastic Equilibrium Programming for Dynamic Oligopolistic Markets // Journal of Optimization Theory and Applications, 1990, Vol. 66(2), p. 243–253.

50. Murphy F., Smeers Y. On the Impact of Forward Markets on Investments in Oligopolistic Markets with Reference to Electricity. Part 2, Uncertain Demand // Harvard Electricity Policy Group Research Paper, 2007, 39 p http://www.hks.harvard.edu/hepg/Papers/Murphy_and_Smeers_June_18_07.pdf.

51. Billups S.C., Murty K.G. Complementarity problems // Journal of Computational and Applied Mathematics, 2000, Vol.124, №1–2, p. 303–318.

59. Bushnell J.B., Ishii J. An Equilibrium Model of Investment in Restructured Electricity Markets // Center for the Study of Energy

52. Chuang A., Wu F., Varaiya P. A Game-Theoretic Model for Generation Expansion Planning: Problem Formulation and Numerical Comparisons // IEEE Transaction Systems on Power Systems, 2001, Vol.16, №4, p. 885–890.

53. Linares P., Santos F.J., Ventosa M., Lapiedra L. Incorporating oligopoly, CO2 emissions trading and green certificates into a power generation expansion model // Automatica, 2008, Vol.44, №6, p. 1608–1620.

54. Cate A., Lijesen M. The Elmar model: output and capacity in imperfectly competitive electricity markets // Workshop: Market modelling of the Central Western European Electricity Market, 15-16 September 2005. Leuven, 2005, 22 p. – http://www.cpb.nl/eng/pub/cpbreeksen/memorandum/94/memo94.pdf.

55. Pineau P.-O. Electricity market reforms: Industrial developments, investment dynamics and game modeling: Ph.D. Thesis. Montreal, 2000, 199 p.

56. Gilotte L., Finon D. Oligopolitistic game around capacity expansion in liberalised electricity industries: the case of the French market // European Colloquium of the International Association of Energy Economists (IAEE): Energy markets in transition, 26-27 August 2005. Bergen, 2005, 22 p. – http://www.snf.no/iaee2005/7th IAEE European Energy Conference/Tuesday August 30th/ Concurrent Sessions III/Market Power in Electricity Markets/L. Gilotte, D. Finon and V. Pignon.pdf.

57. Gilotte L., Finon D. Investments in generation capacities in an oligopolistic electricity market // Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement Research Paper, 2006, 23 p. – http://www.centre-cired.fr/IMG/pdf/9_Gilotte_Finon_inv_pouvoir_marche._pdf.pdf.