

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Дмитро ЖЕРЛІЦИН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Бізнес-процеси та операційна ефективність»
за спеціальністю 051 Економіка

**на тему «Підвищення ефективності енергетичного менеджменту на
ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» за рахунок
цифровізації процесів управління споживанням електроенергії»**

Керівник роботи

Олексій МІНЦ

Консультант від
бази практики

Вадим ПЕРЕЦЬ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Іван ЛІСЮТЕНКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Юлія РЯХОВСЬКА

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра	цифрових технологій та проєктно-аналітичних рішень
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	051 Економіка
ОПП	Бізнес-процеси та операційна ефективність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Дмитро Жерліцин

«__» _____ 202__р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Лісютенка Івана Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Підвищення ефективності енергетичного менеджменту на ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» за рахунок цифровізації процесів управління споживанням електроенергії

керівник роботи Мінц Олексій Юрійович, Доктор економічних наук, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 10.09.2025 р. №239/10.09.2025

2. Термін подання роботи 27.01.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат», результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. Розділ 1. Теоретико-методологічні засади енергетичного менеджменту та цифровізації управління електроспоживанням. Розділ 2. Аналітична оцінка системи енергетичного менеджменту та процесів управління електроспоживанням на підприємстві. Розділ 3. Проєктно-рекомендаційні напрями підвищення ефективності енергетичного менеджменту та цифровізації управління електроспоживанням. Вистовки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: Структурна схема енергетичної інфраструктури ПрАТ «ІНГЗК» та рівні розподілу електроенергії 150/35/6 кВ. Контекстна модель бізнес-процесу управління електроспоживанням підприємства у поточному стані (AS-IS). Результати розрахунків

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	
2	
3	

7. Дата видачі завдання 28.11.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретико-методологічні засади енергетичного менеджменту та цифровізації управління електроспоживанням	28.11.2025 – 28.12.2025
2	Розділ 2. Аналітична оцінка системи енергетичного менеджменту та процесів управління електроспоживанням на підприємстві	28.12.2025 – 10.01.2026
3	Розділ 3. Проектно-рекомендаційні напрями підвищення ефективності енергетичного менеджменту та цифровізації управління електроспоживанням	10.01.2026 – 20.01.2026
4	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	20.01.2026 – 25.01.2026
5	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	25.01.2026 – 27.01.2026
6	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	27.01.2026 – 27.01.2026
7	Рецензування завершеної роботи. Захист	27.01.2026– 31.01.2026
8		

Здобувач

Іван ЛІСЮТЕНКО

Керівник роботи

Олексій МІНЦ

АНОТАЦІЯ

Об'єктом дослідження є система енергетичного менеджменту ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат».

Предметом дослідження виступають процеси цифровізації управління електроспоживанням та їх вплив на ефективність використання енергетичних ресурсів підприємства.

Мета роботи полягає економічному обґрунтуванні проектно-рекомендаційних рішень щодо підвищення ефективності енергетичного менеджменту на підприємстві шляхом впровадження цифрових інструментів контролю та оптимізації бізнес-процесів управління електроспоживанням.

У результаті дослідження:

- здійснено теоретико-методологічне узагальнення сучасних підходів до енергетичного менеджменту та цифровізації;
- проведено аналітичну оцінку фактичного стану управління електроспоживанням на ПрАТ «ІНГЗК»;
- сформовано проблемне поле та визначено ключові чинники перевитрат електроенергії;
- розроблено рекомендації щодо оптимізації бізнес-процесів управління енергоспоживанням, включаючи впровадження цифрових систем моніторингу та аналізу;
- обґрунтовано економічну ефективність запропонованих рішень, яка проявляється у зниженні питомих витрат електроенергії, стабілізації собівартості продукції та підвищенні фінансової стійкості підприємства.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання результатів для вдосконалення системи енергетичного менеджменту на гірничо-збагачувальних підприємствах, підвищення їх конкурентоспроможності та забезпечення енергетичної безпеки в умовах воєнного часу. Прогнозні припущення свідчать про перспективність

розвитку цифрових технологій управління енергоспоживанням як бази для формування стійких бізнес-моделей у промисловості.

В процесі дослідження автором оформлено тези, що були опубліковані в збірнику Start in Science. Студентська науково-технічна конференція. Збірник тез і анотацій наукових доповідей, 2025.

Обсяг роботи становить 95 сторінок, містить 3 ілюстрації, 14 таблиць, список використаної літератури з 48 джерел.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, ЦИФРОВІЗАЦІЯ, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, БІЗНЕС-ПРОЦЕСИ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ, ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ.

ЗМІСТ

<i>ВСТУП</i>	7
<i>1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ</i>	9
1.1. Енергетичний менеджмент у системі управління промисловим підприємством	9
1.2. Нормативно-правове та стандартне забезпечення управління електроспоживанням .	16
1.3. Методичні підходи та інструментарій цифрового управління електроспоживанням	25
Висновки до розділу 1	29
<i>2 АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ НА ПІДПРИЄМСТВІ</i>	31
2.1. Галузеві та виробничі передумови функціонування системи енергетичного менеджменту підприємства	31
2.2. Аналіз фактичного стану управління електроспоживанням на підприємстві.....	44
2.3. Оцінка бізнес-процесів управління електроспоживанням і формування проблемного поля	54
Висновки до розділу 2	66
<i>3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ</i>	68
3.1. Концептуальні засади вдосконалення системи енергетичного менеджменту підприємства	68
3.2. Проєктування оптимізованих бізнес-процесів управління електроспоживанням	74
3.3. Економічне обґрунтування та оцінка ефективності впровадження проєктних рішень ..	86
Висновки до розділу 3	94
<i>ВИСНОВКИ</i>	96
<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	99

ВСТУП

Сучасний стан економіки України та глобальні тенденції розвитку промисловості визначають енергетичну ефективність як один із ключових чинників конкурентоспроможності підприємств. В умовах воєнних викликів, нестабільності енергетичного ринку та зростання тарифів на електроенергію питання раціонального управління енергоспоживанням набуває особливої значущості. Для суспільства та держави це означає підвищення рівня енергетичної безпеки, а для бізнесу — забезпечення стабільності виробничих процесів, зниження собівартості продукції та збереження фінансової стійкості. Саме тому дослідження цифрових підходів до управління енергоспоживанням є актуальним і необхідним.

Енергетичний менеджмент у промисловості перестає бути допоміжною функцією і трансформується у стратегічний інструмент управління витратами та операційною ефективністю. Цифровізація процесів контролю та аналізу електроспоживання дозволяє підприємствам переходити від постфактумного обліку до проактивного управління, що забезпечує прогнозованість фінансових результатів і стійкість бізнес-моделі.

Проблематика енергетичного менеджменту та цифровізації управління електроспоживанням висвітлюється у працях вітчизняних і зарубіжних науковців, зокрема у контексті впровадження стандартів ISO 50001, розвитку систем моніторингу та оптимізації бізнес-процесів. Проте для гірничо-збагачувальних підприємств, які характеризуються високою енергоємністю технологічних процесів, питання інтеграції цифрових інструментів у систему управління залишаються недостатньо розробленими.

Для ПрАТ «Інгулецький ГЗК» актуальним є удосконалення бізнес-процесів управління електроспоживанням, що дозволить знизити питомі

витрати енергії, стабілізувати собівартість продукції та забезпечити довгострокову конкурентоспроможність підприємства.

Мета роботи полягає економічному обґрунтуванні проектно-рекомендаційних рішень щодо підвищення ефективності енергетичного менеджменту на підприємстві шляхом впровадження цифрових інструментів контролю та оптимізації бізнес-процесів управління електроспоживанням.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

- узагальнити теоретико-методологічні засади енергетичного менеджменту та цифровізації;
- здійснити аналітичну оцінку фактичного стану управління електроспоживанням на підприємстві;
- визначити проблемне поле та чинники перевитрат;
- розробити рекомендації щодо оптимізації бізнес-процесів управління енергоспоживанням;
- обґрунтувати економічну ефективність запропонованих рішень.

Об'єктом дослідження є система енергетичного менеджменту ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат».

Предметом дослідження виступають процеси цифровізації управління електроспоживанням та їх вплив на ефективність використання енергетичних ресурсів підприємства.

Методи дослідження та інформаційна база.

У роботі використано методи системного аналізу, порівняльного та економіко-статистичного аналізу, моделювання бізнес-процесів, а також методи економічного обґрунтування ефективності проектних рішень. Інформаційною базою дослідження слугували нормативно-правові акти, державні стандарти, наукова та методична література, статистичні дані підприємства, результати власних досліджень і розрахунків.

1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ

1.1. Енергетичний менеджмент у системі управління промисловим підприємством

Енергетичний менеджмент у промисловості доцільно розглядати не як допоміжну функцію технічного обліку або контролю витрат, а як повноцінну інтегровану управлінську підсистему, вбудовану в загальну архітектуру операційного управління підприємством. У такому розумінні він охоплює сукупність формалізованих цілей, регламентованих процедур, розподілених відповідальностей і управлінських рішень, спрямованих на досягнення контрольованого, економічно обґрунтованого та стабільного використання енергетичних ресурсів. Ключовою ознакою цієї підсистеми є систематичне зіставлення фактичного енергоспоживання з параметрами виробничих режимів, плановими показниками та технологічними обмеженнями, що дає змогу не лише фіксувати відхилення, а й ідентифікувати їх причини на рівні процесів, обладнання або організації праці [9].

У такій інтерпретації енергія перестає сприйматися як пасивний зовнішній ресурс, споживання якого відображається постфактум у фінансовій або технічній звітності. Натомість вона розглядається як змінна операційної результативності, тісно пов'язана з продуктивністю, режимами завантаження обладнання, структурою виробничого циклу та дисципліною виконання технологічних регламентів. Це означає, що управління енергоспоживанням переходить у площину активного впливу, де організаційні рішення, коригування графіків роботи, оптимізація виробничих режимів і впровадження цифрових інструментів контролю стають інструментами досягнення вимірюваного ефекту.

Місце енергетичного менеджменту в системі операційного управління визначається його здатністю синхронізувати енергетичні показники з виробничими цілями підприємства. Така синхронізація забезпечує узгодженість між плануванням обсягів виробництва, використанням потужностей і допустимими рівнями енергетичних витрат, що особливо важливо для енергоємних галузей промисловості. За рахунок цього зниження енергетичних витрат досягається не епізодично, а як результат керованого процесу, який має відтворюваний характер у часі та не залежить виключно від разових технічних заходів [26].

Крім того, інтеграція енергетичного менеджменту в операційну систему управління створює основу для накопичення та використання даних про енергоспоживання як управлінського ресурсу. Регулярний аналіз цих даних дозволяє оцінювати ефективність прийнятих рішень, коригувати цілі, формувати обґрунтовані показники результативності та забезпечувати зворотний зв'язок між стратегічними орієнтирами підприємства і щоденними операційними діями. У підсумку енергетичний менеджмент виступає не ізольованою функцією, а важливим елементом системи операційної стабільності та довгострокової конкурентоспроможності промислового підприємства (див. табл. 1.1).

Еволюція наукових підходів до управління енергоспоживанням у промисловості демонструє перехід від вузького розуміння енергозбереження як сукупності окремих технічних заходів до системного бачення, у якому енергетика розглядається крізь призму структурних змін економіки, технологічної модернізації та цифрових механізмів управління. У такій парадигмі енергоспоживання інтерпретується як результат взаємодії виробничих процесів, інфраструктурних обмежень та інституційного середовища, а управління енергією набуває рис координаційної функції, що поєднує вимоги декарбонізації, надійності та економічної доцільності. Відповідно, цифрові підходи стають не додатком, а умовою переходу до управління на основі даних, коли якість рішень

визначається точністю вимірювань, швидкістю інтерпретації відхилень і можливістю враховувати змінність технологічних режимів [24].

Таблиця 1.1 – Сутність енергетичного менеджменту та його місце в системі операційного управління підприємством

Елемент системи	Зміст елемента у виробничій логіці підприємства	Управлінський результат, що формується	Типові вимірювані індикатори
Енергетична політика та цілі	Узгодження енергетичних орієнтирів з виробничими планами і відповідальністю підрозділів	Єдність цілей виробництва та енерговикористання	Питоме споживання, відхилення від плану, рівень досягнення цілей
Планування енергоспоживання	Прив'язка планових обсягів до випуску продукції, режимів роботи та графіків обладнання	Прогнозованість витрат і зниження ризику некерованих піків	План факт, профіль навантаження, частка пікових годин
Облік і вимірювання	Деталізований збір даних за центрами споживання та вузлами обліку	Прозорість структури споживання та можливість порівняння	Повнота даних, частота вимірювання, деталізація за підрозділами
Моніторинг і аналіз	Виявлення аномалій та причин відхилень, пов'язаних з технологічними параметрами	Оперативність управлінських реакцій та керованість відхилень	Відхилення від базової лінії, втрати, індикатори стабільності
Коригувальні рішення	Закріплення процедур усунення причин перевитрат та контролю виконання	Стійке скорочення витрат і підвищення енергоефективності	Економія кВт·год, зниження питомих витрат, виконання заходів
Постійне поліпшення	Перегляд базових ліній, уточнення цілей, стандартизація результативних практик	Відтворюваність ефекту і розвиток системи	Динаміка КРІ, частота перегляду базових ліній, результативність програм

Джерело: [9]

Взаємозв'язок енергетичного менеджменту із собівартістю та фінансовими результатами в промисловості має системний характер і проявляється насамперед через структуру операційних витрат, у якій енергетичні витрати займають одну з найбільш вагомих і водночас нестабільних позицій. Для енергоємних виробництв саме електроенергія визначає значну частку змінних витрат, а отже будь-які коливання обсягів споживання, режимів роботи обладнання або тарифних умов безпосередньо транслуються у зміну собівартості продукції. За відсутності керованого підходу такі коливання мають хаотичний характер, що ускладнює планування, погіршує прогнозованість фінансових результатів і підвищує ризики зниження маржинальності [25].

У межах енергетичного менеджменту енерговитрати розглядаються як керований компонент витратної бази, що дозволяє перейти від постфактумного обліку до проактивного управління. Це означає, що формування собівартості ґрунтується не лише на бухгалтерському узагальненні витрат, а й на їх попередньому нормуванні з урахуванням технологічних режимів, завантаження обладнання та виробничих програм. Такий підхід підвищує точність калькулювання, дозволяє коректніше розподіляти витрати між центрами відповідальності та зменшувати частку прихованих або непродуктивних витрат, які часто залишаються поза увагою традиційних систем обліку.

Фінансовий ефект від впровадження системного енергетичного менеджменту проявляється не стільки у разовому скороченні витрат, скільки у підвищенні стабільності фінансових показників. Контроль за профілями споживання, згладжування пікових навантажень і узгодження енергетичних режимів з виробничими планами сприяють зменшенню варіативності витрат у часі. У результаті підприємство отримує більш прогнозовану динаміку собівартості, що позитивно впливає на маржинальний дохід, рентабельність операційної діяльності та загальну фінансову стійкість [24].

Крім того, зниження невизначеності енергетичних витрат має стратегічне значення для управління конкурентоспроможністю. Підприємства, здатні підтримувати контрольований рівень собівартості в умовах коливання цін на електроенергію та змін тарифного регулювання, отримують додаткову гнучкість у ціноутворенні та плануванні інвестицій. У цьому контексті енергетичний менеджмент виступає не лише інструментом оптимізації витрат, а й фактором формування довгострокових конкурентних переваг, оскільки забезпечує узгодженість між операційними процесами, фінансовими результатами та стратегічними цілями розвитку підприємства.

Енергетичний менеджмент у системі конкурентоспроможності промислового підприємства коректно розглядати як механізм, що переводить енергозбереження з рівня епізодичних технічних удосконалень у площину керованого потенціалу, який накопичується, вимірюється та відтворюється у часі через управлінські рішення. У такій логіці енергозберігаючий потенціал набуває ознак стратегічного ресурсу, оскільки його реалізація впливає на стабільність витратної частини, підвищує передбачуваність операційних результатів і підтримує здатність підприємства зберігати ефективність у періоди коливань цін на енергоресурси. Усталеним є підхід, за якого енергоефективність не обмежується суто зниженням споживання, а формується через організацію управління, тобто через постановку цілей, визначення меж відповідальності, контроль результативності та закріплення практик постійного поліпшення, що сукупно створює основу для сталого розвитку, коли економічний ефект поєднується з ресурсною ощадливістю та екологічною доцільністю [4].

Для гірничо-збагачувальних підприємств специфіка енергоспоживання визначається технологічною природою процесів, де енергія виступає не супутнім ресурсом, а одним із ключових факторів забезпечення якості та стабільності технологічного результату, особливо

в операціях подрібнення, класифікації, магнітної сепарації та транспортування пульпи й руди. У таких умовах управлінські рішення мають спиратися на розуміння того, що значна частка електроспоживання формується режимами роботи технологічного обладнання, характеристиками сировини та параметрами технологічних схем, тому підвищення енергоефективності набуває системного характеру і пов'язується з оптимізацією процесів збагачення, узгодженням навантаження агрегатів та технологічною дисципліною. Коли енергоефективність процесів збагачення розглядається через призму технологічних налаштувань і стабільності режимів, тоді управління електроспоживанням переходить у формат, де економічний ефект утворюється як наслідок технологічно обґрунтованого зниження питомих витрат, а не лише як результат адміністративного обмеження споживання [25].

Сучасні проблеми та виклики енергетичного менеджменту в Україні найточніше розкривати через призму енергетичної безпеки та відновлюваності економіки, тому що в умовах воєнного часу енергія перестала бути лише «вхідним ресурсом» виробництва і перетворилася на фактор операційної життєздатності підприємства, який визначає здатність підтримувати безперервність процесів, виконувати контрактні зобов'язання та утримувати контроль над собівартістю тоді, коли зовнішні умови не гарантують ні стабільної доступності потужності, ні прогнозованої ціни, ні звичного режиму логістики та ремонту. У цій логіці енергетичний менеджмент виходить за межі класичної економії та починає виконувати функцію «управління стійкістю», оскільки управлінські рішення оцінюються не тільки за величиною зниження витрат, а й за тим, наскільки вони зменшують вразливість підприємства до перебоїв, скорочують час відновлення нормального режиму роботи після порушень і зберігають керованість виробництва у ситуаціях дефіциту або різких коливань параметрів енергопостачання [14].

Зміна структури ризиків проявляється насамперед у тому, що підприємство стикається не з одним домінуючим ризиком, а з комплексом взаємопов'язаних факторів, де технічні й інфраструктурні загрози накладаються на тарифно-цінову нестабільність, а управлінські обмеження у вигляді браку даних або затримок інформації підсилюють наслідки зовнішніх порушень. Перебої або обмеження електропостачання безпосередньо трансформуються у зупинки технологічних ланцюгів, втрати продуктивності, аварійні режими роботи обладнання та додаткові витрати на ремонт, а отже навіть за незмінної ціни електроенергії фінансовий результат погіршується через непродуктивні простой, порушення виробничих графіків і збільшення питомих витрат. Одночасно цінові коливання, зміни правил ринку, потреба в гнучких графіках споживання та зростання вимог до оперативного планування змушують енергоменеджмент працювати як система управління параметрами режиму, де ключове завдання полягає у швидкому погодженні виробничих планів з енергетичними обмеженнями, а не лише у фіксації витрат в кінці періоду.

За таких умов підвищується значення керованості режимів роботи, оскільки здатність підприємства оперативно перебудувати графіки навантаження, розносити енергоємні операції в часі, локально стабілізувати критичні процеси та зменшувати ризик каскадних зупинок перетворюється на практичний вимір управлінської надійності. Це означає, що енергетичний менеджмент поступово «зшиває» між собою три контури: технологічний (які режими допустимі для обладнання), економічний (яка вартість споживання у певні періоди та за певних тарифних умов) і ризиковий (які наслідки для безперервності та відновлення у разі обмежень чи аварій). Саме тому фокус практик закономірно зміщується до поєднання економічної доцільності з ризик-орієнтованим підходом, де пріоритет отримують рішення, що одночасно знижують витрати, підвищують прогнозованість, зменшують залежність

від зовнішніх шоків і підтримують стабільність функціонування критичних виробничих контурів у довгостроковій перспективі відновлення [1].

Окремим виміром сучасних викликів стає якість управлінських даних і швидкість управлінського циклу. Коли підприємство не має достатньої деталізації споживання за ділянками, агрегатами та часовими інтервалами, а інформація про фактичні відхилення надходить із запізненням, управління перетворюється на реакцію із запізнілою корекцією, що у воєнних умовах означає підвищений ризик втрати контролю над витратами й режимами. Саме тут цифровізація набуває не «модного» характеру, а функціональної необхідності, тому що цифрові інструменти енергомоніторингу, профілювання навантаження, прогнозування та диспетчеризації скорочують час між відхиленням і рішенням, дозволяють ранжувати споживачів за критичністю, підвищують дисципліну центрів відповідальності й створюють основу для керованого відновлення нормальних режимів після порушень.

1.2. Нормативно-правове та стандартне забезпечення управління електроспоживанням

Законодавче регулювання енергоменеджменту та енергоефективності в Україні формує обов'язкове поле вимог, у межах якого підприємство має організувати управління енерговикористанням як керовану функцію, а не як сукупність разових технічних заходів. Нормативна логіка закону задає рамку для послідовного переходу від фіксації витрат енергії до управління результативністю, коли визначені правила та інструменти державної політики стимулюють вимірюваність показників, порівнюваність результатів і відповідальність за досягнення цільових параметрів. Для промислового підприємства важливими наслідками цієї рамки стає потреба в організації системного обліку й аналізу споживання, в упорядкуванні внутрішніх регламентів та у вибудові

процедур ухвалення рішень, які дозволяють узгоджувати енергоефективність із виробничими цілями, інвестиційними пріоритетами та фінансовим плануванням. Саме тому закон у практичному вимірі впливає на структуру управління і на зміст даних, які мають бути доступні для контролю та доведення результатів, оскільки енергоефективність у правовому полі набуває ознак параметра, що підлягає підтвердженню через документовані процеси і показники [6].

Міжнародний стандартний підхід до систем енергетичного менеджменту задає практичну модель, у якій енергія управляється через цикл планування, виконання, перевірки та поліпшення, а результативність забезпечується не окремими рішеннями, а узгодженою роботою процесів, ролей і даних. Значущість такого підходу для промислових підприємств проявляється у тому, що він переводить енерговикористання у формат керованої системи, де ключовими стають енергетичне планування, побудова базових ліній, коректний вибір показників результативності та регулярна оцінка відхилень. У прикладному вимірі акцент робиться на тому, що ефект досягається завдяки стабільності управління, коли поліпшення не втрачаються після завершення окремих проєктів, а закріплюються через стандартизовані процедури та вимоги до якості даних. Це важливо саме для енергоємних виробництв, де навіть невеликі відхилення режимів або помилки у вимірюванні здатні масштабуватися у суттєві витрати, а тому системність, простежуваність рішень і відтворюваність управлінських дій стають чинниками економічної стійкості [33].

Галузеві вимоги до обліку, контролю та аналізу електроспоживання у виробничій практиці конкретизуються через технічну й організаційну архітектуру автоматизованого обліку, де дані перетворюються на основу управлінських рішень. У цьому контексті акцент припадає на те, що достовірність і корисність аналітики визначаються не лише наявністю лічильників, а й логікою побудови системи, включно з вибором точок

вимірювання, структурою збору даних, їх передаванням, збереженням та підготовкою до аналізу. Для промислового підприємства особливо важливою стає деталізація обліку за центрами споживання, оскільки саме вона дозволяє переходити від узагальнених величин до встановлення причин перевитрат, визначення енергоємних операцій і оцінки ефекту від змін у режимах роботи обладнання. Таким чином, автоматизований облік виступає не лише інструментом фіксації, а опорою для контролю відхилень, пошуку втрат і підготовки управлінських рішень, які мають бути обґрунтованими даними та відтворюваними в подальшому управлінському циклі.

Регламентування енергетичного аудиту та енергетичної звітності в прикладному вимірі формує методологічну й організаційну основу, завдяки якій управління енергоспоживанням набуває характеру доказового управління, а рішення щодо оптимізації витрат, зміни режимів роботи чи інвестування в енергоефективні заходи ґрунтуються не на фрагментарних спостереженнях, а на системно зібраних і перевірених даних. У такій логіці енергетичний аудит виконує функцію структурованої діагностики, яка дозволяє встановити фактичний стан енерговикористання підприємства, виявити джерела втрат, оцінити відповідність реальних режимів роботи технологічним параметрам і визначити потенціал підвищення ефективності без порушення виробничих обмежень.

Практична цінність енергетичного аудиту полягає насамперед у вимогах до повноти, деталізації та достовірності вихідної інформації, оскільки саме якість даних визначає коректність подальших аналітичних висновків. Регламентування процедури аудиту встановлює чіткі рамки щодо переліку показників, часової дискретності вимірювань, охоплення виробничих ділянок і обладнання, а також методів аналізу, що мінімізує ризик суб'єктивності оцінок і дозволяє зіставляти результати між різними періодами або об'єктами. У результаті підприємство отримує не лише

перелік проблемних зон, а й кількісно обґрунтовану базу для ранжування заходів за рівнем очікуваного ефекту, термінами реалізації та впливом на операційну стабільність [23].

Важливою функцією аудиту є формування логіки переходу від констатації фактичного стану до конкретних управлінських дій. Регламентовані підходи передбачають, що кожен виявлений резерв або відхилення має бути пов'язаний з можливими технічними, організаційними чи поведінковими причинами, а також із прогнозом економічного ефекту та показниками, за якими цей ефект може бути проконтрольований. Такий підхід дозволяє уникати ситуацій, коли заходи з енергозбереження мають декларативний характер або не піддаються подальшій оцінці результативності, що особливо критично для енергоємних виробництв із великим масштабом споживання.

Енергетична звітність у межах цієї системи виконує роль постійного управлінського інструменту, а не формального документа для зовнішніх користувачів. Регламентування звітності забезпечує порівнюваність показників у часі, дозволяє формувати базові лінії споживання, відстежувати динаміку відхилень і співвідносити фактичні результати з плановими або цільовими параметрами. Завдяки цьому керівництво отримує можливість оцінювати не лише абсолютний рівень енерговитрат, а й ефективність управлінських рішень, що були прийняті у відповідь на результати аудиту, а також обґрунтовувати необхідність інвестицій або змін в організації процесів на основі вимірюваних даних.

Коли енергетичний аудит і звітність організовані як регулярний, циклічний процес, між ними формується зворотний зв'язок, який підсилює керованість енергоспоживання. Аудит задає стартову точку та виявляє структурні проблеми, звітність фіксує результати впроваджених заходів і дозволяє відокремити випадкові коливання споживання, зумовлені зміною зовнішніх умов або виробничих навантажень, від системних причин, пов'язаних з організацією процесів або технічним станом обладнання. Для

енергоємних підприємств така здатність до розмежування є критично важливою, оскільки навіть незначна похибка у вихідних припущеннях або базових показниках швидко трансформується у суттєві фінансові відхилення, що впливають на собівартість, маржинальність і фінансову стійкість у цілому [23].

Нормативні обмеження, закріплені урядовими рішеннями щодо впровадження систем енергетичного менеджменту, впливають на організацію бізнес-процесів управління електроенергією не лише як «вимога наявності певного документа», а як вимога до зміни самої управлінської архітектури підприємства, де енерговикористання стає предметом системного планування, контролю і відповідальності. Інституціоналізація функції енергоменеджменту означає, що керування енергетичних витрат більше не може триматися на персональних практиках окремих спеціалістів або на разових ініціативах, а повинна бути вбудована в стабільний контур управління з чітко визначеними ролями, процедурними кроками, регулярними вимірюваннями та прозорою логікою прийняття рішень.

У практичній площині нормативні вимоги трансформують бізнес-процес управління електроенергією з реактивного, коли підприємство реагує на перевитрати постфактум і пояснює їх «змінами умов» або «виробничою необхідністю», у проактивний цикл, де ключовою є здатність попереджувати відхилення або виявляти їх на ранній стадії. Цей цикл за змістом наближається до управлінської логіки PDCA: планування енергопараметрів під виробничу програму, організація вимірювання і збору даних, регулярний аналіз відхилень із визначенням причин, формування коригувальних дій і їх документоване закриття з повторною перевіркою ефекту. Саме регулярність і повторюваність такого циклу перетворює управління електроспоживанням на відтворювану компетенцію підприємства, а не на результат випадкових обставин або «вдалих» періодів [7].

Особливо відчутний вплив нормативної рамки проявляється в необхідності узгоджувати виробниче планування з енергетичними параметрами. Якщо раніше виробничий план формувався переважно з позицій технологічних і збутових пріоритетів, а енергетичні наслідки оцінювалися вже після реалізації плану, то за умов впровадження системи енергоменеджменту зростає вимога до того, щоб енергетичні обмеження та цільові параметри були інтегровані в планування. Це змінює порядок взаємодії підрозділів: енергетичний контур отримує не лише функцію обліку, а й роль «співпланувальника» режимів, де споживання прив'язується до змін, завантаження обладнання, послідовності операцій і допустимих рівнів піків. Таким чином, бізнес-процес управління електроенергією перестає бути лише технічною функцією і стає управлінським механізмом, який впливає на операційні рішення.

Нормативні вимоги також роблять принципово важливим визначення ролей і відповідальностей, оскільки інституціоналізація передбачає наявність власника процесу, виконавців, контролерів і користувачів управлінської інформації. У реальній організації це означає встановлення відповідальності не лише за «загальне споживання підприємства», а за споживання на рівні центрів відповідальності, технологічних ліній, ділянок або цехів, де можна ідентифікувати причину перевитрат і впливати на неї. Одночасно формується ланцюг ескалації, коли визначено, хто і за яких умов ініціює розбір відхилення, хто затверджує коригувальні дії, хто контролює виконання і як фіксується результат. Саме ця логіка відрізняє «фіксацію показників» від управління показниками, оскільки без розподілу відповідальності будь-яка звітність залишається описовою.

Вимога до управлінської звітності в системі енергоменеджменту змінює зміст самих інформаційних потоків. Якщо звітність несе управлінську функцію, вона повинна забезпечувати порівнюваність у часі, наявність базових ліній, чіткі пороги відхилень і структуру причин, що

робить можливим відділення випадкових коливань від системних проблем. Звітність має «працювати» на рішення: показувати не лише факт, а відхилення, причинний контекст і статус реагування. Управлінські зустрічі з енергопитань стають не обговоренням, а переглядом відхилень, пріоритизацією проблем і контролем виконання коригувальних дій.

Регуляторна рамка, посилюючи вимогу до документованості, фактично підвищує значення простежуваності управлінських дій. Документованість означає, що кожне рішення або коригування має залишати слід: на підставі яких даних воно прийняте, які аргументи використані, який очікуваний ефект визначено, хто відповідальний за реалізацію, які терміни, і як буде перевірено результат. У разі відсутності цифрових інструментів забезпечення такої простежуваності стає ресурсомістким і часто перетворюється на формальне «паперове» навантаження, яке не створює доданої цінності. Саме тому нормативна вимога документування прямо стимулює цифровізацію збору й обробки даних, оскільки цифрові системи дозволяють забезпечити одночасно і регулярність вимірювань, і цілісність даних, і автоматичне формування звітів, і фіксацію історії рішень, що підвищує сталість якості управління без надмірного збільшення ручної роботи.

Додатково нормативні вимоги змінюють критерії оцінювання результативності енергоменеджменту, оскільки «наявність заходів» перестає бути достатньою підставою для позитивної оцінки, а важливими стають вимірювані ефекти, їх відтворюваність та контрольованість. Тому підприємство змушене формувати набір KPI, які пов'язують енергоспоживання з виробничими режимами, і водночас забезпечують управлінський вплив. У підсумку регуляторна рамка виступає каталізатором переходу від «енергетики як витрати» до «енергетики як керованого процесу», де цифровізація стає інструментом не просто автоматизації, а забезпечення відповідності вимогам, прозорості управління й операційної стійкості підприємства (таблиця 1.2.) [7].

Таблиця 1.2 – Нормативні вимоги як основа аналітичної оцінки управління електроспоживанням на підприємстві

Нормативний напрям	Зміст вимоги у прикладному вимірі	Що саме перевіряється під час аналізу на підприємстві	Дані та індикатори для оцінювання
Енергоефективність	Орієнтація на зниження енергоємності та підвищення результативності використання енергії	Наявність цілей енергоефективності, базових ліній, регулярного контролю та коригувальних дій	Питоме електроспоживання, динаміка відхилень, виконання заходів, базові лінії
Декарбонізація	Узгодження енергоспоживання з кліматичними цілями та скороченням вуглецевого впливу	Прив'язка енергорішень до показників викидів і технологічних режимів	Споживання електроенергії за процесами, розрахункові викиди, енергоємність продукції
Стійкість і безпека	Підвищення здатності до стабільної роботи в умовах ризиків енергопостачання	Наявність сценарного управління навантаженням і процедур реагування на обмеження	Профілі навантаження, графіки піків, критичні споживачі, план обмежень
Управління попитом	Раціоналізація режимів споживання, зменшення пікових навантажень, підвищення гнучкості	Чи керуються режими роботи обладнання з урахуванням навантаження та часових факторів	Погодинні дані, пікові години, коефіцієнт нерівномірності, відхилення режимів
Дані та цифровізація	Підвищення прозорості через вимірюваність і аналітику, інтеграцію даних	Чи є повний контур даних від вимірювання до управлінського рішення	Повнота вузлів обліку, частота зчитування, якість даних, доступність аналітики
Інституційність енергоменеджменту	Закріплення відповідальностей і процедур, що забезпечують відтворюваність результатів	Чи вбудовані енергопроцеси в структуру управління і чи діють регламенти	Матриця відповідальності, регламенти, управлінська звітність, цикл перегляду цілей

Джерело: [7]

Узагальнення нормативних вимог як бази для подальшої аналітичної оцінки доцільно будувати через зв'язок між державними рамками енергетичної та кліматичної політики і внутрішніми параметрами управління електроспоживанням на підприємстві, оскільки саме така рамка визначає, які показники вважаються релевантними, які управлінські практики визнаються результативними та які дані є достатніми для доказової оцінки. Аналітична частина в такому підході спирається не на опис окремих фактів споживання, а на перевірку відповідності практик підприємства вимогам, що впливають із курсу на енергоефективність, декарбонізацію, підвищення стійкості енергосистеми та впровадження сучасного енергетичного управління, де цифровізація розглядається як інструмент підвищення керованості і прозорості. Це формує методологічну основу для подальшого аналізу, коли кожен висновок щодо «вузьких місць» підтверджується порівнянням фактичних процесів, даних і показників з очікуваним регуляторним профілем управління енергією.

Узагальнення нормативних вимог формує методологічну рамку, в межах якої аналітична оцінка управління електроспоживанням набуває системності та порівнюваності результатів. Саме нормативні орієнтири визначають, які показники слід аналізувати, які управлінські практики вважаються достатніми та якою має бути якість даних для обґрунтованих висновків. У такій логіці подальший аналіз спрямовується не на фрагментарне виявлення відхилень, а на зіставлення фактичного стану процесів із вимогами енергоефективності, стійкості та керованості, що дозволяє об'єктивно визначити проблемні зони і потенціал для цифрових управлінських рішень.

1.3. Методичні підходи та інструментарій цифрового управління електроспоживанням

Цифровізація управління енергоспоживанням у контексті цифрової трансформації доцільно розуміти як перехід від локальних, роз'єднаних операцій контролю до єдиної керованої архітектури даних і рішень, у якій вимірювання, передавання, збереження та аналітична обробка енергетичної інформації стають безперервним контуром управління. Такий підхід означає, що енергоспоживання перестає бути показником, який лише фіксується за підсумком періоду, і перетворюється на параметр, який відстежується в режимі, близькому до реального часу, зі здатністю оперативно виявляти аномалії, технологічні відхилення та структурні причини перевитрат. Ключовим стає узгодженість технологічних і організаційних рішень, коли цифрові інструменти підтримують прозорість процесів, зменшують інерційність управлінських реакцій та підвищують відтворюваність результатів за рахунок стандартизації даних і процедур прийняття рішень [15].

Оцінювання ефективності енергетичного менеджменту на сучасному підприємстві логічно вибудовується навколо системи енергетичних KPI, які дозволяють перейти від загальних суджень про енергоефективність до вимірюваних управлінських критеріїв, прив'язаних до виробничих режимів і результативності технологічних процесів. Важливо, що такі показники мають відображати не тільки абсолютне споживання, але й структурні та динамічні характеристики, які демонструють, як саме формується енерговитрата в ланцюгу створення продукту, наскільки стабільними є режими, де виникають втрати і як змінюється енергоемність під впливом організаційних і технологічних рішень. У парадигмі Industry 4.0 система KPI набуває додаткової управлінської цінності, оскільки цифрові дані дають можливість деталізувати показники до рівня обладнання і процесу, узгоджувати їх із

цілями підрозділів і формувати підстави для сценарного управління, коли ефективність оцінюється не за фактом, а й через здатність прогнозно керувати відхиленнями та стабілізувати енергетичний профіль [5].

Аналітичні інструменти контролю та прогнозування електроспоживання формують перехід від фіксації спожитої електроенергії до керованості навантаження, коли оперативні дані вимірювань поєднуються з математичною моделлю, що відтворює закономірності споживання залежно від виробничих режимів і часових факторів. У такій постановці контроль полягає у виявленні відхилень від очікуваного профілю споживання і встановленні причин, а прогнозування забезпечує випереджальне планування навантаження та зниження ризику перевитрат через пікові години або неузгодженість роботи обладнання. Практична цінність інструментарію проявляється у тому, що прогноз перетворюється на базу для управлінського рішення, оскільки дозволяє узгодити графіки роботи, планові обсяги виробництва і енергетичні обмеження (таблиця 1.3).

Моделювання бізнес процесів управління електроспоживанням набуває прикладної цінності тоді, коли процес описується не лише як послідовність дій і відповідальностей, а як керований контур, у якому енергетичні показники пов'язані з рішеннями та фінансовими наслідками. За такої логіки модель процесу фіксує точки виникнення даних, правила їх перетворення на управлінську інформацію, місця ухвалення рішень і канали зворотного зв'язку, завдяки яким відхилення споживання переходять у коригування режимів або регламентів. Енергетичний аспект у процесній моделі досягає операційної точності лише тоді, коли для кожного кроку визначається вимірюваний результат у вигляді параметра споживання, а фінансовий аспект задає критерій пріоритетності змін. Це дозволяє перейти від описової карти до моделі, яка придатна для подальшого проєктування цифрових рішень [33].

Таблиця 1.3. – Аналітичні інструменти контролю та прогнозування електроспоживання підприємства

Інструмент	Функціональне призначення	Вхідні дані	Результат застосування	Управлінське використання
Декомпозиція часового ряду споживання	Відокремлення трендової, сезонної та випадкової складових електроспоживання	Погодинні або добові значення споживання, календарні ознаки (дні тижня, сезони)	Виділення стабільних компонентів споживання та їх змін у часі	Формування коректної базової лінії та розуміння структури навантаження
Регресійне моделювання з урахуванням виробничих факторів	Оцінювання впливу параметрів виробництва на обсяг електроспоживання	Обсяг випуску продукції, завантаженість обладнання, тривалість змін, фактичне споживання	Кількісна залежність між виробничими умовами та споживанням	Планування енерговитрат і перевірка доцільності виробничих режимів
Моделі прогнозування часових рядів	Побудова прогнозу електроспоживання на короткий і середній часовий горизонт	Історичні значення споживання, часові мітки	Прогнозні значення з оцінкою довірчих меж	Попередження пікових навантажень і підготовка сценаріїв управління
Виявлення аномалій у споживанні	Автоматичне ідентифікування нетипових відхилень від нормального режиму	Поточні дані споживання, базова лінія, граничні пороги	Сигнали про аномальні відхилення та потенційні ділянки ризику	Оперативне реагування та локалізація джерел перевитрат або збоїв
Оцінювання точності прогнозу	Перевірка надійності прогнозних моделей для практичного використання	Фактичні та прогнозні значення, періоди валідації	Показники похибки та порівняння альтернативних моделей	Вибір моделей з найкращою відтвореністю результатів
Інтеграція прогнозу в систему планування	Узгодження енергетичних і виробничих планів підприємства	Прогноз споживання, виробничий план, мережеві обмеження	План навантаження та цільові параметри енергоспоживання	Зниження витрат через керованість режимів і підвищення дисципліни споживання

Джерело: [33]

Порівняльний аналіз наукових підходів до цифрового енергоменеджменту переконливо показує, що найбільш продуктивними є рамкові моделі, у яких цифрові технології розглядаються як частина стандартизованої системи управління, а не як окремий набір інструментів моніторингу. Відповідно, інтеграція промислового IoT у практики сталого енергетичного менеджменту посилює управлінську результативність завдяки тому, що дані з виробничого середовища підвищують точність базових ліній, прискорюють виявлення причин відхилень і дозволяють формувати рішення на рівні процесу та обладнання, зберігаючи при цьому дисципліну системного підходу. У межах такого бачення ключовою перевагою стає узгодженість цифрових потоків даних із вимогами систем менеджменту, коли технологічні вимірювання перетворюються на контрольовані показники, а показники замикаються на цикл поліпшення, що дає можливість підтримувати одночасно економічну ефективність, ресурсну ощадливість і екологічну доцільність без втрати керованості через надмірну технічну складність [28].

Формування авторського підходу до вибору методів і інструментів дослідження в цифровому енергетичному менеджменті доцільно спирати на логіку багатокритеріального управлінського рішення, у межах якої технічна енергоефективність розглядається поряд із фінансовою доцільністю, ризиками реалізації, технологічними обмеженнями та стабільністю виробничих режимів. Така постановка дозволяє уникнути ситуації, коли метод обирається через популярність або зручність інтерпретації, і натомість забезпечує підбір інструментарію за критерієм придатності до реальних даних підприємства, їхньої повноти, частоти, достовірності та зв'язку з технологічними факторами. У цьому контексті методи машинного навчання досягають управлінської цінності тоді, коли вони інтегруються у модель прийняття рішень, яка не обмежується прогнозом або класифікацією, а забезпечує зіставлення альтернатив за сукупністю показників, дозволяючи встановити компроміси між економією,

ресурсною стійкістю та операційною безпекою процесу. Важливо, що багатокритеріальна конструкція робить результат дослідження відтворюваним, оскільки фіксує правила вибору, ваги критеріїв, обмеження й рівень невизначеності, а отже перетворює методичний вибір на прозорий і перевірний елемент наукового обґрунтування [2].

Висновки до розділу 1

У першому розділі сформовано цілісне теоретико-методологічне підґрунтя дослідження енергетичного менеджменту в умовах цифровізації управління електроспоживанням, що дозволяє перейти від фрагментарного розгляду енерговикористання до системного аналізу як управлінської функції. Узагальнення наукових підходів засвідчило, що сучасний енергетичний менеджмент виходить за межі технічного енергозбереження і розглядається як складова операційного управління, тісно пов'язана з виробничими режимами, собівартістю, фінансовими результатами та конкурентоспроможністю підприємства. Особливу увагу приділено специфіці енергоємних виробництв, де електроспоживання формується технологічною логікою процесів і потребує управлінських рішень, заснованих на глибокому аналізі даних.

Опрацювання нормативно-правової та стандартної бази показало, що вимоги у сфері енергоефективності, енергетичного аудиту та впровадження систем енергетичного менеджменту створюють обов'язкову рамку, в межах якої підприємство має забезпечити вимірюваність, прозорість і відтворюваність результатів управління електроспоживанням. Саме нормативні орієнтири визначають набір показників, вимоги до якості даних і рівень формалізації процесів, що є необхідною передумовою для подальшої аналітичної оцінки та виявлення «вузьких місць» у бізнес-процесах.

Розгляд цифровізації управління енергоспоживанням засвідчив, що ключовим чинником підвищення ефективності є не ізольоване впровадження окремих цифрових інструментів, а інтеграція аналітики, прогнозування, процесного моделювання та системи показників у єдиний управлінський контур. Аналітичні інструменти та методи машинного навчання набувають практичної цінності за умови їх включення до багатокритеріальної моделі прийняття рішень, яка враховує економічну доцільність, технологічні обмеження та ризики.

Таким чином, результати першого розділу створюють методологічну основу для подальшого аналізу фактичного стану управління електроспоживанням на підприємстві, дозволяють обґрунтувати вибір показників, методів і інструментів дослідження та забезпечують логічний перехід до аналітичного розділу, спрямованого на виявлення резервів підвищення ефективності енергетичного менеджменту за рахунок цифровізації управлінських процесів.

2 АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ НА ПІДПРИЄМСТВІ

2.1. Галузеві та виробничі передумови функціонування системи енергетичного менеджменту підприємства

Гірничо-збагачувальні комбінати України належать до найбільш енергоємних промислових об'єктів, що зумовлено специфікою технологічних процесів видобутку та збагачення корисних копалин, у яких електрична енергія виступає базовим виробничим ресурсом. Аналіз структури витрат таких підприємств засвідчує, що електроспоживання формує суттєву частку собівартості готової продукції, а його рівень прямо залежить від режимів роботи основного технологічного обладнання, гірничотранспортних систем і збагачувальних фабрик. Висока концентрація електричних навантажень у межах одного виробничого комплексу обумовлює підвищену чутливість підприємств до змін тарифної політики, коливань режимів енергопостачання та порушень безперервності електропостачання, що у свою чергу впливає на фінансові результати діяльності. Зафіксовано, що навіть незначні відхилення в організації енергоспоживання призводять до непропорційного зростання витрат, що підтверджує критичну роль електричної енергії у формуванні економічної ефективності гірничо-збагачувальних комбінатів. У такому контексті система енергетичного менеджменту набуває значення не допоміжного, а стратегічного інструменту управління, оскільки вона забезпечує можливість контролю, аналізу та оптимізації електроспоживання з урахуванням технологічних і організаційних особливостей виробництва. Високий рівень енергоємності галузі формує об'єктивну потребу в переході від фрагментарного обліку електроенергії до системного управління енергетичними потоками, що створює

передумови для подальшого впровадження цифрових рішень у сфері енергетичного менеджменту [12].

Великі промислові підприємства гірничо-збагачувального профілю в Україні історично виконують функцію містоутворюючих центрів, що визначає їхній вплив не лише на економічну діяльність, але й на життєзабезпечення прилеглих територій. У межах таких виробничих комплексів формується тісний зв'язок між технологічними процесами підприємства та інфраструктурними системами міста, зокрема енергопостачанням, водопостачанням, транспортом і об'єктами соціальної сфери. Поєднання виробничого та інфраструктурного навантаження в єдиному енергетичному контурі призводить до того, що електроспоживання підприємства виходить за межі суто виробничих потреб і включає забезпечення функціонування житлових районів, комунальних об'єктів і критичної інфраструктури. У кризових умовах, зокрема під час зупинки або скорочення виробничої діяльності, така інтегрованість створює додаткові управлінські виклики, оскільки енергетична система підприємства продовжує виконувати функції базового постачальника для територіальної громади. Це зумовлює асиметрію між фактичним рівнем виробничого навантаження та необхідністю підтримувати стабільні режими роботи енергетичного обладнання, що безпосередньо впливає на структуру витрат і ефективність енергетичного менеджменту. За таких умов система управління електроспоживанням повинна враховувати не лише внутрішні виробничі параметри, але й зовнішні соціально-економічні зобов'язання підприємства, що підсилює значення комплексного підходу до планування, контролю та оптимізації енергетичних потоків у межах єдиної територіально-виробничої системи [30].

Циклічно-потоківа технологія у відкритих гірничих роботах формується як поєднання циклічної ланки, що забезпечує виїмку та підвезення гірничої маси, і потокової ланки, яка бере на себе її подальше

транспортування безперервним конвеєрним шляхом після стадії дроблення. У межах такої побудови енергоспоживання набуває характеру нерівномірного профілю, оскільки саме “точки переходу” між циклом і потоком стають джерелом концентрації електричних навантажень. Найвищі пікові значення формуються під час запусків та синхронізації роботи дробильного обладнання, похилих і крутопохилих конвеєрів, а також під час переходів між режимами транспортування, коли система працює не як стабільна безперервна лінія, а як комплекс, що постійно адаптується до гірничо-геометричних умов борту кар’єру. Для кар’єрів зі складною будовою робочої зони технологічна ефективність ЦПТ досягається через раціональне розміщення елементів транспортного комплексу та підбір параметрів конвеєрних ділянок відповідно до кутів нахилу, що напряду визначає режим навантаження електроприводів і характер споживання потужності у часі. Науково-обґрунтований перехід до нових напрямів ЦПТ, де на ділянках з пологішим нахилом застосовуються похилі конвеєри, а на крутіших крутопохилі рішення, означає не тільки зміну логістики переміщення гірничої маси, але й зміну структури електричних навантажень з появою чітко виражених пікових зон, пов’язаних з роботою підйомних конвеєрів і дробильних агрегатів. Для системи енергетичного менеджменту це створює принципово важливу передумову, коли основним об’єктом контролю стає вже не лише загальний обсяг спожитої енергії, а саме поведінка навантаження у межах коротких інтервалів, здатність технологічної схеми формувати стрибки потужності, а також умови, за яких ці піки можуть бути знижені через оптимізацію структури технологічного комплексу і логіки його роботи.

У виробничих умовах ПрАТ «ІНГЗК» циклічно-потокова технологія видобутку руди із застосуванням автомобільно-конвеєрного транспорту задає саме такий тип енергетичного профілю, у якому нерівномірність є природною характеристикою системи, а піковість електричних навантажень формується як наслідок роботи гірничотранспортного і

дробильно-збагачувального комплексів у єдиному технологічному ланцюзі. На рівні енергетичного господарства ця піковість перетворюється на конкретні управлінські задачі, оскільки живлення комбінату реалізоване через чотири головні понижуючі підстанції з трансформаторами 150/35/6 кВ та міжпідстанційними зв'язками, де диспетчерське керування режимами, розподілом навантаження і контролем перетоків стає ключовим інструментом підтримання стійкої роботи при змінних навантаженнях. До 2022 року середньогодинне споживання потужності працюючого підприємства разом із субспоживачами досягало рівня 195–215 МВА·год, що в умовах циклічно-потокової організації робіт означало присутність короточасних локальних максимумів, які вимагали балансування навантажень між трансформаторами та підстанціями і контролю режимів напруги. Після переходу підприємства у режимний простір з 02.07.2024 року характер електроспоживання змінився, однак сама природа піковості в енергосистемі не зникає повністю, оскільки енергетична інфраструктура продовжує підтримувати роботу критичних елементів і субспоживачів, а отже в управлінні зберігається потреба контролю режимів і перерозподілу навантажень при змінній структурі споживання. У такій логіці циклічно-потокова технологія виступає не просто описом видобутку руди, а виробничою передумовою, що пояснює чому управління електроспоживанням на підприємстві повинно бути орієнтоване на режимні параметри і динаміку навантаження, а не лише на підсумкові значення обліку, оскільки саме пікові відхилення формують ризики перевитрат, ускладнюють забезпечення рівномірної роботи трансформаторів і посилюють потребу у цифрових засобах контролю (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Галузеві та технологічні чинники формування енергоємності та режимів електроспоживання ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»

Галузевий або технологічний чинник	Прояв на ПрАТ «ІНГЗК»	Вплив на режим електроспоживання	Управлінські наслідки для енергоменеджменту
Енергоємність виробництва і роль електроенергії у витратах	До 2022 року разом із субспоживачами середньогодинне споживання становило 195–215 МВА·год, що відображає масштаб електронавантаження ГЗК	Висока базова складова поєднується з часовою мінливістю через залежність від режимів роботи основних і допоміжних комплексів	Енергоменеджмент орієнтується на регулярний контроль, прозоре структурування споживання та оперативні рішення щодо режимів
Циклічно поточна технологія і нерівномірність роботи обладнання	Використовується циклічно поточна технологія з автомобільно конвеєрним транспортом і потоковою переробкою	Пікові навантаження виникають під час переходів режимів і перерозподілу навантаження між вузлами живлення	Потрібен контроль навантажень у коротких інтервалах і прив'язка піків до технологічних подій та диспетчерських рішень
Складна багаторівнева енергетична інфраструктура і централізоване живлення	Чотири головні підстанції з трансформаторами 150/35/6 кВ і мережевими зв'язками 150, 35 і 6 кВ, сумарна потужність парку 495 МВА·год	Перетоки потужності залежать від конфігурації мережі, а зміни в одному сегменті впливають на балансування та режими напруги	Потрібна інтеграція економічних рішень з режимною дисципліною та контролем завантаження елементів мережі
Режим вимушеного простою і збереження інфраструктурного електроспоживання	Після зупинки у 2024 році мережі працюють для критичних об'єктів і субспоживачів, за серпень 2024 року споживання 23,32 МВА·год, з них підприємства 12,15 МВА·год	Базове споживання зберігається, а частка умовно постійних витрат і вплив холостих режимів трансформаторів зростають	Акцент управління зміщується на мінімізацію непродуктивних витрат і оптимізацію конфігурації схеми живлення
Втрати холостого ходу трансформаторів і	Об'єктом управління стають втрати інфраструктури, які оплачуються	За низьких навантажень холості втрати формують	Ключовим стає вибір кількості працюючих трансформаторів і

економіка режимних рішень	власником мереж і не залежать від випуску продукції	значиму частку споживання, особливо при роботі надлишкових трансформаторів	режимів, що дає вимірюваний ефект у зниженні споживання
Роль диспетчерського керування у підтриманні режимів	Диспетчерська Цеху мереж та підстанцій розподіляє навантаження, контролює перетоки та режими напруги	Оперативність перемикачів і балансування визначає стабільність параметрів та впливає на втрати в мережі	Потрібен єдиний контур даних із диспетчерською функцією для синхронізації КРІ з оперативними діями
Орієнтація на цифровізацію і якість управлінських даних	«Енергоцентр» збирає дані кожні 30 хвилин і контролює параметри, але звітність формується вручну з додатковими розрахунками	Ручна обробка створює часовий лаг і підвищує ризик похибок у показниках і співвідношенні активної та реактивної енергії	Пріоритетом стає автоматизація обробки, візуалізації та звітності для підвищення точності й оперативності управління

Джерело: угруповано та розраховано автором на підставі даних підприємства

Багаторівнева енергетична інфраструктура великого промислового підприємства формується як ієрархічна система перетворення, розподілу та оперативного керування енергією, у якій високовольтний рівень забезпечує приймання потужності з енергосистеми, середній рівень виконує функцію внутрішньозаводського розподілу між технологічними вузлами, а низьковольтний рівень безпосередньо живить обладнання та допоміжні споживачі. У такій архітектурі силові трансформатори виступають не тільки технічними елементами, що змінюють напругу, а й ключовими вузлами економіки енергогосподарства, оскільки саме через їхні режими навантаження визначається величина технологічних і непродуктивних втрат, рівень надійності та допустимі межі маневрування потужністю. З позиції організації енергетичної служби енергогосподарство великого підприємства функціонує як комплекс взаємопов'язаних підсистем, де мережі та підстанції, трансформаторні потужності,

комутаційні апарати, засоби контролю та обліку формують єдиний контур, у якому будь-яка зміна режиму на одному рівні напруги відображається на режимах суміжних рівнів. Така взаємозалежність означає, що управління електроспоживанням не зводиться до реєстрації обсягів спожитої енергії, оскільки критичним стає режимний аспект, а саме узгодження потоків потужності, підтримання допустимих рівнів напруги, забезпечення резервування та оптимізація структури увімкненого обладнання відповідно до фактичного навантаження. Для підприємств із високою енергоємністю саме багаторівневість інфраструктури пояснює появу додаткових витрат, які не залежать лінійно від випуску продукції, адже частина витрат формується необхідністю підтримувати інфраструктуру у працездатному стані, компенсувати втрати в мережах і забезпечувати надійність електропостачання технологічних ліній та критичних споживачів. У результаті енергетичний менеджмент у таких системах набуває характеру інтегрованого управління, яке одночасно охоплює технічну надійність, економічну ефективність і організаційну дисципліну, а основою для управлінських рішень стає системне розуміння структури енергогосподарства та закономірностей формування режимів на кожному рівні розподілу.

На прикладі досліджуваного підприємства багаторівнева інфраструктура проявляється як розгалужена система підстанцій і мереж, що охоплює приймання електроенергії на рівні 150 кВ, її трансформацію до 35 кВ і 6 кВ та подальший розподіл до технологічних приєднань і субспоживачів, при цьому стійкість роботи визначається не окремим елементом, а узгодженістю всієї схеми. Функціонально критичним ядром енергетичного комплексу є цех мереж та підстанцій, який відповідає за технічний стан і надійність інфраструктури від вхідних ліній 150 кВ до розподільчих пристроїв 6 кВ, а структурно система включає чотири головні понижуючі підстанції та мережеві зв'язки між ними на рівнях 150, 35 і 6 кВ. Живлення здійснюється чотирма повітряними лініями 150 кВ, а

трансформація забезпечується парком силових трансформаторів 150/35/6 кВ, що в сукупності формує значну встановлену потужність і створює можливість перерозподілу навантажень між вузлами живлення через міжпідстанційні зв'язки. У такій конфігурації режим електроспоживання підприємства фактично є режимом роботи всієї внутрішньої мережі, де зміни навантаження виробничих підрозділів та субспоживачів відображаються на перетоках потужності, завантаженні трансформаторів і режимах напруги. Оперативне керування схемою живлення концентрується у диспетчерській, де здійснюються перемикання та коригування режимів роботи трансформаторів і зв'язків, а управлінська логіка полягає у підтриманні необхідних параметрів напруги, балансуванні навантаження між трансформаторами різної потужності та контролі перетоків по зв'язках, що прямо вказує на високий рівень складності режимного управління для енергетичного менеджменту. З позиції аналітичної оцінки така багаторівнева структура пояснює, чому ефективність енергетичного менеджменту залежить не лише від загального споживання, а й від здатності працювати з режимними параметрами в реальному часі, оскільки саме вони визначають втрати, стабільність електропостачання та економічні наслідки для підприємства в умовах різної інтенсивності виробничої діяльності (рис. 2.1).

Поданий рисунок наочно відображає багаторівневу організацію енергетичної інфраструктури підприємства, у якій електропостачання реалізується через послідовний перехід від зовнішньої енергосистеми рівня 150 кВ до внутрішньозаводських мереж 35 і 6 кВ. Схема демонструє ключову роль головних понижуючих підстанцій та міжпідстанційних зв'язків у формуванні режимів електроспоживання, а також показує, що управління енергією здійснюється в умовах складної розгалуженої системи, де будь-яка зміна навантаження на одному рівні впливає на роботу всієї мережі. Це підтверджує необхідність інтегрованого

енергетичного менеджменту, орієнтованого не лише на облік електроенергії, а й на режимне та аналітичне управління.

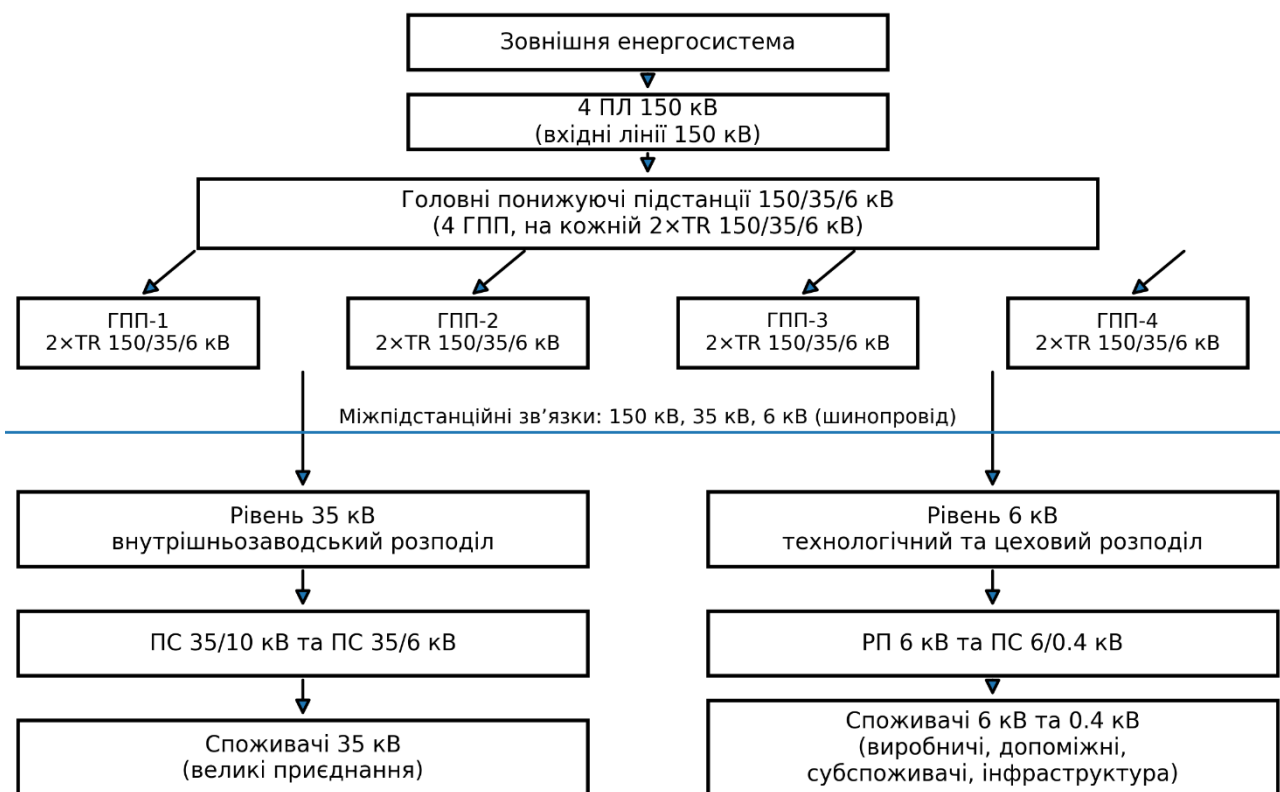


Рисунок 2.1 – Структурна схема енергетичної інфраструктури ПрАТ «ІНГЗК» та рівні розподілу електроенергії 150/35/6 кВ

Джерело: створено автором на підставі даних підприємства

Вимушений технологічний простій промислового підприємства з 2024 року змінює режим електроспоживання не як просте зменшення загального обсягу, а як перебудову самої структури навантаження, у якій різко скорочується змінна виробнича складова і одночасно зберігається відносно стабільний базовий рівень, необхідний для підтримання критичних споживачів, інфраструктурних систем та мінімально допустимих режимів експлуатації енергосистем. В умовах воєнного стану такі трансформації посилюються загальносистемними факторами, оскільки електроенергетичний ринок і режим роботи енергосистеми функціонують в середовищі підвищених ризиків, обмежень пропускної

спроможності, дефіцитів потужності у певні періоди та зміни поведінки споживачів, що призводить до зростання ролі адаптивного керування попитом і підвищення вимог до прогнозованості профілів навантаження (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Структурні та режимні особливості енергетичної інфраструктури ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» в умовах технологічного простою

Елемент енергетичної системи	Характеристика на підприємстві	Режим роботи в умовах простою з 2024 року	Вплив на електроспоживання та витрати
Головні понижуючі підстанції	Чотири ГПП 150/35/6 кВ формують основу внутрішньої енергосистеми та живлять виробничі й інфраструктурні об'єкти	Працюють без основного технологічного навантаження, забезпечуючи субспоживачів і критичні об'єкти	Зберігається базове електроспоживання, витрати слабо залежать від виробничої активності
Силові трансформатори	Вісім трансформаторів 150/35/6 кВ із сумарною потужністю близько 495 МВА·год, наявний значний резерв потужності	Частина переведена у холодний резерв, частина залишається в роботі для мінімальних потреб електропостачання	Основа споживання формують втрати холостого ходу, що підвищує питомі витрати у період простою
Міжпідстанційні зв'язки	Зв'язки 150, 35 і 6 кВ забезпечують гнучкість схем і перерозподіл навантажень	Використовуються для надійного живлення субспоживачів та резервування ділянок мережі	Повне вимкнення інфраструктури обмежене, зберігаються постійні мережеві втрати
Рівні напруги внутрішньої мережі	Мережі 35 і 6 кВ забезпечують живлення великих приєднань і допоміжних об'єктів	Працюють у режимі малого навантаження для залишкових споживачів	Зростає частка умовно постійних втрат, погіршується енергоефективність системи
Договірні відносини з оператором системи розподілу	Розрахунки з ОСР здійснюються за фактичну енергію, втрати холостого ходу не компенсуються	Підприємство покриває втрати, пов'язані з утриманням інфраструктури в роботі	Виникає стимул оптимізувати схеми живлення та мінімізувати кількість працюючих трансформаторів

Джерело: складено автором на основі матеріалів підприємства.

Для підприємства це означає, що навіть за відсутності основного виробничого циклу електроспоживання зберігає критичний управлінський вимір, оскільки підтримка систем дренажу, вентиляції, зв'язку, охорони, освітлення, водопостачання, тепlopостачання і інших елементів життєзабезпечення формує «незнімну» частину навантаження, яка визначає потребу в безперервності електропостачання і зумовлює неможливість повного відключення значної частини електротехнічної інфраструктури. У дослідницькій логіці це переводить акцент з аналізу витрат на одиницю продукції до аналізу витрат на підтримання готовності та на забезпечення стійкості, де ключовим стає питання, які саме елементи інфраструктури формують базове споживання, як воно корелює з режимами енергосистеми, і які управлінські рішення дають змогу знизити непродуктивні витрати без створення ризиків для критичних споживачів. Така постановка питання дозволяє пояснити, чому у період простою енергетичний менеджмент фактично перетворюється на інструмент режимної стійкості, а цифрові засоби моніторингу і аналізу стають не додатковою опцією, а умовою оперативного виявлення відхилень і доказового обґрунтування рішень щодо конфігурації живлення і допустимих режимів роботи обладнання.

За умов малого навантаження значення втрат холостого ходу силових трансформаторів зростає, оскільки частка енергії, що витрачається на підтримання магнітного поля в осерді і супутні процеси намагнічування, стає порівнянною з корисною передачею потужності до споживачів, а інколи починає домінувати у структурі витрат електроенергії, пов'язаних із роботою трансформаторного обладнання. У цьому режимі важливо, що втрати холостого ходу мають відносно сталий характер за наявності напруги на обмотках і слабо залежать від величини фактичного навантаження, тому економічний ефект від скорочення числа

увімкнених трансформаторів у період простою може бути більшим, ніж ефект від точкових заходів на стороні споживачів, коли технологічне навантаження і так мінімальне. Додатково на величину втрат і на режим роботи трансформатора впливають параметри якості електроенергії, оскільки відхилення напруги, наявність гармонічних складових, несиметрія та коливання можуть змінювати умови намагнічування і тепловий стан, що в умовах низького навантаження підсилює ризик непропорційного зростання непродуктивних втрат. Для енергетичного менеджменту це формує чітку логіку управління, у якій ключовим стає вибір раціональної конфігурації трансформаторного парку, узгодження кількості працюючих трансформаторів із реально необхідним рівнем потужності, а також контроль параметрів якості електроенергії як фактору, що впливає на ефективність роботи обладнання навіть тоді, коли корисне навантаження невелике. У межах аналітичної оцінки така інтерпретація дозволяє обґрунтувати, що в період простою пріоритетними стають режимні рішення щодо трансформаторів, а цифровий моніторинг має фокусуватися не лише на обліку енергії, а й на параметрах режиму та індикаторах якості електроенергії, оскільки саме вони визначають величину втрат, стабільність роботи і загальну економіку утримання енергетичної інфраструктури у працездатному стані [1].

Договірні та регуляторні рамки взаємодії промислового споживача з оператором системи розподілу формують не нейтральне тло, а економічний механізм, який прямо впливає на те, які рішення щодо режимів електроспоживання стають раціональними і як швидко підприємство переходить від інерційної експлуатації енергогосподарства до цілеспрямованої оптимізації. Коли відповідальність за окремі складові витрат розмежована між учасниками ринку і зафіксована у правилах, виникає ситуація, у якій частина витрат має характер неминучих платежів за послуги мережі, а інша частина перетворюється на зону керованості підприємства через вибір схеми живлення, рівня приєднаної потужності,

характеру графіка навантаження та дисципліни обліку. У дослідницькій логіці це означає, що оптимізація електроспоживання повинна будуватися не лише на технічній доцільності, а й на аналізі того, які саме витрати виникають як наслідок режимних рішень і як вони трансформуються в розрахунках та відповідальності сторін. На практиці стимул до оптимізації найчастіше проявляється у тому, що підприємство починає розглядати втрати і неефективні режими не як суто технічну неминучість, а як економічний наслідок власного вибору конфігурації енергосистеми, особливо в умовах зниженого навантаження, коли навіть невеликі непродуктивні складові здатні формувати відчутну частку витрат. У такому середовищі рішення щодо кількості працюючих трансформаторів, структури резервування, підтримання коефіцієнта потужності і точності комерційного обліку переходять у категорію фінансово значущих, тому що саме вони визначають, які витрати підприємство реально здатне скоротити без втрати надійності електропостачання [11].

Роль енергетичного менеджменту в таких умовах доцільно трактувати як інструмент забезпечення стійкості, який поєднує технічний контроль режимів, економічну дисципліну витрат і управлінську підготовку до цифрової трансформації. Енергетичний менеджмент перестає бути сукупністю локальних дій, зосереджених на звітності, і набуває ознак системи, де стабільність електропостачання і зниження витрат досягаються через постійний цикл вимірювання, аналізу, постановки цілей, коригувальних дій і перевірки результатів на основі даних. Саме у промисловому секторі цей підхід має найбільшу практичну вагу, оскільки складні енергогосподарства з багатьма рівнями напруги і розгалуженою інфраструктурою створюють ситуацію, коли інтуїтивні рішення не забезпечують відтвореного ефекту, а доведення ефективності заходів потребує прозорих метрик і порівнюваності режимів у часі. У контексті підготовки до цифровізації ключове значення має те, що енергоменеджмент формує вимоги до даних, визначає критичні

показники, описує відповідальності і регламенти, а вже потім переводить ці правила у цифрові інструменти, які мінімізують ручну працю, скорочують затримки в реакції та забезпечують сталість управлінських рішень. За такої логіки цифровізація виступає не самоціллю, а способом зробити енергетичний менеджмент більш керованим, швидким і доказовим, а також знизити залежність результату від людського фактора у зборі та інтерпретації інформації [31].

2.2. Аналіз фактичного стану управління електроспоживанням на підприємстві

Організаційна структура управління електроспоживанням на ПрАТ «ІНГЗК» у фактичній практиці вибудовується як взаємодія двох контурів, де технічний контур забезпечує безперервність та допустимість режимів електропостачання, а економічний контур перетворює виміряні параметри на управлінські рішення щодо витрат, лімітів і дисципліни споживання. Усередині підприємства технічна відповідальність концентрується в Цеху мереж та підстанцій, який утримує працездатність енергетичної інфраструктури від вхідних приєднань 150 кВ до розподільчих пристроїв 6 кВ та зв'язків між підстанціями, тоді як економічна відповідальність зосереджена у Відділі енергоменеджменту, який відповідає за споживання та економічність, а також за експлуатацію й контроль АСКОЕ як бази комерційного обліку. Саме така конструкція створює розмежування управлінських горизонтів, оскільки оперативні технічні дії спрямовані на стабільність схем живлення, а економічні рішення спираються на дані про фактичне споживання, тарифну логіку та цільові показники енергоефективності, що у підсумку визначає, як підприємство формує баланс між надійністю та вартістю електроенергії. У цьому розмежуванні простежується ключовий практичний наслідок, адже ефективність системи залежить від того, наскільки узгоджено технічний

контур передає релевантні дані економічному контуру і наскільки швидко економічні висновки повертаються у вигляді режимних вимог до технічної експлуатації, що особливо важливо для великих споживачів із багаторівневою інфраструктурою та субспоживачами [47].

Аналіз фактичного стану управління електроспоживанням на підприємстві здійснюється не лише як опис наявної організаційної та технічної практики, а як результат цілеспрямованого процесного моделювання бізнес-процесу управління електроспоживанням. Такий підхід дозволяє розглядати електроспоживання не як ізольований показник обліку, а як керований управлінський процес, що має чітко визначені межі, учасників, інформаційні потоки та точки прийняття рішень.

Об'єктом моделювання виступає бізнес-процес управління електроспоживанням підприємства, який охоплює послідовність взаємопов'язаних функцій планування електроспоживання відповідно до виробничих режимів, вимірювання та збору фактичних даних споживання, аналічної обробки та інтерпретації відхилень, ухвалення управлінських рішень щодо коригування режимів роботи обладнання, а також реалізації і контролю коригувальних дій. Саме така логіка дозволяє перейти від фіксації окремих показників до аналізу причинно-наслідкових зв'язків між технологічними параметрами, організацією управління та фактичним рівнем електроспоживання.

Застосування процесного підходу в аналітичному розділі створює методологічну основу для подальшої побудови моделей поточного стану бізнес-процесу (AS-IS) та цільового стану після впровадження змін (TO-BE), що забезпечує формалізований перехід від діагностики існуючих проблем до обґрунтування напрямів удосконалення управління електроспоживанням. У цьому контексті процесне моделювання використовується як інструмент виявлення структурних недоліків організації управління, неузгодженостей інформаційних потоків та

обмежень у прийнятті рішень, які не можуть бути ідентифіковані виключно на основі описового аналізу показників споживання.

Диспетчерська служба в межах Цеху мереж та підстанцій виконує функцію центру оперативного керування режимами живлення і напруги, оскільки саме через неї реалізуються перемикання, зміна режимів роботи трансформаторів і керування перетоками по зв'язках на рівнях 150, 35 і 6 кВ, а також підтримується допустимий розподіл навантаження між трансформаторами різної номінальної потужності. Практично це означає, що диспетчерська забезпечує не лише механічне виконання команд, а й постійне утримання режимної рівноваги, коли напруга, завантаження трансформаторів і перетоки потужності контролюються як взаємопов'язані параметри, а будь-яке відхилення потребує швидкої локалізації та коригувальних дій, включно з відновленням живлення споживачів у разі аварійних вимкнень. Оперативна роль підсилюється тим, що диспетчерська координує допуски до робіт, взаємодіє із зовнішніми енергопостачальними структурами щодо режиму 150 кВ та синхронізує дії з внутрішніми споживачами і субспоживачами, тому її функція виходить за межі суто електротехнічного контролю і фактично стає вузлом управління надійністю, у якому кожне рішення має одночасно технічну і економічну вагу. Така логіка узгоджується з підходом, де оперативне регулювання напруги та режимів трансформатора розглядається як інструмент підтримання стабільності мережі, а не як ізольований технічний елемент, оскільки саме через якість регулювання зменшується ризик небажаних відхилень режиму, втрат і вимушених обмежень для споживачів.

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії та програмний комплекс «Енергоцентр» у фактичній моделі управління електроспоживанням підприємства виконують роль базового цифрового контуру, який з'єднує фізичну інфраструктуру електропостачання з управлінською аналітикою, оскільки дані з точок обліку збираються не

епізодично, а з регулярною дискретністю та далі можуть бути використані для оперативного контролю і для економічних розрахунків. У межах досліджуваного підприємства «Енергоцентр» підключений до вимірювальних приладів на силових трансформаторах 150/35/6 кВ, на вхідних лініях 150 кВ і на вихідних приєднаннях 35 кВ та 6 кВ, а цикл збору даних відбувається кожні 30 хвилин, що створює достатню часову роздільність для виявлення режимних зсувів і короткострокових відхилень від типового профілю навантаження.

У такій конфігурації АСКОЕ та «Енергоцентр» функціонально мають забезпечувати повний ланцюг від збору первинних вимірювань до їх структурування, збереження і передавання між учасниками комерційного обліку, а якість управління значною мірою визначається узгодженістю інформаційної взаємодії, стандартизацією даних та надійністю обміну між компонентами системи. Це означає, що цифровий інструмент виступає не просто «програмою для перегляду показників», а основою для формування контрольованого середовища обліку, у якому дані стають формалізованим ресурсом управління, придатним для прозорості звітності й доказового аналізу витрат, режимів і відповідальності за відхилення [18].

Контроль активної та реактивної енергії, повної потужності, коефіцієнта потужності $\cos\phi$ і показників якості електроенергії в реальному управлінні електроспоживанням є не формальним переліком параметрів, а механізмом пояснення, чому при однакових обсягах активної енергії витрати та режимні наслідки можуть істотно відрізнятись, особливо у великих мережах із багатьма приєднаннями. На досліджуваному підприємстві «Енергоцентр» забезпечує контроль активної та реактивної енергії, параметрів потужності, а також напруг пофазно, що дає основу для аналізу співвідношення активної і реактивної складових та для оперативної корекції режиму, коли у фокусі перебуває не лише загальний ліміт споживання, а й режимні показники, які визначають додаткові втрати і впливають на стійкість електропостачання.

У методологічному сенсі $\cos\phi$ виступає інтегральним індикатором того, наскільки ефективно споживач використовує електроенергію з погляду співвідношення корисної активної потужності та супровідної реактивної складової, а відхилення цього показника зазвичай відображає або технологічні зміни в навантаженні, або недостатню компенсацію реактивної потужності, або проблеми режиму напруги, які посилюють струми і мережеві втрати. Дослідження режимів якості електроенергії та факторів, що впливають на $\cos\phi$, показує, що параметри якості, зокрема відхилення напруги та режимні дисбаланси, мають прямий зв'язок з втратами, нагріванням обладнання і надійністю роботи мережі, тому їх включення до системи контролю є обов'язковою умовою переходу від простого обліку до управління режимом. У результаті набір контрольованих параметрів стає аналітичним каркасом, який дозволяє будувати причинно-наслідкові пояснення відхилень у споживанні та обґрунтовувати рішення щодо балансування навантаження, корекції реактивної складової і підтримання допустимих режимів напруги на рівнях 35 кВ і 6 кВ.

Домінування ручного зчитування та перенесення показників у звіти на досліджуваному підприємстві проявляється як стійка операційна рутинна, у якій цифровий контур збору даних фактично завершується на етапі відображення вимірних значень, після чого ключовий управлінський продукт формується вручну. У межах наявної практики дані зі споживання щогодини зчитуються, переносяться в звіт, далі персоналом підраховується загальне споживання комбінату та субспоживачів, а також визначається співвідношення спожитої активної і реактивної енергії, при цьому саме щогодинний звіт використовується для режимних рішень, зокрема для коригування реактивної складової, балансування навантаження в системі та контролю ліміту споживання. Ця організація роботи означає, що час диспетчерського та суміжного персоналу значною мірою поглинається повторюваними діями з

перепишування і проміжних обчислень, а отже головний ризик зосереджується не в нестачі даних, а в способі їх перетворення на рішення, оскільки ручна ланка створює затримку між появою відхилення в режимі та моментом, коли відхилення перетворюється на управлінський сигнал. Додатково ручне перенесення чисел підвищує чутливість процесу до людського фактора, бо помилка виникає не лише як неправильне значення, а й як пропуск часової точки, некоректне групування по субспоживачах або зміщення інтервалу, після чого такі похибки стають частиною підсумкових розрахунків і спотворюють інтерпретацію режиму. У контексті оцінки фактичного стану управління електроспоживанням це дозволяє зафіксувати розрив між потенціалом цифрового інструмента, який технічно забезпечує регулярний збір показників, і реальною моделлю використання даних, у якій цифровізація завершується до етапу автоматизованого формування звітів, візуалізації та перевірки якості даних, що логічно формує підстави для подальшого аналізу трудомісткості, ризиків помилок і втрат керованості в оперативному циклі.

Обґрунтування необхідності відмови від напівручної моделі на користь автоматизованого енергомоніторингу набуває дослідницької чіткості тоді, коли ручний процес розглядається як послідовність операцій, що не додають нової інформації, але створюють витрати часу, затримки та можливість похибок на кожному кроці. Коли дані спочатку збираються приладами обліку, далі відображаються у програмному середовищі, а потім знову переписуються в інші форми, управління починає залежати від стабільності людської уваги, а не від стабільності системи, і саме тому автоматизація логічно спрямовується на два вузькі місця, на усунення ручного перенесення значень і на автоматичний розрахунок похідних показників, які використовуються для управлінських рішень. У практичному вимірі автоматизована модель дає можливість уніфікувати правила агрегації, закласти контроль повноти даних, забезпечити відтворюваність розрахунків та зменшити часовий лаг між зміною режиму

і реакцією, тому що звітність формується на основі вже зібраних даних без додаткового ручного циклу. У межах аналітичної оцінки це означає, що аргументація цифровізації спирається не на загальні твердження про сучасність технологій, а на вимірювані характеристики процесу, на частоту повторення операцій, на структуру витрат робочого часу та на критичність оперативних рішень, для яких затримка і похибка мають економічні наслідки, а отже автоматизація розглядається як спосіб підвищення керованості системи електроспоживання та як необхідна передумова для подальшої аналітики і прогнозування.

Порівняння електроспоживання у форматі «до» і «після» на основі середньодобових значень у цьому дослідженні доцільно будувати так, щоб фокус зсувався з одиничних добових коливань на типові профілі навантаження, які відтворюються протягом тижнів і місяців та відображають реальний режим функціонування енергосистеми підприємства. Коли кожен день описують як часовий ряд значень активної потужності або споживання з однаковим кроком вимірювання, з'являється можливість перевести аналіз із «вищих і нижчих» значень у площину структури графіка, де важливими стають форма, стабільність базового навантаження, наявність пікових зон і тривалість періодів підвищеної потужності. Застосування підходу k-means у такій постановці дає змогу згрупувати доби за подібністю профілів і отримати компактний опис режимів, наприклад режим виробничого циклу з повторюваними піками, режим технологічно обмеженого споживання з «зрізаною» верхівкою графіка та режим простою з домінуванням базової складової. Аналітична цінність цього підходу полягає в тому, що зміни «до після» тоді інтерпретуються не лише як різниця середніх значень, а як перехід системи з одного класу режимів до іншого, що дозволяє коректно пов'язувати управлінські рішення з трансформацією навантаження, а також відокремлювати ефект структурної зміни режиму від сезонних або

календарних впливів, які в промисловому споживанні часто накладаються на технологічні фактори [19]

Виведення частини силових трансформаторів у холодний резерв і перехід на тимчасову схему живлення в умовах малих навантажень є управлінським рішенням, у якому технічна логіка безпосередньо перетворюється на економічний ефект, оскільки при зниженні споживання частка непродуктивних складових, пов'язаних із роботою трансформаторів, стає помітнішою у загальному балансі. Коли трансформатор залишається увімкненим, він створює сталу складову втрат, яка існує незалежно від того, наскільки суттєвим є навантаження, тому надлишкова кількість працюючих трансформаторів у період простою або різкого падіння виробничого навантаження формує зайві витрати, які не додають надійності пропорційно їхній вартості. Оптимальне вмикання числа трансформаторів на підстанціях у таких режимах спирається на зіставлення допустимого резервування, вимог до безперервності живлення критичних споживачів, режимів напруги та величини втрат, при цьому холодний резерв виступає практичним інструментом зниження непродуктивного споживання без втрати керованості системи. Для підприємства із багаторівневою схемою живлення це рішення набуває ще більшої ваги, оскільки дозволяє зберігати живлення необхідних приєднань при мінімально достатній конфігурації трансформаторного парку, зменшуючи вплив холостих режимів на добову статистику споживання і водночас підвищуючи передбачуваність графіка навантаження, що є принципово важливим для подальшої цифрової аналітики та порівнянь «до після» (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Порівняння середньодобових показників електроспоживання та ефекту тимчасової схеми живлення в умовах малих навантажень

Аналітичний блок	Період «до» зміни режиму	Період «після» зміни режиму	Інтерпретація для управління
Середньодобове електроспоживання підприємства та субспоживачів, МВт·год	27.98	23.32	Зменшення добового обсягу підтверджує зміну базового режиму, тому для коректного висновку доцільно аналізувати не тільки середні значення, а й типові профілі добових графіків, щоб відокремити ефект управлінського рішення від календарної мінливості
Частка власного споживання підприємства у добовому обсязі, МВт·год	14.58	12.15	Збереження суттєвої частки власного споживання навіть після зниження навантаження вказує на домінування критичних і інфраструктурних споживачів, тому оптимізація має бути орієнтована на конфігурацію енергосистеми, а не лише на обмеження технологічних приєднань
Кількість трансформаторів у роботі на ключовому вузлі живлення, од.	3	2	Перехід на меншу кількість увімкнених трансформаторів знижує непродуктивні втрати та спрощує режим, що підсилює стабільність профілю навантаження у класі «низького споживання»
Оцінка відносного зниження споживання після переходу на тимчасову схему, %	0.0	16.7	Величина зниження підтверджує, що рішення щодо конфігурації трансформаторного парку працює як прямий інструмент економії в умовах малого навантаження і має оцінюватися у зв'язці з режимною надійністю живлення критичних споживачів

Джерело: угруповано та розраховано автором на підставі даних звітності підприємства

Кількісна оцінка ефекту зниження електроспоживання на підприємстві в умовах воєнних обмежень має будуватися як зв'язок між вимірною динамікою навантаження та конкретними управлінськими рішеннями, які змінюють структуру споживання і переводять систему в

інший режим функціонування, тому що саме управлінський контур визначає, які технологічні вузли залишаються активними, яка частина інфраструктури підтримується в роботі для критичних споживачів і як формується базова складова навантаження при скороченні виробничої діяльності. У цьому підході кількісний результат, який фіксується у вигляді різниці середніх добових значень або відносного скорочення споживання за зіставними періодами, інтерпретується не як статистичний факт сам по собі, а як наслідок зміни конфігурації енергопостачання, режимів резервування та управління навантаженням, адже в умовах війни зовнішнє середовище створює одночасно дефіцит енергетичної стійкості та зростання економічного тиску на підприємства через підвищену вартість енергоресурсів і ризики переривання живлення, що робить рішення щодо оптимізації не факультативними, а такими, що визначають здатність підприємства зберігати керованість і виконувати функцію життєзабезпечення навіть за відсутності повного виробничого циклу. Важливо, що при обмеженій доступності потужності та високій невизначеності режимів енергосистеми управлінські рішення зміщуються від нарощування споживання до скорочення непродуктивних складових, підвищення гнучкості схеми живлення і підготовки до альтернативних сценаріїв енергопостачання, тому кількісний ефект зниження споживання доцільно трактувати як інтегральний показник результативності управління, який узгоджується з ширшими бар'єрами і перспективами енергозабезпечення підприємств, зокрема з потребою розвивати розподілену генерацію, зменшувати залежність від централізованої системи та підсилювати енергетичну безпеку бізнес-операцій через інвестиції в енергоефективність і децентралізовані рішення. У результаті роль управлінського чинника проявляється через те, що скорочення споживання досягається не лише за рахунок зупинки виробництва, а й через керовану оптимізацію режимів і конфігурації енергетичної інфраструктури, що дає змогу зменшити витрати без втрати спроможності

підтримувати критичні навантаження та забезпечує підготовку до наступного етапу, на якому цифрові інструменти стають основою для постійного контролю, прогнозування та оперативного прийняття рішень у нестабільному енергетичному середовищі [36].

2.3. Оцінка бізнес-процесів управління електроспоживанням і формування проблемного поля

Аналіз бізнес-процесів управління електроспоживанням на ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» ґрунтується на процесній логіці, в межах якої електроенергія розглядається не лише як ресурс, а як об'єкт постійного управлінського циклу, що охоплює послідовні етапи збору даних, їх технічної та аналітичної обробки, формування звітності та прийняття управлінських рішень. Фактична організація цього циклу на підприємстві підтверджує наявність формально вибудованої системи обліку та контролю, однак водночас демонструє суттєвий розрив між наявністю інформації та її використанням у режимі оперативного управління. Дані про електроспоживання надходять регулярно та з високою частотою, що створює необхідну інформаційну базу для енергетичного менеджменту, проте подальші етапи процесу значною мірою залежать від ручних операцій, індивідуальних дій персоналу та часових затримок. У результаті управлінські рішення формуються із запізненням відносно фактичних змін режимів споживання, а сама система управління зберігає переважно реактивний характер. Така конфігурація процесу свідчить про те, що ключовим обмеженням ефективності є не відсутність даних, а недостатній рівень інтеграції між етапами їх обробки та управлінського використання, що відповідає загальним закономірностям функціонування енергетичного менеджменту на промислових підприємствах з високою енергоємністю [8].

Для узагальнення фактичної логіки управління електроспоживанням на підприємстві та фіксації взаємозв'язків між етапами збору даних, їх подальшої обробки, аналітичного опрацювання й формування управлінських рішень було побудовано контекстну модель бізнес-процесу AS-IS (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Контекстна модель бізнес-процесу управління електроспоживанням підприємства у поточному стані (AS-IS)

Джерело: створено автором на підставі даних підприємства

Побудована контекстна модель AS-IS відображає поточний стан бізнес-процесу управління електроспоживанням на підприємстві у його фактичній організаційній реалізації. Аналіз моделі засвідчує, що управління електроспоживанням не функціонує як єдиний формалізований процес із чітко визначеним власником та замкнутим управлінським циклом, а фактично реалізується як сукупність розрізнених функцій, розподілених між кількома підрозділами. Планові, облікові, диспетчерські та аналітичні дії виконуються різними структурними одиницями, між якими відсутня єдина процесна логіка та узгоджений механізм зворотного зв'язку.

Вхідні інформаційні потоки бізнес-процесу формуються переважно на основі даних автоматизованих систем комерційного та технічного обліку електроенергії, а також оперативної інформації диспетчерських журналів і змінних рапортів. При цьому дані надходять до процесу з різною часовою дискретністю, у різних форматах та без попередньої уніфікації,

що ускладнює їх безпосереднє використання для оперативного управління режимами електроспоживання. Значна частина інформації проходить етап ручної обробки та агрегування, що створює часовий лаг між фактичним споживанням і його аналічним осмисленням.

Вихід бізнес-процесу у вигляді управлінських рішень щодо коригування режимів електроспоживання, перерозподілу навантажень або зміни організації роботи обладнання носить несистемний характер і, як правило, має відкладену у часі реалізацію. Рішення формуються переважно на основі постфактумного аналізу зведених показників і не завжди інтегруються у регулярний управлінський цикл з чітко визначеними тригерами прийняття, відповідальними особами та контролем результату. У результаті управління електроспоживанням орієнтується більше на реагування на відхилення, ніж на їх попередження, що обмежує можливості цілеспрямованого впливу на енергоємність виробничих процесів.

Таким чином, контекстна модель AS-IS дозволяє формалізувати існуючий стан управління електроспоживанням як фрагментований процес із розірваними інформаційними потоками та недостатньо замкнутим контуром управлінських рішень, що створює передумови для подальшого процесного аналізу та обґрунтування необхідності його вдосконалення.

Для поглиблення аналізу внутрішньої логіки бізнес-процесу управління електроспоживанням та виявлення структурних причин виявлених обмежень було виконано декомпозицію контекстної моделі AS-IS на рівні основних функціональних етапів процесу. Такий підхід дозволив деталізувати фактичну послідовність операцій, встановити взаємозв'язки між окремими функціями та ідентифікувати вузькі місця, що не фіксуються на рівні загальної контекстної моделі.

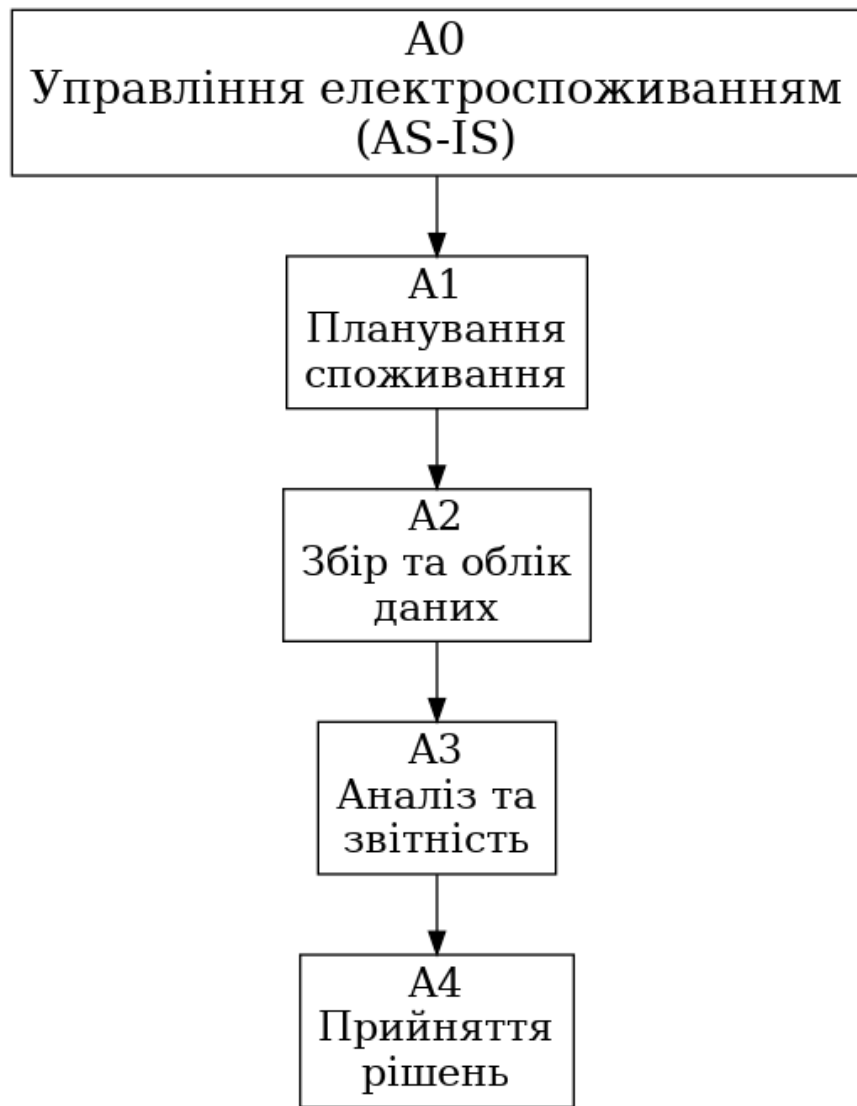


Рисунок 2.3 – Декомпозиція бізнес-процесу управління електроспоживанням підприємства у поточному стані (AS-IS)

Джерело: створено автором на підставі даних підприємства

Поглиблений аналіз внутрішньої логіки процесів роботи з даними електроспоживання здійснювався шляхом їх структурного моделювання, що дало змогу формалізувати взаємозв'язки між учасниками процесу, інформаційними потоками та управлінськими впливами. Використання IDEF-підходу дозволило відобразити фактичну послідовність операцій від моменту фіксації показників засобами автоматизованого обліку до підготовки звітних матеріалів і прийняття рішень диспетчерським та енергоменеджерським персоналом. Побудовані функціональні моделі

наочно показують концентрацію значної кількості операцій на етапах ручної перевірки, узгодження та трансформації даних, що створює вузькі місця в процесі та підвищує його чутливість до людського фактора. Водночас моделювання виявляє наявність технічних передумов для переходу до автоматизованої обробки, оскільки інформаційні потоки вже формуються в цифровому вигляді, а програмна інфраструктура підтримує їх машинну інтерпретацію. Таким чином, IDEF-моделювання у контексті дослідження не виконує лише описову функцію, а виступає інструментом діагностики проблемного поля, дозволяючи чітко ідентифікувати ті елементи процесу, де цифровізація здатна забезпечити найбільший управлінський ефект за рахунок скорочення трудомісткості, підвищення оперативності та зниження ризиків помилок [16].

Ручна підготовка щогодинних і добових звітів у поточній конфігурації процесу виглядає як послідовність операцій, у яких цифровий збір показників не перетворюється на автоматизовану звітність, а фактично завершується ручним перенесенням значень у звітний шаблон і подальшими розрахунками підсумкового споживання та співвідношень активної і реактивної енергії. Внутрішня логіка цього етапу демонструє, що часові витрати формуються не стільки на зчитуванні даних, скільки на перевірці коректності, узгодженні показників між джерелами, повторному внесенні та перерахунку агрегованих величин, які використовуються для оперативного коригування режимів, балансування навантаження і контролю лімітів. Додатково навантаження концентрується в нічних змінах, коли значна частина робочого часу зміщується від диспетчерських дій до рутинної обробки даних, що ускладнює забезпечення однаково швидкого реагування на відхилення режимів і підвищує вартість процесу через залежність результату від наявності персоналу в конкретні часові вікна.

Коли підготовка вихідних даних для подальшого аналізу та прогнозування виконується вручну, трудомісткість має кумулятивний

характер, оскільки кожна додаткова ітерація уточнення або перевірки породжує нові витрати часу і повертає процес на попередні кроки обробки. У межах дослідницької логіки, де якість управлінського рішення залежить від точності, повноти та узгодженості масивів спостережень, найбільші часові втрати формуються на етапах підготовки даних, їх очищення, уніфікації форматів і приведення до стану, придатного для машинного аналізу та порівняння у часі. Саме тому ручний режим формування щогодинних і добових звітів перетворюється на структурне обмеження результативності енергоменеджменту, оскільки зменшує частоту аналітичних циклів, знижує оперативність отримання підсумкових показників і створює розрив між моментом виникнення відхилення та моментом, коли воно відображається у звітності, доступній для управлінської дії [16].

Ризики людського фактора в такому процесі проявляються як сукупність типових для цифрових операцій з ручним втручанням відхилень, коли помилка введення або пропуск значення змінює підсумкові агрегати, а затримка реагування виникає через необхідність завершити ручний цикл обробки перед тим, як рішення потрапить у практику оперативного керування. У рамках аналізу ризиків важливо, що ці відхилення не мають одиничного характеру, а відтворюються під впливом втоми, монотонності повторюваних дій, багатозадачності, переключення уваги між каналами комунікації та паралельними диспетчерськими функціями. Через це помилка в даних перетворюється на помилку рішення, а затримка в обробці даних перетворюється на затримку в управлінській реакції, що підсилює чутливість системи до пікових навантажень і погіршень показників якості електроенергії саме в ті моменти, коли потрібна найвища швидкість і точність [10].

Розрив між потенціалом програмного забезпечення та фактичним використанням його функцій у контурі управління електроспоживанням проявляється як ситуація, коли цифровий збір і збереження даних уже

виконуються системно та з високою регулярністю, однак управлінська цінність цих даних реалізується лише частково через збереження ручного контуру звітності й обробки. У наявній організації процесу щогодинні дані споживання переносяться у звіт вручну з подальшим розрахунком загального споживання комбінату, субспоживачів та співвідношення активної і реактивної енергії, а результати цього звіту використовуються для балансування навантаження, коригування реактивної складової та контролю ліміту, тобто рішення залежать від коректності ручного перенесення і від того, наскільки швидко завершується підготовка документа. Саме в цьому місці потенціал системи як ядра збору, обробки, зберігання та аналізу даних не переходить у фактичну автоматизацію управлінського циклу, оскільки цифровий контур обривається перед етапом машинного формування показників і візуалізації, а отже ефект цифровізації зводиться до наявності даних без автоматизованого перетворення їх у рішення.

Управлінський зміст такого розриву полягає в тому, що бар'єри впровадження цифрових рішень виникають не на етапі декларування цілей або закупівлі технологій, а на етапі реальної зміни практик роботи з даними, коли організація продовжує діяти за звичними процедурами і тим самим блокує використання цифрових можливостей у повному обсязі. У фокусі аналізу перебувають перешкоди, які уповільнюють перехід від часткового використання технології до повного вбудовування її у процес прийняття рішень, і серед них особливо значущими виступають питання кібербезпеки, конфіденційності даних та витрат на старті, що в сукупності підтримують обережність у масштабуванні цифрових функцій та відтермінують переорієнтацію на машинну обробку і автоматизовану звітність. У практичному вимірі це означає, що організація отримує фрагментарні цифрові переваги, але не досягає ключового результату у вигляді стійкого скорочення часу управлінського циклу, зменшення залежності від ручної праці та підвищення прозорості рішень, оскільки

саме подолання цих бар'єрів визначає, чи стане технологія інструментом управління, чи залишиться інструментом обліку [38].

У межах оцінки проблемних зон процесу управління електроспоживанням на ПрАТ «ІНГЗК» фіксується ситуація, коли технічно сформований цифровий контур збору показників не забезпечує відповідної швидкості управлінської реакції, оскільки дані, які система здатна накопичувати з інтервалом 30 хвилин, надалі проходять ручну інтерпретацію та ручне перенесення у звітні форми, після чого додатково виконуються розрахунки узагальненого споживання та співвідношення активної і реактивної енергії. На рівні диспетчерського керування це зсуває акцент із управління режимом мережі на обробку масивів показників, що особливо помітно в нічну зміну, коли основна діяльність персоналу фактично концентрується на розрахунках і підготовці показників енергоспоживання, а не на оперативному реагуванні на відхилення режимів. У такій конфігурації прозорість даних для управління залишається фрагментованою, тому що інформація існує у системі, але управлінськи значимий результат з'являється лише після ручного циклу, який одночасно створює затримку та підвищує ймовірність помилки при внесенні і обробці показників.

Побудована декомпозиція AS-IS на рівні A1–A4 дозволяє інтерпретувати проблемні зони не як ізольовані недоліки окремих операцій, а як наслідок порушеної логіки управлінського циклу між послідовними функціональними етапами процесу. На етапі A1, який відповідає плануванню електроспоживання, проблемність проявляється через слабку узгодженість планових параметрів із фактичними режимами та відсутність механізмів оперативного коригування плану на основі швидких даних, що в подальшому підсилює розрив між очікуваними та реальними профілями навантаження. На етапі A2, що охоплює збір та облік даних, визначальними стають затримки й неоднорідність інформаційних потоків, коли частина даних формально надходить

цифровими каналами, проте консолідація й первинна підготовка виконуються з ручним втручанням, унаслідок чого оперативність отримання інформації знижується, а залежність від персоналу зростає. На етапі A3, який відображає аналіз і звітність, проблемна зона концентрується навколо трудомісткості та фрагментованості аналітичного середовища, оскільки дані потребують очищення, уніфікації форматів і повторного перенесення у звітні форми, що створює часовий лаг між подією в мережі та її відображенням у показниках, доступних для управлінця. На етапі A4, що відповідає прийняттю управлінських рішень, ключовим обмеженням виступає відсутність регулярного зворотного зв'язку між аналітичними результатами та діями з коригування режимів, через що рішення формуються із запізненням і не використовують потенціал програмних інструментів прогнозування та візуалізації. Саме така логіка декомпозиції пояснює, чому виявлені проблемні зони, узагальнені у таблиці 2.4, мають системний характер і водночас вказують на конкретні точки, де цифровізація та організаційна перебудова процесу здатні забезпечити максимальний управлінський ефект.

Концептуально ці прояви узгоджуються з тим, що надійне управління складними енергетичними системами вимагає автоматизованого циклу, де збір, обробка і зберігання інформації про обладнання та режими мережі організовані як єдина платформа, здатна швидко перетворювати режимні показники на аналітичні індикатори для прийняття рішень. Коли цей цикл не є безперервним і розривається ручними операціями, зростає часовий лаг між подією в мережі та її відображенням у показниках, доступних управлінцю, а обґрунтованість рішень знижується через те, що аналіз ґрунтується на неповній картині або на даних, які втратили актуальність у моменті. Логіка платформного підходу полягає в тому, що керованість системи зростає разом із керованістю даних, а швидкість оцінювання стану та формування індикаторів стає критичним параметром

ефективності управління, оскільки саме вона визначає, чи рішення буде випереджальним, чи реактивним (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Проблемні зони бізнес-процесу управління електроспоживанням ПрАТ «ІНГЗК» та їх управлінські наслідки (AS-IS)

Функція декомпозиції AS-IS	Виявлена проблемна зона	Прояв проблеми в діяльності підприємства	Управлінські наслідки
A1 – Планування електроспоживання	Недостатня узгодженість планових і фактичних режимів	Планові показники формуються без оперативного коригування на основі актуальних даних споживання	Зростання відхилень між плановими та фактичними профілями навантаження, ускладнення балансування
A2 – Збір та облік даних	Низька оперативність і фрагментованість інформаційних потоків	Дані надходять з різних джерел із часовими затримками, частково обробляються вручну	Відсутність можливості швидкого реагування на пікові навантаження та погіршення режимів
A3 – Аналіз і звітність	Висока трудомісткість та залежність від персоналу	Підготовка щогодинних і добових звітів потребує ручної перевірки, узгодження і перерахунку показників	Збільшення операційних витрат, зниження оперативності та стабільності аналітичного циклу
A3 – Аналіз і звітність	Ризики людського фактора	Помилки введення даних, несинхронність показників між джерелами	Зниження достовірності звітної інформації та обґрунтованості аналізу
A4 – Прийняття управлінських рішень	Розрив між потенціалом ПЗ та фактичним використанням	Аналітичні результати не інтегруються у регулярний механізм коригування режимів	Відкладений характер рішень, втрата ефекту від впроваджених цифрових інструментів

Джерело: угруповано та розраховано автором на підставі даних підприємства

Перехід до автоматизованої моделі управління електроспоживанням у досліджуваному процесі доцільно трактувати як зміну самого механізму управлінського циклу, коли дані з приладів обліку та системи збору показників без розривів проходять машинну обробку, далі відразу перетворюються на аналітичні індикатори, візуальні подання і регулярну автозвітність, після чого формують підставу для оперативних дій у диспетчерському та енергоменеджерському контурі. У такій конфігурації ключовий ефект виникає через скорочення часу між фіксацією режиму і появою інтерпретованого результату, а також через мінімізацію повторюваних ручних операцій, які накопичують помилки і створюють затримки реагування. Зміст автоматизації в цьому пункті полягає не в заміні одного формату звіту іншим, а в побудові алгоритмізованого ланцюга перетворення даних у рішення, де контрольні правила, обчислення показників і логіка сигналів про відхилення виконуються стабільно та однаково для всіх змін і всіх періодів спостереження, що зменшує залежність результату від людського фактора і підвищує керованість процесу в умовах змінних режимів навантаження [19].

В умовах ПрАТ «ІНГЗК» передумови для такого переходу вже проглядаються через наявність цифрового збору показників і використання програмного середовища, однак управлінська цінність цього контуру істотно знижується там, де цифровий потік завершується ручним перенесенням даних у щогодинні звіти та ручними розрахунками узагальнених показників, які потім використовуються для коригування режимів і контролю лімітів. Саме на цій ділянці автоматизована модель набуває прикладного змісту, оскільки вона переводить формування показників, їх перевірку на логічні відхилення, підготовку зведень і виведення на візуальні панелі в режим, де результат генерується системою без затримок, а персонал зосереджується на інтерпретації і

управлінській реакції, а не на механічному відтворенні одного й того самого циклу дій.

Аналітична основа для наступного розділу вибудовується через розуміння цифровізації як інструменту підвищення ефективності не лише на рівні технічної автоматизації, а на рівні системи вимірювання результативності та управлінського контролю, де показники, їх частота, деталізація і спосіб представлення змінюють характер управлінських рішень. У цій логіці цифрові дані стають основою гнучкого управління результативністю, тому що дають змогу переходити від періодичних і запізнілих підсумків до безперервної оцінки режимів, від загальних показників до деталізації за центрами споживання і часовими інтервалами, а також від описового аналізу до управління за сигналами і відхиленнями. Це напряду підсилює обґрунтованість рішень, оскільки рішення починають спиратися на актуальні індикатори та на їх динаміку, а не на підсумок, сформований після завершення ручного циклу, що дозволяє в наступному розділі аргументовано перейти від опису проблемного поля до дизайну цифрових рішень як механізму зміни управлінської результативності [35].

Узагальнення результатів AS-IS моделювання та сформованого проблемного поля дозволяє зробити висновок, що основний резерв підвищення ефективності управління електроспоживанням на підприємстві пов'язаний не з розширенням збору даних як такого, а з трансформацією механізму управлінського циклу та усуненням розривів між етапами A2–A4, де дані мають перетворюватися на індикатори, а індикатори мають запускати регламентовані управлінські дії. У поточній конфігурації процесу цифровий контур фактично завершується перед етапом машинного аналізу, оскільки ключові операції консолідації, перевірки й формування звітності виконуються вручну, що відтермінує рішення і підвищує ризики помилок. Це означає, що перехід до цільового стану має бути сформульований як побудова TO-BE моделі процесу, у

якій збір даних, їх обробка, формування аналітичних показників, візуалізація та автозвітність інтегруються в єдиний алгоритмізований ланцюг із чітко визначеними тригерами реагування, відповідальними та контролем результату. Саме тому в наступному підрозділі доцільно перейти до ТО-ВЕ моделювання, щоб на рівні процесної архітектури показати, яким чином запропоновані цифрові рішення та організаційні зміни скорочують часовий лаг, зменшують трудомісткість і забезпечують регулярний зворотний зв'язок між аналізом та управлінським впливом.

Висновки до розділу 2

Система управління електроспоживанням на підприємстві має сформовану організаційну та технічну основу, проте її фактична результативність обмежується особливостями реалізації ключових бізнес-процесів. Проведена оцінка показала, що наявність автоматизованого збору даних і спеціалізованого програмного забезпечення сама по собі не гарантує високої ефективності енергетичного менеджменту, оскільки вирішальне значення має спосіб інтеграції цих інструментів у повний управлінський цикл від отримання даних до прийняття рішень.

Аналіз бізнес-процесів управління електроспоживанням засвідчив, що найбільш проблемними залишаються етапи обробки, аналізу та формування звітності, де зберігається значна частка ручної праці, що зумовлює часові затримки, підвищує трудомісткість і створює ризики людського фактора. У результаті між фактичними режимами споживання електроенергії та управлінською реакцією формується часовий розрив, який знижує оперативність і обґрунтованість рішень, особливо в умовах змінних навантажень і необхідності швидкого коригування режимів роботи електрогосподарства.

Виявлене проблемне поле свідчить про наявність системного розриву між потенціалом цифрових рішень і практикою їх використання, коли цифрові технології виконують переважно функцію обліку, але не повною мірою реалізують функцію управління. Це обмежує прозорість даних, ускладнює формування цілісної аналітичної картини та знижує ефект від уже здійснених інвестицій у цифрову інфраструктуру. Водночас результати аналізу підтверджують наявність об'єктивних передумов для переходу до автоматизованої моделі управління електроспоживанням, у якій машинна обробка даних, візуалізація показників і автозвітність можуть забезпечити скорочення управлінського циклу, зменшення залежності від ручних операцій і підвищення керованості процесів.

3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ

3.1. Концептуальні засади вдосконалення системи енергетичного менеджменту підприємства

Цільова логіка енергетичного менеджменту в ТО-ВЕ стані розглядається як безперервний управлінський цикл, у межах якого планування, вимірювання, аналітичне осмислення та коригувальні дії інтегруються в єдину систему прийняття рішень. Така організація управління передбачає, що енергетичні цілі формуються на основі визначених базових рівнів споживання, фактичні параметри режимів фіксуються у регулярному вимірювальному контурі, а результати аналізу використовуються для ініціювання коригувальних впливів, спрямованих на зміну режимів роботи обладнання та структури навантажень. Завершальним елементом цього циклу виступає перевірка результативності прийнятих рішень через повторні вимірювання, що забезпечує замкненість управлінського контуру та створює передумови для його стабільного функціонування в умовах змінної енергоємності виробничих процесів [42].

У прикладному вимірі для управління електроспоживанням на енергоємному підприємстві така логіка означає, що цільовий стан має бути організований так, щоб управлінський контур не обривався на етапі накопичення показників або підготовки звітів, а завершувався конкретними коригувальними рішеннями, які змінюють режим роботи обладнання, графіки навантаження або параметри компенсації реактивної потужності. Критичним критерієм зрілості цього циклу виступає не сама наявність даних, а їх перетворення в рішення в часовому вікні, коли ці рішення ще здатні знизити пікові навантаження, утримати ліміти й

зменшити втрати, після чого результат має бути перевірений на наступному кроці вимірювання, щоб управління стало не реакцією на підсумки, а керуванням режимом у процесі його формування.

Процесна рамка ТО-ВЕ моделі логічно вибудовується через перенесення акценту з функціональної роз'єднаності на керований бізнес процес із чіткими межами, власником процесу, правилами взаємодії та контрольованими виходами, які можна оцінити за результативністю та стабільністю. У такій рамці управління електроспоживанням описується як послідовність взаємопов'язаних дій, де кожен етап має визначені входи і виходи, контрольні впливи та ресурси виконання, а завершення етапу створює передумови для наступного без втрати якості даних і без повторного ручного дублювання операцій. Це дозволяє сформувати замкнений контур управління, у якому відхилення, виявлені на аналітичному етапі, не залишаються інформаційним продуктом, а запускають регламентовану дію, після чого результат повертається в контур контролю для оцінки ефективності прийнятого рішення [43].

У контексті проектування ТО-ВЕ такий підхід робить ключовими дві речі, по-перше прозорість процесу, коли стає видно, де саме виникають затримки і дублювання, а по-друге керованість процесу, коли його можна стабілізувати через правила виконання, відповідальність і показники. Саме тому перехід від фрагментованих функцій до керованого бізнес процесу варто трактувати як організаційно-методичну реконфігурацію, у якій інформаційні потоки перестають бути допоміжним матеріалом для ручної звітності і стають операційною основою управління, а рішення набувають регулярності, відтворюваності та контролю результату через систематичну перевірку досягнення заданих параметрів споживання в реальних режимах роботи.

Інтеграція показників електроспоживання у систему екологічного менеджменту в ТО ВЕ стані розглядається як елемент узгодження управлінських рішень із екологічними аспектами діяльності підприємства,

коли енергія перестає бути лише виробничим ресурсом і починає трактуватися як чинник екологічного впливу через пов'язані з нею викиди, навантаження на інфраструктуру та ефективність використання ресурсів. У такій логіці електроспоживання входить до переліку керованих параметрів поряд із іншими значущими аспектами, а рішення щодо режимів роботи обладнання та графіків навантаження оцінюються не тільки за технологічною доцільністю, а й за тим, як вони змінюють екологічний профіль підприємства у межах визначених екологічних цілей і контрольних процедур [43].

На рівні організації управління це означає, що показники електроспоживання мають бути включені у контур планування екологічних цілей і програм, де встановлюються параметри результативності, визначаються межі контролю та відповідальні ролі, а також фіксуються правила періодичного перегляду результатів. Коли дані електроспоживання системно пов'язуються з екологічними аспектами, підприємство отримує підставу формувати не ситуативні заходи, а керований портфель рішень, який підтверджується вимірюванням і перевіряється внутрішнім контролем. У результаті коригувальні дії щодо електроспоживання входять до стандартного механізму управління відповідностями та відхиленнями, що підсилює відтворюваність результатів і знижує залежність ефекту від окремих локальних ініціатив.

Емпірична логіка узгодження енергетичних рішень з екологічним менеджментом у промисловому контексті проявляється через те, що найвищий екологічний ефект часто виникає не від загального скорочення споживання, а від зміни профілю навантаження, стабілізації режимів та зменшення пікових коливань, які ускладнюють керування та збільшують втрати. Коли показники електроспоживання інтегровані в екологічну систему, підприємство отримує механізм раннього виявлення екологічно значущих відхилень, оскільки різкі зміни режимів енерговикористання фіксуються як сигнали управління і стають підставою для коригування. Це

створює рамку, в якій планування режимів і управління відхиленнями набувають екологічного змісту та підпорядковуються загальній логіці забезпечення результативності екологічних цілей [41].

Цифровізація управління електроспоживанням у ТОВ ВЕ стані розглядається як механізм скорочення управлінського циклу, оскільки вона забезпечує прискорений перехід від вимірювання до інтерпретації та дії, коли дані без затримок перетворюються на аналітичні індикатори, які підтримують рішення в режимі, близькому до реального часу. У контексті енергоємного виробництва вирішальним стає не обсяг інформації, а швидкість її обробки та надійність алгоритмів, що переводять первинні показники в зрозумілі для управління сигнали. Це змінює характер управління з переважно реактивного на такий, що спирається на постійне оновлення індикаторів і здатний фіксувати відхилення ще до того, як вони конвертуються у фінансові або технологічні втрати [40].

Коли цифрова інфраструктура забезпечує автоматизоване формування індикаторів, ключовим стає питання їх управлінської інтерпретації, тобто того, які саме метрики відображають стан електроспоживання, як вони пов'язані з режимами обладнання та які пороги відхилень запускають регламентовану дію. У практичній архітектурі ТОВ ВЕ індикатори працюють як узгоджений інтерфейс між даними і рішеннями, оскільки вони знижують когнітивне навантаження на персонал і дозволяють зосередити увагу на управлінських ситуаціях, що потребують втручання. У такій конфігурації основний ефект цифровізації вимірюється скороченням часу між подією в мережі та управлінською реакцією, а також зменшенням частки ручних операцій у ланцюгу обробки, які зазвичай створюють затримки та підвищують ризик помилок.

Перетворення даних у аналітичні індикатори також змінює спосіб контролю результативності, оскільки дозволяє перейти від періодичних підсумкових оцінок до безперервного моніторингу й порівняння поточних значень із цільовими параметрами. У цьому випадку управлінський цикл

набуває чіткої структури, де вимірювання, перевірка, аналіз причин і коригування режимів пов'язані послідовно, а результати коригувальних дій перевіряються наступними вимірами без втрати актуальності. Така логіка особливо значуща там, де електроспоживання має високу варіативність через зміни виробничого навантаження, оскільки саме швидкі індикатори дозволяють утримувати керованість процесу і забезпечувати стабільність режимів [40].

Узгодження екологічного менеджменту та цифровізації у TO BE стані формує спільний контур управління, у якому показники електроспоживання виконують подвійну функцію, оскільки вони одночасно описують ефективність використання ресурсу та виступають параметрами екологічно значущого впливу, який підлягає контролю й поліпшенню. У такій зв'язці цифрові індикатори підтримують екологічні цілі через підвищення прозорості та керованості, а екологічна рамка задає змістовні критерії того, які зміни режимів і які управлінські рішення вважаються результативними. Це переводить TO BE модель з площини технічної автоматизації у площину системного управління, де електроспоживання контролюється як керований процес із вимірюваним результатом, регулярним переглядом та механізмами коригування, які підтверджуються даними і вбудовані в загальну систему менеджменту підприємства [41].

Адаптація концепції TO BE моделі до національного інституційного середовища означає, що цільова архітектура управління електроспоживанням має бути сформована не лише як технічно послідовний процес, а як управлінська система, яка органічно вбудовується у практики підприємства та відповідає очікуванням українського регуляторного і методичного поля. У межах такого підходу ключовою є узгодженість між логікою процесного моделювання та тим, як в Україні зазвичай організують управління енергоефективністю на рівні підприємств і органів управління, коли акцент робиться на

відповідальності, регулярності контролю, прозорості даних і можливості демонструвати результативність через вимірювані показники. Саме тому TO BE модель у проєктній частині має відразу закладати механізми, які забезпечують керованість, тобто стабільні правила збору та використання даних, визначені ролі у контурі прийняття рішень і зрозумілу логіку перевірки результату після коригувальних дій.

У практичному вимірі адаптація передбачає перенесення уваги з окремих заходів економії на інституційну конструкцію управління, де електроспоживання виступає об'єктом регулярного управлінського циклу, а не реакцією на разові відхилення. Це означає, що в TO BE моделі повинні бути зафіксовані організаційні межі процесу, а також принципи взаємодії між тими, хто генерує дані, хто виконує аналітичну інтерпретацію, і хто має повноваження змінювати режим роботи обладнання або структуру навантаження. Коли ці межі не формалізовані, цифровізація перетворюється на інструмент накопичення інформації, але не на інструмент управління, оскільки рішення продовжують залежати від індивідуальних дій персоналу та не проходять через відтворений механізм перевірки і коригування. У межах дослідницької логіки дипломного проєкту важливим стає те, що адаптація до національного середовища не обмежується термінами чи оформленням документів, а відображається у самій побудові управлінського контуру, який має бути придатним для впровадження на підприємстві з урахуванням прийнятої практики енергетичного менеджменту.

Окремою складовою такої адаптації виступає приведення TO BE моделі до формату, який підтримує впровадження систем управління енергоефективністю як сталого управлінського інструмента, а не як проєкту з одноразовим результатом. У цій площині критичним є перетворення даних електроспоживання на індикатори, що використовуються у внутрішньому контролі, а також закріплення процедур регулярного аналізу результативності і ухвалення коригувальних рішень

на визначених інтервалах часу. Це робить процес сумісним із національним підходом до організації енергетичного менеджменту, де очікуваний ефект виникає через системність, повторюваність управлінського циклу і здатність підтверджувати зміни на основі облікових даних. За такої логіки TO BE модель у розділі 3 природно переходить від опису бажаного стану до формалізації регламентів і показників, які можна контролювати, аудіювати і використовувати для управлінського обґрунтування рішень як всередині підприємства, так і у взаємодії з наглядовими та методичними структурами [3].

3.2. Проєктування оптимізованих бізнес-процесів управління електроспоживанням

Формулювання цільових вимог до TO BE процесу управління електроспоживанням на підприємстві доцільно починати з фіксації того, що процес у цільовому стані має бути керованою системою, яка забезпечує відтворюваний цикл планування, реалізації, перевірки та поліпшення енергетичних результатів, а не сукупністю окремих операцій з обліку й реагування на відхилення. У такій логіці вимоги визначаються через те, як саме організація встановлює енергетичні цілі та показники, як підтримує їх досягнення на рівні операційного керування, а також яким чином підтверджує результативність рішень на основі вимірюваних даних та аналізу відхилень. Це означає, що вже на етапі постановки вимог необхідно розмежувати інформацію, яка лише реєструє споживання, і інформацію, яка безпосередньо використовується для управління режимами навантаження, тому що саме цей перехід від даних до управлінської дії визначає практичну цінність TO BE моделі [42].

У межах побудови вимог до процесу важливо формалізувати його вхідні параметри як сукупність достовірних вимірювань і контекстних даних, що описують умови роботи виробництва, а також фіксувати виходи

процесу як управлінські рішення і контрольовані результати, які можна перевірити у наступному циклі вимірювання. Вхід у цільовому процесі повинен мати визначену періодичність, простежуваність і критерії якості, щоб аналіз не був залежним від випадкових прогалин, різних форматів або неузгоджених джерел. Вихідні результати мають відобразити не лише сформовану звітність, а й конкретні коригувальні впливи, що змінюють режим роботи обладнання, структуру навантаження або параметри компенсації, оскільки без цього процес зберігає описовий характер і не переходить у фазу управління [42].

Окремий рівень вимог стосується механізмів процесу, під якими у ТО ВЕ моделі розуміються ресурси й інструменти, що роблять управлінський цикл реальним у щоденній роботі, а не лише задекларованим. На практиці це охоплює розподіл ролей і повноважень, компетентність персоналу, доступність методів аналізу, керованість документованої інформації та технологічну інфраструктуру, яка забезпечує стабільний збір і обробку даних. Коли механізми не визначені, навіть коректно сформульовані цілі та показники не перетворюються на дію, бо процес не має носія відповідальності, не має інструментів впливу і не має достатньої дисципліни виконання. Тому цільові вимоги до механізмів слід формулювати так, щоб вони гарантували відтворюваність процедури від вимірювання до рішення і зменшували залежність результату від індивідуальних практик окремих виконавців.

Контрольні параметри процесу у ТО ВЕ моделі необхідно визначити як правила й критерії, які утримують процес у межах заданої результативності та забезпечують його поліпшення, зокрема через моніторинг, вимірювання, аналіз, внутрішній контроль і управлінський перегляд. У цільовому стані контроль не зводиться до фіксації факту перевищення або недосягнення, а працює як механізм раннього виявлення відхилень, верифікації причин і запуску коригувальних дій з подальшим підтвердженням ефекту. Це означає, що контрольні

параметри повинні бути прив'язані до конкретних управлінських тригерів, часових вікон реакції та критеріїв прийнятності даних, оскільки саме вони визначають, чи буде управління електроспоживанням проактивним, чи воно залишиться постфактумним аналізом із запізнілим впливом на режим. Узгодженість контролю з цілями і показниками формує замкнений контур, у якому кожен цикл завершується рішенням і перевіркою, а не лише накопиченням інформації [42].

Побудова TO BE контекстної моделі бізнес процесу управління електроспоживанням у цьому дослідженні спирається на процесну логіку, відповідно до якої результативність управління визначається не окремими діями підрозділів, а здатністю організації вибудувати замкнений контур перетворення вхідних даних у керовані рішення, які мають перевірюваний результат. У цільовому стані управління електроспоживанням розглядається як процес із чітко визначеними межами, коли цифрові виміри споживання та параметри режимів не накопичуються для постфактумної звітності, а безперервно переходять у блоки аналізу та інтерпретації, після чого формують підставу для оперативних управлінських дій у виробничому контурі. Така постановка дозволяє фіксувати не тільки наявність даних, а і спосіб їх використання, що є принциповим для відокремлення керованого процесу від фрагментованої сукупності функцій [41].

Контекстна модель TO BE фіксує управління електроспоживанням як єдиний процес, у якому входи, механізми, контрольні впливи та виходи пов'язані так, щоб інформаційний потік не переривався на стадії ручного перенесення чи локального узгодження. Вхідні дані в цільовому контурі формуються системами обліку та режимного моніторингу, а також параметрами, що відображають виробничий контекст споживання, через що управління спирається на синхронізовані показники, а не на розрізнені джерела з різною дискретністю. Вихід процесу задається не лише звітними формами, а насамперед управлінськими діями, які впливають на

режим навантаження, порядок увімкнення обладнання або параметри компенсації, після чого результат цих дій повертається в контур через повторні вимірювання і порівняння з цільовими параметрами [43].

У межах цільового процесного контуру ключовою ознакою виступає керованість взаємодії між аналізом і рішенням, оскільки саме тут у поточному стані виникає розрив, який збільшує часовий лаг і знижує точність реакції. У ТО ВЕ стані аналітичні індикатори мають формуватися у форматі, придатному для оперативного використання, а правила реагування повинні бути узгоджені з відповідальними ролями, щоб рішення не залежали від випадкової доступності персоналу або від завершення ручного циклу обробки. Це робить процес відтворюваним, тому що кожен цикл має зрозумілу логіку переходу від даних до дії та від дії до контролю результату, і саме ця відтворюваність виступає критерієм зрілості процесу в межах системи управління.

Контекстна модель передбачає підпорядкування управління електроспоживанням вимірюваним цілям і контрольним параметрам, які задають очікувану поведінку системи та визначають, які відхилення вважаються критичними для реагування. У цільовому стані контроль не обмежується фіксацією факту відхилення, а працює як механізм підтримки управлінської дисципліни, коли наявність індикатора автоматично запускає процедуру перевірки причин, а результат корекції підтверджується наступними вимірюваннями. У результаті управління набуває випереджального характеру, тому що рішення приймаються в часовому вікні, коли вплив на режим дає максимальний ефект, а не після того, як відхилення вже трансформувалося у втрати (таблиця 3.1) [43].

Таблиця 3.1 – Контекстна модель бізнес процесу управління електроспоживанням у цільовому стані TO BE

Елемент контекстної моделі	Зміст для ПрАТ «ІНГЗК» у стані TO-BE
Функція A0	Управління електроспоживанням у цільовому стані (TO-BE) з перетворенням цифрових вимірювань у оперативні рішення та контроль результату через повторні вимірювання
Входи (Input)	Потоки даних АСКОЕ за точками обліку та центрами споживання з інтервалом оновлення, прийнятим на підприємстві, а також режимні параметри мережі й обладнання, що описують фактичні умови споживання у зміні та забезпечують коректну інтерпретацію відхилень
Керуючі впливи (Control)	Ліміти споживання та диспетчерські обмеження, тарифні умови та правила віднесення витрат, затверджені KPI енергоспоживання та критерії допустимих відхилень, а також регламенти реагування на відхилення і правила управлінського контролю результату
Механізми (Mechanism)	Енергоменеджерський контур підприємства та диспетчерська служба як носії повноважень рішення, автоматизована аналітична платформа для збору, консолідації та розрахунку індикаторів, інтеграція з АСКОЕ та внутрішніми джерелами режимних даних, а також стандартизовані процедури верифікації якості даних
Виходи (Output)	Автоматично сформовані аналітичні індикатори електроспоживання для оперативного управління, сигнали про відхилення та перевищення порогів, сформовані управлінські рішення щодо коригування режимів навантаження і роботи обладнання, а також підтверджені результати виконання рішень у наступному циклі вимірювань

Джерело: створено автором на підставі вимог процесного підходу

Розробка TO-BE декомпозиції бізнес-процесу управління електроспоживанням у межах цього дослідження спирається на логіку радикального переосмислення процесу як цілісного ланцюга створення управлінської цінності, а не суми локальних операцій. У цільовому стані декомпозиція виконує не ілюстративну, а аналітично-проектну функцію, оскільки дозволяє виявити структурні джерела неефективності, пов'язані з дублюванням дій, ручним перенесенням даних і розривами між аналітикою та управлінською реакцією. Саме перехід від функціонального поділу до процесного бачення дає змогу не оптимізувати окремі етапи, а перебудувати логіку виконання робіт таким чином, щоб результат формувався швидше і з меншими витратами ресурсів [39].

У TO-BE декомпозиції бізнес-процес управління електроспоживанням структурується навколо ключових функціональних блоків, які відображають повний управлінський цикл від формування планових орієнтирів до прийняття та перевірки управлінських рішень. Принциповою відмінністю цільового стану є усунення паралельних і повторюваних операцій, коли одна й та сама інформація обробляється різними підрозділами у власних форматах, а також ліквідація ручних циклів, що створюють часові лаги між фактичним режимом споживання та управлінською дією. У межах TO-BE моделі аналітичні результати не завершують процес, а стають безпосереднім входом для прийняття рішень, після чого їх реалізація повертається у контур контролю через повторні вимірювання, формуючи регулярний зворотний зв'язок між аналізом і дією (таблиця 3.2) [39].

Таблиця 3.2 – TO-BE декомпозиція бізнес-процесу управління електроспоживанням

Код функції	Назва функції	Зміст у TO-BE стані
A1	Планування електроспоживання	Формування цільових параметрів і допустимих режимів на основі історичних і прогнозних даних
A2	Збір та консолідація даних	Автоматизований збір показників АСКОЕ та режимних параметрів без ручного втручання
A3	Аналітична обробка та інтерпретація	Розрахунок індикаторів, виявлення відхилень і причин їх виникнення
A4	Прийняття та реалізація рішень	Оперативне коригування режимів і контроль результату через повторні вимірювання

Джерело: розроблено автором у межах TO-BE моделювання бізнес-процесу

Проектна декомпозиція також дозволяє зафіксувати зміну ролі персоналу в управлінському циклі, оскільки у цільовому стані основні трудові витрати зміщуються з механічної обробки даних на інтерпретацію індикаторів і вибір управлінських сценаріїв. Це означає, що ефект від TO-

BE перебудови проявляється не лише у скороченні часу обробки інформації, а й у підвищенні якості управлінських рішень, які приймаються на основі актуальних і узгоджених даних. Таким чином, декомпозиція в TO-BE стані виступає інструментом фіксації нового принципу організації роботи, де процес орієнтований на результат, а не на виконання окремих процедур (таблиця 3.3) [39].

Таблиця 3.3 – Порівняльна характеристика бізнес-процесу управління електроспоживанням у станах AS-IS та TO-BE

Елемент процесу	AS-IS стан	TO-BE стан
Організація процесу	Сукупність розрізнених функцій різних підрозділів	Єдиний керований бізнес-процес із замкненим циклом
Обробка даних	Ручна консолідація та дублювання операцій	Автоматизована обробка в єдиному контурі
Аналітика	Постфактумна, із часовою затримкою	Оперативна, інтегрована з прийняттям рішень
Прийняття рішень	Несистемне, залежне від персоналу	Регламентоване, засноване на індикаторах
Зворотний зв'язок	Фрагментований або відсутній	Регулярний, вбудований у процес

Джерело: сформовано автором на основі результатів процесного аналізу

Проектування правил управління даними та автоматизації аналітичних процедур у TO BE моделі спирається на припущення, що ключовий ефект цифровізації виникає тоді, коли дані перестають бути пасивним накопиченням показників і перетворюються на керований потік, який безперервно проходить від вимірювання до інтерпретації та управлінської дії. За цієї логіки центральним об'єктом проектування стає не окремий звіт або інструмент візуалізації, а правила, які визначають, у якому форматі дані фіксуються, як часто оновлюються, як перевіряється їхня коректність і яким чином вони потрапляють в аналітичний контур без ручного втручання, що дозволяє скоротити управлінський лаг між режимною подією та управлінським рішенням [40].

В умовах управління електроспоживанням на промисловому підприємстві правила даних мають забезпечити однозначність трактування показників у часі та між підрозділами, оскільки навіть за наявності цифрового збору вимірів управлінська помилка часто виникає не через відсутність інформації, а через несумісність форматів, різну дискретність оновлення та різні інтерпретації одних і тих самих величин. Тому в межах ТО ВЕ процесу формується єдиний опис параметрів, де визначаються назви показників, одиниці виміру, правила округлення, часові інтервали агрегації та логіка прив'язки до центрів споживання, щоб будь-який аналітичний результат був відтворюваним, а порівняння між періодами не залежало від того, хто саме готує дані. Така уніфікація підвищує керованість процесу, оскільки дозволяє створювати стабільні аналітичні індикатори, а не разові вибірки під конкретний запит.

Регулярність оновлення даних у ТО ВЕ моделі визначає фактичну оперативність управління, тому вона проектується як характеристика управлінського циклу, а не як технічна опція системи. Якщо дані оновлюються повільніше, ніж змінюється режим споживання, управління закономірно стає реактивним і втрачає можливість впливати на пікові навантаження у моменті їх формування. У цільовому стані частота оновлення узгоджується з критичними режимами роботи, коли рішення має прийматися в межах конкретного часового вікна, а отже алгоритми агрегації і затримки в передачі даних розглядаються як прямі фактори ефективності управління. Відповідно автоматизована аналітика має працювати не як періодичний підсумок, а як безперервний цикл обчислення індикаторів, що підтримує рішення в межах оперативного керування.

Контроль якості інформації в ТО ВЕ моделі набуває прикладного змісту через те, що автоматизація без верифікації породжує ризик масштабування помилки, коли некоректне значення або збій сенсора автоматично переходить у аналітичний показник і далі впливає на

управлінське рішення. Саме тому контроль якості проєктується як набір формалізованих перевірок, що виконуються системою до етапу аналітики, коли значення перевіряються на повноту, на узгодженість між джерелами та на логічну допустимість у межах фізично можливих режимів. Такий контроль зменшує залежність результатів від людського фактора і одночасно знижує потребу у ручному перегляді масивів даних, який створює затримки і відволікає персонал від інтерпретації та управлінської реакції.

Автоматизація аналітичних процедур у цільовому процесі означає, що розрахунок ключових індикаторів електроспоживання, формування сигналів про відхилення і підготовка оперативної візуалізації відбуваються як стандартна машинна операція, виконувана однаково для всіх змін і періодів. У такій конфігурації аналітика перестає бути підготовкою документів і стає частиною управлінського механізму, який працює стабільно і прогнозовано. Це змінює і зміст роботи персоналу, оскільки людина фокусується на оцінці причин відхилення, виборі управлінського сценарію та контролі результату, тоді як система виконує повторювані обчислення і забезпечує однаковість методики для всієї організації.

У підсумку правила управління даними та автоматизована аналітика в ТО ВЕ моделі формують спільний контур, де уніфікація форматів забезпечує порівнюваність, регулярність оновлення забезпечує оперативність, а контроль якості забезпечує надійність прийняття рішень. Саме ця зв'язка дає змогу перейти від ситуації, коли цифровий контур обривається на ручному перенесенні показників, до стану, де дані безперервно перетворюються на індикатори і дії, а результати дій перевіряються наступними вимірюваннями, формуючи замкнений цикл управління електроспоживанням.

Формування системи ключових показників ефективності для ТО-ВЕ процесу управління електроспоживанням розглядається як центральний елемент керованості, оскільки саме KPI переводять процес із рівня опису

в площину вимірюваного управління, де кожне рішення має критерій результативності та часовий горизонт перевірки. У межах цільової моделі показники відбираються так, щоб одночасно фіксувати енергетичний результат, стабільність режимів і якість управлінського циклу, тобто швидкість проходження даних від вимірювання до управлінської дії та частоту, з якою система здатна коригувати відхилення до того, як вони переростають у витрати [42].

Методично KPI у TO-BE процесі формуються як узгоджений набір метрик, які мають чітке визначення, одиницю виміру, правило розрахунку та джерело даних, а також прив'язку до відповідального контуру, що приймає рішення на їх основі. У цьому дослідженні логіка відбору показників зосереджена на тому, щоб відстежувати не лише загальне споживання, а й параметри, які відображають якість управління, зокрема тривалість циклу прийняття рішення, частку ручної обробки, рівень помилок у даних, дотримання часових нормативів реагування на відхилення та ступінь досягнення цільових режимів у пікові періоди. Такий підхід забезпечує можливість обґрунтувати ефект цифровізації через зміну управлінської динаміки, а не лише через підсумкові економії в кінці періоду.

У прикладному вимірі KPI у TO-BE процесі виконують функцію механізму зворотного зв'язку, тому що вони задають умови, за яких система визнається керованою, а також дозволяють відокремлювати випадкові коливання від системних відхилень. Це дає можливість оцінювати, чи справді автоматизація скоротила час між подією в мережі та управлінською реакцією, чи зменшилася залежність від ручних операцій, чи підвищилась узгодженість даних між джерелами, і чи почали рішення підтверджуватися повторними вимірюваннями як стабільний результат, а не як одиничний успіх окремої зміни (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – KPI TO-BE

KPI	Визначення і правило розрахунку	Одиниця	Джерело даних у процесі	AS-IS факт	TO-BE ціль
Тривалість управлінського циклу	Час від фіксації відхилення до підтвердженої корекції режиму за наступним виміром	хв	АСКОЕ, журнал диспетчерських дій	142.7	27.4
Час появи індикатора	Час від надходження виміру до появи індикатора на панелі моніторингу	хв	АСКОЕ, аналітична платформа	46.9	4.6
Частка ручної обробки даних	Частка операцій підготовки даних, що виконуються вручну від загальної кількості операцій підготовки	відсоток	регламент робіт, лог дій користувачів	68.3	11.8
Рівень помилок у звітності	Кількість виявлених помилок у зведеннях на 1000 записів вимірів	од на 1000	контроль якості, журнали верифікації	7.6	1.2
Своєчасність реагування	Частка відхилень, для яких рішення прийняте в межах нормативного часу реагування	відсоток	журнали подій, журнали рішень	34.5	86.9
Дотримання ліміту	Частка діб, у яких підприємство не перевищило встановлений ліміт споживання	відсоток	АСКОЕ, планові ліміти	73.2	92.6
Зменшення пікового навантаження	Різниця між середнім піком навантаження до і після впровадження, нормована на базовий період	відсоток	АСКОЕ, профілі навантаження	0.0	6.7
Коефіцієнт потужності	Середньозмінне значення $\cos \varphi$ у вузлах контролю	безрозмірно	АСКОЕ, режимні виміри	0.912	0.958
Повнота даних	Частка інтервалів, для яких отримані всі необхідні виміри без пропусків	відсоток	АСКОЕ, моніторинг якості даних	89.4	98.1
Частота аналітичного циклу	Кількість повних аналітичних і управлінських циклів на добу, що завершуються рішенням і перевіркою	раз на добу	лог платформи, журнал рішень	2.3	11.2

Джерело: сформовано автором на основі результатів процесного аналізу

Узагальнення результатів, наведених у таблиці 3.4, дозволяє зробити висновок, що проєктована система показників формує вимірювану основу для переходу від реактивного до керованого й випереджального управління електроспоживанням. Порівняння значень AS-IS і цільових параметрів TO-BE демонструє, що основний ефект зосереджується не лише в енергетичному результаті, а передусім у трансформації самого управлінського циклу, який у цільовому стані істотно скорочується за часом і підвищується за стабільністю.

Найбільш показовою є динаміка тривалості управлінського циклу, де зменшення часових витрат більш ніж у п'ять разів свідчить про принципову зміну логіки роботи з даними та рішеннями. Скорочення часу появи аналітичних індикаторів і різке зниження частки ручної обробки підтверджують, що автоматизація в TO-BE моделі усуває структурні затримки, які в AS-IS стані накопичувалися на етапах перевірки, перенесення та агрегування даних. Це безпосередньо відображається на якості управління, оскільки рішення починають прийматися в часовому інтервалі, релевантному фактичним режимам споживання.

Покращення показників своєчасності реагування та зниження рівня помилок у звітності вказують на зменшення впливу людського фактора та підвищення надійності інформаційної основи управління. У цільовому стані аналітичні результати стають відтворюваними та стабільними, що дозволяє використовувати їх як підґрунтя для регулярного контролю та порівняння результатів між змінами і періодами, а не як разові довідкові дані.

Енергетичні KPI, зокрема дотримання лімітів, зменшення пікових навантажень і покращення коефіцієнта потужності, підтверджують, що скорочення управлінського циклу трансформується у вимірюваний техніко-економічний ефект. Зростання частоти аналітичних циклів свідчить про перехід до безперервного режиму управління, у якому

контроль і коригування здійснюються не епізодично, а системно протягом доби.

У цілому система KPI TO-BE фіксує, що результативність цифровізації управління електроспоживанням проявляється як у зниженні трудомісткості та підвищенні достовірності даних, так і в покращенні керованості режимів споживання. Це підтверджує доцільність використання сформованих показників як інструменту оцінки ефективності впровадження проєктних рішень і створює аналітичну основу для подальшого економічного обґрунтування в наступному підрозділі.

3.3. Економічне обґрунтування та оцінка ефективності впровадження проєктних рішень

Вибір методології оцінки економічної ефективності впровадження TO BE моделі управління електроспоживанням у цьому дослідженні ґрунтується на підході повного життєвого циклу, коли проєкт розглядається як інвестиційне рішення з потоками витрат і вигод, розподіленими в часі, а критерій ефективності формується через порівняння дисконтованих результатів і дисконтованих витрат. У межах такої логіки оцінювання не зводиться до зіставлення одноразових витрат на цифрові рішення з очікуваною економією електроенергії, а охоплює весь період функціонування TO BE процесу, включно з витратами на впровадження, підтримку, навчання, супровід інтеграцій, а також із вигодами, що виникають через скорочення витрат, оптимізацію режимів, підвищення дисципліни дотримання лімітів і зменшення пікових навантажень. Такий підхід дозволяє коректно порівнювати альтернативи, відокремлювати короткостроковий ефект від стійкого результату та інтерпретувати економічну доцільність як сумарний ефект за горизонтом проєкту [37].

У прикладному вимірі методологія життєвого циклу вимагає формалізації базового сценарію, який відображає продовження поточної практики управління електроспоживанням без цифрової перебудови, та сценарію впровадження TO BE, де змінюється не лише технічний інструментарій, а й сам управлінський цикл, зокрема частота аналітичних і коригувальних дій та швидкість реакції на відхилення. Це перетворює економічну оцінку на порівняння двох траєкторій, де витрати і вигоди виникають у різні моменти часу, а ефект залежить від того, наскільки стабільно організація підтримує новий процес, наскільки регулярно оновлюються дані і як швидко рішення переходять у виробничі режими. У межах цього дослідження така постановка дозволяє зв'язати результати процесного моделювання та KPI з економічними наслідками, тому що скорочення управлінського циклу і зменшення частки ручних операцій трансформуються у вимірювані потоки вигод, які далі підлягають дисконтуванню і підсумуванню в інтегральних показниках ефективності.

Формування вихідних параметрів економічних розрахунків у цій роботі прив'язується до фактичних даних підприємства про тарифи, обсяги споживання та трудові витрати персоналу, оскільки саме ці параметри визначають реалістичність моделі і забезпечують відтворюваність результатів. У межах управління енергоефективністю вихідні дані мають збиратися так, щоб вони відображали фактичну структуру споживання, часові профілі навантаження, наявні процедури обробки інформації та фактичні витрати часу на підготовку звітності і прийняття рішень, тому що економічний ефект цифровізації виникає одночасно через зміну енергетичних витрат і через зміну організаційних витрат, пов'язаних з ручною обробкою, дублюванням операцій і затримками управлінської реакції. Така логіка робить критично важливою правильну фіксацію базових значень, з якими порівнюється TO BE сценарій, і забезпечує коректність подальшого розрахунку економії та інших вигод [21].

Практична побудова бази розрахунків у цьому дослідженні передбачає, що тарифні параметри визначають грошову оцінку змін у споживанні та профілі навантаження, тоді як дані про трудові витрати відображають організаційний компонент ефекту, який зазвичай недооцінюється при зосередженні лише на кіловат годинах. Коли у вихідних параметрах фіксується фактичний час на ручну консолідацію даних, підготовку щогодинних і добових зведень та повторні перевірки, стає можливим оцінити економічний ефект від скорочення трудомісткості не декларативно, а як різницю між затратами часу в AS IS і в TO BE, помножену на реалістичну вартість робочого часу персоналу, що формує грошову вигоду паралельно з енергетичною складовою. Така постановка також дозволяє коректно описати витрати впровадження, оскільки навчання, супровід і підтримка процесу мають бути включені у модель як елементи життєвого циклу, а не як одноразова подія запуску [21].

Оцінка інвестиційних та операційних витрат у межах впровадження TO-BE рішень для управління електроспоживанням у цій роботі подається як структурований розрахунок повної вартості проекту, де витрати формуються за логікою життєвого циклу та розмежовуються на капітальні вкладення і поточні витрати експлуатації. Така побудова потрібна для того, щоб економічний ефект цифровізації був порівнюваним із витратами не на рівні разової закупівлі програмного продукту, а на рівні реального управлінського впровадження, яке включає інтеграцію з наявними джерелами даних, запуск аналітичних процедур, підготовку персоналу та підтримання працездатності рішення впродовж планового горизонту експлуатації [22].

У практичній конфігурації TO-BE моделі витрати доцільно фіксувати за принципом повноти, коли до інвестиційної частини відносять не лише ліцензії або розробку, а й витрати на проєктування, налаштування правил даних, підготовку інтеграцій, тестування, введення в експлуатацію та навчання користувачів. Операційна частина формується з витрат на

супровід і оновлення, адміністрування доступів, технічну підтримку, кіберзахист, валідацію якості даних і підтримку регламентів, оскільки саме ці елементи визначають, чи залишиться аналітика стабільною та відтворюваною в умовах зміни режимів роботи обладнання і кадрової ротації. Такий підхід дозволяє уникати типового перекосу, коли в розрахунку враховується тільки закупівля програмного забезпечення, а витрати на інтеграцію і навчання потрапляють поза фінансову модель і згодом знижують точність оцінки окупності.

У цій роботі витратна модель прив'язується до змісту проектного рішення, тому ключовими статтями є програмна складова, роботи з інтеграції з АСКОЕ та внутрішніми джерелами режимних параметрів, організаційне впровадження з налаштуванням процесних ролей і процедур, а також навчання диспетчерського та енергоменеджерського контурів з акцентом на використання індикаторів для прийняття рішень. Окремо враховується, що операційні витрати мають кумулятивний характер і впливають на чистий ефект сильніше, ніж незначне перевищення одноразових витрат у стартовій фазі, тому їх фіксація в таблиці виконує роль контрольної рамки для подальшого розрахунку інтегральних показників ефективності (таблиця 3.5).

Розрахунок економічного ефекту від скорочення трудомісткості в ТО ВЕ процесі управління електроспоживанням доцільно будувати як перехід від якісно описаних змін у процесі до кількісно вимірюваних витрат робочого часу, які раніше витрачалися на ручні операції, а в цільовій моделі зникають або суттєво стискаються. У межах цього підходу базовим об'єктом вимірювання виступає фактична тривалість повторюваних робіт, пов'язаних із консолідацією показників, перевіркою коректності, перенесенням у звітні форми, повторним узгодженням між джерелами та підготовкою матеріалів для прийняття рішень, причому кожна операція фіксується як елемент витрат робочого часу з подальшим сумуванням за зміною, добою та розрахунковим роком. Така логіка дозволяє відокремити

реальне скорочення трудових витрат від ефектів, що виникають лише за рахунок перерозподілу навантаження між працівниками, і забезпечує обґрунтованість переходу від процесного моделювання до економічної оцінки через нормування витрат праці [20].

Таблиця 3.5 – Витрати

Група витрат	Стаття витрат для ТО-ВЕ рішення	Одиниця виміру	Разові витрати, грн	Щорічні витрати, грн
Інвестиційні	Ліцензії або корпоративна підписка на аналітичну платформу та модулі візуалізації	грн	482 630.40	96 218.35
Інвестиційні	Розробка та налаштування інтеграції з АСКОВЕ і внутрішніми джерелами режимних даних	грн	618 905.70	54 112.80
Інвестиційні	Проектування моделі даних, довідників, правил валідації та формування індикаторів	грн	274 480.15	18 945.60
Інвестиційні	Тестування, дослідна експлуатація, введення в промислову експлуатацію	грн	163 740.25	9 864.30
Інвестиційні	Навчання користувачів і підготовка регламентів роботи з індикаторами	грн	119 685.90	12 370.40
Операційні	Технічна підтримка, оновлення, адміністрування доступів, супровід користувачів	грн	0.00	141 560.75
Операційні	Кіберзахист і резервне копіювання, моніторинг працездатності інтеграцій	грн	0.00	63 915.20
Операційні	Контроль якості даних і періодичне калібрування правил валідації	грн	0.00	47 280.65
	Підсумок		1 659 442.40	444 268.05

Джерело: сформовано автором на основі результатів процесного аналізу

Коли часові витрати зафіксовані та перераховані у річний еквівалент, економічний ефект доцільно відобразити у вигляді грошових потоків, де вигода від скорочення трудомісткості визначається як добуток

зкономлених людино годин на повну вартість години праці з урахуванням нарахувань і внутрішніх накладних витрат. У фінансовій логіці важливо, щоб ця вигода не дублювала інші статті ефекту, зокрема якщо зменшення помилок у звітності вже оцінюється через скорочення часу на виправлення, тоді воно не має повторно включатися до тієї самої статті трудових заощаджень. У такій постановці трудовий ефект перетворюється на регулярний щорічний притік коштів, який може бути включений у модель оцінювання інвестиційної привабливості поряд з операційними витратами на підтримку цифрового рішення та з одноразовими інвестиціями на впровадження [34].

Стійкість розрахованого ефекту в практичному вимірі залежить від того, наскільки коректно встановлені вихідні часові нормативи і наскільки вони відповідають фактичним умовам праці, оскільки заниження базових трудових витрат у AS IS стані автоматично знижує економічний ефект TO BE, а завищення базових витрат створює ризик завищення очікуваної економії. Доцільно інтерпретувати скорочення трудомісткості як результат зміни структури робіт, де частина операцій елімінується, частина автоматизується, а частина переходить у контроль якості і управлінський аналіз, що потребує коректного розмежування виконуваних функцій і узгодження обліку часу між змінами та підрозділами. За рахунок такого підходу трудовий ефект стає відтворюваним показником, який потім можна верифікувати шляхом повторного заміру тривалості ключових операцій і зіставлення їх з розрахунковими параметрами [20].

Оцінка інтегральних показників ефективності впровадження TO BE моделі в цьому дослідженні логічно будується як підсумок сформованих грошових потоків, де початкові інвестиції порівнюються з дисконтованими чистими вигодами за горизонтом проекту, а результат подається через чисту приведену вартість, внутрішню норму доходності та показники окупності. Така процедура дозволяє не лише зафіксувати факт позитивного ефекту, а й показати, наскільки проект є стійким до

погіршення припущень або до зростання витрат на підтримку програмного рішення, що є критично важливим для промислових проєктів цифровізації, де поведінка витрат у часі визначається організаційною дисципліною та якістю супроводу (таблиця 3.6) [34].

Таблиця 3.6 – Економічна ефективність

Показник	Розрахункове значення	Інтерпретація для TO BE моделі
Річна економія робочого часу за рахунок усунення ручних операцій	5 742.6 людино год	Еквівалент зменшення повторюваних робіт з консолідації, перевірок і перенесення даних у звітність
Повна вартість 1 години праці з нарахуваннями	218.35 грн	Використовується для грошової оцінки ефекту від скорочення трудомісткості
Річний ефект від скорочення трудомісткості	1 254 317.21 грн	Прямий організаційний ефект цифровізації процесу без урахування енергетичної складової
Додатковий організаційний ефект від зменшення виправлень і повторних узгоджень	214 906.48 грн	Економія часу на доопрацювання і виправлення через підвищення якості даних і узгодженості показників
Річний ефект від уникнення втрат, пов'язаних із запізнілими рішеннями та відхиленнями режимів	196 842.77 грн	Консервативна оцінка наслідків підвищення оперативності управлінської реакції
Щорічні операційні витрати на підтримку TO BE рішення	444 268.05 грн	Супровід, адміністрування, моніторинг якості даних та підтримка інтеграцій
Чистий щорічний грошовий потік проєкту	1 221 798.41 грн	Річні вигоди мінус щорічні витрати підтримки
Початкові інвестиційні витрати	1 659 442.40 грн	Витрати на впровадження, інтеграцію та навчання персоналу
Чиста приведена вартість за 5 років при ставці дисконту 14.2 відсотка	2 515 006.71 грн	Позитивне значення підтверджує інвестиційну доцільність за прийнятим горизонтом
Внутрішня норма доходності за 5 років	68.15 відсотка	Запас стійкості проєкту до зміни ставки дисконту і до погіршення припущень
Строк окупності простий	1.36 року	Окупність без дисконтування, орієнтир для управлінської оцінки
Строк окупності дисконтований при 14.2 відсотка	1.63 року	Окупність з урахуванням вартості грошей у часі

Джерело: сформовано автором на основі результатів процесного аналізу

Узагальнення результатів, наведених у таблиці економічної ефективності, свідчить про те, що впровадження TO-BE моделі управління електроспоживанням формує стійкий і багатоаспектний економічний ефект, який ґрунтується насамперед на скороченні трудомісткості та підвищенні оперативності управлінського циклу. Найбільший внесок у формування вигод забезпечує зменшення обсягу ручних операцій, що трансформується у значну річну економію робочого часу і, відповідно, у прямий грошовий ефект за рахунок зниження витрат на виконання рутинних функцій підготовки, перевірки та узгодження даних.

Сукупний щорічний грошовий потік проекту, сформований з урахуванням організаційного ефекту, зменшення втрат від запізнених рішень і операційних витрат на підтримку цифрового рішення, має стабільно позитивне значення, що свідчить про фінансову життєздатність TO-BE моделі вже на ранніх етапах її експлуатації. Важливо, що отриманий ефект не є разовим, а відтворюється щороку за умови збереження регламентів роботи з даними та використання аналітичних індикаторів у процесі прийняття рішень.

Показники інтегральної ефективності підтверджують інвестиційну доцільність проекту з позиції довгострокового управління. Позитивна чиста приведена вартість за п'ятирічним горизонтом та високе значення внутрішньої норми доходності свідчать про значний запас фінансової стійкості навіть у разі зміни ключових припущень, зокрема зростання операційних витрат або зниження фактичного рівня досягнутої економії. Водночас короткий строк окупності вказує на те, що проект швидко компенсує початкові інвестиційні витрати і не створює довготривалого фінансового навантаження для підприємства.

У підсумку результати таблиці демонструють, що економічний ефект від цифрової перебудови процесу управління електроспоживанням формується не лише через пряме зниження витрат, а через зміну самої

логіки управління, де скорочення часу прийняття рішень, зменшення залежності від ручної праці та підвищення якості даних створюють основу для стабільного фінансового результату в середньо- та довгостроковій перспективі.

Висновки до розділу 3

У межах дослідження було сформовано цілісне проектно-рекомендаційне обґрунтування підвищення ефективності енергетичного менеджменту та цифровізації управління електроспоживанням, яке логічно спирається на результати процесного аналізу, виконаного в попередньому розділі. Розроблені рішення орієнтовані не на фрагментарне вдосконалення окремих операцій, а на зміну управлінської логіки в цілому, де електроспоживання розглядається як об'єкт безперервного управлінського циклу з чітко визначеними етапами, відповідальністю та механізмами зворотного зв'язку.

Було обґрунтовано концептуальні засади TO-BE моделі управління електроспоживанням, що базуються на принципах міжнародних стандартів системного, процесного та екологічно орієнтованого управління. Показано, що цільовий стан енергетичного менеджменту формується як інтегрована система, у межах якої планування, вимірювання, аналітика та коригування режимів споживання поєднані в замкнений контур прийняття рішень, а цифрові дані виступають не лише інструментом обліку, а й основою оперативного управління.

Було розроблено TO-BE бізнес-процеси управління електроспоживанням, що відображають перехід від фрагментованої організації робіт до керованого процесу з чіткою декомпозицією функцій, усуненням дублюючих і ручних операцій та впровадженням регулярного зворотного зв'язку між аналітикою і управлінськими рішеннями. Запропонована система ключових показників ефективності дозволяє

кількісно оцінювати не лише енергетичний результат, а й якість управлінського циклу, зокрема швидкість реагування, стабільність режимів і ступінь автоматизації аналітичних процедур.

Виконано економічне обґрунтування впровадження проектних рішень, яке показало, що цифрова перебудова процесу управління електроспоживанням є економічно доцільною з позиції життєвого циклу проекту. Розрахунки засвідчили, що основний економічний ефект формується за рахунок скорочення трудомісткості, мінімізації ручних операцій та підвищення оперативності управлінських рішень, що трансформується у стабільний щорічний грошовий потік. Позитивні значення інтегральних показників ефективності та короткий строк окупності підтверджують інвестиційну привабливість запропонованої ТО-ВЕ моделі та її стійкість до зміни ключових припущень.

Таким чином, результати доводять, що цифровізація управління електроспоживанням на основі процесного підходу та системи енергетичного менеджменту дозволяє досягти комплексного ефекту, який поєднує організаційні, управлінські та економічні переваги. Запропоновані проектні рішення створюють практичну основу для переходу підприємства від реактивного до випереджального управління електроспоживанням і можуть бути використані як модель для подальшого масштабування цифрових підходів у системі енергетичного менеджменту промислових підприємств.

ВИСНОВКИ

Узагальнення наукових підходів засвідчило, що сучасний енергетичний менеджмент виходить за межі технічного енергозбереження і розглядається як складова операційного управління, тісно пов'язана з виробничими режимами, собівартістю, фінансовими результатами та конкурентоспроможністю підприємства. Особливу увагу приділено специфіці енергоємних виробництв, де електроспоживання формується технологічною логікою процесів і потребує управлінських рішень, заснованих на глибокому аналізі даних.

Опрацювання нормативно-правової та стандартної бази показало, що вимоги у сфері енергоефективності, енергетичного аудиту та впровадження систем енергетичного менеджменту створюють обов'язкову рамку, в межах якої підприємство має забезпечити вимірюваність, прозорість і відтворюваність результатів управління електроспоживанням. Саме нормативні орієнтири визначають набір показників, вимоги до якості даних і рівень формалізації процесів, що є необхідною передумовою для подальшої аналітичної оцінки та виявлення «вузьких місць» у бізнес-процесах.

Розгляд цифровізації управління енергоспоживанням засвідчив, що ключовим чинником підвищення ефективності є не ізольоване впровадження окремих цифрових інструментів, а інтеграція аналітики, прогнозування, процесного моделювання та системи показників у єдиний управлінський контур. Аналітичні інструменти та методи машинного навчання набувають практичної цінності за умови їх включення до багатокритеріальної моделі прийняття рішень, яка враховує економічну доцільність, технологічні обмеження та ризики.

Система управління електроспоживанням на підприємстві має сформовану організаційну та технічну основу, проте її фактична результативність обмежується особливостями реалізації ключових

бізнес-процесів. Проведена оцінка показала, що наявність автоматизованого збору даних і спеціалізованого програмного забезпечення сама по собі не гарантує високої ефективності енергетичного менеджменту, оскільки вирішальне значення має спосіб інтеграції цих інструментів у повний управлінський цикл від отримання даних до прийняття рішень.

Аналіз бізнес-процесів управління електроспоживанням засвідчив, що найбільш проблемними залишаються етапи обробки, аналізу та формування звітності, де зберігається значна частка ручної праці, що зумовлює часові затримки, підвищує трудомісткість і створює ризики людського фактора. У результаті між фактичними режимами споживання електроенергії та управлінською реакцією формується часовий розрив, який знижує оперативність і обґрунтованість рішень, особливо в умовах змінних навантажень і необхідності швидкого коригування режимів роботи електрогосподарства.

Виявлене проблемне поле свідчить про наявність системного розриву між потенціалом цифрових рішень і практикою їх використання, коли цифрові технології виконують переважно функцію обліку, але не повною мірою реалізують функцію управління. Це обмежує прозорість даних, ускладнює формування цілісної аналітичної картини та знижує ефект від уже здійснених інвестицій у цифрову інфраструктуру.

У межах дослідження було сформовано цілісне проєктно-рекомендаційне обґрунтування підвищення ефективності енергетичного менеджменту та цифровізації управління електроспоживанням, яке логічно спирається на результати процесного аналізу, виконаного в попередньому розділі. Розроблені рішення орієнтовані не на фрагментарне вдосконалення окремих операцій, а на зміну управлінської логіки в цілому, де електроспоживання розглядається як об'єкт безперервного управлінського циклу з чітко визначеними етапами, відповідальністю та механізмами зворотного зв'язку.

Виконано економічне обґрунтування впровадження проєктних рішень, яке показало, що цифрова перебудова процесу управління електроспоживанням є економічно доцільною з позиції життєвого циклу проєкту. Розрахунки засвідчили, що основний економічний ефект формується за рахунок скорочення трудомісткості, мінімізації ручних операцій та підвищення оперативності управлінських рішень, що трансформується у стабільний щорічний грошовий потік. Позитивні значення інтегральних показників ефективності та короткий строк окупності підтверджують інвестиційну привабливість запропонованої ТО-ВЕ моделі та її стійкість до зміни ключових припущень.

Таким чином, результати доводять, що цифровізація управління електроспоживанням на основі процесного підходу та системи енергетичного менеджменту дозволяє досягти комплексного ефекту, який поєднує організаційні, управлінські та економічні переваги. Запропоновані проєктні рішення створюють практичну основу для переходу підприємства від реактивного до випереджального управління електроспоживанням і можуть бути використані як модель для подальшого масштабування цифрових підходів у системі енергетичного менеджменту промислових підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бедерак, Я. С. Робота трансформатора при низькій якості електроенергії. Наукова стаття, 2021.
<https://erec.khpi.edu.ua/article/view/250034>
2. Волинець, В. І., Коменда, Н. В., Романюк, М. В., Бандура, І. О., Гайдай, А. В. Ранжування електротехнічних комплексів вугільних шахт за енергоефективністю. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика», № 2(29), 2023. С. 17–21.
3. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Енергетичний менеджмент
<https://saee.gov.ua/>
4. Джеджула, В. В. Управління потенціалом енергозбереження промислових підприємств. Innovation and Sustainability, Vol. 2, № 1, 2022. С. 6–12.
5. Єпіфанова, І. Ю., та ін. Інноваційні стратегії управління енергоефективними підприємствами в умовах Industry 4.0. Modeling the Development of the Economic Systems, 2025. С. 401–410.
6. Закон України. Про енергетичну ефективність: Закон України № 1818-IX від 21.10.2021. Офіційна база законодавства України, 2021.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>
7. Кабінет Міністрів України. Про впровадження систем енергетичного менеджменту: Розпорядження № 1460-р від 29.12.2021. Офіційна база законодавства України, 2021.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1460-2021-%D1%80#Text>
8. Кириленко, О. В. Енергетична ефективність та енергетичний менеджмент. Навчально-науковий матеріал, 2024.
<https://energy.kpi.ua/article/download/297508/291992/691038>

9. Кириленко, О. В., Денисюк, С. П. Енергетична ефективність та енергетичний менеджмент: нові пріоритети XXI століття. Енергетика: економіка, технології, екологія, № 1, 2024. С. 7–27.
10. КНТУ. Збірник тез доповідей. Людські помилки та неухажність як джерело ризиків у цифрових процесах. Матеріали конференції, 2025. <https://kntu.kr.ua/file/content/19244/zbirnyk-tez.pdf>
11. Колектив авторів. Functioning of the modern electricity market as an element of the infrastructure support. Наукова стаття, 2023. <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/download/2715/264>
12. Кочура, О. С. Оцінка ефективності споживання енергії на гірничо-збагачувальному комбінаті. Наукова публікація, 2023. https://nmu.org.ua/ua/content/infrastructure/structural_units/science/Izdan/4/%D0%9A%D0%BE%D1%87%D1%83%D1%80%D0%B0.pdf
13. КПІ. Методи аналізу добових графіків електричного навантаження з використанням k-means. Матеріали конференції, 2025. <https://energy-kpi.com/wp-content/uploads/2025/06/conf-2025-1.pdf>
14. Лісовий, А. В. Енергетична безпека України: виклики війни та перспективи відновлення. Есопому (електронне наукове видання), 2025. С. 40–43.
15. Малогулько, Т. В. Підвищення достовірності та детальності визначення втрат електроенергії в розподільних електричних мережах з використанням Smart Metering: дисертаційна робота. 2023. С. 1–140.
16. Мельник, Ю., та ін. Використання методологій IDEF0 та DFD для аналізу й проєктування інформаційних систем. Наукова стаття, 2023. <https://journals.ontu.edu.ua/index.php/atbp/article/download/2914/3058/>
17. Міністерство економіки України. Національний план з енергетики та клімату України до 2030 року. Київ, 2024. 307 с.
18. НЕК «Укренерго». Рекомендації щодо функціонування та інформаційної взаємодії комерційного обліку електроенергії. Нормативно-методичний документ, 2025.

<https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D1%96%D0%BA/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97%D0%B7%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%D0%9A%D0%9A%D0%9E.pdf>

19. НТУ. Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем. Матеріали конференції, 2024.
https://kist.ntu.edu.ua/konferencii/53_konf_2024.pdf

20. Позднякова Л. О. Нормування праці : конспект лекцій. 2018.

21. Положення про запровадження систем енергетичного менеджменту в бюджетних установах, що фінансуються за рахунок коштів місцевих бюджетів : метод. матеріали. Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». 2017. 129 с.

22. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо підготовки та проведення оцінки державного інвестиційного проекту : Наказ Мінекономрозвитку України від 22.12.2017 № 1865 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.

23. Прокопенко, В. В., Закладний, О. О. Енергетичний аудит: методичні рекомендації. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 160 с.

24. Пудичева, Г. О. Декарбонізація, децентралізація та діджиталізація – ключові фактори сучасної енергетики. Причорноморські економічні студії, № 71, 2021. С. 117–122.

25. Рухлов, А. В., Луценко, І. М., Рухлова, Н. Ю., Кошеленко, Є. В., Замкова, О. А. Регулювання електроспоживання підприємств для зниження пікових навантажень в енергосистемі. Збірник наукових праць НГУ, № 74, 2023. С. 204–212.

26. Рухлов, А. В., Рухлова, Н. Ю., Воронін, М. М. Складники добового профілю електроспоживання вугільної шахти. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Issue 11(42), Part II, 2025. С. 177–183.

27. Рухлов, А. В., Рухлова, Н. Ю., Кириченко, М. С. Профілі електроспоживання головних вентиляторів вугільних шахт. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, № 77, 2024. С. 111–117.

28. Сергієнко, Л. В., Сергієнко, О. І. Обґрунтування способу автономного енергозабезпечення вугільного підприємства. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика», № 1(30), 2024. С. 85–90.

29. СНАУ. Економіка та організація енергетичної служби. Навчально-науковий матеріал, 2025. https://eim.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2025/02/%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BA%D0%B0_%D1%82%D0%B0_%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97_%D1%81%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B1%D0%B8.pdf

30. Соколенко, К. В. Управління розвитком територій у кризових умовах з урахуванням впливу містоутворюючих підприємств на життєзабезпечення. Дисертація PhD, 2024. https://ida.vntu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/Sokolenko_K_V_Dysertatsiya_PhD.pdf

31. Устименко, Д. В. Український досвід впровадження систем енергетичного менеджменту в промисловому секторі. Наукова стаття, 2024.

https://www.researchgate.net/publication/377717002_Ukrajinskij_dosvid_vprovadzenna_sistem_energeticnogo_menedzmentu_v_promislovomu_sektori

32. Abualsauod, E. H. ISO-Based Framework Optimizing Industrial Internet of Things for Sustainable Supply Chain Management. *Sustainability*, 17(14), 2025. Article 6421. P. 1–20.
33. Andreescu, P., et al. Mapping Business Process Modeling with Energy and Financial Perspectives. 2024. P. 23–37.
34. Brealey R. A., Myers S. C., Allen F., Edmans A. *Principles of Corporate Finance*. 14th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2022.
35. Cosa, M., et al. Digital Transformation and Flexible Performance Management. *Review of Managerial Science*, 2024. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40171-024-00409-9>
36. Derhachova, H. Energy supply of Ukrainian enterprises: barriers and prospects for the implementation. Наукова стаття, 2025. <https://epj.min-pan.krakow.pl/Energy-supply-of-Ukrainian-enterprises-barriers-and-prospects-for-the-implementation%2C209017%2C0%2C2.html>
37. European Commission. *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects for Cohesion Policy 2014–2020*. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2014.
38. FIDIC. *Digital Technology on a Path to Net Zero*. Аналітична доповідь, 2023. https://fidic.org/sites/default/files/SOTW_2023_Digital_Technology_Report_v10b_2.pdf
39. Hammer M., Champy J. *Reengineering the Corporation : A Manifesto for Business Revolution*. New York : HarperBusiness, 1993.
40. International Energy Agency. *Digitalisation and Energy*. Paris : IEA, 2017.
41. ISO. *ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. Geneva : International Organization for Standardization, 2015.

42. ISO. ISO 50001:2018 Energy management systems — Requirements with guidance for use. Geneva : International Organization for Standardization, 2018.
43. ISO. ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements. Geneva : International Organization for Standardization, 2015.
44. Korzachenko, O. V. Automation of the processes of the energy sector of Ukraine: current status, prospects and challenges. Modeling and Information Systems in Economics, № 103, 2023. P. 117–136.
45. Krupenev, D., et al. Digital platform of reliability management systems for operation of microgrids. Energy Reports, 2023. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/19067/1/1-s2.0-S2352484723012787-main.pdf>
46. Ministry of Economy of Ukraine. Guidelines for Conducting a Cost-Benefit Analysis. Kyiv, 2021.
47. Ukraine-OSS. Інструменти енергоефективності в промисловості та АПК: кращі рішення. Прикладний посібник, 2024. https://ukraine-oss.com/wp-content/uploads/2024/09/draft-posibnyka_energoefektyvnist_web-1.pdf
48. Start in Science. Студентська науково-технічна конференція. Збірник тез і анотацій наукових доповідей, 2025. <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/3204>