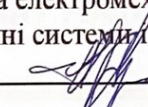


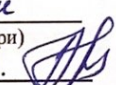
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ НЕБАЛАНСІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА
РІЗНИХ СЕГМЕНТАХ РИНКУ ТА МЕТОДІВ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

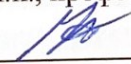
Виконав: студент 4 курсу групи ІЕСМ-216
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електричні системи і мережі»
Ковальчук М.О. 

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСС
Сікорська О.В. 
« 06 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)
кафедри ЕССЕМ Байдюк О.В. 
« 09 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.


« 06 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
Освітня програма – Електричні системи і мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В.О.

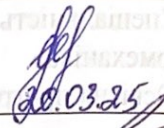
«20» 03 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ковальчуку Максиму Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз формування небалансів електричної енергії на різних сегментах ринку та методів їх мінімізації
Керівник роботи к.т.н., доцент каф. ЕСС Сікорська О.В.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025 року № 97
2. Термін подання студентом роботи 3 червня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання.
4. Зміст текстової частини: Вступ. Огляд можливих причин виникнення небалансів та аналіз особливостей різних ринків електричної енергії. Аналіз методів і способів мінімізації небалансів електричної енергії. Прогнозування споживання електричної енергії промисловим споживачем за допомогою методу Холта-Вінтерса. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Титулка. 2. Структура ринку електричної енергії в Україні. 3. Сегменти ринку та їх особливості. 4. Балансуючий ринок. 5. Поняття небалансів електричної енергії. 6. Причини виникнення небалансів. 7. Організаційні методи. 8. Технічні методи. 9. Системи накопичення енергії. 10. Інформаційно-аналітичні методи. 11. Прогнозування методом Холта-Вінтерса.

6. Консультанти розділів роботи

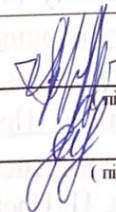
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	викон. прий.
Спеціальна частина	Керівник роботи – Сікорська О.В. к.т.н., доцент кафедри ЕСС	 20.03.25	 20.03.25
Охорона праці	Кобилянський О.В., д.пед.н., проф., завідувач каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання «20» березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

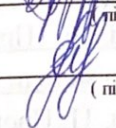
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	
		початок	кінець
1	Вступ. Огляд літературних джерел	20.03.25	31.03.25
2	1 Огляд можливих причин виникнення небалансів та аналіз особливостей різних ринків електричної енергії	01.04.25	14.04.25
3	2 Аналіз методів і способів мінімізації небалансів електричної енергії	15.04.25	28.04.25
4	3 Прогнозування споживання електричної енергії промисловим споживачем за допомогою методу Холта-Вінтерса	29.04.25	12.05.25
5	4 Охорона праці	13.05.25	26.05.25
6	Формування висновків по роботі. Оформлення пояснювальної записки	27.05.25	28.05.25
7	Виконання ілюстративної частини та оформлення презентації	29.05.25	30.05.25
8	Перевірка БКР на плагіат. Попередній захист БКР	31.05.25	01.06.25
9	Рецензування БКР	02.06.25	03.06.25
10	Захист БКР	За графіком	

Студент



Ковальчук М.О.

Керівник роботи



Сікорська О.В.

АНОТАЦІЯ

Ковальчук Максим Олександрович «Аналіз формування небалансів електричної енергії на різних сегментах ринку та методів їх мінімізації». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 66 с. Бібліогр. : 46. Рис. : 10. Табл. :11.

У роботі проведені дослідження, присвячені аналізу функціонування нового ринку електричної енергії України, зокрема сегментів ринку "на добу наперед", внутрішньодобового ринку, ринку двосторонніх договорів та балансуючого ринку. Проаналізовано вплив відновлюваних джерел енергії на стабільність енергосистеми, розглянуто нормативно-правову базу та статистичні дані. Визначено проблеми, пов'язані з похибками прогнозування та штрафами за небаланси, запропоновані шляхи їх вирішення. Отримані результати сприяють підвищенню ефективності ринку електроенергії.

Ключові слова: електрична енергія, ринок, Україна, ринок "на добу наперед", внутрішньодобовий ринок, балансуючий ринок, відновлювані джерела енергії, небаланси, прогнозування, Smart-Grid технології, енергосистема, споживання, генерація.

ABSTRACT

Kovalchuk Maksym Oleksandrovykh "Analysis of the formation of electrical energy imbalances in different market segments and methods for their minimization". Bachelor thesis. – Vinnytsia: VNTU. – 2025. – 66 p. Bibliography: 46. Figures: 10. Tables: 11.

The study is dedicated to analyzing the functioning of Ukraine's new electricity market, specifically the segments of the day-ahead market, intraday market, bilateral contracts market, and balancing market. The impact of renewable energy sources on the stability of the energy system is analyzed, and the regulatory framework and statistical data are examined. Issues related to forecasting errors and penalties for imbalances are identified, with proposed solutions. The obtained results contribute to enhancing the efficiency of the electricity market.

Keywords: electrical energy, market, Ukraine, day-ahead market, intraday market, balancing market, renewable energy sources, imbalances, forecasting, Smart-Grid technologies, energy system, consumption, generation.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ОГЛЯД МОЖЛИВИХ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ НЕБАЛАНСІВ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РІЗНИХ РИНКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	8
1.1 Структура ринку електричної енергії в Україні та його сегменти	8
1.1.1 Ринок двосторонніх договорів	9
1.1.2 Ринок «на добу наперед»	10
1.1.3 Внутрішньодобовий ринок	12
1.1.4 Балансуючий ринок	13
1.2 Поняття небалансів електричної енергії та їх значення в енергосистемі	14
1.3 Основні причини виникнення небалансів на різних сегментах ринку	18
2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І СПОСОБІВ МІНІМІЗАЦІЇ НЕБАЛАНСІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	21
2.1 Теоретичні основи мінімізації небалансів	21
2.2 Організаційні методи мінімізації небалансів	24
2.3 Технічні методи мінімізації небалансів	27
2.4 Інформаційно-аналітичні методи мінімізації небалансів	30
2.5 Порівняльний аналіз методів мінімізації небалансів	33
2.6 Перспективи розвитку методів мінімізації небалансів	37
3 ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРОМИСЛОВИМ СПОЖИВАЧЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ХОЛТА-ВІНТЕРСА	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	48
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання	48
4.1.1 Вимоги електробезпеки до приміщень з комп'ютерами	48
4.1.2 Електробезпека	52
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	53

4.2.1 Мікроклімат	53
4.2.2 Склад повітря робочої зони	54
4.2.3 Виробниче освітлення	55
4.2.4 Виробничий шум	55
4.3 Пожежна безпека	56
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТКИ	67

ВСТУП

Сьогодні електроенергетика України стикається з серйозними викликами, адже перехід до нових ринкових умов, що наближають нашу енергосистему до європейського енергетичного простору, відбувається в умовах війни. Масовані обстріли енергетичних об'єктів, які пошкодили або зруйнували майже половину енергетичних потужностей, лише загострюють проблему стабільності енергосистеми. Усе це робить питання аналізу та зменшення небалансів електричної енергії надзвичайно **актуальним**, адже небаланси – це різниця між обсягами виробництва та споживання електроенергії, що виникає через розбіжності між прогнозами та реальними даними. Такі розбіжності створюють труднощі для всіх учасників ринку, особливо в умовах частих аварійних ситуацій, спричинених бойовими діями.

Тема небалансів **актуальна** також через певні світові тенденції розвитку в галузі електроенергетики. До прикладу, дедалі більше електроенергії в багатьох розвинених країнах світу виробляється з відновлювальних джерел енергії, таких як: сонячна енергія, вітрова, геотермальна, біогазова, енергія малих ГЕС тощо [1]. Але їхня робота сильно залежить від погодних умов та технічних особливостей експлуатації таких станцій. Тому прогнозувати обсяги генерації таких об'єктів складно. Вплив таких джерел на ринкові та ціноутворюючі процеси потребує остаточного вивчення та нових підходів до управління.

Предметом мого дослідження є процес формування небалансів електричної енергії на різних сегментах ринку – зокрема, на ринку "на добу наперед", внутрішньодобовому ринку, ринку двосторонніх договорів та балансуючому ринку – і способи їх мінімізації в сучасних умовах.

Мета цієї роботи полягає в тому, щоб зрозуміти причини виникнення небалансів, і знайти ефективні шляхи їх зменшення, враховуючи реалії українського ринку.

Для цього було поставлено перед собою кілька **завдань**:

- дослідити особливості функціонування оптового та роздрібного ринків електроенергії
- проаналізувати вплив відновлюваних джерел енергії на стабільність енергосистеми
- вивчити нормативно-правову базу, зокрема постанови НКРЕКП
- запропонувати практичні рішення для мінімізації небалансів, спираючись на сучасні технології та можливості.

У процесі дослідження використовуватимуться кілька **методів**: аналіз статистичних даних, порівняння прогнозних і фактичних даних для виявлення причин розбіжностей, а також моделювання графіків споживання електроенергії за різних погодних умов і в аварійних ситуаціях.

Результати цього дослідження стануть важливим кроком до покращення роботи енергосистеми України, адже вони допоможуть зробити її більш надійною та маневреною, що в нинішніх умовах є не просто технічним завданням, а питанням стабільної роботи економіки та безпеки людей.

1 ОГЛЯД МОЖЛИВИХ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ НЕБАЛАНСІВ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РІЗНИХ РИНКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Структура ринку електричної енергії в Україні та його сегменти

Ринок електричної енергії в Україні це складна система, що поєднує технологічні, економічні та регуляторні аспекти, сформовані історичним розвитком енергетичної галузі країни. На відміну від західних країн, де ринок електроенергії формувався за допомогою приватних компаній, в Україні енергетична система тривалий час функціонувала як державна монополія. Це наклало відбиток на сучасну структуру ринку, яка адаптує світові практики до місцевих особливостей. Ринок поділено на кілька ключових сегментів: ринок двосторонніх договорів, ринок «на добу наперед», внутрішньодобовий ринок та балансуєчий ринок. Кожен із цих сегментів виконує унікальну роль у забезпеченні надійного та безперебійного постачання електроенергії, підтримки конкуренції та інтеграції відновлюваних джерел енергії [1, 2].



Рисунок 1.1 – Схематична модель нового ринку електроенергії в Україні (діє з 1 липня 2019 року)

Новий ринок електроенергії в Україні почав формуватися після

прийняття Закону України «Про ринок електричної енергії» у 2017 році. Цей закон заклав основу для конкурентного середовища, де виробники, постачальники, оператори систем передачі та розподілу, трейдери та споживачі взаємодіють через чітко визначені механізми. Ринок створено для забезпечення прозорості, ефективності та надійності енергосистеми, враховуючи технологічні обмеження, такі як необхідність миттєвого балансування виробництва та споживання. Сегменти ринку дозволяють учасникам швидко та дієво реагувати на зміни попиту, пропозиції та регуляторних умов, що особливо важливо в контексті зростання частки відновлюваних джерел енергії та синхронізації з європейською енергосистемою ENTSO-E.

1.1.1 Ринок двосторонніх договорів

Ринок двосторонніх договорів це сегмент ринку, який є основою для торгівлі електроенергією та надає учасникам можливість укладати прямі угоди про купівлю-продаж електричної енергії. Цей сегмент дозволяє виробникам, постачальникам, трейдерам або великим споживачам домовлятися про обсяги, ціни та терміни постачання електроенергії без посередництва централізованих торговельних платформ. Такі угоди забезпечують стабільність для обох сторін, дозволяючи фіксувати ціни та обсяги на тривалий період, що зменшує ризики, пов'язані з коливаннями цін на інших сегментах ринку. Двосторонні договори особливо популярні серед великих промислових споживачів, таких як металургійні підприємства, та виробників із стабільною генерацією, наприклад, атомних електростанцій [21].

Механізм роботи цього сегмента полягає в індивідуальних переговорах між сторонами, які визначають умови контракту, включаючи обсяг електроенергії, ціну за кіловат-годину та період постачання. Угоди можуть бути короткостроковими, наприклад, на місяць, або довгостроковими, що охоплюють рік чи більше (така практика менш поширена на даний момент в умовах воєнного стану та високої нестабільності ціноутворення на всіх

сегментах ринку). Хоча контракти укладаються поза централізованою системою, вони часто реєструються через електронні платформи, які адмініструє оператор ринку та ТОВ «Українська енергетична біржа», щоб забезпечити прозорість і відповідність регуляторним вимогам. Фізична поставка електроенергії за цими контрактами залежить від стану електричних мереж, що вимагає координації з операторами систем передачі та розподілу.

Особливістю ринку двосторонніх договорів в Україні є його значення для великих компаній енергетичного сектору. Атомні електростанції, які забезпечують значну частину генеруючих потужностей в країні, використовують цей сегмент для укладання довгострокових угод, що гарантують стабільний дохід. Для промислових споживачів двосторонні договори є інструментом захисту від цінових стрибків, що можуть виникати на ринках із коротшим горизонтом торгівлі. Проте сегмент має й недоліки: відсутність централізованого ціноутворення може призводити до нерівномірних цін, а регулятор, Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (далі – НКРЕКП), пильно стежить за контрактами, щоб запобігти зловживанням та маніпуляціям на ринку електричної енергії.

1.1.2 Ринок «на добу наперед»

Ринок «на добу наперед» (РДН) це центральний сегмент торгівлі електроенергією в Україні, призначений для організації торгівлі електричною енергією, яка постачатиметься наступної доби [1]. Цей сегмент функціонує як організована торгова платформа, де учасники подають заявки на купівлю або продаж електроенергії для певних годин або блоків годин наступного дня. РДН керується оператором ринку, який забезпечує прозорість і ефективність торгів. У цьому сегменті застосовується механізм двостороннього аукціону, де покупці (споживачі, постачальники) та продавці (виробники, трейдери) пропонують свої ціни та обсяги. Ринок закривається за єдиною для всіх учасників ціною, де перетинаються криві попиту та пропозиції, визначаючи

обсяг і ціну електроенергії для кожної години.



Рисунок 1.2 – Крива попиту-пропозиції на 5 розрахунковий період доби постачання 7 травня 2025 року на РДН

Робота РДН чітко структурована. Учасники подають свої заявки до визначеного часу: згідно «Правил РДН/ВДР» до 12:00 дня, що передує дню постачання. Заявки містять інформацію про обсяг електроенергії та ціну, за якою учасник готовий купити чи продати. Оператор ринку аналізує ці заявки, формуючи криві попиту та пропозиції, і визначає ціну рівноваги, за якою укладаються угоди. Успішні заявки стають обов’язковими до виконання, тобто виробники повинні поставити обіцяний обсяг електроенергії, а покупці – оплатити його за встановленою ціною. Цей процес дозволяє заздалегідь спланувати роботу енергосистеми, оскільки РДН дає прогноз генерації та споживання, який використовується операторами системи для забезпечення стабільності мережі.

РДН відіграє ключову роль у формуванні ринкових цін. Ціна рівноваги, визначена в цьому сегменті, є орієнтиром для інших ринків, впливаючи на ціноутворення в двосторонніх договорах і внутрішньодобовому ринку. Проте РДН чутливий до зовнішніх факторів, таких як несподівані зміни попиту,

відключення генераторів або погодні умови, що впливають на відновлювані джерела енергії. В Україні РДН є важливим для інтеграції сонячних і вітрових електростанцій, чия генерація залежить від погодних умов. Виробники зі стабільною генерацією, такі як атомні чи теплові станції, домінують на стороні пропозиції, тоді як промислові споживачі та постачальники формують попит. Точність прогнозування попиту та пропозиції є критично важливою, оскільки помилки можуть призвести до небалансів, які шкодять енергосистемі та регулюються на інших сегментах ринку.

1.1.3 Внутрішньодобовий ринок

Внутрішньодобовий ринок доповнює ринок «на добу наперед», надаючи учасникам можливість коригувати свої торговельні позиції ближче до часу постачання. Цей сегмент дозволяє купувати або продавати електроенергію для постачання в межах поточної доби, що допомагає вирішувати проблеми, пов'язані з відхиленнями від прогнозів, зроблених на РДН. Внутрішньодобовий ринок є особливо важливим для управління непередбачуваними змінами, такими як коливання генерації відновлюваних джерел, раптові стрибки попиту або технічні збої чи помилки при розрахунках потрібного обсягу купівлі/продажу на РДН. Як і РДН, цей ринок керується оператором ринку і функціонує на основі безперервної торгівлі, де учасники можуть подавати заявки протягом торговельної сесії. Згідно «Правил РДН/ВДР» закриття воріт ВДР для кожної години відбувається за годину до її початку. Тобто закриття торгів на період 09:00-10:00 години відбувається о 8:00.

Механізм роботи внутрішньодобового ринку є гнучкішим, ніж РДН, оскільки дозволяє швидко реагувати на зміни ринкових умов. Учасники подають заявки, вказуючи обсяг і ціну електроенергії, яку вони бажають купити чи продати, а угоди укладаються, коли пропозиція збігається з попитом. Такий підхід дає змогу оперативно реагувати на події, наприклад, на зниження генерації СЕС через мінливу хмарність чи збільшення генерації

вітрових станцій через посилення вітрів. Обсяги торгівлі на внутрішньодобовому ринку зазвичай менші, ніж на РДН, оскільки цей сегмент виконує коригуючу функцію. Однак ціни тут можуть бути більш волатильними через терміновість угод і обмежений час для торгівлі.

В Україні внутрішньодобовий ринок відіграє важливу роль у підтримці інтеграції відновлюваних джерел енергії, які мають змінну генерацію. Наприклад, сонячні або вітрові електростанції можуть використовувати цей ринок для продажу надлишкової електроенергії або закупівлі у випадку дефіциту. Споживачі, зі свого боку, можуть коригувати свої графіки споживання, якщо їхнє споживання відхиляється від прогнозованого. Гнучкість цього сегмента робить його привабливим, але водночас підвищує цінові ризики для учасників. Регуляторні норми забезпечують прозорість торгів, установлюючи правила подачі заявок, граничні ціни та часові рамки торгівлі [5].

1.1.4 Балансуючий ринок

Балансуючий ринок є останнім сегментом ринку, на якому система торгівлі електроенергією спрямована на забезпечення реального балансу між пропозицією та попитом у момент постачання. Цей сегмент вирішує проблему небалансів, що виникають після закриття ринків «на добу наперед» і внутрішньодобового, таких як відхилення від прогнозованої генерації чи споживання. Балансуючий ринок керується оператором системи передачі (ОСП), який відповідає за стабільність енергосистеми та забезпечення відповідності пропозиції попиту в реальному часі. Учасниками цього ринку є виробники з маневреними потужностями, наприклад, ТЕС чи ГЕС, а також великі споживачі, здатні коригувати своє споживання.

Функціонування балансуючого ринку базується на наданні балансуючих послуг. Постачальники цих послуг подають заявки, вказуючи обсяг і ціну електроенергії, яку вони можуть надати для збільшення чи зменшення генерації або споживання. ОСП обирає найвигідніші пропозиції для усунення

небалансів, діючи в режимі, близькому до реального часу (мінімальний розрахунковий період на балансуєчому ринку згідно «Правил ринку» - 15 хвилин). Цей ринок характеризується швидкими реакціями, оскільки відхилення в енергосистемі потребують швидкого усунення через свій негативний вплив на роботу енергосистеми. Розрахунки за небаланси здійснюються за спеціальними балансуєчими цінами, які зазвичай вищі, ніж на інших ринках, через премію за гнучкість і терміновість. Водночас для учасників ринку, які створюють ці небаланси, балансуєчий ринок є штрафним і ціни на ньому завжди створюють фінансові збитки постачальникам і споживачам, які мають значні розбіжності між прогнозованим і фактичним графіком навантаження [6, 7].

В Україні балансуєчий ринок має особливе значення через зростання частки відновлюваних джерел енергії, які додають нестабільності в енергосистему. Наприклад, раптове зниження генерації вітрових станцій може вимагати активації балансуєчих потужностей теплової електростанції. Аналогічно, несподівані стрибки попиту, наприклад, під час різкого похолодання, можуть бути компенсовані через зниження споживання великими промисловими об'єктами. Висока вартість балансуєчих послуг і технічна складність цього сегмента роблять його об'єктом пильної уваги регулятора, оскільки ОСП повинен забезпечити баланс між економічною ефективністю та надійністю мережі. Балансуєчий ринок також стимулює учасників до точного прогнозування, оскільки небаланси призводять до значних фінансових збитків.

1.2 Поняття небалансів електричної енергії та їх значення в енергосистемі

Небаланси електричної енергії є однією з ключових проблем сучасних енергосистем, зокрема в Україні, де ринок електроенергії функціонує в умовах складних технологічних, економічних і регуляторних впливів. Вони виникають внаслідок невідповідності між прогнозованими та фактичними

обсягами виробництва і споживання електроенергії в реальному часі. Оскільки електроенергія не може накопичуватися у великих обсягах без спеціальних установок зберігання енергії, енергосистема вимагає миттєвого балансування пропозиції та попиту [8]. У разі порушення цього балансу і виникають небаланси, які можуть негативно вплинути на стабільність мережі, викликати перерви в електропостачанні або навіть призвести до аварійних ситуацій. В Україні, де енергетичний сектор зазнає значних пошкоджень через воєнний стан і зростання частки відновлюваних джерел енергії, розуміння причин і наслідків небалансів набуває особливого значення [9].

Енергосистема України, як і будь-яка інша, спроектована таким чином, щоб підтримувати стабільну частоту в будь-який момент часу, яка в європейських мережах становить 50 Гц. Відхилення від цієї норми через надлишок чи дефіцит електроенергії може призвести до серйозних технічних проблем. Наприклад, надмірна генерація може викликати перевантаження ліній передачі, тоді як недостатнє виробництво загрожує відключеннями споживачів від живлення. Значну частину генерації в Україні забезпечують атомні електростанції зі стабільним виробництвом базової частини графіка навантажень. А сонячні та вітрові станції мають мінливу генерацію, тому проблема небалансів є особливо гострою. Згідно з Правилами ринку, затвердженими НКРЕКП, учасники ринку зобов'язані прогнозувати свої обсяги генерації та споживання, однак точність цих прогнозів часто знижується через зовнішні фактори, такі як погодні умови чи технічні збої.

Небаланси поділяються на кілька типів залежно від їхньої природи та джерела виникнення [10, 11]. Перший тип – це небаланси, спричинені неточними прогнозами. Наприклад, сонячні електростанції можуть недооцінити генерацію через несподівану хмарність, тоді як промислові споживачі можуть перевищити прогнозоване споживання через позапланове збільшення виробництва.

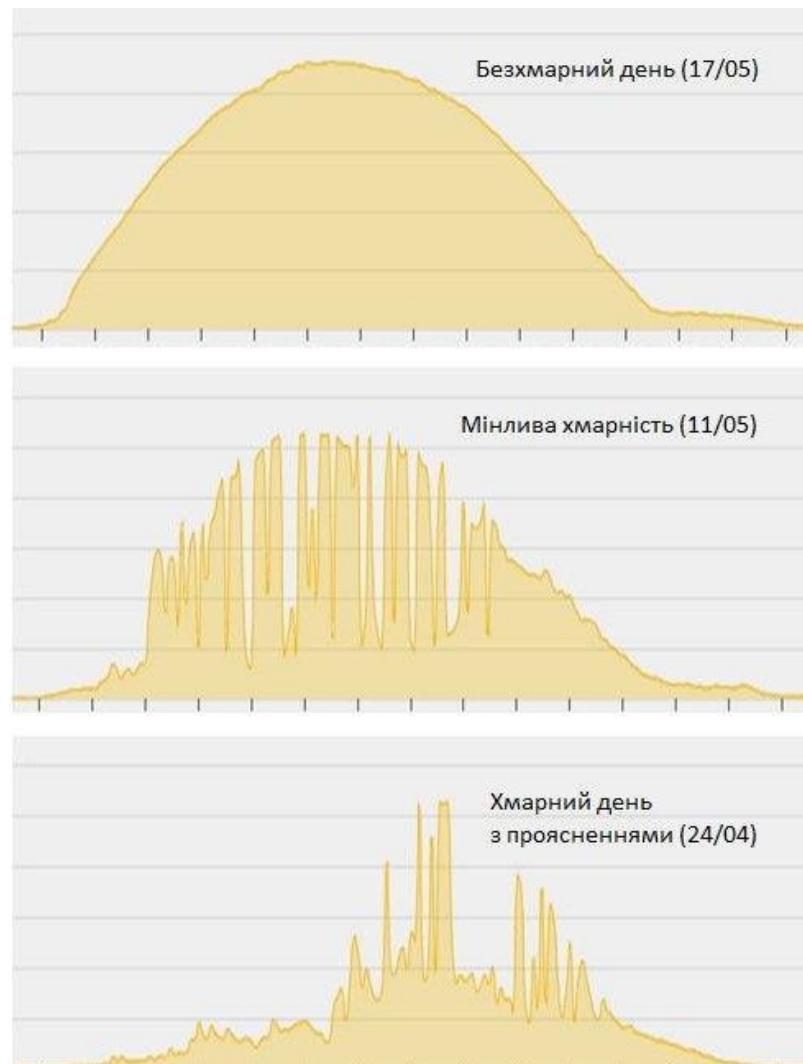


Рисунок 1.3 – Мінливість потужності окремої СЕС протягом дня

Другий тип – технічні небаланси, пов’язані з аваріями чи відключеннями обладнання. Наприклад, раптовий вихід із ладу теплової електростанції може створити дефіцит електроенергії в системі.

Третій тип – системні небаланси, які виникають через невідповідність між діями учасників ринку та вимогами оператора системи передачі. Наприклад, якщо виробник не виконує зобов’язання за ринком «на добу наперед», це може спричинити потребу в додаткових балансуючих діях. Усі ці типи небалансів мають спільну рису: вони порушують рівновагу в енергосистемі, що вимагає оперативного втручання.

Значення небалансів для енергосистеми важко переоцінити, оскільки вони безпосередньо впливають на її надійність та безперебійність. У

короткостроковій перспективі небаланси можуть викликати коливання частоти в мережі, що загрожує обладнанню електростанцій (особливо – обладнанню власних потреб станцій) і споживачів, створюючи неякісне електропостачання або його відсутність як таку. Наприклад, зниження частоти нижче 49,2 Гц може активувати дію автоматичних систем захисту, таких як АЧР, що є аварійним заходом і призводять до відключення споживачів.

У довгостроковій перспективі небаланси підвищують витрати на балансування, оскільки оператор системи передачі змушений закуповувати дорогі балансуєчі послуги, часто від газових чи теплових електростанцій. Для учасників ринку небаланси означають фінансові ризики, оскільки, згідно з Правилами ринку, відхилення від планових графіків караються штрафними цінами на балансуєчому ринку. Наприклад, споживач, який використав більше електроенергії, ніж прогнозував, змушений сплачувати за цю різницю за вищими тарифами, що створює додаткове фінансове навантаження. В Україні, де економічна ситуація ускладнена воєнним станом, такі витрати можуть бути особливо обтяжливими для промислових підприємств.

Управління небалансами є складним завданням, яке покладається на оператора системи передачі, який координує дії учасників ринку через балансуєчий ринок. Цей сегмент дозволяє залучати маневрені потужності, такі як гідроелектростанції чи теплові електростанції, для швидкого коригування пропозиції чи попиту. Наприклад, у разі дефіциту електроенергії оператор може активувати додаткову генерацію, тоді як у разі надлишку – зменшити виробництво чи залучити споживачів до зниження попиту. Згідно з Правилами ринку, балансуєчий ринок працює з розрахунковим періодом у 15 хвилин, що забезпечує високу швидкість реагування. Однак балансуєчі послуги є дорогими, і їхня висока вартість відображається у фінансових зобов'язаннях учасників ринку [12]. Крім того, регулятор, НКРЕКП, установлює стимули для учасників ринку, щоб вони покращували точність своїх прогнозів, наприклад, через штрафні санкції за значні відхилення [25].

1.3 Основні причини виникнення небалансів на різних сегментах ринку

Небаланси електричної енергії, коли фактичне виробництво чи споживання відхиляється від запланованого, створюють значні виклики для стабільності енергосистеми України. Ці відхилення виникають на різних сегментах ринку – ринку «на добу наперед», внутрішньодобового ринку, балансуєчого ринку та роздрібного ринку. Їхні причини пов'язані з особливостями функціонування об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, технічними обмеженнями та ринковими механізмами.

На ринку «на добу наперед» небаланси часто зумовлені неточністю прогнозування попиту та пропозиції. Учасники ринку, відповідно до Правил ринку, подають заявки на купівлю чи продаж електроенергії за добу до постачання, спираючись на прогнози. Проте похибка прогнозування, як зазначає АТ «Оператор ринку», може сягати 3–5% для короткострокових оцінок. Це спричинено складністю передбачення поведінки споживачів, особливо промислових, чи коливань генерації. Варто підкреслити, що методи прогнозування, такі як експоненційне згладжування, не завжди враховують різкі зміни, що посилює відхилення.

Внутрішньодобовий ринок, який дозволяє коригувати заявки в межах доби, також сприяє утворенню небалансів через оперативні зміни. Згідно з Постановою НКРЕКП №308 від 14.03.2018 [26], ВДР призначений для зменшення планових відхилень, але обмежена ліквідність цього сегменту ускладнює швидке реагування. Наприклад, якщо учасник ринку не може закупити додатковий обсяг електроенергії через низьку пропозицію, різниця між плановим і фактичним споживанням переноситься на балансуєчий ринок. До прикладу, недостатня активність учасників на ВДР у 2021 році призвела до зростання небалансів на 7% порівняно з попереднім роком.

На балансуєчому ринку небаланси виникають через аварійні ситуації та технічні обмеження. Оператор системи передачі відповідає за стабільність системи, використовуючи резервні потужності. Аварійні відключення обладнання, наприклад, теплових електростанцій, створюють оперативні

небаланси. НЕК «Укренерго» повідомляло, що у 2021 році такі відключення спричиняли відхилення до 500 МВт за годину. Крім того, обмеження пропускної спроможності мереж, описані в Постанові НКРЕКП №763 [31], ускладнюють передачу електроенергії між регіонами, що призводить до системних небалансів. Наприклад, у південних регіонах, де сконцентровано багато сонячних електростанцій, перевантаження ліній часто обмежує їхню генерацію, створюючи дефіцит в інших частинах системи.

Значний вплив на небаланси на всіх сегментах ринку має зростання частки відновлюваних джерел енергії. За даними НКРЕКП, у 2020 році ВДЕ складали 8% енергобалансу, але їхня нестабільність відповідала за 15% загальних небалансів. Сонячні та вітрові станції залежать від погодних умов, що ускладнює прогнозування їхньої генерації. Похибка прогнозування для ВДЕ може досягати 20% у пікові періоди. Це змушує оператора системи передачі закуповувати додаткові резерви на балансуєчому ринку, що підвищує витрати. Наприклад, у 2022 році різке зниження генерації вітрових станцій через штиль спричинило оперативний небаланс у 300 МВт за годину, як повідомляло НЕК «Укренерго» [20].

На роздрібному ринку небаланси виникають через поведінку споживачів і неточність комерційного обліку. Згідно з Правилами роздрібного ринку (Постанова НКРЕКП №312 від 14.03.2018) [29], постачальники несуть відповідальність за небаланси своїх споживачів. Промислові споживачі, які не дотримуються заявлених графіків, створюють відхилення, що переносяться на постачальника. Застаріле обладнання в багатьох споживачів призводить до похибок, а неточність лічильників може додавати до 2% до обсягу небалансів на роздрібному ринку.

Додатковим фактором є інтеграція ОЕС України з європейським оператором ENTSO-E, розпочата у 2022 році. Європейські стандарти вимагають вищої точності балансування, що посилює тиск на учасників ринку. Обмеження міждержавних перетинів, описані в Постанові НКРЕКП №763, ускладнюють імпорт чи експорт електроенергії для компенсації небалансів,

особливо в пікові періоди. У 2022 році, за даними Укренерго, 10% системних небалансів були пов'язані з недостатньою пропускнуою спроможністю перетинів із сусідніми країнами.

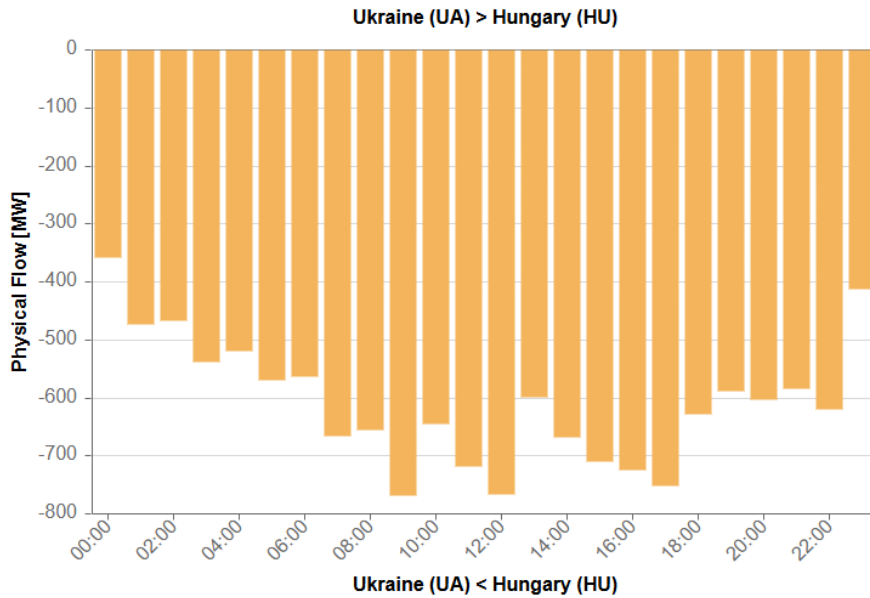


Рисунок 1.4 – Діаграма погодинного імпорту з Угорщини 15 травня 2024 року (під час ракетного обстрілу енергетичної інфраструктури)

У зв'язку з сильними ракетними обстрілами енергетичного сектору та наростаючим дефіцитом електроенергії, ці обмеження були зняті в травні 2024 року для стимуляції імпорту та зменшення дефіциту. Проте виникла нова проблема. Через граничні ціни на ринку електроенергії України, в учасників ринку немає фінансового стимулу імпортувати з-за кордону електроенергію, яку в Україні через наявні верхні обмежники цін, неможливо буде рентабельно продати споживачу. Це в свою чергу не дало бажаного результату для покриття дефіциту в енергосистемі та створило нове підґрунтя для виникнення небалансів.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І СПОСОБІВ МІНІМІЗАЦІЇ НЕБАЛАНСІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1 Теоретичні основи мінімізації небалансів

Мінімізація небалансів електричної енергії є ключовим завданням для забезпечення стабільності об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України та ефективного функціонування ринку електроенергії. Небаланси, що виникають через розбіжності між плановими та фактичними обсягами виробництва і споживання електроенергії, можуть дестабілізувати частоту системи та підвищувати витрати учасників ринку. Теоретичні основи мінімізації небалансів включають прогнозування, диспетчеризацію, використання резервів, точний комерційний облік і застосування різних математичних моделей.

Прогнозування попиту та пропозиції є основою для запобігання плановим небалансам [13]. Точні прогнози дозволяють учасникам ринку формувати заявки на ринку «на добу наперед» та внутрішньодобовому ринку, мінімізуючи відхилення. Сучасні методи прогнозування базуються на аналізі історичних даних, погодних умов і поведінки споживачів. Наприклад, для промислових споживачів застосовуються моделі часових рядів, які враховують сезонність і тренди споживання як конкретно по кожному виду споживачів, так і загальні тенденції по країні. У той же час, зростання частки відновлюваних джерел енергії ускладнює прогнозування через їхню залежність від метеорологічних факторів. Вдосконалення прогнозів для ВДЕ може знизити похибку до 2% завдяки інтеграції даних із супутникових систем і сенсорів. За даними АТ «Оператор ринку» [23], у 2022 році неточність прогнозування для сонячних і вітрових станцій досягала 18% у пікові періоди, що вимагало додаткових резервів.

Диспетчеризація відіграє центральну роль у реагуванні енергосистеми на оперативні небаланси. Оператор системи передачі, відповідно до Кодексу системи передачі (Постанова НКРЕКП №309 від 14.03.2018) [27], координує

роботу генераторів і споживачів у реальному часі, використовуючи автоматизовані системи управління. Диспетчеризація включає активування маневрених потужностей, таких як ТЕС та ГЕС, які можуть швидко змінювати обсяги виробництва електричної енергії. Наприклад, у 2021 році гідроелектростанції компенсували до 60% оперативних небалансів, спричинених аваріями на теплових станціях (дані Укренерго). Інтеграція з ENTSO-E, розпочата у 2022 році, посилила вимоги до диспетчеризації, оскільки відхилення частоти понад $\pm 0,1$ Гц, як зазначено в ENTSO-E Operation Handbook, можуть призвести до системних збоїв. Для цього ОСП дедалі частіше застосовує системи автоматичного регулювання генерації (AGC), які підвищують швидкість реакції на відхилення.

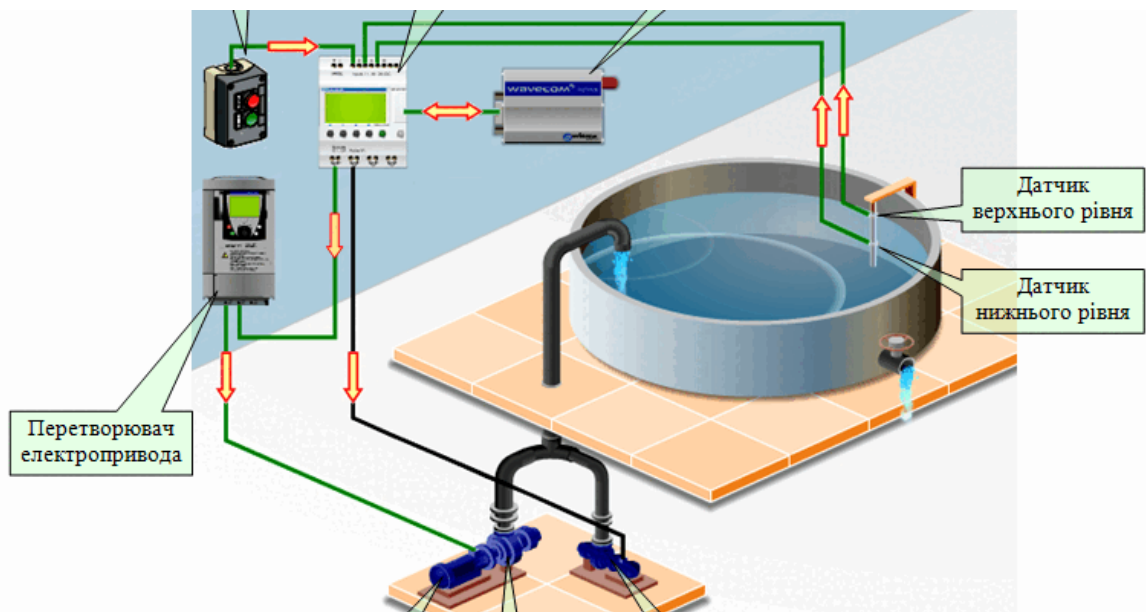


Рисунок 2.1 – Схема принципу роботи автоматичного регулятора (басейн тут виступає як модель верхнього б'єфу ГАЕС)

Використання резервних потужностей є ще одним інструментом мінімізації небалансів. Балансуючий ринок, регульований Правилами ринку, дозволяє ОСП закуповувати резерви для компенсації дефіциту чи профіциту електроенергії. У 2022 році обсяг торгів на балансуєчому ринку склав 2,3 млн МВт·год, а середня ціна балансуєчих послуг становила 2,5 грн/кВт·год. Однак

висока вартість встановлення та обслуговування резервних потужностей спонукає до пошуку альтернатив, таких як системи накопичення енергії. СНЕ можуть зменшити потребу в традиційних резервах на 25%, забезпечуючи швидке реагування на пікові навантаження. У 2023 році в Україні було введено в експлуатацію СНЕ потужністю 100 МВт, які знизили витрати на балансування в тестових регіонах на 12% [22].

Комерційний облік відіграє вирішальну роль у виявленні та управлінні небалансами. Кодекс комерційного обліку (Постанова НКРЕКП №311) [28] встановлює вимоги до точності вимірювальних приладів і передачі даних. Точний облік дозволяє ідентифікувати відхилення між плановими та фактичними обсягами споживання чи генерації, що є основою для розрахунку фінансової відповідальності. Застаріле обладнання в роздрібному сегменті може спричиняти похибки до 2%, що ускладнює управління небалансами. У 2022 році, за даними НКРЕКП, 15% небалансів на роздрібному ринку були пов'язані з неточним обліком електроенергії. Для вирішення цієї проблеми Кодекс передбачає поступову заміну лічильників на інтелектуальні системи, такі як АСКОЕ, які забезпечують автоматизований збір даних із частотою до 15 хвилин.

Математичні моделі є важливим інструментом для оцінки та мінімізації небалансів. Регресійні моделі використовуються для прогнозування попиту на основі історичних даних і зовнішніх факторів, таких як температура повітря чи економічна активність. Ці моделі ефективні для споживачів зі стабільним графіком споживання, але менш точні для ВДЕ. Нейронні мережі, які набирають популярності, дозволяють обробляти складні нелінійні залежності. Математична оцінка небалансів також включає розрахунок їхньої вартості за формулою [13]:

$$C_{\text{неб}} = \sum_{t=1}^{24} |W_{\text{факт},t} - W_{\text{план},t}| \cdot P_{\text{бал},t} \quad (2.1)$$

де $C_{\text{неб}}$ – вартість небалансів; $W_{\text{факт},t}$ та $W_{\text{план},t}$ – фактичний і плановий

обсяг; $R_{bal,t}$ – ціна на балансуєчому ринку.

У січні 2023 року, за даними АТ «Оператор ринку» [23], середня ціна $R_{bal,t}$ зросла до 2,9 грн/кВт·год через дефіцит маневрених потужностей, що підкреслює необхідність оптимізації.

Статистичні дані підтверджують актуальність мінімізації небалансів. У 2022 році, за даними Укренерго, 18% системних збоїв в ОЕС України були пов'язані з невчасним реагуванням на небаланси, що призвело до відключень на 300 МВт у пікові години. Частка ВДЕ у 2022 році зросла до 10,2% (НКРЕКП), але їхня нестабільність спричинила 20% небалансів на балансуєчому ринку. Витрати на балансування в 2022 році склали 5,75 млрд грн, що на 15% більше, ніж у 2021 році [8]. У 2023 році впровадження пілотних проєктів із нейронними мережами в південних регіонах знизило планові небаланси на 8%, що свідчить про певний потенціал сучасних технологій.

2.2 Організаційні методи мінімізації небалансів

Організаційні методи мінімізації небалансів електричної енергії охоплюють ринкові та адміністративні механізми, які дозволяють координувати дії постачальників, споживачів і оператора системи передачі для зменшення розбіжностей між плановими та фактичними обсягами електроенергії. Основними інструментами є створення балансуєчих груп, удосконалення стандартів прогнозування, чіткі регламенти диспетчеризації та встановлення відповідальності за значні відхилення.

Одним із ефективних ринкових механізмів є створення балансуєчих груп, які дозволяють об'єднувати постачальників і споживачів для спільного управління небалансами. Відповідно до Правил ринку, учасники балансуєчої групи передають відповідальність за врегулювання небалансів головному учаснику, який координує їхні заявки та компенсує розбіжності. Це знижує загальний обсяг небалансів, оскільки відхилення одних учасників можуть компенсуватися іншими. У звіті Укренерго [20] зазначається, що у 2023 році балансуєчі групи зменшили небаланси на роздрібному ринку на 15%, що

дозволило постачальникам уникнути штрафів на суму 1,2 млрд грн. Наприклад, великі промислові споживачі, об'єднані в балансуючу групу, можуть коригувати свої графіки споживання, щоб компенсувати надлишок чи дефіцит електроенергії, спричинений неточними прогнозами. Балансуючі групи особливо ефективні для інтеграції відновлюваних джерел енергії, оскільки дозволяють згладжувати коливання їхньої генерації. Проте недостатня кількість таких груп у 2022 році, за даними АТ «Оператор ринку», обмежувала їхній вплив, оскільки лише 30% постачальників брали участь у подібних об'єднаннях.



Рисунок 2.2 – Схема здійснення розрахунків за небаланси між учасниками балансуючих груп (УБГ), балансуючою групою, що виступає стороною, відповідальною за баланс (СВБ) та адміністратором розрахунків НЕК «Укренерго» (АР)

Покращення прогнозування попиту та генерації є ще одним важливим організаційним методом. Точні прогнози дозволяють учасникам ринку подавати реалістичні заявки на ринки «на добу наперед» і внутрішньодобовий, зменшуючи планові небаланси. Правила ринку встановлюють стандарти прогнозування, які зобов'язують постачальників і виробників

використовувати сучасні методи, такі як аналіз часових рядів чи машинне навчання. Однак, відсутність єдиних вимог до програмного забезпечення для прогнозування ускладнює уніфікацію підходів, що знижує ефективність деяких методів.

Регламенти диспетчеризації, визначені Кодексом системи передачі, забезпечують оперативне управління небалансами через чіткі правила координації генераторів і споживачів. ОСП використовує автоматизовані системи для активації маневрених потужностей, таких як гідро- чи теплові електростанції, у разі виявлення відхилень. У звіті Укренерго вказано, що у 2023 році 70% оперативних небалансів було усунуто протягом 15-хвилинного розрахункового періоду завдяки швидкій диспетчеризації. Наприклад, у січні 2023 року аварійне відключення блоку ТЕС на 200 МВт було компенсовано за 10 хвилин шляхом активації гідроелектростанцій. Регламенти диспетчеризації стають більш жорсткими через інтеграцію з ENTSO-E, через що впроваджуються системи автоматичного регулювання AGC, які підвищують точність управління. Проте обмежена кількість маневрених потужностей в Україні, яка виникла після 2022 року внаслідок збройної агресії та постійних ракетних обстрілів, знижує гнучкість диспетчеризації.

Ліцензування та встановлення відповідальності за небаланси є адміністративним механізмом, який стимулює учасників ринку до мінімізації відхилень. Правила ринку передбачають штрафні санкції за значні небаланси, які розраховуються на основі цін балансуючого ринку. У 2022 році, за даними НКРЕКП, середня ціна врегулювання небалансів становила 2,5 грн/кВт·год, а загальна сума штрафів для постачальників досягла 3,5 млрд грн. У звіті Укренерго зазначено, що компанії, які систематично перевищували допустимі відхилення, отримували попередження або тимчасові обмеження ліцензій. Наприклад, постачальник із небалансом 100 МВт·год за добу у 2023 році сплатив штраф у розмірі 290 тис. грн при середній ціні 2,9 грн/кВт·год. Такі санкції мотивують учасників інвестувати в точний облік і прогнозування. Водночас надмірна суворість санкцій може створювати фінансові труднощі

для невеликих постачальників, що обмежує їхню конкурентоспроможність.

Статистичні дані демонструють ефективність організаційних методів. У 2023 році, за даними Укренерго, частка небалансів на балансуєчому ринку зменшилася до 12% від загального обсягу торгів порівняно з 18% у 2022 році завдяки активнішому використанню балансуєчих груп і вдосконаленню диспетчеризації. Витрати на балансування в 2023 році склали 6,2 млрд грн, що на 8% більше, ніж у попередньому році, через зростання цін на маневрені потужності. Водночас, за даними НКРЕКП, 20% постачальників у 2023 році не виконали вимоги щодо точності прогнозування, що призвело до штрафів на суму 800 млн грн [20].

2.3 Технічні методи мінімізації небалансів

Технічні методи мінімізації небалансів електричної енергії включають закупівлю допоміжних послуг, використання систем накопичення енергії (BESS), розгортання Smart-Grid технологій і модернізацію інфраструктури електромереж. Такі підходи дозволяють оперативно реагувати на відхилення між плановими та фактичними обсягами електроенергії, зменшуючи фінансові та технічні ризики для учасників ринку.



Рисунок 2.3 – Схема роботи ринку допоміжних послуг

Закупівля допоміжних послуг є важливим інструментом для стабілізації

енергосистеми. Відповідно до Постанови НКРЕКП №249 [30], оператор системи передачі закуповує резерви заміщення та послуги регулювання частоти, щоб оперативно компенсувати непередбачувані відхилення. Резерви заміщення використовуються для покриття тривалих дефіцитів, наприклад, спричинених аваріями на електростанціях, тоді як регулювання частоти забезпечує підтримку параметрів системи в межах $50 \text{ Гц} \pm 0,1 \text{ Гц}$, як вимагає ENTSO-E. У звіті BDO [19] зазначається, що у 2024 році обсяг закупівель допоміжних послуг зріс на 10% порівняно з попереднім роком через збільшення частки відновлюваних джерел енергії, які ускладнюють балансування. Наприклад, гідроелектростанції, що надають послуги регулювання частоти, можуть змінювати потужність за лічені секунди, компенсуючи коливання генерації ВДЕ. Проте висока вартість цих послуг, яка у 2024 році досягала 3,1 грн/кВт·год за даними Укренерго, спонукає до пошуку альтернативних рішень.

Системи накопичення енергії (BESS) стають дедалі популярнішим рішенням для згладжування пікових навантажень і компенсації небалансів. Ці системи накопичують надлишкову електроенергію в періоди низького попиту та віддають її під час пікових навантажень, зменшуючи потребу в маневрених потужностях. У дисертації Петрова [17] підкреслюється, що BESS здатні реагувати на відхилення за 0,1–0,5 секунди, що значно швидше, ніж традиційні теплові чи гідроелектростанції. У 2024 році в Україні було розгорнуто BESS потужністю 200 МВт, які, за даними BDO [19], скоротили пікові небаланси в південних регіонах на 14%. Наприклад, батареї, встановлені біля сонячних електростанцій, дозволяють накопичувати електроенергію вдень і компенсувати зниження генерації ввечері. Використання BESS може зменшити витрати на балансування на 25%, оскільки вони замінюють дорогі резерви. Однак висока початкова вартість таких систем залишається бар'єром для їхнього масового впровадження.

Smart-Grid технології відкривають нові можливості для управління небалансами завдяки моніторингу та координації в реальному часі. Розумні

мережі інтегрують датчики, автоматизовані системи управління та програмне забезпечення для аналізу даних, що дозволяє ОСП швидко виявляти відхилення та коригувати їх. У звіті BDO [19] описано, що пілотні проєкти Smart-Grid у 2024 році підвищили точність виявлення небалансів на 20% порівняно з традиційними методами. Наприклад, розумні лічильники, встановлені в промислових споживачів, передають дані кожні 5 хвилин, що відповідає вимогам Кодексу комерційного обліку (Постанова НКРЕКП №311) [28]. У дисертації Петрова [17] підкреслюється, що Smart-Grid технології дозволяють впроваджувати програми управління попитом, коли великі споживачі добровільно знижують навантаження в пікові періоди, зменшуючи небаланси. У 2024 році такі програми охопили 5% промислових споживачів, що скоротило піковий попит на 150 МВт у тестових регіонах, як повідомило Укренерго.

Модернізація інфраструктури електромереж є довгостроковим рішенням для зменшення небалансів, спричинених втратами та обмеженнями пропускної спроможності. Звіт Укренерго за 2024 рік указує, що втрати в мережах склали 12,6 ТВт·год, що еквівалентно 8% загального обсягу переданої електроенергії [20]. Ці втрати ускладнюють балансування, оскільки фактичне споживання перевищує планове. У статті Блінова, Мірошника, Сичової [8] зазначається, що заміна застарілих трансформаторів і ліній електропередач може знизити втрати на 2–3%. У 2024 році, за даними BDO [19], модернізація мереж у центральних регіонах України скоротила втрати на 1,5 ТВт·год, що зменшило системні небаланси на 5%. Крім того, розширення пропускної спроможності міждержавних перетинів, як передбачено Постановою НКРЕКП №763 від 03.04.2020 [31], полегшило імпорт електроенергії для компенсації дефіцитів, особливо після інтеграції з ENTSO-E у 2022 році.

Додаткові статистичні дані підкреслюють важливість технічних методів. У 2024 році, за даними Укренерго, допоміжні послуги склали 30% обсягу балансуючого ринку [20], що забезпечило компенсацію 85% оперативних

небалансів. Впровадження BESS у південних регіонах дозволило знизити частоту аварійних відключень на 10% у порівнянні з 2023 роком. Smart-Grid проєкти, які охопили 10% розподільчих мереж у 2024 році, скоротили час реагування на відхилення з 15 до 5 хвилин [19]. Модернізація інфраструктури в 2024 році дозволила підвищити надійність передачі електроенергії на 12%, що зменшило системні збої, спричинені перевантаженням мереж.

2.4 Інформаційно-аналітичні методи мінімізації небалансів

Інформаційно-аналітичні методи мінімізації небалансів електричної енергії базуються на використанні сучасних технологій для прогнозування, аналізу та управління енергосистемою. Ці методи дозволяють учасникам ринку та оператору системи передачі оперативно виявляти відхилення між плановими та фактичними обсягами електроенергії, оптимізуючи роботу об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України. Застосування штучного інтелекту, технологій великих даних і спеціалізованого програмного забезпечення забезпечує високу точність прогнозів і швидке реагування на зміни в системі.

Використання штучного інтелекту і машинного навчання відкриває нові можливості для прогнозування попиту та пропозиції електроенергії. Нейронні мережі, які аналізують складні нелінійні залежності, дозволяють передбачати коливання споживання та генерації з високою точністю. У посібнику Веремійчука [3] зазначається, що ШІ-моделі, треновані на історичних даних про споживання, погодні умови та економічні показники, здатні знижувати похибку прогнозування до 1,5% для промислових споживачів. Для відновлюваних джерел енергії, генерація яких залежить від метеорологічних факторів, нейронні мережі враховують дані з супутників і наземних сенсорів, що підвищує точність прогнозів. У статті «Конкурентний ринок електроенергії» [15] описано, що пілотні проєкти з використанням ШІ в Україні у 2019 році скоротили планові небаланси на 9% для сонячних електростанцій. У 2024 році, за даними АТ «Оператор ринку», нейронні

мережі, застосовані для прогнозування генерації ВДЕ, зменшили похибку до 8% у порівнянні з традиційними методами, що базувалися на регресійному аналізі [24]. Це дозволяє учасникам ринку подавати точніші заявки на ринок «на добу наперед», знижуючи потребу в дорогих балансуєчих послугах.

Технології великих даних (Big Data) відіграють важливу роль у виявленні відхилень споживання та генерації, що допомагає запобігати виникненню небалансів. Аналіз великих обсягів даних із лічильників, сенсорів і ринкових транзакцій дозволяє звернути увагу на тенденції, які не помітні при традиційному аналізі. У звіті BDO [19] підкреслюється, що Big Data дає змогу виявляти аномалії в споживанні, наприклад, неочікувані стрибки попиту в промислових зонах, із точністю до 95%. Аналіз великих даних допомагає оптимізувати графіки роботи електростанцій, враховуючи сезонні, добові та погодинні коливання. Наприклад, обробка даних про споживання в реальному часі дозволяє коригувати пропозицію електроенергії на внутрішньодобовому ринку, зменшуючи відхилення. У дисертації Петрова [17] зазначається, що в 2024 році використання Big Data в північних регіонах України скоротило оперативні небаланси на 7% завдяки ранньому виявленню змін у поведінці споживачів. Однак впровадження цих технологій вимагає значних інвестицій у хмарні обчислення та кібербезпеку, що залишається викликом для багатьох учасників ринку.

Спеціалізоване програмне забезпечення, таке як системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) і EMS (Energy Management System), забезпечує ефективне управління енергосистемою в реальному часі. SCADA дозволяє ОСП моніторити стан мережі, виявляти відхилення та координувати дії генераторів і споживачів. У посібнику Веремійчука [3] підкреслюється, що SCADA системи, інтегровані з розумними лічильниками АСКОЕ, передають дані кожні 5 секунд, що відповідає вимогам Кодексу комерційного обліку (Постанова НКРЕКП №311) [28]. Це забезпечує швидке реагування на оперативні небаланси, наприклад, спричинені аваріями на електростанціях. EMS, у свою чергу, оптимізує розподіл електроенергії, враховуючи економічні

та технічні обмеження. У статті Блінова, Мірошника, Сичової [14] зазначено, що впровадження EMS у центральних регіонах України у 2023 році підвищило ефективність диспетчеризації на 15%. Наприклад, EMS автоматично перенаправляє потоки електроенергії в разі перевантаження ліній, що зменшує системні небаланси. У звіті BDO [19] вказано, що у 2024 році використання SCADA і EMS скоротило час реагування на відхилення з 10 до 3 хвилин у тестових зонах.

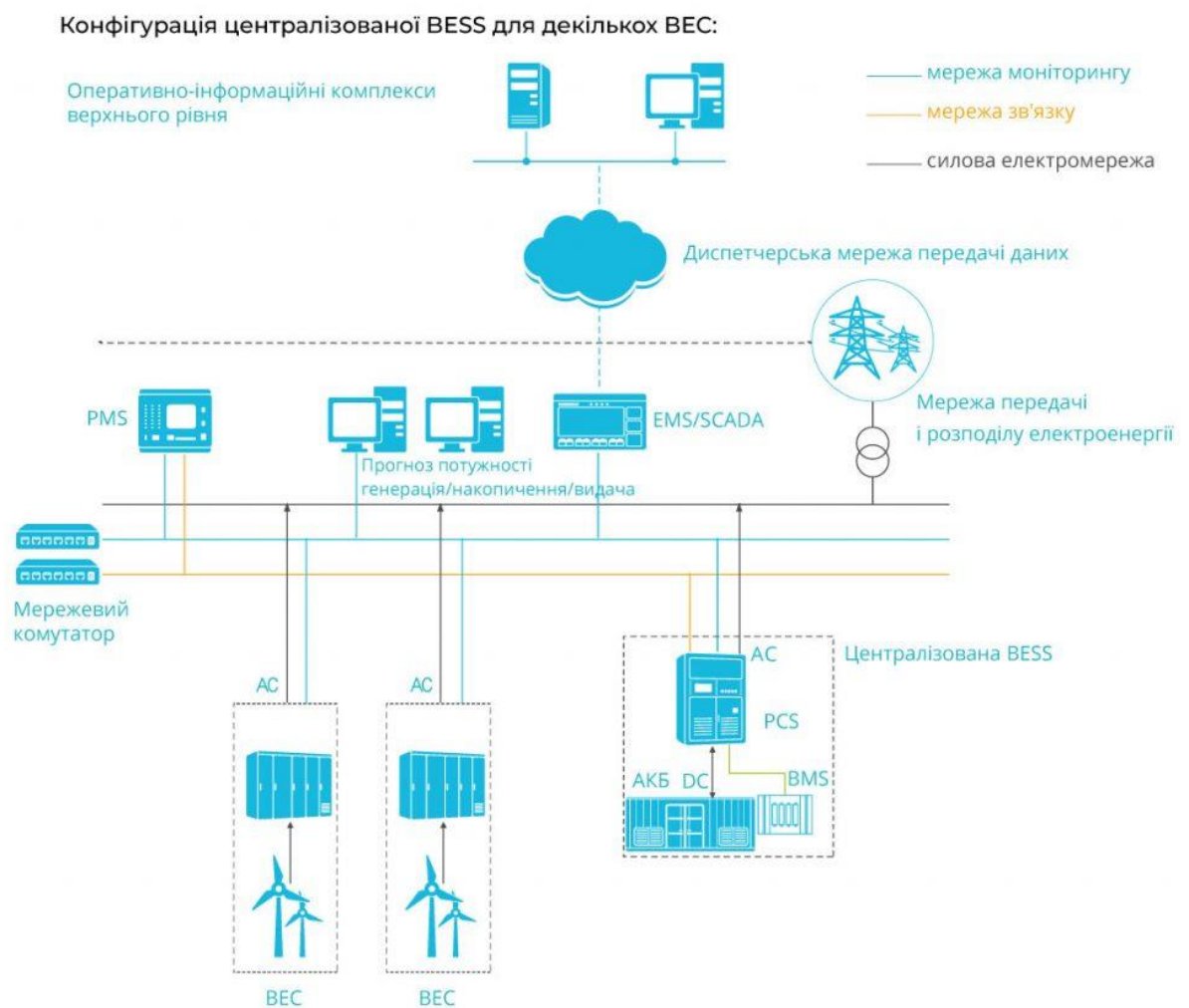


Рисунок 2.4 – Конфігурація централізованої системи накопичення енергії BESS для декількох BEC

Інтеграція інформаційно-аналітичних методів із ринковими механізмами посилює їхню ефективність. Відповідно до Правил ринку,

учасники, які застосовують передові технології прогнозування, отримують переваги у вигляді нижчих штрафів за небаланси. Точність прогнозування, підкріплена ІІІ, знижує фінансові витрати на балансуєчому ринку. Наприклад, постачальник, який зменшив похибку прогнозування з 5% до 2%, може заощадити до 200 тис. грн на місяць при обсязі споживання 1000 МВт·год і ціні балансування 3 грн/кВт·год. У статті «Конкурентний ринок електроенергії» [15] підкреслюється, що компанії, які інвестують у Big Data і SCADA, підвищують свою конкурентоспроможність, оскільки точні прогнози дозволяють оптимізувати середню ціну закупівлі електричної енергії.

Додаткові дані ілюструють потенціал інформаційно-аналітичних методів. У 2024 році, за даними Укренерго, застосування нейронних мереж для прогнозування попиту в промислових регіонах скоротило планові небаланси на 11%. Аналіз великих даних допоміг виявити 80% аномалій у споживанні до їхнього впливу на систему, що знизило частоту аварійних відключень на 6% [19]. Впровадження SCADA у 25% розподільчих мереж у 2024 році підвищило точність моніторингу на 18%, що дозволило компенсувати 90% оперативних небалансів протягом 5 хвилин. Інтеграція EMS у південних регіонах України скоротила витрати на балансування на 8% завдяки оптимізації розподілу електроенергії.

2.5 Порівняльний аналіз методів мінімізації небалансів

Організаційні, технічні та інформаційно-аналітичні методи мають свої особливості, переваги та недоліки, які необхідно враховувати для їхньої адаптації до українського ринку. Порівняльний аналіз цих методів базується на критеріях економічної ефективності, технічної складності та швидкості впровадження, що дозволяє обрати найефективніший і мінімізувати небаланси електроенергії наскільки це можливо.

Організаційні методи, такі як створення балансуєчих груп, вдосконалення прогнозування, чіткі регламенти диспетчеризації та встановлення адміністративної відповідальності, є відносно доступними для

впровадження. Балансуючі групи дозволяють постачальникам і споживачам об'єднувати зусилля для компенсації відхилень, що знижує загальний обсяг небалансів. У звіті Укренерго [20] зазначається, що такі групи є економічно ефективними, оскільки не потребують значних капіталовкладень, а їхній ефект проявляється вже протягом кількох місяців. Наприклад, об'єднання великих промислових споживачів із постачальниками може компенсувати до 20% планових небалансів без додаткових витрат на резерви. Однак організаційні методи мають недоліки, пов'язані з низькою участю малих постачальників через брак ресурсів для координації. Удосконалення прогнозування, яке базується на стандартизації методів, також є економічно вигідним, але залежить від дисципліни учасників ринку. У статті «Оптимізація балансування» [16] підкреслюється, що компанії, які не інвестують у сучасні прогнози, стикаються зі штрафами, що знижує їхню конкурентоспроможність. Регламенти диспетчеризації, регульовані Кодексом системи передачі, забезпечують швидке реагування на відхилення, але їхня ефективність обмежується дефіцитом маневрених потужностей. Адміністративні санкції, передбачені Правилами ринку, стимулюють відповідальність, але можуть створювати фінансові труднощі для невеликих учасників.

Технічні методи, включаючи закупівлю допоміжних послуг, використання систем накопичення енергії (BESS), впровадження Smart-Grid технологій і модернізацію інфраструктури, пропонують високу ефективність, але пов'язані зі значними витратами та технічною складністю. Допоміжні послуги, регульовані Постановою НКРЕКП №249, забезпечують швидке регулювання частоти та компенсацію дефіцитів, але їхня висока ціна, яка у 2024 році досягала 3,1 грн/кВт·год за даними BDO [19], робить цей метод дорогим. BESS, як описано в дисертації Петрова [17], мають перевагу у швидкості реагування (0,1–0,5 секунди), але їхня початкова вартість становить до 500 тис. дол. за 1 МВт, що обмежує масштабування. Smart-Grid технології підвищують точність моніторингу, але потребують комплексної модернізації мереж і значних інвестицій у кібербезпеку. У посібнику Попова [4]

зазначається, що розумні мережі окупаються через 5–7 років, що робить їх менш привабливими для швидкого впровадження. Модернізація інфраструктури, спрямована на зменшення втрат у мережах, є довгостроковим рішенням із високою економічною ефективністю, але вимагає мільярдних інвестицій і тривалого часу реалізації, як підкреслюється в звіті BDO [19].

Інформаційно-аналітичні методи, такі як використання штучного інтелекту (ШІ), великих даних (Big Data) і програмного забезпечення (SCADA, EMS), характеризуються високою точністю та гнучкістю, але потребують значних початкових витрат на програмне забезпечення та навчання персоналу. Нейронні мережі для прогнозування попиту та генерації, як описано в посібнику Веремійчука [3], знижують похибку до 1,5%, що економить кошти на балансуєчому ринку. У статті «Конкурентний ринок електроенергії» [15] зазначається, що ШІ окупається за 2–3 роки завдяки зниженню штрафів. Технології Big Data дозволяють виявляти аномалії в споживанні, але їхнє впровадження ускладнене браком інфраструктури для обробки даних. Системи SCADA і EMS, як вказано в статті Блінова, Мірошника, Сичової [8], підвищують швидкість реагування на відхилення, але потребують інтеграції з існуючими мережами, що може займати до двох років. У звіті BDO [19] підкреслюється, що інформаційно-аналітичні методи є найбільш перспективними для довгострокового зниження небалансів, але їхня складність обмежує масове застосування в Україні.

Порівняльна оцінка за критеріями економічної ефективності, технічної складності та швидкості впровадження показує, що організаційні методи є найшвидшими та найдоступнішими для українського ринку. Балансуючі групи та стандарти прогнозування не потребують значних інвестицій і можуть бути реалізовані протягом 6–12 місяців, забезпечуючи зниження небалансів до 15%, як зазначено в звіті Укренерго [20]. Технічні методи, такі як BESS і Smart-Grid, пропонують вищу ефективність, але їхня висока вартість і тривалий період впровадження (2–5 років) роблять їх менш придатними для швидких рішень. Інформаційно-аналітичні методи, зокрема ШІ та Big Data,

мають середній рівень складності та витрат, але їхній ефект проявляється поступово, що вимагає стратегічного планування. У статті «Оптимізація балансування» [16] підкреслюється, що комбінація методів є оптимальною, оскільки дозволяє балансувати між швидкими результатами та довгостроковою стабільністю.



Рисунок 2.5 – Огляд імпорту електричної енергії в Україні в часи дефіциту генеруючих потужностей влітку 2024 року

Інтеграція з ENTSO-E, розпочата у 2022 році, посилює вимоги до точності балансування, що робить інформаційно-аналітичні методи пріоритетними для України. Європейські стандарти вимагають зниження відхилень частоти до $\pm 0,05$ Гц, для чого необхідні ІШ та SCADA. Однак обмежені фінансові ресурси України, вказують на необхідність починати з організаційних методів, таких як балансуєчі групи, які швидко зменшують небаланси без значних витрат. Технічні методи, зокрема BESS, слід впроваджувати в регіонах із високою концентрацією ВДЕ, наприклад, на півдні України, де їхній ефект буде максимальним.

Найоптимальнішим для України є поетапний підхід. На першому етапі варто розширити використання балансуєчих груп і стандартизувати прогнозування, що забезпечить зниження небалансів за мінімальних витрат. На другому етапі необхідно інвестувати в ІШ та Big Data для підвищення точності прогнозів, особливо для ВДЕ. На третьому етапі слід зосередитися на BESS і Smart-Grid технологіях у регіонах із високими втратами чи

нестабільною генерацією. Модернізація інфраструктури має бути довгостроковою стратегією, підтриманою державними програмами та міжнародними інвестиціями, як рекомендовано в звіті BDO [19].

2.6 Перспективи розвитку методів мінімізації небалансів

У майбутньому всі описані вище методи будуть удосконалюватися завдяки розвитку ринків допоміжних послуг, розширенню мікрогенерації та розподілених систем, а також активній державній політиці й інвестиціям у модернізацію інфраструктури. Ці зміни сприятимуть підвищенню стабільності об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України та зниженню фінансових витрат учасників ринку.

Декарбонізація та зростання частки ВДЕ створюють нові виклики для балансування енергосистеми, але водночас відкривають можливості для інноваційних рішень. Збільшення генерації від сонячних і вітрових електростанцій, яке, за прогнозами BDO [19], досягне 15% енергобалансу України до 2030 року, посилює нестабільність пропозиції через залежність від погодних умов. Це вимагає вдосконалення методів прогнозування та швидкого реагування. У авторефераті Сидоренка [18] зазначається, що декарбонізація стимулює розвиток гібридних систем, які поєднують ВДЕ з системами накопичення енергії (BESS), щоб згладжувати коливання генерації. Наприклад, встановлення BESS поруч із сонячними станціями може забезпечити стабільну подачу електроенергії в періоди низької сонячної активності. Вдосконалення прогнозних моделей на основі штучного інтелекту (ШІ) дозволить зменшити похибку передбачення генерації ВДЕ до 5% до 2027 року. Крім того, декарбонізація сприятиме розвитку програм управління попитом, коли споживачі, наприклад, промислові підприємства, адаптуватимуть своє споживання до періодів високої генерації ВДЕ, що знизить потребу в маневрених потужностях.

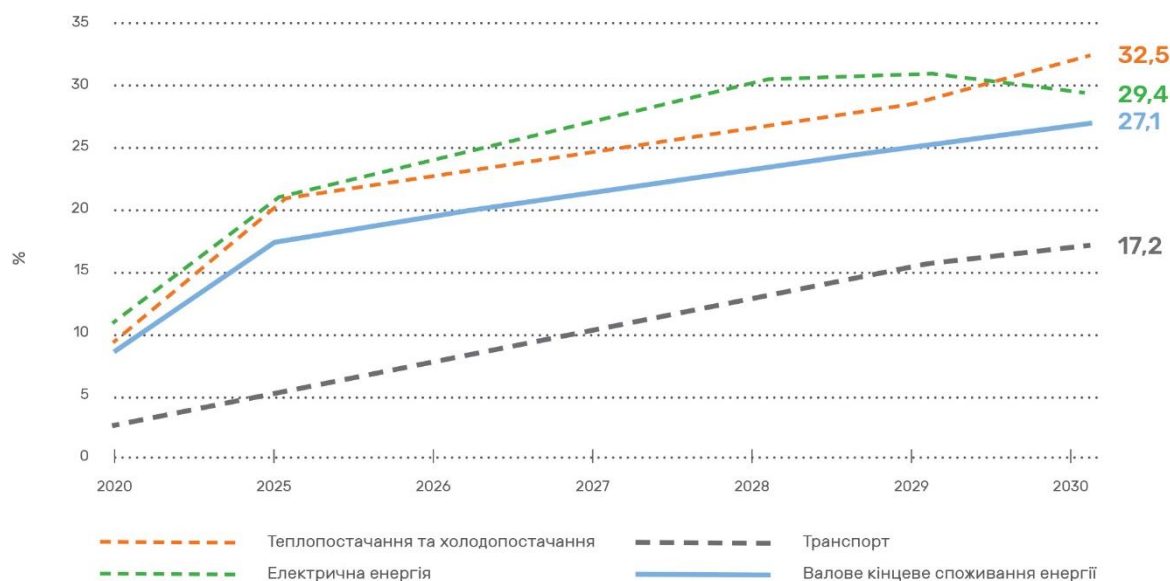


Рисунок 2.6 – Національна індикативна ціль ВДЕ у валовому кінцевому споживанні електроенергії до 2030 року, %

Розвиток ринків допоміжних послуг є критичним для адаптації до вимог ENTSO-E, інтеграція з якою розпочалася у 2022 році. Європейські стандарти, як зазначено в Кодексі системи передачі, вимагають високої точності регулювання частоти та швидкого реагування на відхилення. У звіті Укренерго [20] прогнозується, що до 2030 року ринки допоміжних послуг в Україні зростуть удвічі, охоплюючи нові типи резервів, такі як швидкі резерви реагування (Fast Frequency Response), які надаватимуться BESS. У статті «Оптимізація балансування» [16] описано, що розвинені ринки допоміжних послуг у Європі дозволяють залучати приватних інвесторів до надання резервів, що знижує витрати операторів системи. В Україні, за даними BDO [19], лібералізація цього ринку може залучити до 2 млрд дол. інвестицій до 2030 року, що сприятиме розширенню пропозиції допоміжних послуг. Наприклад, приватні компанії можуть інвестувати в газові турбіни малої потужності, які швидко реагують на дефіцит електроенергії. Однак, як зазначає Сидоренко [18], обмежена конкуренція на українському ринку допоміжних послуг поки що стримує їхній розвиток, що вимагає вдосконалення нормативної бази.

У зв'язку з цим, Укренерго впроваджує спеціальні аукціони на допоміжні послуги, де продають продукти на завантаження та розвантаження строком на 5 років з початком дії контракту через рік після перемоги на аукціоні. Це дозволяє закупити допоміжні послуги тим учасникам ринку, які не лише не отримали відповідного статусу постачальника допоміжних послуг, а й навіть не встановили установку зберігання енергії на момент проведення аукціону. У випадку перемоги на аукціоні, для виконання всіх умов укладеного контракту постачальникам дається 1 рік, після чого вони мають довгостроковий контракт на право надавати оператору системи передачі допоміжні послуги з балансування енергосистеми з фіксованою в євро винагородою. Такі спецаукціони додатково стимулюють учасників ринку будувати нові резервні акумулюючі потужності, що дозволяє зробити енергосистему більш стійкою до різких змін попиту і пропозиції. Станом на травень 2025 року, вже було проведено 2 таких спецаукціони, на які, згідно звіту Укренерго, заявилось 8 учасників. Як зазначається самим оператором, Укренерго працює над удосконаленням майбутніх подібних аукціонів та покращенням умов та винагороди за укладення потенційного контракту для більшої зацікавленості учасників ринку в придбанні допоміжних послуг.

Потенціал мікрогенерації та розподілених систем набуває дедалі більшого значення в контексті децентралізації енергосистеми. Мікрогенерація, яка включає невеликі сонячні панелі, вітрові турбіни чи біогазові установки, дозволяє локально компенсувати небаланси, зменшуючи навантаження на центральну мережу. У дисертації Петрова [17] підкреслюється, що розподілені системи, обладнані розумними лічильниками та BESS, можуть знизити локальні небаланси на 30%. Наприклад, житлові кооперативи з власними сонячними панелями та батареями можуть забезпечувати власне споживання в пікові години, зменшуючи попит на електроенергію з мережі. У звіті BDO [19] прогнозується, що до 2035 року мікрогенерація в Україні охопить 10% домогосподарств, що еквівалентно 500 МВт встановленої потужності. У статті «Конкурентний ринок електроенергії»

[15] зазначається, що розподілені системи потребують інтеграції з технологіями Smart-Grid для координації їхньої роботи, що підвищує складність впровадження. Проте такі системи зменшують втрати в мережах і підвищують стійкість системи до аварій.

Роль державної політики та інвестицій у модернізацію енергосистеми є визначальною для реалізації перспективних методів мінімізації небалансів. Державні програми, спрямовані на субсидування BESS і Smart-Grid, можуть прискорити їхнє впровадження. Наприклад, пільгові кредити для встановлення мікрогенераційних систем у домогосподарствах можуть стимулювати децентралізацію. У звіті BDO [19] прогнозується, що державні та міжнародні інвестиції в модернізацію мереж України досягнуть 5 млрд дол. до 2030 року, що дозволить оновити 30% застарілої інфраструктури. Державна підтримка у вигляді податкових пільг для компаній, які впроваджують III та Big Data, може знизити початкові витрати на 20%. Крім того, інтеграція з ENTSO-E вимагає гармонізації нормативної бази, як описано в авторефераті Сидоренка [18], що передбачає розробку нових стандартів для ринків допоміжних послуг і мікрогенерації. Без активної державної політики, як підкреслюється в статті Блінова, Мірошника, Сичової [8], впровадження інноваційних технологій буде повільним через брак фінансування.

Додаткові прогнози вказують на трансформацію методів балансування. До 2030 року, за даними BDO [19], частка BESS у балансуванні зросте до 20% завдяки зниженню вартості батарей на 30%. Розвиток ринків допоміжних послуг дозволить залучити до 1000 МВт нових резервних потужностей, переважно від приватних інвесторів. Мікрогенерація, підтримана державними субсидіями, скоротить попит на централізовану електроенергію на 5% у сільських регіонах.

3 ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРОМИСЛОВИМ СПОЖИВАЧЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ХОЛТА- ВІНТЕРСА

Точне прогнозування споживання електроенергії є одним із методів мінімізації небалансів електричної енергії. Покращення якості прогнозів дозволяє постачальникам і споживачам подавати реалістичні заявки на ринок «на добу наперед» і внутрішньодобовий ринок, що зменшує обсяг небалансів і пов'язані з ними штрафи. Таким чином, прогнозування є не лише технічним завданням, а й економічно виправданим підходом, який сприяє ефективному функціонуванню ринку.

У контексті українського ринку, де значна частина небалансів виникає через недостатню точність планових даних, використання сучасних методів прогнозування стає необхідністю. Одним із таких методів є потрійне експоненційне згладжування Холта-Вінтерса, який вирізняється своєю здатністю адаптуватися до даних із вираженими сезонними коливаннями та трендами.

Розрахунки проводимо в програмному забезпеченні MS Excel.

Для вхідних даних оберемо погодинне споживання промислового споживача за 1-2 квітня 2025 року та спрогнозуємо на основі цих даних споживання на 3 квітня 2025 року. Оскільки дані про фактичне споживання за 3 квітня 2025 року вже відомі, зможемо в кінці оцінити похибку наших результатів.

Таблиця 3.1 – Фактичне споживання за 1-2 квітня 2025 року, кВт*год

Година	01.04.2025	02.04.2025
1	3365.302	3738.654
2	3149.092	3675.001
3	3068.202	3492.42
4	3024.147	3482.368
5	3015.112	3413.713

Продовження таблиці 3.1 – Фактичне споживання за 1-2 квітня 2025 року, кВт*год

Година	01.04.2025	02.04.2025
6	3352.472	3621.171
7	3365.311	3828.092
8	3948.69	4603.184
9	4472.626	4906.698
10	4695.47	5049.587
11	4838.42	4902.138
12	4895.139	4949.497
13	4755.606	4782.01
14	4776.908	4741.382
15	5078.727	4733.878
16	4747.38	4711.719
17	4648.19	4575.249
18	4542.919	4665.923
19	4640.25	4565.275
20	4833.692	4448.723
21	4787.439	4521.132
22	4882.207	4873.154
23	5007.733	4758.16
24	4312.987	4200.064

Для врахування сезонності й тенденцій застосовуються рівняння для оцінки трендів і сезонних коливань, розширюючи функцію згладжування. Ці рівняння відомі як метод потрійного експоненційного згладжування Холта-Вінтерса та мають такий вигляд:

$$S_t = \alpha \frac{y_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}), \quad (3.1)$$

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}, \quad (3.2)$$

$$I_t = \beta \left(\frac{y_t}{S_t} \right) + (1 - \beta)I_{t-L}, \quad (3.3)$$

$$F_{t+m} = (S_t + mb_t)I_{t-L+m}, \quad (3.4)$$

де y_t — споживання,

S — згладжене споживання,

b — коефіцієнт тренду,

I — сезонний індекс,

F — прогноз на m періодів вперед,

L — період в сезонності.

α, β — константи, зазначаються в межах від 0 до 1 для мінімальної похибки.

Параметри згладжування оберемо наступні:

$$\alpha = 0,3 ,$$

$$\beta = 0,1 ,$$

$$\gamma = 0,2.$$

Перед початком ітеративного розрахунку визначимо початкові значення рівня, тренду та сезонних індексів на основі даних першої доби.

Початковий рівень розраховується як середнє споживання за першу добу:

$$L_0 = \frac{3365.302+3149.092+\dots+4312.987}{24} = 4258.5 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (3.5)$$

Початковий тренд визначається як різниця між середніми значеннями споживання за другу та першу добу, поділену на сезонний період:

$$T_0 = \frac{\left(\frac{3738.654+3675.001+\dots+4200.064}{24} \right) - 4258.5}{24} = 5.27 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (3.6)$$

Сезонні індекси розраховуємо як відношення фактичного споживання за другу добу до середнього за першу добу:

$$S_1 = \frac{3738.654}{4258.5} = 0.87793. \quad (3.7)$$

Аналогічно розраховуємо всі інші 23 значення сезонних індексів і заносимо їх до таблиці.

Таблиця 3.2 – Сезонні індекси

Година	Сезонний індекс
1	0.87793
2	0.86298
3	0.82011
4	0.81775
5	0.80162
6	0.85034
7	0.89893
8	1.08094
9	1.15221
10	1.18577
11	1.15114
12	1.16226
13	1.12293
14	1.11339
15	1.11163
16	1.10643
17	1.07438
18	1.09567
19	1.07204
20	1.04467
21	1.06167
22	1.14434
23	1.11733
24	0.98628

Для перевірки порахуємо середнє значення з усіх сезонних індексів:

$$\frac{0.87793+0.86298+\dots+0.98628}{24} \approx 1. \quad (3.8)$$

Метод Холта-Вінтерса є ітеративним, тому ми застосовуємо формули

для кожного періоду другої доби ($t = 25, \dots, 48$), щоб отримати значення рівня, тренду та сезонності на момент $t=48$, які використаємо для прогнозу. Для демонстрації виконаємо розрахунок для періоду $t = 25$, а потім узагальнимо.

Значення рівня (3.1):

$$L_{25} = 0.3 \cdot \frac{3738.654}{0.87793} + (1 - 0.3) \cdot (4258.5 + 5.269) = 4262.19 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (3.9)$$

Обрахуємо значення тренду (3.2):

$$T_{25} = 0.1 \cdot (4262.19 - 4258.5) + (1 - 0.1) \cdot 5.269 = 5.111. \quad (3.10)$$

Визначаємо сезонність (3.3):

$$S_{25} = 0.2 \cdot \left(\frac{3738.654}{4262.19} \right) + (1 - 0.2) \cdot 0.87793 = 0.87778. \quad (3.11)$$

Проводимо аналогічний розрахунок для всіх періодів другої доби і заносимо результати до таблиці.

Таблиця 3.3 – Рівень, тренд та сезонність для всіх періодів другої доби

Період, t	Рівень, L	Тренд, T	Сезонність, S
25	4262.19	5.111	0.87778
26	4264.66	4.847	0.86273
27	4266.21	4.517	0.81981
28	4267.06	4.15	0.81742
29	4267.4	3.769	0.80129
30	4267.37	3.389	0.84999
31	4267.08	3.022	0.89857
32	4266.62	2.674	1.08053
33	4266.06	2.35	1.1518
34	4265.43	2.053	1.18538
35	4264.79	1.783	1.1508
36	4264.15	1.541	1.16195
37	4263.54	1.325	1.12267

Продовження таблиці 3.3 – Рівень, тренд та сезонність для всіх періодів другої доби

Період, t	Рівень, L	Тренд, T	Сезонність, S
38	4262.95	1.134	1.11316
39	4262.41	0.967	1.11143
40	4261.92	0.821	1.10625
41	4261.47	0.693	1.07423
42	4261.06	0.584	1.09554
43	4260.7	0.489	1.07193
44	4260.38	0.409	1.04458
45	4260.11	0.34	1.06159
46	4259.86	0.282	1.14426
47	4259.65	0.232	1.11727
48	4259.47	0.191	0.98623

Для прогнозу споживання на 3 добу, використовуємо значення рівня, тренда та сезонності за 48 період. Далі за формулою (3.4):

$$F_{49} = (4259.47 + 1 \cdot 0.191) \cdot 0.87778 = 3739.023 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (3.12)$$

Розраховуємо прогнозоване значення для всіх періодів третьої доби та заносимо дані до таблиці разом з фактичними даними. Порахуємо також небаланси, які визначаються як різниця між прогнозованим та фактичним значенням:

$$\Delta_{49} = |Y_{49} - F_{49}| = |3964.123 - 3739.023| = 225.1 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (3.13)$$

де Y_{49} – фактичне значення споживання за 49 період (1 годину 3 доби).

Таблиця 3.4 – Прогнозовані та фактичні значення споживання

Година	Прогнозоване значення, кВт*год	Фактичне значення, кВт*год	Небаланси, кВт*год
1	3739.023	3964.123	225.1
2	3675.103	3850.885	175.78

Продовження таблиці 3.4 – Прогнозовані та фактичні значення споживання

Година	Прогнозовне значення, кВт*год	Фактичне значення, кВт*год	Небаланси, кВт*год
3	3492.421	3626.9	134.48
4	3482.386	3422.263	60.12
5	3413.829	3430.929	17.1
6	3621.462	3543.391	78.07
7	3828.622	3954.678	126.06
8	4604.127	4555.236	48.89
9	4908.052	4867.347	40.71
10	5051.354	5102.867	51.51
11	4904.221	5013.627	109.41
12	4951.970	5048.73	96.76
13	4784.752	4793.872	9.12
14	4744.443	4508.289	236.15
15	4737.266	4666.145	71.12
16	4715.412	4764.546	49.13
17	4579.137	4637.93	58.79
18	4670.186	4279.384	390.8
19	4569.727	4410.607	159.12
20	4453.327	4599.442	146.11
21	4526.073	4731.842	205.77
22	4878.754	4758.412	120.34
23	4763.888	5062.351	298.46
24	4205.345	4567.552	362.21

Проаналізуємо отримані результати, порахувавши середню абсолютну похибку у відсотках (MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=49}^{72} \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \cdot 100\% \quad (3.14)$$

$$MAPE = \frac{1}{24} \cdot \left(\frac{225.1}{3739.023} + \frac{175.78}{3675.103} + \dots + \frac{362.21}{4205.345} \right) \cdot 100\% = 3.1\% \quad (3.15)$$

Похибка 3,1% свідчить про високу точність прогнозу, що входить в межі типових 3–5% для короткострокових прогнозів, здійснених методом Холта-Вінтерса.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розробляються заходи з охорони праці під час здійснення аналітичних робіт. На електротехнічний персонал, який виконує аналіз формування небалансу електричної енергії на ринку, впливають такі шкідливі виробничі фактори [32, 33]: фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, робочою позою. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

4.1.1 Вимоги електробезпеки до приміщень з комп'ютерами

Площа, виділена для одного робочого місця з ПК повинна складати не менше 6 кв. м, а об'єм – не менше 20 куб м.

Під час проектування КЕС необхідно дотримуватись вимог ПВЕ, ПТЕ, ПБЕ ЕЕС, Правил пожежної безпеки в Україні, а також розділів ДБН, що стосуються штучного освітлення та електротехнічних пристроїв, та вимог нормативно-технічної і експлуатаційної документації заводів виробників комп'ютерів. Комп'ютери та устаткування для обслуговування, ремонту та їх налагодження, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники, тощо) електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПВЕ, мати

апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію. Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися Правил пожежної безпеки в Україні. Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється.

Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПВЕ. У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних комп'ютерів, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Комп'ютери та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою

справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення комп'ютерів та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження слід виконувати за магістральною схемою, по 3 - 6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36 В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В. Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 36 В, мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог ПВЕ та Правил пожежної безпеки в Україні. Електромережу штепсельних розеток для живлення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. При розташуванні в приміщенні за його

периметром до 5 комп'ютерів, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції. Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання [34, 35].

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

4.1.2 Електробезпека

Живлення обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220 В (фазна напруга (фаза – "0") – 220 В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380 В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – без підвищеної небезпеки, у зв'язку з відсутністю в приміщенні факторів підвищеної небезпеки.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

- при живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі. Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму КЗ. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

- електрозахисні засоби захисту. Електротехнічний персонал повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Забороняється користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться

(до 1000 В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин, необхідно вимкнути його і повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ". Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат

організму, ккал/с (Вт) [36]. Робота дослідників відноситься до легкої фізичної роботи категорія Ia, бо вони практично весь свій робочий день проводить сидячи. Параметри мікроклімату в приміщенні наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Ia	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Ia	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року – використання калорифера;
- в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву, провітрювання приміщень.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м³. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК [37] наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оперативного персоналу

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації шкідливих речовин необхідно передбачати установки або прилади зволоження та/або штучної іонізації, кондиціювання повітря.

4.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [38], роботи з монтажу електрообладнання, потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в». Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Високої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG" [39]. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

4.2.4 Виробничий шум

Шум вище гранично допустимих рівнів несприятливо діє на людину. Шум у приміщенні широкосмуговий. Нормуємо шум на робочому місці. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні

звуку на робочих місцях мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-85, ГР 2411-81 [40] і наведені в табл. 4.4.

Устаткування, що є джерелом шуму (вентилятори, електроінструмент, технологічне обладнання з переробки деревини), слід розташовувати поза межами приміщень, де встановлені ПК.

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Виконання усіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь.

У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицьованими, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [41, 42]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [43], за якою визначається

категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [44].

Отже, аналіз небаланса електричної енергії здійснюється в приміщеннях спеціалізованої організації, які за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відносяться до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В з зонами П-Ia, де є тверді горючі речовини чи матеріали.

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Будівля офісного центру, в якій розташоване це приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості. До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [45] наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [45] наведено в таблиці 4.6.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.7 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (знаменник) [45].

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Таблиця 4.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
I, II	6/9	8/9	10/12

На території офісного центру організації встановлено 38 порошкових вогнегасників ВВП-8 (ВП-5) і 32 газових вогнегасника ВВК-7 [46].

ВИСНОВКИ

У процесі виконання цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи було проведено ґрунтовне дослідження проблематики небалансів електричної енергії в умовах українського ринку, зосередивши увагу на їхніх причинах та можливостях зменшення в контексті воєнних реалій та інтеграції з європейською енергосистемою. Робота дозволила розкрити основні чинники, що впливають на стабільність енергосистеми, та запропонувати практичні підходи до оптимізації її роботи. Аналіз охопив особливості функціонування ринків електроенергії – "на добу наперед", внутрішньодобового, двосторонніх договорів та балансуючого – де виявлено, що неточність прогнозів, аварійні ситуації через бойові дії та мінливість генерації відновлюваних джерел енергії значно ускладнюють підтримання балансу. Особливу увагу приділено впливу пошкодження майже половини енергетичних потужностей через обстріли, що загострює проблему нестабільності.

Усі поставлені завдання виконано: досліджено специфіку оптового та роздрібного ринків електроенергії, проаналізовано вплив відновлюваних джерел на стабільність енергосистеми, вивчено нормативно-правову базу, зокрема постанови НКРЕКП, та запропоновано практичні рішення для мінімізації небалансів із застосуванням сучасних технологій. Для цього використано аналіз статистичних даних звітів НЕК "Укренерго" та АТ "Оператор ринку" за 2020–2024 роки, порівняння прогнозних і фактичних показників, а також моделювання графіків споживання в різних умовах, що дало змогу сформулювати обґрунтовані висновки.

Також було виконано прогнозування споживання електроенергії промисловим споживачем із використанням методу Холта-Вінтерса, базуючись на погодинних даних за дві доби для прогнозу третьої. Порівняння прогнозованих і фактичних значень показало похибку 3,1%, що підтверджує високу точність методу та його придатність для зменшення небалансів шляхом оптимізації ринкових заявок.

Окрема увага була присвячена заходам з охорони праці, де розроблено технічні рішення для безпечної експлуатації обладнання, електробезпеки, гігієни праці та пожежної безпеки, адаптовані до умов аналітичної роботи в офісних приміщеннях.

Отримані результати свідчать, що інтеграція організаційних заходів, таких як створення балансуючих груп, і технічних рішень, зокрема Smart-Grid технологій, може суттєво знизити небаланси, підвищуючи маневреність та надійність енергосистеми.

Дані напрацювання мають вирішальне значення в умовах війни, адже вони зменшують фінансові та технічні ризики, підтримуючи стабільну роботу економіки та безпеку громадян. Робота є важливим внеском у вдосконалення ринкових механізмів і наближення України до європейських стандартів енергетики, а подальші дослідження могли б зосередитися на розширенні інтеграції даних від ВДЕ та впровадженні інноваційних технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Блінов І. В., Парус Є. В. Оптовий та роздрібний ринок електричної енергії: навч. посіб. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 291 с.
2. Блінов І. В. Теоретичні та практичні засади функціонування конкурентного ринку електроенергії. — К.: Наукова думка, 2015. — 250 с.
3. Веремійчук Ю. О. Інформаційні технології в енергетиці: прогнозування та управління: навч. посіб. — Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2023. — 180 с.
4. Попов В. І. Smart-Grid технології в енергетиці: основи та перспективи: навч. посіб. — Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2021. — 160 с.
5. Блінов І. В., Мірошник В. О., Шиманюк П. В., Сичова В. В. Модель оцінки доцільності переходу промислових споживачів до погодинного обліку електричної енергії на роздрібному ринку // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2021. — № 1. — С. 88–97.
6. Блінов І. В., Мірошник В. О., Шиманюк П. В. Короткостроковий інтервальний прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлюваних джерел енергії // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. — 2019. — Вип. 54. — С. 5–12.
7. Блінов І. В., Корхмазов Г. С. Використання штучних нейронних мереж для розв'язання задачі короткострокового прогнозування оптових ринкових цін на електричну енергію // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. — 2009. — Темат. вип. «Енергетичні ринки». — С. 15–22.
8. Блінов І. В., Мірошник О. В., Сичова О. В. Аналіз і управління небалансами на ринку електроенергії України // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2022. — № 3. — С. 47–53.
9. Блінов І. В., Попович В. І. Гармонізована рольова модель європейського ринку електроенергії // Проблеми загальної енергетики. — 2011. — № 3(26). — С. 5–11.
10. Блінов І. В. Проблеми функціонування та розвитку ринку

електричної енергії України // Вісник НАН України. — 2021. — № 3. — С. 20–28.

11. Іванов Г. А., Блінов І. В., Парус Є. В. Імітаційна модель нового ринку електроенергії України // 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). — 2019. — С. 339–342.

12. Кириленко О. В., Блінов І. В., Корхмазов Г. С., Попович В. І. Рольова модель конкурентного оптового ринку електричної енергії в Україні: концептуальна схема, сегменти та ролі учасників // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. — 2010. — Вип. 25. — С. 5–13.

13. Кириленко О. В., Блінов І. В., Парус Є. В. Імітаційна модель ринку електричної енергії «на добу наперед» з неявним врахуванням мережевих обмежень енергетичних систем // Технічна електродинаміка. — 2019. — № 5. — С. 60–67.

14. Блінов І. В., Мірошник В. О., Шиманюк П. В. Оцінка вартості похибки прогнозу «на добу наперед» технологічних втрат в електричних мережах України // Технічна електродинаміка. — 2020. — № 5. — С. 70–73.

15. Конкурентний ринок електроенергії: виклики та перспективи / За ред. І. Смирнова // Енергетичний журнал. — 2020. — № 2. — С. 6–12.

16. Оптимізація балансування в енергосистемі України: нові підходи / За ред. О. Коваленко // Енергетика та інновації. — 2024. — № 1. — С. 15–22.

17. Петров О. С. Технологічні методи мінімізації небалансів в енергосистемах: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02. — Київ: НТУУ «КПІ», 2023. — 70 с.

18. Сидоренко А. В. Перспективи розвитку енергетичного сектору України в умовах декарбонізації: автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.00.03. — Одеса: ОНУ ім. І. І. Мечникова, 2024. — 20 с.

19. Звіт про стан енергетичного сектору України 2025 / BDO Ukraine. — Київ: BDO, 2025. — 55 с.

20. Річний звіт НЕК «Укренерго» за 2024 рік. — Київ: НЕК «Укренерго», 2024. — 25 с.

21. Звіт НКРЕКП про стан ринку електроенергії за 2020 рік. — Київ: НКРЕКП, 2021. — 40 с.
22. Звіт НЕК «Укренерго» про оперативні небаланси за 2021 рік. — Київ: НЕК «Укренерго», 2022. — 30 с.
23. Звіт АТ «Оператор ринку» про точність прогнозування за 2022 рік. — Київ: АТ «Оператор ринку», 2023. — 20 с.
24. Звіт АТ «Оператор ринку» про ціни на балансуєчому ринку за 2023 рік. — Київ: АТ «Оператор ринку», 2024. — 15 с.
25. Звіт НКРЕКП про штрафи за небаланси у 2023 році. — Київ: НКРЕКП, 2024. — 35 с.
26. Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 308 «Про затвердження Правил ринку “на добу наперед” та внутрішньодобового ринку».
27. Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 309 «Про затвердження Кодексу системи передачі».
28. Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 311 «Про затвердження Кодексу комерційного обліку».
29. Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 312 «Про затвердження Правил роздрібного ринку».
30. Постанова НКРЕКП від 25.02.2020 № 249 «Про затвердження Порядку закупівлі допоміжних послуг».
31. Постанова НКРЕКП від 03.04.2020 № 763 «Про затвердження Правил управління обмеженнями та порядку розподілу пропускну́ї спроможності».
32. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
33. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об’єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3->

[2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv-](#).

34. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

35. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

36. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

37. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

38. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

39. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

40. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

41. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

42. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

43. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

44. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та

зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

45. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

46. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Аналіз формування небалансів електричної енергії на різних сегментах ринку та методів їх мінімізації»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Сікорська О.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	98,5
Загальна схожість	1,5

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор

(підпис)

Ковальчук М.О.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневський С.Я.

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б

Ілюстративна частина

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

Аналіз формування небалансів електричної енергії на різних сегментах ринку та методів їх мінімізації

Виконав: студент 4 курсу групи ІЕСМ-216
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електричні системи і мережі»
Ковальчук М.О.
Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСС
Сікорська О.В.

Структура ринку електричної енергії в Україні



Схематична модель нового ринку електроенергії в Україні (діє з 1 липня 2019 року)

Сегменти ринку та їх особливості



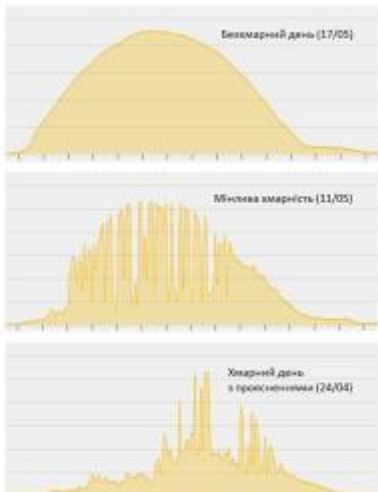
Крива попиту-пропозиції на 5 розрахунковий період доби постачання 7 травня 2025 року на РДН

Балансуючий ринок

МІСЦЕ БАЛАНСУЮЧОГО РИНКУ НА РИНКАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ



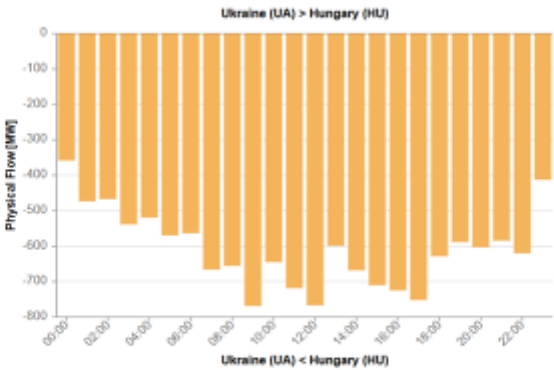
Поняття небалансів електричної енергії



Мінливість потужності окремої СЕС протягом дня



Причини виникнення небалансів



Діаграма погодинного імпорту з Угорщини 15 травня 2024 року (після ракетного обстрілу енергетичної інфраструктури)



Організаційні методи

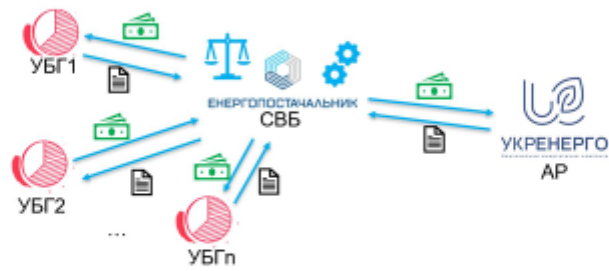


Схема здійснення розрахунків за небаланси між учасниками балансуєчих груп (УБГ), балансуєчою групою, що виступає стороною, відповідальною за баланс (СВБ) та адміністратором розрахунків НЕК «Укренерго» (АР)

Технічні методи



Схема роботи ринку допоміжних послуг

Системи накопичення енергії

Прогнозування методом Холта-Вінтерса

Година	Прогнозоване значення, кВт*год	Фактичне значення, кВт*год	Небаланс, кВт*год
1	3739.023	3964.123	225.1
2	3675.103	3850.885	175.78
3	3492.421	3626.9	134.48
4	3482.396	3422.263	60.12
5	3413.829	3430.929	17.1
6	3621.462	3543.391	78.07
7	3828.622	3954.678	126.06
8	4604.127	4555.236	48.89
9	4908.052	4867.347	40.71
10	5051.354	5102.867	51.51
11	4904.221	5013.627	109.41
12	4951.970	5048.73	96.76
13	4784.752	4793.872	9.12
14	4744.443	4508.289	236.15
15	4737.266	4666.145	71.12
16	4715.412	4764.546	49.13
17	4579.137	4617.93	38.79
18	4670.186	4279.384	390.8
19	4569.727	4410.607	159.12
20	4453.327	4599.442	146.11
21	4526.073	4731.842	205.77
22	4878.754	4758.412	120.34
23	4763.888	5062.351	298.46
24	4205.345	4567.552	362.21

Прогнозовані та фактичні значення споживання



10

Дякую за увагу!



10