

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет бізнесу та права**

(повне найменування факультету)

**Кафедра підприємництва, торгівлі та логістики**

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ  
УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ РЕСУРСАМИ: ПЕРСПЕКТИВИ ТА  
ВИКЛИКИ ДЛЯ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ**

**спеціальність 281 Публічне управління та адміністрування**

**освітня програма «Публічне управління та адміністрування»**

Виконала: здобувачка вищої освіти  
Групи ПУАмз-21  
**Дмитроца Ірина Сергіївна**

(підпис)

Керівник:  
д.е.н., професор  
**Полінкевич Оксана Миколаївна**

(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.  
д.е.н., професор  
Гарант освітньої програми:  
**Вахович Ірина Михайлівна**

(підпис)

Луцьк – 2025 року

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет бізнесу та права

Кафедра підприємництва, торгівлі та логістики

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 281 Публічне управління та адміністрування

Спеціальність: 281 Публічне управління та адміністрування

Освітня програма: Публічне управління та адміністрування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

## З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Дмитроца Ірина Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Впровадження цифрових технологій у системі управління енергетичними ресурсами: перспективи та виклики для публічного управління та адміністрування.

Керівник роботи: д.е.н., професор Полінкевич Оксана Миколаївна

затверджені наказом закладу вищої освіти від «21» січня 2025 р. № 34/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: інформація про сучасний стан системи державного нагляду (контролю) у сфері обігу лікарських засобів та медичних виробів в Україні.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

ВСТУП. РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ РЕСУРСАМИ. РОЗДІЛ 2. СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ. РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ ТА МІСЦЕВОМУ РІВНЯХ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ. ВИСНОВКИ. ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ. ДОДАТКИ.

5. Перелік графічного матеріалу: Лист 1. Актуальність: Енергетика під прицілом. Лист 2. Парадигма 3D: ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПЕРЕХІД 4.0. Лист 3. Мета та завдання дослідження. Лист 4. Триєдина система управління енергетичною інфраструктурою — публічне управління трансформує політичні цілі. Лист 5. Ключові цифрові технології управління енергетичними ресурсами. Лист 6. Нормативно-правова база цифровізації енергетики в Україні. Лист 7. Значення енергетичного сектору в економіці України та перспективи розвитку. Лист 8. Впровадження інтелектуальних систем управління енергетикою України. Лист 9. Каталізатори цифрової трансформації в енергетиці Лист 10. Світовий досвід Digital Energy: від «обліку» до «екосистеми сервісів». Лист 11. Цифрова еволюція громад: від пасивного моніторингу до AI-управління. Лист 12. Цифровізація управління енергоспоживанням КІП «Водоканал» Адаптація технології Load Shifting (зміщення навантаження) з використанням BESS. Лист 13. Висновки: Цифровізація як інструмент стійкого публічного управління.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Теоретичний розділ</i>	<i>Полінкевич О.М.</i>		
<i>Аналітичний розділ</i>	<i>Полінкевич О.М.</i>		
<i>Проектний розділ</i>	<i>Полінкевич О. М.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Хомяк Н.В</i>		

7. Дата видачі завдання 23 вересня 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Обґрунтування теми</i>	<i>до 24.09.2024</i>	
2.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми</i>	<i>до 29.10.2024</i>	
3.	<i>Теоретичний розділ</i>	<i>до 07.03.2025</i>	
4.	<i>Аналітичний розділ</i>	<i>до 30.05.2025</i>	
5.	<i>Проектний розділ</i>	<i>до 03.09.2025</i>	
6.	<i>Висновки</i>	<i>до 01.10.2025</i>	
7.	<i>Формування списку джерел посилань</i>	<i>до 08.10.2025</i>	
8.	<i>Формування додатків</i>	<i>до 15.10.2025</i>	
9.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>до 22.10.2025</i>	
10.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>до 01.11.2025</i>	
11.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>до 15.11.2025</i>	
12.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи магістра до захисту</i>	<i>до 03.12.2025</i>	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

(підпис)

Дмитроца І. С.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Полінкевич О. М.

(прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Дмитроца Ірина Сергіївна. Впровадження цифрових технологій у системі управління енергетичними ресурсами: перспективи та виклики для публічного управління та адміністрування. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Публічне управління та адміністрування» спеціальності 281 Публічне управління та адміністрування. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку джерел посилань та додатків.

У роботі здійснено комплексний аналіз ролі цифровізації у зміцненні енергетичної безпеки України в умовах воєнного стану. Досліджено теоретико-методологічні засади цифрової трансформації енергетики, проаналізовано нормативно-правове забезпечення галузі та вивчено передовий міжнародний досвід (країн ЄС, Сінгапуру) щодо впровадження Smart Grid та систем енергоменеджменту. Розроблено практичні рекомендації для органів місцевого самоврядування та комунальних підприємств щодо підвищення енергоефективності, зокрема обґрунтовано доцільність встановлення систем накопичення енергії (на прикладі КП «Луцькводоканал»).

Ключові слова: цифровізація, енергетична безпека, публічне управління, енергоефективність, Smart Grid, органи місцевого самоврядування, відновлювані джерела енергії.

## ANNOTATION

Dmytrotsa Iryna Serhiivna. Implementation of digital technologies in the energy resource management system: prospects and challenges for public management and administration. Manuscript.

Master's Qualification Thesis of the educational program "Public Management and Administration", Specialty 281 Public Management and Administration. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The Master's qualification thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The work provides a comprehensive analysis of the role of digitalization in strengthening Ukraine's energy security under the conditions of martial law. The theoretical and methodological foundations of the digital transformation of the energy sector are investigated, the regulatory and legal framework of the industry is analyzed, and advanced international experience (EU countries, Singapore) regarding the implementation of Smart Grid and energy management systems is studied. Practical recommendations for local self-government bodies and municipal enterprises are developed to improve energy efficiency, including substantiating the feasibility of installing energy storage systems (using the example of the Municipal Enterprise "Lutskvodokanal").

Key words: digitalization, energy security, public management, energy efficiency, Smart Grid, local self-government bodies, renewable energy sources.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ РЕСУРСАМИ	11
1.1. Сутність цифрових технологій у сфері енергетики та роль цифрових рішень у сучасній енергетиці	11
1.2. Основні типи технологій: Big Data, IoT, SCADA, Smart Grid, штучний інтелект, блокчейн	16
1.3. Взаємозв'язок між публічним управлінням та інфраструктурою енергетичного сектору	22
РОЗДІЛ 2. СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ	30
2.1. Інституційно-правове забезпечення цифровізації енергетичного сектору та взаємозв'язок Національного плану дій з енергоефективності з Стратегією цифрового розвитку інноваційної діяльності України	30
2.2. Роль регуляторів та органів публічної влади у впровадженні інтелектуальних систем	37
2.3. Каталізатори цифрової трансформації в енергетиці	45
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ ТА МІСЦЕВОМУ РІВНЯХ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ	51
3.1. Аналіз передового міжнародного досвіду впровадження цифрових бізнес-моделей та технологічних рішень в енергетиці	51
3.2. Практичні кейси цифровізації енергосистеми на національному та локальному рівнях: досвід Данії та Греції	57

3.3. Проектне рішення щодо впровадження цифрової системи оптимізації електроспоживання насосних станцій КП «Луцькводоканал» на основі міжнародного досвіду EPAL (Португалія)	63
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	75
ДОДАТКИ	82

## ВСТУП

*Обґрунтування актуальності вибору теми роботи.* У світі, де енергоспоживання невідомо зростає, а запаси традиційних ресурсів вичерпуються, питання енергетичної стійкості набуває критичної важливості. Енергетичний сектор є фундаментальною опорою не лише для економічного розвитку, але й для забезпечення життєдіяльності сучасної цивілізації. Цифрова трансформація енергетики, що охоплює весь ланцюг від генерації до споживання, є критичним інструментом підвищення стійкості системи, інтеграції відновлюваних джерел енергії та забезпечення національної безпеки України в умовах воєнної агресії. Попри глобальний фокус на технологіях Smart Grid та кібербезпеці, існує нагальна потреба у комплексному аналізі цифровізації саме в контексті війни та децентралізації, що створює нові можливості для муніципального енергоменеджменту. Успішна реалізація цього процесу вимагає тісної співпраці з ЄС, гармонізації з Європейським зеленим курсом та модернізації регуляторної політики, яка має балансувати між стимулюванням інновацій та гарантуванням безпеки й прозорості для споживачів.

*Стан вивченості проблеми.* Проблематика цифрової трансформації енергетики є міждисциплінарною. Фундаментальні засади Smart Grid та Індустрії 4.0 розкрито у працях закордонних вчених (Масуд Амін, Дж. Ріфкін, П. Сіано) та аналітичних звітах міжнародних організацій (МЕА, Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA), Європейська мережа операторів систем передачі електроенергії (ENTSO-E). Технічні аспекти модернізації та інтелектуалізації об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України ґрунтовно досліджували провідні вітчизняні науковці: О.В. Кириленко, Б.С. Стогній, С.П. Денисюк, А.В. Праховник.

Водночас, більшість існуючих досліджень стосуються мирного часу або суто технічних питань. Недостатньо вивченими залишаються механізми цифровізації на рівні громад і комунальних підприємств в умовах воєнного

стану, а також питання адаптації європейської моделі Data Hubs до українських безпекових реалій.

*Метою роботи* є комплексний аналіз ролі цифровізації у зміцненні енергетичної безпеки України в умовах воєнної агресії та децентралізації та його значення для публічного управління та адміністрування.

*Завданнями* даного дослідження є:

- ~ проаналізувати сучасні підходи до цифровізації в енергетичній сфері України та ЄС;
- ~ оцінити вплив цифрових технологій на забезпечення енергетичної безпеки для України;
- ~ виявити виклики та можливості цифрової трансформації енергетики в умовах війни;
- ~ запропонувати практичні рекомендації для державної політики, в цій сфері та можливі переваги в т.ч. органам місцевого самоврядування.

*Об'єктом дослідження* є процес забезпечення енергетичної безпеки України.

*Предмет дослідження* – роль цифровізації як ключового інструменту публічного управління в контексті гарантування інформаційної та енергетичної безпеки в умовах воєнного стану та децентралізації.

*Практична цінність роботи* полягає у наданні розгорнутого аналізу поточної ситуації в енергетиці та формулюванні цільових рекомендацій для органів державної влади, місцевого самоврядування та учасників ринку, які спрямовані на зміцнення енергетичної стійкості в умовах нестабільності. Особливої ваги ці результати набувають в умовах актуальної дискусії щодо передачі повноважень у сфері тарифоутворення на житлово-комунальні послуги органам місцевого самоврядування.

*Наукова новизна* одержаних результатів полягає у розробці теоретико-методичних засад та практичних механізмів цифровізації енергетичного сектору в умовах кризових явищ. У роботі обґрунтовано концептуальну модель використання цифрових платформ, аналітики та установок зберігання енергії

(BESS) як складових сучасного енергетичного менеджменту в муніципальному секторі, підхід до інтеграції цифрових технологій у практику управління комунальними підприємствами з позицій публічних інновацій та механізм адаптації міжнародного досвіду оптимізації енергоспоживання до українських реалій.

*Методи дослідження:* Для розв'язання поставлених завдань у роботі використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів:

- ~ аналіз і синтез – для вивчення теорії публічного управління;
- ~ порівняльний метод – для співставлення досвіду цифровізації в Україні, ЄС та США;
- ~ статистичний метод – для аналізу даних енергоспоживання та втрат у мережах;
- ~ системний підхід – для розгляду енергетичної безпеки як комплексної системи.

*Інформаційно-аналітичне забезпечення роботи* склали законодавчі та нормативно-правові акти України (Закони України «Про ринок електричної енергії», «Про енергоефективність»), директиви та регламенти Європейського Союзу, офіційні звіти та аналітичні матеріали міжнародних організацій (IEA, IRENA), статистичні дані Державної служби статистики України та оператора системи розподілу, звіти НКРЕКП, публікації вітчизняних та зарубіжних науковців. Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було використано інструменти штучного інтелекту для редагування та форматування тексту та генерації контенту виключно як допоміжний засіб для пошуку ідей, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі, а отримані результати від генеративного ШІ були перевірені на достовірність та відповідність академічній доброчесності.

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

### УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ РЕСУРСАМИ

#### **1.1. Сутність цифрових технологій у сфері енергетики та роль цифрових рішень у сучасній енергетиці**

«Цифровізація – це процес перетворення аналогової інформації чи процесів на цифровий формат, що забезпечує їх представлення та обробку за допомогою цифрових технологій. Це важливий стрімкий процес, що охоплює різні сфери життя, такі як бізнес, освіта, охорона здоров'я та багато інших. Цифровізація дозволяє покращити ефективність, зручність та доступність багатьох послуг і продуктів, сприяє інноваціям та розвитку суспільства в цілому. Цифровізація є глибоким процесом трансформації, який передбачає переведення різноманітної інформації, включаючи текст, звуки, зображення та відео, у цифровий формат. Цифровізація відіграє ключову роль у сучасному світі, забезпечуючи підвищення продуктивності, оптимізацію процесів та сприяє інноваціям. Застосування цифрових технологій у бізнесі дозволяє автоматизувати задачі, вдосконалювати виробництво, розробляти нові продукти та послуги, а також поліпшує взаємодію з клієнтами» [1].

Ключовим механізмом сучасного економічного зростання виступає цифровізація, яка має на меті досягнення цифрової трансформації існуючих секторів та формування нових галузей економіки, а також модернізацію всіх сфер життєдіяльності. Пріоритетність цього напряму підтверджується інтеграцією цифрових ініціатив у національні, регіональні та галузеві стратегії розвитку.

«Цифровізація (від англ. digitalization) визначається як впровадження цифрових технологій у всі сфери життя, від взаємодії між людьми до промислового виробництва та побутових систем. Вона передбачає перехід від

біологічних та фізичних систем до кібербіологічних та кіберфізичних, а також перехід діяльності з реального світу у віртуальний» [2].

Енциклопедія інформаційних наук і технологій визначає цифровізацію як «інтеграцію цифрових технологій у повсякденне життя суспільства шляхом оцифровки всього, що можна оцифрувати»[3]. Це включає комп'ютеризацію систем та робочих місць для підвищення легкості та доступності процесів.

Таким чином, цифровізація є ширшою категорією, що охоплює інструменти та методи, тоді як цифрова трансформація є результатом, завдяки якому компанії використовують ці технології для досягнення нового рівня ефективності виробництва та взаємодії.

Цифровізація виступає фундаментом цифрової економіки та важливим елементом сталого розвитку. Вона забезпечує:

- ~ пряме підвищення продуктивності компаній;
- ~ непрямі переваги, такі як економія часу, створення нового попиту на товари та послуги, підвищення якості й цінності продуктів;
- ~ сприяння досягненню стратегічної цілі України щодо збільшення ВВП у 8 разів до 1 трлн доларів США до 2030 року та підвищення рівня життя громадян [3].

Технології цифровізації, такі як Інтернет речей (IoT), хмарні обчислення, електронна ідентифікація (eID) та штучний інтелект (AI), здатні підтримати досягнення Глобальних цілей сталого розвитку ООН до 2030 року.

«У вузькому сенсі цифровізація – це перетворення інформації в цифрову форму, що забезпечує економію ресурсів та відкриває нові можливості. У широкому сенсі цифровізація охоплює всі аспекти економічного та соціального життя, перетворюючись у драйвер світового розвитку, підвищуючи ефективність економіки та рівень життя населення. Ефективна цифрова трансформація повинна охоплювати виробництво, бізнес, науку, соціальну сферу та повсякденне життя громадян, забезпечувати доступність результатів та їх використання не лише фахівцями, але й пересічними громадянами» [4].

В енергетичному секторі цифрові технології є комплексом сучасних інструментів, платформ і методів, що базуються на аналізі, передачі, моделюванні та обробці цифрових даних. Їхня головна мета це оптимізувати управління всім енергетичним ланцюжком: від видобутку та генерації до кінцевого споживання, включаючи розподіл і зберігання. Сутність цієї трансформації полягає у перетворенні традиційної енергетики на інтелектуальну систему (smart energy system), яка характеризуватиметься гнучкістю, децентралізацією, інтеграцією ВДЕ, а також самоконтролем і здатністю до навчання. Це закладає основу для сталого розвитку, кліматичної нейтральності та зміцнення енергетичної безпеки, відповідаючи на сучасні виклики енергетичного переходу (energy transition).

Цифровізація стала трансформаційною силою в енергетичному секторі, почала реформувати усталені практики та традиційні підходи, прокладаючи більш гнучкий та надійний шлях до підвищення оперативної ефективності та сталість. Завдяки таким простим технологіям, як розумні лічильники, цифровізація спричиняє докорінну зміну підходів до управління енергією, проте ці інструменти залишаються лише засобом, а не кінцевою метою. Модернізація енергосистем через цифровізацію відкриває нові перспективи для ефективної координації виробництва, розподілу та споживання енергії.

Згідно з оцінками Міжнародного енергетичного агентства, (МЕА, 2023), цифрові технології є ключовим чинником для низки стратегічних цілей: вони сприяють підвищенню енергоефективності, скороченню викидів CO<sub>2</sub>, зміцненню надійності енергопостачання та забезпеченню гнучкості системи у відповідь на коливання попиту та пропозиції. Наукова спільнота підкреслює, що успіх цифрової трансформації енергетики безпосередньо залежить від комплексного розвитку інтелектуальних мереж (smart grids), цифрових платформ, інструментів штучного інтелекту та надійних систем кіберзахисту. Це вимагає узгоджених рішень на науковому, правовому та управлінському рівнях.

В управлінському контексті цифровізація закладає основу для зростання прозорості енергетичних процесів, сприяє рівному доступу до ресурсів та залученню споживачів до ринкових механізмів. Це, у свою чергу, відкриває можливості для ширшої участі стейкхолдерів у процесах прийняття рішень, гарантуючи врахування інтересів усіх соціальних груп, особливо вразливих.

Розгляд цифрової трансформації крізь призму управління є вирішальним для ефективної навігації на дедалі більш динамічному та децентралізованому енергоринку. Проактивний управлінський підхід дозволяє державним органам та операторам максимально використовувати потенціал цифрових інструментів для покращення моніторингу, прогнозування та прийняття рішень, забезпечуючи ефективність та соціальну інклюзивність енергетичного переходу. Цей підхід забезпечує необхідну адаптивність для реагування на нові виклики, серед яких (згідно з UNECE, 2024): захист персональних даних, подолання цифрового розриву, стандартизація технологій, збалансування інновацій із регуляторними вимогами, підвищення цифрової грамотності, розвиток нових компетенцій, мінімізація екологічних ризиків цифрової інфраструктури та посилення кібербезпеки [5].

Починаючи з другої половини 2022 року, світ пережив безпрецедентне прискорення цифрового розвитку, особливо завдяки появі та стрімкому прогресу інструментів штучного інтелекту (ШІ), що базуються на великих мовних моделях (LLM). Ці інновації кардинально розширили можливості інтерактивної взаємодії, обробки даних та обміну інформацією. Енергетичний сектор активно долучається до цих змін. Хоча такі технології, як машинне навчання та комп'ютерний зір, вже використовувалися для цифрових двійників, прогнозування виробництва/споживання та планування мереж, нові досягнення у сфері обробки даних, смарт-лічильників, Інтернету речей (IoT) та інструментів на основі ШІ відкрили шлях до нового покоління цифрових рішень для широкого кола учасників енергетичної галузі.

Водночас із очевидними перевагами, технологічна динаміка несе й потенційні ризики, серед яких питання кібербезпеки, конфіденційності та

суверенітету даних. З метою мінімізації цих загроз і створення збалансованого простору для бізнесу та інновацій, Європейський Союз взяв на себе лідерство у формуванні регуляторної бази цифрової епохи. Ця політика спрямована на захист прав компаній і громадян, а також на забезпечення безпечної та етичної інтеграції цифрових рішень в економіку [6].

Цифрові технології відіграють дедалі значнішу роль у трансформації енергетичної сфери. Вони забезпечують раціоналізацію використання ресурсів, оптимізацію управління постачанням і споживанням, а також мінімізацію операційних витрат. Впровадження цифрових інструментів у єдину енергетичну мережу є ключовим для ефективної координації децентралізованих джерел відновлюваної енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції. Таким чином, цифровізація перетворилася на стратегічний чинник розвитку енергетики, що визначає конкурентоспроможність компаній та їхню здатність до адаптації в умовах глобалізації та посиленних вимог до сталого розвитку.

Спектр цифрових продуктів та послуг в енергетичній галузі не обмежується лише електромережею, а охоплює ключові ланки попиту та пропозиції. Систематизований перелік цих рішень був сформований на основі глибокого аналізу звітів Міжнародного енергетичного агентства (IEA), Об'єднаного дослідницького центру ЄС (JRC), а також результатів низки провідних європейських дослідницьких проєктів, зокрема EDDIE, OneNet, DRIMPAC, DELTA, Dr. BoB, EUniversal, InterConnect, Smart4RES, InteGrid та InterStore.

Роль цифрових рішень в енергетиці полягає у підвищенні загальної ефективності на всіх етапах – від виробництва до споживання. Це досягається шляхом автоматизації, скорочення експлуатаційних витрат, оптимізації балансу між попитом і пропозицією та сприяння інтеграції відновлюваних джерел енергії. Ключові інструменти, такі як моніторинг у реальному часі та прогностичне моделювання, підвищують надійність енергосистем. Вони також стимулюють нові гнучкі бізнес-моделі, наприклад, управління попитом (demand response) або пряму торгівлю енергією між споживачами (peer-to-peer), і підтримують активну участь громад у ринкових процесах. Отже, цифрові сервіси

є не просто технічною модернізацією, а фундаментом для побудови стійкої, прозорої та інклюзивної енергосистеми.

Поряд із розширенням цифровізації зростають і нові виклики, серед яких ключовою загрозою є ризик кібератак. Масове впровадження промислового Інтернету речей (IoT) робить енергетичну інфраструктуру особливо вразливою. Це вимагає від керівників інформаційної безпеки (CISO) переходу від суто технологічного фокусу до побудови комплексних систем кіберстійкості. На практиці це охоплює застосування аналітики та сенсорних технологій для балансування навантажень, прогнозування попиту (наприклад, на зарядку електромобілів) та інтеграції смарт-лічильників у єдину мережу. Оскільки енергетика є стратегічною ціллю для кіберзлочинців та геополітичних атак, критично необхідним є створення нових операційних центрів безпеки (SOC) із синхронізованим управлінням IT та OT.

Таким чином, цифрові продукти та сервіси, що активно впроваджуються в енергетичній сфері, закладають фундамент для нової енергетичної парадигми. Вони посилюють прозорість процесів, розширюють управлінські можливості та створюють умови для активнішого залучення споживачів до ринкових відносин. У довгостроковій перспективі ці інновації забезпечують не лише економічну вигоду, а й позитивні соціальні та екологічні ефекти, роблячи енергетичний сектор більш стійким, безпечним та інклюзивним.

## **1.2. Основні типи технологій: Big Data, IoT, SCADA, Smart Grid, штучний інтелект, блокчейн**

Big Data (великі дані) – це масиви енергетичних даних, які постійно генеруються з численних джерел (таких як інтелектуальні лічильники, датчики та кліматичні моделі) і які аналізуються для прогнозування споживання, виявлення аварій та оцінки втрат. Їхнє застосування включає прогнозування навантажень, оцінку ризиків та планування інвестицій.

Сучасний енергетичний сектор характеризується значним накопиченням даних із різноманітних каналів, включаючи смарт-лічильники, сенсорні системи, супутникові дані та моделі погоди. Ці «великі дані» є ключовими для прогностичного аналізу споживання, виявлення інцидентів, оцінки потенційних ризиків і стратегічного планування інвестицій [7]. До основних генераторів великих даних належать: польові вимірювання (через смарт-лічильники та сенсори), деталізовані погодні дані (радари, супутники), дані про розподілену генерацію та зарядку електромобілів, а також інформація від IoT-пристроїв користувачів. Крім того, ці дані охоплюють управління інфраструктурою, включаючи контроль міграції тварин, стану рослинності, пожежну безпеку та системи водо-/газопостачання [8].

Разом із тим, впровадження технологій великих даних у енергетиці стикається з низкою викликів. Зокрема, спостерігається дефіцит кваліфікованих фахівців для збору, обробки та аналізу даних, а також проблеми, пов'язані з управлінням даними, приватністю, конфіденційністю та безпекою інформації [7]. Ринок спеціалізованих продуктів та послуг для аналізу великих даних у комунальному секторі обмежений, а досвід підтримки домену електроенергетики є недостатнім. Це створює потребу у розробці нових бізнес-моделей, які б дозволяли отримувати економічну віддачу від інвестицій у цифрові технології та автоматизацію.

Серед технологічних рішень для обробки великих даних вирішальне значення мають Інтернет речей (IoT), межове обчислення (Edge Computing) та штучний інтелект (AI). IoT-пристрої забезпечують збір даних у реальному часі, підвищуючи точність управління ресурсами. Межове обчислення дозволяє обробляти дані локально, зменшуючи затримки та навантаження на центральні системи. У свою чергу, Штучний інтелект використовується для глибокої аналітики великих обсягів даних, виявлення аномалій та оптимізації роботи всієї енергосистеми [8; 9].

Інтернет речей (IoT) являє собою глобальну мережу фізичних об'єктів, які здатні обмінюватися даними та взаємодіяти між собою без прямої участі людини.

Цей термін був вперше запропонований Кевіном Ештоном у 1999 році. До пристроїв IoT можна віднести будь-який об'єкт, оснащений датчиками та унікальним ідентифікатором (UID). Головна мета цієї технології — створення автономних, самозвітуючих пристроїв, які можуть комунікувати в режимі реального часу як між собою, так і з користувачами, забезпечуючи автоматизацію, прогностичний аналіз та оптимізацію процесів [10].

Користувачі щодня стикаються з широким спектром IoT-пристроїв, які можна поділити на основні категорії: технології для розумного будинку, носимі пристрої, особисті медичні засоби та автономний транспорт. Розумні домашні системи (наприклад, термостати або охоронні комплекси) використовують бездротові мережі для самостійного керування (автоматичне регулювання клімату, надсилання сповіщень). Носимі технології (смарт-годинники, трекери) підключаються до смартфонів та Інтернету для обміну даними, включно з GPS-координатами. Медичні пристрої (наприклад, кардіостимулятори) дозволяють дистанційно контролювати життєві показники та вчасно діагностувати проблеми [10].

В енергетиці IoT слугує інтегруючим механізмом, що об'єднує виробництво, розподіл та кінцеве споживання в єдину, цілісну систему. Це забезпечує вищу ефективність управління попитом і загальне підвищення енергоефективності. Енергетична індустрія стикається зі зростанням навантажень (через IT, транспорт, побутову техніку). Технології IoT допомагають комунальним підприємствам підтримувати контроль над електромережами навіть під час кризових ситуацій (наприклад, стихійних лих), зміцнюючи надійність енергопостачання [11].

Ключового значення IoT набуває у сфері відновлюваної енергетики, яка характеризується непостійністю виробництва. IoT-інструменти дозволяють прогнозувати виробіток енергії, планувати технічне обслуговування та ефективно інтегрувати ВДЕ в загальну мережу. Розумні електролічильники є типовим прикладом такого впровадження: вони збирають деталізовані дані про споживання (зокрема, рівень напруги, фактичний струм та коефіцієнт

потужності), що дозволяє постачальникам значно точніше планувати навантаження та оптимізувати генерацію [10].

Розумні мережі (Smart Grids) – це інноваційно спроектовані електромережі, які використовують цифрові технології. Вбудовані датчики та контролери забезпечують швидку ідентифікацію несправностей, локалізацію проблем і автоматизоване відновлення постачання. Застосування IoT у Smart Grids дозволяє користувачам із сонячними панелями самостійно споживати вироблену енергію та продавати надлишки в мережу, що сприяє декарбонізації та підвищенню стійкості системи. Інтернет речей в енергетиці є каталізатором для підвищення надійності та ефективності мереж, інтеграції ВДЕ, оптимізації виробництва/споживання та сприяння сталому розвитку. Інтеграція IoT із цифровими платформами створює передумови для реалізації інтелектуальних мереж майбутнього та підвищує адаптивність енергосистем до змін навколишнього середовища та попиту [12].

«Системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – це промислові системи управління, основне призначення яких полягає у моніторингу та дистанційному керуванні виробничими процесами на підприємствах» [13]. SCADA поєднує апаратні компоненти із програмним забезпеченням, що дозволяє операторам контролювати, аналізувати та оптимізувати процеси у режимі реального часу. За допомогою цих систем можна автоматизовано управляти клапанами, насосами, двигунами, датчиками та іншими польовими пристроями, що сприяє підвищенню ефективності виробництва [14].

Основна цінність SCADA полягає у можливості збору, обробки та аналізу даних безпосередньо з виробничих об'єктів, що забезпечує повну прозорість процесів і дозволяє впроваджувати постійні операційні покращення. На основі даних, зібраних SCADA-системами, керівництво отримує детальну інформацію про продуктивність обладнання та ефективність операцій, що є підґрунтям для обґрунтованих управлінських рішень [13].

До впровадження SCADA, управління на виробництві вимагало значного штату персоналу для ручного контролю обладнання та запису показників за

допомогою аналогових приладів. SCADA-системи забезпечили централізоване управління з віддалених пунктів, дозволивши зменшити кількість співробітників на місці та переорієнтувати їхню роботу на критично важливі та аналітичні завдання .

Сучасна SCADA-системи забезпечують комплексний контроль над виробничими процесами, сприяючи підвищенню ефективності, безпеки та надійності промислових операцій. Їхня інтеграція з ІоТ відкриває нові можливості для глибокої автоматизації та прогнозової аналітики [15].

Розумна енергетична мережа, або Smart Grid, являє собою прогресивний підхід до розвитку енергетичних систем, який інтегрує традиційну електромережу з передовими цифровими технологіями. Це робиться для підвищення ефективності, надійності та гнучкості енергопостачання [16]. Головна мета Smart Grid це створення єдиної інтегрованої системи, що підтримує двонаправлений потік енергії та інформації між генераторами, кінцевими споживачами та накопичувачами. Ця можливість є вирішальною для забезпечення динамічного балансування попиту та пропозиції [17].

Розумні мережі мають здатність автоматично виявляти та локалізувати несправності, перенаправляючи потоки енергії в обхід пошкоджених ділянок. Це гарантує стабільне живлення критично важливих об'єктів. Крім того, двонаправлений обмін даними зі споживачами є основою для впровадження систем гнучкого управління попитом (Demand Response) та локальної торгівлі енергією (Peer-to-Peer), де користувачі можуть продавати надлишок виробленої енергії назад у мережу [16; 18].

Smart Grid також стимулює розвиток «розумних будинків» і «розумних підприємств», надаючи споживачам можливість керувати використанням енергії на основі аналітики, автоматизованих алгоритмів та прогнозів. Це призводить до підвищення енергоефективності, зниження операційних витрат та скорочення викидів вуглецю. Особливу увагу в Smart Grid приділяють точному прогнозуванню виробництва та споживання енергії, що є критично важливим в умовах переривчастого виробництва з відновлюваних джерел.

Впровадження Smart Grid робить енергетичні системи більш прозорими, адаптивними та інтегрованими. Це створює необхідні умови для розвитку цифрової енергетики, появи інноваційних бізнес-моделей та ефективної взаємодії всіх учасників енергетичного ринку. Розумні мережі стають фундаментальною основою для модернізації інфраструктури та переходу до стійкого, екологічного та технологічно передового енергоспоживання.

Штучний інтелект (ШІ) є наріжним каменем цифрової трансформації енергетичного сектору, відкриваючи можливості для істотного підвищення ефективності виробництва, розподілу та споживання енергії. Завдяки застосуванню моделей машинного навчання (ML) та глибинного навчання (DL), енергосистеми можуть розпізнавати складні закономірності у споживанні, виявляти аномалії, самонавчатися та приймати автономні рішення [19].

Моделі та методи штучного інтелекту в енергетиці[20; 21]:

1. Машинне навчання (ML) – класифікація навантаження, прогнозування попиту, оптимізація виробництва електроенергії.
2. Глибинне навчання (DL). Використовується для розпізнавання складних, нелінійних залежностей у великих масивах даних, зокрема, при прогнозуванні генерації з ВДЕ (сонячні чи вітрові електростанції).
3. Алгоритми оптимізації. До них належать евристичні підходи (наприклад, ройовий інтелект або генетичні алгоритми), що застосовуються для максимізації відстеження потужності (MPPT) у фотоелектричних системах
4. Прогнозна аналітика. Охоплює імовірнісне моделювання попиту, короткострокове прогнозування цін, оцінку генерації з ВДЕ та складання графіків профілактичного обслуговування.

Штучний інтелект трансформує ключові функціональні області енергетики:

1. Динамічне ціноутворення. ШІ обчислює тарифи в реальному часі, базуючись на поточному співвідношенні попиту та доступності відновлюваних джерел;
2. Оптимізація генерації. Забезпечує точне прогнозування виробітку ВДЕ та ефективне балансування навантаження в умовах мінливості генерації;

3. Автономна диспетчеризація. ШІ управляє розподілом електроенергії без прямої участі людини, що зменшує ризик помилок та прискорює реакцію на системні зміни;

4. Кіберзахист енергосистем. Шляхом аналізу великих обсягів даних у реальному часі ШІ виявляє та запобігає кібератакам на інфраструктуру Smart Grid [4];

5. Інтеграція з IoT. ШІ дозволяє інтелектуально керувати «розумними будинками», мікромережами та споживчими пристроями, враховуючи поведінкові патерни користувачів.

6. ШІ є вирішальним для ефективного використання ВДЕ. Він дає змогу прогнозувати сонячну та вітрову генерацію з урахуванням погодних умов, оптимізувати управління інверторами у фотоелектричних системах, а також підвищувати ефективність водневих та геотермальних систем через адаптивне прогностичне моделювання [22; 23].

У майбутньому ШІ стане невіддільною частиною цифрової енергетики, забезпечуючи розвиток гнучких енергоринків, інтеграцію P2P-торгівлі електроенергією та створення повністю автономних «розумних мереж», здатних до самовідновлення після системних збоїв.

Таким чином, штучний інтелект уже зараз є ключовим фактором у побудові нової енергетичної парадигми, де головними характеристиками є децентралізація, стійкість і клієнтоорієнтованість.

### **1.3. Взаємозв'язок між публічним управлінням та інфраструктурою енергетичного сектору**

У 2008 році Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) закликала до енергетичної революції, що вимагала радикальних дій з боку урядів на всіх рівнях: національному, місцевому та в рамках міжнародної співпраці. Ключем до успіху цієї революції МЕА вважало політичні інструменти, оскільки саме

уряди «мають ключ до зміни структури інвестицій в енергетику». Політика та нормативні рамки, які вони встановлюють, «визначають, чи спрямовуються рішення щодо інвестицій та споживання до низьковуглецевих варіантів» [24]. Сьогодні енергетичний сектор залишається одним із найбільш динамічних і стратегічно важливих сегментів економіки, що вимагає інтегрованого підходу до управління. Система енергетичного менеджменту формується на перетині трьох взаємопов'язаних механізмів: державного регулювання, ринкових інструментів та цифрової аналітики. Їхня ефективна взаємодія забезпечує не лише стабільність енергопостачання, але й створює підґрунтя для довгострокового сталого розвитку.

Державне регулювання є наріжним елементом управління енергетичною системою. Його мета це створення чітких нормативно-правових умов, які визначають «правила гри» для всіх учасників ринку. Згідно з Міжнародним енергетичним агентством, «ефективна державна політика є основним фактором розвитку відновлюваної енергетики, забезпечення енергетичної безпеки та залучення інвестицій у галузь» [24]. Регуляторні органи виконують функції контролю тарифоутворення, стимулювання інвестицій у відновлювані джерела, захисту прав споживачів та формування механізмів енергетичної безпеки в умовах геополітичної нестабільності.

Крім того, дедалі більшої ваги набуває впровадження принципів «зеленої політики». Зокрема, Європейська комісія у програмі Fit for 55 наголошує: «регуляторні механізми мають сприяти скороченню викидів парникових газів щонайменше на 55% до 2030 року» [25]. Це свідчить про те, що державне регулювання трансформується з суто адміністративного в стратегічний інструмент глобального енергетичного переходу. Основними напрямками державного регулювання є:

- ~ ліцензування та сертифікація учасників ринку, що гарантує дотримання технічних і безпекових стандартів;
- ~ тарифне регулювання, спрямоване на збалансування інтересів виробників, постачальників і споживачів;

~ розвиток нормативно-правової бази, яка визначає правила функціонування ринку, інтеграцію з європейськими енергетичними нормами та перехід до низьковуглецевої економіки;

~ стимулююче регулювання, зокрема підтримка відновлюваної енергетики (feed-in tariffs, аукціони, квоти).

У такий спосіб, держава розробляє і формує стратегічні рамки, в яких здійснюється діяльність усіх учасників ринку [24].

Паралельно з державним регулюванням функціонує система ринкових інструментів, яка забезпечує гнучке ціноутворення та стимулює ефективніше використання ресурсів. До основних із них належать:

1. Біржова торгівля електроенергією. Сприяє прозорому та відкритому формуванню ринкової ціни.

2. Механізми балансуючого ринку. Дозволяють оперативно реагувати на невідповідність між обсягами генерації та споживання.

3. Сертифікати походження «зеленої» енергії: Надають економічні стимули для подальшого розвитку відновлюваних джерел.

4. Контракти на різницю. Фінансові інструменти, що використовуються для зниження інвестиційних ризиків для виробників та інвесторів.

Ринкові інструменти є другим важливим елементом управління, що створює економічну мотивацію для підвищення ефективності. Їхнє впровадження сприяє розвитку конкурентного середовища та прозорості ціноутворення. Як зазначає Ноган (2020), «конкурентні енергетичні ринки здатні краще відображати реальні витрати генерації та створюють стимули для інновацій» [26]. Ключові механізми (біржова торгівля, балансуючі ринки, аукціони та «зелені» сертифікати) дозволяють інвесторам планувати довгострокові проекти, а споживачам отримувати переваги від конкуренції [27]. Однак, повна ефективність цих інструментів можлива лише за умови стійкості інституційного середовища та високої довіри до регуляторних рішень. Згідно з Stoft (2022), «слабкість регуляторних інститутів і відсутність довіри до ринку можуть звести нанівець ефективність навіть найкраще спроектованої моделі» [28]. У підсумку, такі

інструменти забезпечують необхідні умови для зростання конкуренції та залучення майбутніх інвестицій у галузь.

Цифровізація відкриває новий вимір в управлінні енергетикою, дозволяючи перейти від реактивної до проактивної моделі прийняття рішень.

Крім того, цифровізація створює нові можливості для тісної взаємодії між державним регулюванням та ринковими механізмами. Наприклад, цифрові платформи використовуються для контролю дотримання екологічних стандартів, моделювання різних тарифних сценаріїв, прогнозування наслідків політичних рішень та контролю добросовісності учасників ринку [24]. Як стверджує Sioshansi (2020), «цифровізація не лише оптимізує технічні процеси, але й надає урядам та ринковим учасникам інструменти для ухвалення більш обґрунтованих рішень» [29].

Таким чином, державне регулювання, ринкові інструменти та цифрова аналітика утворюють триєдину систему управління, де кожен елемент ефективно доповнює інший. Державне регулювання встановлює нормативні межі, ринкові інструменти забезпечують економічну мотивацію та інвестиційну привабливість, тоді як цифрова аналітика надає необхідну гнучкість, оперативність та прозорість. Їхня синергічна взаємодія є ключовим чинником розвитку сучасних енергетичних систем, дозволяючи досягти не лише операційної ефективності, а й довгострокової стійкості та екологічної збалансованості.

Сучасна модель управління енергетикою базується на інтегрованому поєднанні державного регулювання, ринкових механізмів та цифрової аналітики. Саме ця взаємодія створює умови для формування конкурентного, прозорого та інноваційного енергетичного ринку, який може ефективно реагувати на глобальні виклики, такі як декарбонізація, інтеграція ВДЕ та підвищення енергетичної безпеки. Водночас, ринкові механізми відіграють вирішальну роль у модернізації інфраструктури. Як зазначали Jamasb, T. і Pollitt, «лібералізація енергетичних ринків у ЄС стала каталізатором інвестицій у модернізацію електромереж та створення внутрішнього ринку електроенергії». [27; 30]. Проте

без ефективного регулятора така лібералізація може призвести до монополізації або зловживань з боку окремих гравців. Саме тому державне управління та незалежний регулятор мають балансувати між інтересами інвесторів та захистом споживачів.

Взаємозв'язок між публічним управлінням та інфраструктурою енергетичного сектору має системний характер і простежується на всіх етапах життєвого циклу інфраструктури: від стратегічного планування та дозвільних процедур до тарифного регулювання, експлуатації, модернізації та виведення з експлуатації. У найбільш загальному вигляді публічне управління виконує чотири ключові функції [24]:

- ~ формування правил – створення нормативної бази (закони, кодекси мереж, технічні стандарти, вимоги екології та безпеки);
- ~ забезпечення інвестицій – надсилання довгострокових інвестиційних сигналів (тарифна політика, аукціони, RAB-регулювання, державно-приватні партнерства);
- ~ координація акторів – оркестрація та координація всіх учасників (оператори систем, виробники, агрегатори, споживачі/просьюмери, регулятор, місцева влада);
- ~ управління стійкістю та ризиками – забезпечення операційної готовності, кібер- і фізичної безпеки, резервів потужності та реакції на кризи (включаючи «справедливий перехід»).

Тарифна та інвестиційна політика держави безпосередньо матеріалізується у фізичній конфігурації енергетичних мереж. RAB-регулювання (Регуляторна база активів) визначає профіль окупності CAPEX, що, у свою чергу, впливає на темпи оновлення ліній, підстанцій, релейного захисту та систем автоматики. Параметри WACC (Середньозважена вартість капіталу) та регуляторна база активів вирішують, чи будуть інвестиції спрямовані на інтелектуальні мережеві технології (AMI – просунута інфраструктура обліку, FLISR – автоматична локалізація та відновлення, Volt/VAR, синхрофазори) та накопичувачі енергії, чи ці проєкти будуть відкладені. Аукціони на ВДЕ та контракти на різницю (CfD)

задають географічні пріоритети для підключень, створюючи потребу в підсиленні мереж (визначення місць прокладання ВЛ/КЛ та появи вузлів обмежень), а також у гнучкості (акумуляторні системи зберігання енергії (ESS), управління попитом (DR), кероване навантаження). Умови приєднання (вимоги, терміни, плата, черговість) надсилають сигнал розробникам, що формує «тінь» майбутнього мережевого розвитку.

Цифрове врядування в енергетиці стало центральним вузлом взаємодії публічної політики та фізичної інфраструктури. Державні вимоги до data governance (стандарти обміну даними, моделі CIM, відкриті API, енергетичні дата-спейси), кібербезпеки критичної інфраструктури (risk-based compliance, режими, подібні до NIS, SOC/CSIRT, обов'язкове звітування про інциденти, сегментація IT/OT) та захисту персональних даних (смарт-облік, профілі споживання) визначають, які саме інвестиції в цифрові платформи здійснюють оператори (ОСП/ОСР) та постачальники. Регулятор, запроваджуючи смарт-метринг та АМІ-архітектури, фактично модернізує мережу: з'являються масові канали телеметрії, можливість застосування динамічних тарифів, гнучке підключення розподіленої генерації, локальні гнучкості та P2P-угоди через операторів ринкових даних. Коли публічна політика вимагає планування «мереж, готових до ВДЕ/EV/теплових насосів», це означає конкретні інвестиції в системи ADMS (просунуте управління розподілом), прогнозування на основі ШІ, розумні підстанції (РП/ПС), керування напругою, мікромережі та інтерфейси для агрегаторів [29].

Керування системними ризиками та стійкістю (resilience) – це зона, де держава безпосередньо втручається в технічну площину енергетичної інфраструктури. Усі ці вимоги відображаються в інженерних рішеннях. Це також охоплює кризове управління: процедури планових/аварійних відключень (графіків), пріоритетизацію живлення критично важливих споживачів, мобілізацію аварійних бригад та координацію з цивільним захистом. Для цифровізованих мереж додається вимір кіберстійкості, що вимагає регуляторних

вимог до: запису у журнали, відокремлення доменів IT/OT, багатофакторного доступу та відпрацювання сценарних навчань (table-top, red-teaming).

Фінансово-ринкові механізми держави (зелені облігації, державні гарантії, фонди декарбонізації, податкові стимули, вуглецеве ціноутворення/ETS, схеми підтримки через зворотний аукціон, контракти на різницю для низьковуглецевої генерації та зберігання) визначають вартісні ланцюжки енергетичної інфраструктури. Через дизайн підтримки розподіленої генерації/ВДЕ (DER/ВДЕ) держава непрямо впливає на конфігурацію низових мереж (низька/середня напруга). Водночас, підтримка інтерконекторів та накопичувачів формує топологію магістральних мереж. Швидкість і масштаб розгортання інфраструктури залежать від збалансованого розподілу ризиків між публічним і приватним секторами (наприклад через концесії, або регуляторні «запобіжні клапани»).

Мультирівневе врядування (наднаціональний, національний, регіональний та муніципальний рівні) вимагає інституційної узгодженості: енергетичні стратегії та кліматичні цілі повинні бути трансльовані у національні плани розвитку системи (документи, подібні до TYNDP/GRIP). Ці плани мають синхронізуватися з регіональним просторовим плануванням та місцевими програмами декарбонізації (ЦНАП-процедури приєднання, міські енергетичні плани, теплові схеми). Без такої «вертикальної інтеграції» виникають хронічні вузькі місця: мережа не встигає за ВДЕ, зарядна інфраструктура – за електромобільністю, теплові мережі – за тепловими насосами, а газова/воднева інфраструктура – за міжсекторним поєднанням (power-to-X) [31].

Невід’ємною складовою зв’язку «управління – інфраструктура» є суспільний договір та концепція «справедливого переходу». Тарифна політика, адресна соціальна підтримка (субсидії, норми споживання), захист вразливих споживачів, залучення громад до проєктів (community energy, локальна ко-власність) та прозоре розкриття даних (для демонстрації вигоди від DR/ефективності) – це не другорядні елементи, а механізм підтримки соціальної

легітимності інфраструктурних змін. Без цієї легітимності навіть технічно та фінансово досконалі рішення не зможуть бути успішно реалізовані.

Підсумовуючи, публічне управління не просто «супроводжує» інфраструктуру енергетики, а визначає траєкторію її розвитку через інтеграцію правових норм, економічних стимулів і цифрових правил взаємодії. Чим послідовніша політика (стабільність цілей, прозорість процедур, технологічна нейтральність, цільова селективність), тим більше інфраструктура набуває рис гнучкості, стійкості та керованості даними. І навпаки, регуляторна нестабільність, фрагментація повноважень та недооцінка цифрових аспектів неминуче ведуть до інвестиційних провалів, неузгодженості мереж і зростання системних ризиків. Саме тому просунуті енергосистеми здійснюють перехід від «залізо-центричного» підходу до керованого даними інфраструктурного планування, де держава є архітектором правил, ринок механізмом відбору найефективніших рішень, а цифрова аналітика операційним мозком, що змикає план із реальністю в режимі реального часу.

Енергетичний сектор є стратегічно важливою сферою, що визначає соціально-економічний розвиток будь-якої держави. Його інфраструктура являє собою складну систему виробництва, розподілу та споживання, ефективність функціонування якої безпосередньо залежить від публічного управління та здатності держави підтримувати баланс між ринковими механізмами і суспільними інтересами. Як підкреслював Д. Норт, «інституції визначають правила гри у суспільстві, формуючи структуру стимулів у людській взаємодії» [32]. У контексті енергетики це означає, що інституційні рамки та механізми державної політики є ключовими факторами, що задають напрямок розвитку інфраструктури.

## РОЗДІЛ 2

### СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ

#### **2.1. Інституційно-правове забезпечення цифровізації енергетичного сектору та взаємозв'язок Національного плану дій з енергоефективності з Стратегією цифрового розвитку інноваційної діяльності України**

На думку В.С Хомина: «інституційне забезпечення означає створення належних інституцій (органів, організацій, підприємств, установ тощо), які за допомогою набору своїх повноважень, прав та обов'язків, впливають визначеним чином на суспільні відносини. Інституційне забезпечення може диференціюватися на організаційне, інформаційне та правове. У рамках юридичного дослідження нас найбільше цікавить саме інституційно-правове забезпечення, яке полягає в діяльності інституцій, втіленій у прийнятті ними нормативно-правових актів у рамках своїх повноважень» [33].

Регулювання енергетичного сектору України базується на ключових законодавчих актах. Закон України «Про ринок електричної енергії» започаткував перехід від адміністративно-регульованої моделі до конкурентного ринку [34]. Він заклав основи для конкуренції виробників, створив інститут незалежного регулятора та впровадив нові механізми балансування попиту і пропозиції. Водночас, Закон «Про енергоефективність» [35] націлений на стимулювання модернізації підприємств, системне зниження енергоємності економіки та гармонізацію з відповідними європейськими стандартами.

Розбудова сучасної нормативно-правової рамки енергетичного сектору України тримається на трьох взаємопов'язаних опорах: ринковому дизайні електроенергетики, політиці енергоефективності та цифровій трансформації державного управління й інфраструктури. Закон «Про ринок електричної енергії» [34] закріплює лібералізовану архітектуру (сегменти РДН/ВДР,

балансуючий ринок, ринок допоміжних послуг), нормує ролі Оператора системи передачі та Операторів систем розподілу, посилює незалежність регулятора та створює правову базу для недискримінаційного доступу до мереж і інтеграції ВДЕ. У практичній площині це означає відмову від адміністративного ціноутворення на користь конкурентних цінових сигналів, розвиток гнучкості та фінансової відповідальності учасників за небаланси. У цій логіці дані та цифрові сервіси стають невід'ємною ринковою інфраструктурою – від автоматизованого обліку та телеметрії до платформ трейдингу, прогнозування небалансів та аналітики маніпуляцій. Таким чином, цифровізація є технічною передумовою дієздатності реформи (наприклад, точність комерційного обліку, 15-хвилинна розрахункова періодизація, автоматизовані розрахунки небалансів, публічні дашборди прозорості) [34; 36].

Закон «Про енергоефективність» формує другу опору – трансформацію попиту. Документ гармонізує підходи з правом ЄС, інституціоналізує енергоменеджмент та енергоаудити, стимулює ЕСКО-контракти, сертифікацію будівель та встановлює траєкторію зниження енергоємності економіки [35]. З технологічної точки зору закон тісно пов'язаний із цифровою логікою: якісний аудит і верифікація економії вимагають даних високої частоти та якості; агрегування проєктів потребує стандартизованих цифрових вимог; таргетовані інтервенції (наприклад, у бюджетному секторі) залежать від даних реального часу про споживання. Цифрові інструменти (смарт-облік, IoT, аналітика аномалій, цифрові близнюки будівель) перетворюють норми закону на керовані КРІ (питомі втрати, коефіцієнт завантаження, питома інтенсивність) [35; 36]. Крім того, закон інтегрується у фінансовий ланцюжок (банківські продукти, «зелені» облігації, ЕСКО-контракти) через вимоги до даних вимірної економії, що зменшує ризики інформаційної асиметрії.

У межах Цифрової стратегії України до 2030 року підкреслюється критична необхідність цифрової трансформації енергетики для інтеграції в європейський енергетичний простір. Цифрові технології формують нову архітектуру сектору, де управлінські рішення приймаються на основі великих даних та прогнозної

аналітики. Стратегія забезпечує горизонтальну інтеграцію даних, інтероперабельність і кіберстійкість, без чого ринкові механізми та політика енергоефективності не зможуть масштабуватися [36]. Стратегія встановлює принципи для створення цифрових державних сервісів, відкритих даних та національних дата-платформ. Для енергоринку це означає:

1. Перехід до енергетичного «data space» з уніфікованими стандартами обміну між усіма учасниками (ТСО, ДСО, постачальники, агрегатори);
2. Правову та технічну модель консенсусного доступу споживачів і третіх сторін до своїх даних, із гарантіями кібербезпеки та захисту приватності;
3. Впровадження цифрових сервісів державного нагляду (регуляторний моніторинг REMIT-подібного рівня, виявлення маніпулювання, прозорість ціноутворення).

Ефективне інституційне забезпечення вимагає балансу між державним регулюванням (захист споживачів, стандарти безпеки, стратегічні цілі) та ринковими механізмами (цінові сигнали, конкуренція, інвестиційні стимули). Хомич слушно зазначає: «державна має зосереджуватися на створенні сприятливих рамкових умов, тоді як ринок забезпечує гнучкість і динаміку». Системний ефект від взаємодії трьох законодавчих актів виявляється у побудові «трикутника керованості»:

1. Ринкові стимули. Забезпечують відображення дефіцитів/надлишків у реальному часі (ліквідні сегменти торгівлі, небаланси, допоміжні послуги) [34].
2. Структурне зниження попиту. Досягається через енергоефективність і модернізацію фонду (програми EMS, енергоаудит, ЕСКО-контракти) [35].
3. Цифрова інфраструктура. Надає можливості для вимірювання, верифікації та автоматизації рішень (смарт-облік, дата-хаби, AI/ML-аналітика, цифрові близнюки) [36].

У площині практичної імплементації залишаються критичні «вузькі місця»:

1. Модель даних. Потребує остаточного дозрівання питання про централізований чи федеративний енергетичний DataHub, стандартизацію форматів і ролей (зокрема, незалежних агрегаторів гнучкості та їх

взаєморозрахунків), а також режим доступу для нових учасників (фінтех, провайдери енергоаналітики).

2. Масовий смарт-облік. Має бути економічно обґрунтований і цільовий (пріоритетні групи споживачів/локацій, де суспільна вигода максимальна), із чіткою моделлю розподілу капітальних і операційних витрат між ДСО, постачальником та кінцевим споживачем.

3. Динамічне ціноутворення. Вимагають нормативного розмежування прав і відповідальності споживача, включаючи право на відкликання згоди щодо обробки даних і прозорість алгоритмів розсилання сигналів/винагород.

4. Окремої уваги заслуговує узгодженість державних інструментів. Цінові обмеження, спеціальні обов'язки (PSO) або надзвичайні регуляторні інтервенції (воєнний стан) можуть спотворювати ринкові сигнали та змушувати інвесторів відкладати CAPEX. Тому цифрова аналітика державного рівня (публічні панелі даних, stress-tests системи, прозорі методики розрахунку тарифів/компенсацій) стає не лише інструментом звітності, а й механізмом відновлення довіри та прогнозованості правил гри. Зі свого боку, політика енергоефективності повинна операційно «бачити» реальний попит і прогрес: без доступу до агрегованих, знеособлених даних від ДСО/постачальників неможливо коректно калібрувати стимули, таргетувати субсидії та оцінювати мультиплікатори державних програм.

5. Нарешті, синергія трьох регуляторних рамок відкриває простір для нових ролей і бізнес-моделей. Незалежні агрегатори гнучкості; енергетичні спільноти та prosumer-економіка; P2P-торгівля на основі перевірених даних обліку; «енергофінанс» (pay-for-performance, «розумні» тарифи/страхування ризиків) - за умови, що цифрова стратегія забезпечить стандартизований, безпечний та інклюзивний доступ до даних, а ринкові правила коректні стимули й відповідальність.

У підсумку:

~ Закон «Про ринок електричної енергії» визначає, «що» і «як» торгується;

~ Закон «Про енергоефективність» – «навіщо» та «як менше споживати» при тій самій корисності;

~ Цифрова стратегія – «чим саме» це вимірювати, автоматизувати та масштабувати.

Разом вони формують основу для керованого, цифрово підсиленого й декарбонізованого енергетичного переходу.

Частка енергетичного сектору у Валовому внутрішньому продукті (ВВП) України, за оцінками останніх років (2023-2025 рр.), становить приблизно від 4 до 6% (останній рік). Сюди входять діяльність з видобування паливно-енергетичних ресурсів (нафта, газ, вугілля), а також виробництво, передача та розподілення електроенергії, газу та пари.

Таблиця 2.1 – Частка енергетичного сектору у Валовому внутрішньому продукті (ВВП) України за період 2023–2025 рр .

	Дата	Постачання електроенергії, газу, пари, повітря		
		Всього по галузях		
		ВДВ, грн	ВДВ, грн	% частка
2023	1 кв. 2023	1 388 161 000 000	76 899 000 000	5,5%
	2 кв. 2023	1 483 162 000 000	69 586 000 000	4,7%
	3 кв. 2023	1 807 595 000 000	75 551 000 000	4,2%
	4 кв. 2023	1 949 043 000 000	86 900 000 000	4,5%
2024	1 кв. 2024	1 629 400 000 000	85 761 000 000	5,3%
	2 кв. 2024	1 742 535 000 000	74 271 000 000	4,3%
	3 кв. 2024	2 092 353 000 000	94 126 000 000	4,5%
	4 кв. 2024	2 194 371 000 000	104 344 000 000	4,8%
2025	1 кв. 2025	1 923 124 000 000	122 223 000 000	6,4%

*Джерело: Сформовано за [37].*

Незважаючи на відносно невелику пряму частку у ВВП, як видно з таблиці 2.1, енергетика має стратегічне значення та опосередковано впливає на всі інші галузі економіки.

З метою впровадження Регламенту Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 2018/1999 від 11 грудня 2018 р. про управління Енергетичним Союзом і пом'якшення наслідків зміни клімату, про внесення змін до регламентів Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 663/2009 і (ЄС) № 715/2009, директив

Європейського Парламенту і Ради 94/22/ЄС, 98/70/ЄС, 2009/31/ЄС, 2009/73/ЄС, 2010/31/ЄС, 2012/27/ЄС і 2013/30/ЄС, директив Ради 2009/119/ЄС і (ЄС) 2015/652 і про скасування Регламенту Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 525/2013 29 грудня 2021 року на засіданні Уряду було схвалено Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року, яким встановлюється національна ціль з енергоефективності до 2030 року, а саме: первинне та кінцеве споживання енергії в Україні у 2030 році не повинне перевищувати відповідно 91 468 тис. та 50 446 тис. тонн нафтового еквіваленту. Національний план дій з енергоефективності визначає комплекс заходів зі скорочення енергоємності економіки, підвищення ефективності використання енергоресурсів та стимулювання впровадження відновлюваних джерел енергії. Як зазначається у документі: «ефективність енергетичного сектору забезпечується інтеграцією технологічних рішень, стимулюванням інвестицій та запровадженням систем моніторингу та контролю» [37].

Стратегія цифрового розвитку інноваційної діяльності України, схвалена Кабінетом Міністрів від 31 грудня 2024 року, націлена на розвиток інноваційних технологій та цифрової інфраструктури у промисловості та енергетиці. У документі підкреслюється: «цифрові технології є ключовим фактором підвищення ефективності державного управління, оптимізації виробництва та розвитку ринків інновацій» [36]. «Завдяки інноваціям освіта робить важливий крок уперед. Змінюються підходи, інструменти та засоби навчання. Відповідно змінюється якість навчання. Важливо, щоб інноваційні рішення не були точковими, зосередженими лише в освіті, але й охоплювали інші сфери, насамперед, економіку та оборону. Для цього на державному рівні має бути системний підхід у наших політиках. Стратегія цифрового розвитку інновацій WINWIN підтверджує дотримання цього підходу», – зазначив Оксен Лісовий, міністр освіти і науки України. «Технології та інновації – наш ключ до перемоги та економічного стрибка, а значить – можливостей покращити якість життя. Стратегія WINWIN – це комплексне бачення та конкретні кроки для зміцнення інноваційної екосистеми в Україні, ефективного регулювання та відкриття нових

ринків. Документ також пріоритезує ключові напрями розвитку для країни, зокрема DefenseTech, MedTech, EdTech, Agritech, AI, галузь напівпровідників. Це дасть змогу підприємцям створювати інноваційні продукти з доданою вартістю саме в Україні. А для України це можливість долати внутрішні виклики, що пов'язані з війною, повертати якість життя та будувати найзручнішу цифрову державу у світі», – зазначив Михайло Федоров, Віцепрем'єр-міністр з інновацій, освіти, науки та технологій – Міністр цифрової трансформації України.

НПДЕ та СЦРІД взаємопов'язані через такі механізми:

1. Цифровізація заходів енергоефективності. Інструменти цифрової аналітики та Big Data дозволяють точно відстежувати споживання, прогнозувати попит та оптимізувати баланс виробництва/споживання.

2. Стимулювання інновацій. Необхідність підвищення енергоефективності формує попит на нові технологічні рішення, які реалізуються через цифрову трансформацію.

3. Інтеграція в європейський енергетичний простір. Єдині цифрові стандарти та вимоги до енергоефективності забезпечують відповідність України нормам ЄС, сприяючи інтеграції в єдині енергетичні мережі.

Інтеграція цифрових технологій у енергетичну політику є критичною умовою для стабільності, прозорості та ефективності сектору. Поєднання цих стратегій створює синергію між технологічними, ринковими та регуляторними аспектами розвитку енергетики, що допоможе:

~ підвищити ефективність управління енергоресурсами: Застосування IoT, систем прогнозування та цифрових платформ оптимізує виробництво/розподіл енергії;

~ знизити витрати та підвищити енергозбереження: Цифрові системи моніторингу контролюють втрати в мережах та підвищують енергоефективність промисловості та житлового фонду;

~ стимулювати інновації та інвестиції: Цифрові технології створюють ринок для стартапів, інвестицій у «розумні» мережі та ВДЕ;

~ підвищити надійність та безпеку: Цифрові платформи забезпечують раннє виявлення ризиків та своєчасне реагування на коливання попиту й аварійні ситуації.

Таким чином, інтеграція енергоефективності та цифрової трансформації дозволяє реалізувати стратегічні цілі енергетичної безпеки, економічного зростання та сталого розвитку громад та України в цілому.

Впровадження нових технологій є складним завданням для будь-якої країни. Серед основних перешкод для успішної взаємодії стратегій можна виділити: недостатню координацію між державними органами та приватним сектором, фрагментарність цифрової інфраструктури, низький рівень кіберзахисту та потребу в підготовці фахівців із цифрових й енергоефективних технологій. Ефективне вирішення цих проблем забезпечить стійке функціонування енергетичного сектору та підвищить його конкурентоспроможність на європейському ринку.

## **2.2. Роль регуляторів та органів публічної влади у впровадженні інтелектуальних систем**

Постійно діючим незалежним державним колегіальним органом, метою діяльності якого є державне регулювання, моніторинг та контроль за діяльністю суб'єктів господарювання у сферах енергетики та комунальних послуг є Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП/Регулятор).

Зокрема:

### **1. У сфері енергетики:**

~ діяльності з виробництва, передачі, розподілу, постачання електричної енергії;

~ діяльності з транспортування, розподілу, зберігання (закачування, відбору), надання послуг установки LNG, постачання природного газу;

~ діяльності з транспортування нафти, нафтопродуктів та інших речовин трубопровідним транспортом;

2. у сфері комунальних послуг:

~ діяльності з виробництва теплової енергії на теплогенеруючих установках, включаючи установки для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, транспортування її магістральними та місцевими (розподільчими) тепловими мережами, постачання теплової енергії в обсягах понад рівень, що встановлюється умовами та правилами провадження господарської діяльності (ліцензійними умовами);

~ діяльності у сфері централізованого водопостачання та водовідведення в обсягах понад рівень, що встановлюється умовами та правилами провадження господарської діяльності (ліцензійними умовами).

Державне регулювання, яке здійснює НКРЕКП, має на меті балансування інтересів усіх учасників ринку (споживачів, підприємств та держави), а також забезпечення національної енергетичної безпеки та гармонізації ринків електроенергії і природного газу України з європейськими стандартами.

НКРЕКП здійснює державне регулювання шляхом :

- 1) нормативно-правового регулювання у випадках, коли відповідні повноваження надані Регулятору законом;
- 2) ліцензування діяльності у сферах енергетики та комунальних послуг;
- 3) формування цінової і тарифної політики у сферах енергетики та комунальних послуг та реалізації відповідної політики у випадках, коли такі повноваження надані Регулятору законом;
- 4) державного контролю та застосування заходів впливу;
- 5) використання інших засобів, передбачених законом.

У період з грудня 2020 року по січень 2021 року Центр Разумкова, у рамках проєкту «Тарифна політика у сфері енергетики», провів унікальне для України інтегроване соціологічне дослідження «Оцінка діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг» [посилання на джерело]. Це комплексне дослідження, яке представлено у таблиці

2.2., охопило три ключові цільові групи: громадянське суспільство (споживачів), ліцензіатів Нацкомісії та експертів у сферах енергетики, економіки та соціального захисту [39].

Таблиця 2.2. – Основні результати дослідження діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг

Група респондентів	Оцінка несправедливості політики	Середня оцінка професійності (з 10)	Основні причини	Вимоги до реформування
Суспільство	Понад 77%	Не застосовувалася	Корупція, політичний вплив, низький професіоналізм.	76,6% вважають права споживачів недостатньо захищеними.
Ліцензіати	70%	3,8 / 10	Корупція та політичний тиск.	68,3% вимагають реформування; 49,3% повного перезавантаження.
Експерти	Не застосовувалася	3,5 / 10	Нездатність усунути системні недоліки.	80% підтримують реформування; 64,5% повного перезавантаження.

Усі три групи респондентів продемонстрували солідарність у ключових питаннях:

- ~ несправедливість тарифної політики;
- ~ недостатній захист прав споживачів.

Ліцензіати та експерти також мають схожі, низькі оцінки професійності рішень НКРЕКП. Серед громадян виявлено кореляцію між недовірою до регулятора та недовірою до Президента України.

Висновки дослідження чітко засвідчують високий суспільний запит на негайне реформування Національної комісії та суттєве підвищення прозорості й ефективності тарифної політики в енергетичному секторі України.

Міністерство енергетики України є центральним органом виконавчої влади, відповідальним за формування та реалізацію державної політики у паливно-енергетичному комплексі. Сфера діяльності міністерства охоплює електроенергетику, ядерну промисловість, вугільний та торфодобувний сектори,

нафтовидобуток і нафтопереробку, розвиток відновлюваних джерел енергії, альтернативних видів газового палива, а також здійснення нагляду та контролю на ринках електроенергії, теплопостачання та природного газу.

Міністерство виступає ключовим драйвером модернізації енергетичного сектору, забезпечуючи впровадження сучасних енергоефективних технологій, поступову відмову від вугілля та інших високоекологічно шкідливих джерел енергії, розвиток відновлюваних джерел енергії, у тому числі сонячної, вітрової та біоенергетики, інтеграцію кліматичних та екологічних пріоритетів у енергетичну політику держави, стимулювання інвестицій у комунальну інфраструктуру та енергетичні проєкти нового покоління.

Таким чином, Міністерство енергетики виконує роль центрального координатора трансформаційних процесів в енергосистемі України, узгоджуючи між собою ключові завдання: забезпечення енергетичної безпеки, екологічної стійкості та економічного розвитку [40].

Державна інспекція енергетичного нагляду України є центральним органом виконавчої влади (ЦОВВ). Її діяльність спрямовується та координується Кабінетом Міністрів України через Міністра енергетики. Інспекція відповідає за реалізацію державної політики у сфері нагляду (контролю) у трьох ключових галузях: електроенергетиці, теплопостачанні та на ринку природного газу [41].

Держенергонагляд активно співпрацює з іншими державними органами, міжнародними організаціями та громадськими об'єднаннями для досягнення своїх цілей. Наприклад, у червні 2022 року було підписано Меморандум про співробітництво з Громадською спілкою «Український фонд енергоефективності та енергозбереження» [42]. Також, вони активно працюють над інтеграцією кліматичних пріоритетів у національну енергетичну політику. Зокрема, за їхньої участі, було розроблено Енергетичну стратегію України до 2050 року, яка передбачає створення умов для сталого розвитку національної економіки через забезпечення доступу до надійних, стійких і сучасних джерел енергії, з орієнтацією на кліматичну нейтральність.

Згідно з інформацією з відкритих джерел, Енергетична стратегія України до 2050 року містить довгострокові цілі у сферах клімату та енергетики, хоча повний текст цього документа наразі не є публічним.

Цифрова трансформація енергетичного сектору має значний потенціал стати ключовим драйвером його модернізації та підвищення стійкості. Використання передових технологій – таких як розумні мережі (Smart Grids), Інтернет речей (IoT), блокчейн, штучний інтелект (AI) та машинне навчання (ML) – відкриває нові можливості для більш ефективного управління енергетичними потоками.

Європейська Комісія активно просуває цифровізацію енергосистеми в рамках Європейського зеленого курсу, прагнучи до всеосяжної цифрової трансформації. Ключовим інструментом цієї політики є План дій «Цифровізація енергетичної системи – ЄС», ухвалений у жовтні 2022 року на додаток до заходів боротьби з високими цінами на енергоносії. Цей План дій охоплює розвиток інфраструктури, кібербезпеку, інтеграцію ринків, підвищення прозорості та конкурентного середовища [43].

Енергетичний сектор трансформується: він перестає бути лише економічною інфраструктурою, набуваючи все більш важливої ролі у реалізації політичних і стратегічних завдань як на глобальному рівні, так і всередині України. Енергоресурси стають геополітичним важелем, впливаючи на міжнародні відносини (диверсифікація, санкції, енергетична солідарність) і виступаючи інструментом внутрішньої політики (енергетична безпека, стабільність тарифів, інвестиційний клімат, «зелена» трансформація).

Органи публічної влади відіграють ключову роль у створенні нормативно-правових і стратегічних передумов для впровадження інтелектуальних систем управління енергетикою. Політичний та правовий курс України визначається такими основними документами:

Енергетична стратегія України до 2050 року: Передбачає широке використання цифрових технологій у генерації, передачі та розподілі електроенергії. Закон України «Про ринок електричної енергії» заклав

фундамент для розвитку роздрібних ринків і стимулював впровадження інтелектуальних лічильників.

Модернізація мереж активно здійснюється в рамках проєкту Smart Grid Pilot Ukraine (за підтримки ЄБРР та USAID), який охоплює, зокрема, Київську, Дніпропетровську та Харківську області. Дорожня карта впровадження Smart Grid передбачає автоматизацію та цифрові рішення на всіх рівнях, включаючи мікромережі для стійкості до військових загроз і має на меті зменшення втрат до 6 млрд кВт\*год на рік. Пілотні проєкти в регіонах (Київська, Тернопільська, Хмельницька) включають телемеханізацію, контроль споживання, інтеграцію ВДЕ та встановлення смарт-лічильників. Наприклад, проєкт DTEK Smart Grid охоплює модернізацію 20 тис. км ліній, 250 підстанцій, 6 000 трансформаторів, обслуговуючи до 1 млн. точок обліку. На державному рівні визначено план обов'язкового оснащення домогосподарств інтелектуальними лічильниками електроенергії до 2030 року. Також впроваджується автоматизація роботи з клієнтами через онлайн-канали (чати, особисті кабінети, «єдине вікно») для прозорості взаємодії.

Аналіз динаміки встановлення нових електролічильників у 6 державних Операторів системи розподілу, а саме у АТ «Запоріжжяобленерго», АТ «Черкасиобленерго», АТ «Тернопільобленерго», АТ «Хмельницькобленерго», АТ «Харківобленерго», АТ «Миколаївобленерго» (таблиця 2.3.) демонструє поступове, але нерівномірне оновлення експлуатованого парку протягом 2023–2025 років. За дев'ять місяців 2025 року обсяги встановлення становлять 94,7 тис. одиниць, що відповідає лише 0,1411% діючого парку, що свідчить про вповільнення темпів оновлення у порівнянні з попереднім роком. Особливої уваги заслуговує динаміка Smart IMS. У 2023 році частка Smart IMS у загальній кількості встановлених однофазних і трифазних лічильників була порівняно високою (близько 58 тис. у сумі для однофазних і трифазних). У 2024 році спостерігається суттєве зниження – лише 1,257 тис. Smart IMS. У 2025 році темпи встановлення Smart IMS зростають у сегменті однофазних (56,9 тис.), тоді як трифазні Smart IMS практично відсутні.

Таблиця 2.3. – Інформація про встановлення засобів обліку по інвестиційній програмі за період 2023-2025 рр. у АТ «Запоріжжяобленерго», АТ «Черкасиобленерго», АТ «Тернопільобленерго», АТ «Хмельницькобленерго», АТ «Харківобленерго», АТ «Миколаївобленерго»

Період	Встановлено нових лічильників по ІІІ всього:		в тому числі:					
			однофазних			трифазних		
			Всього:	не Smart IMS	Smart IMS	Всього:	не Smart IMS	Smart IMS
	шт.	% до експлуатуємих	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.
за 9 місяців 2025 р.	94731	0,1411	90399	33437	56962	4332	0	4332
За 12 місяців 2024 р.	174745	1,00	4158	3228	930	2419	2092	327
За 12 місяців 2023 р.	215001	0,3144	207850	128910	78940	7151	3516	3635

*Джерело: Сформовано за звітними даними [44]*

Отже, тенденції вказують на поступове оновлення парку приладів обліку з пріоритетом на впровадження Smart IMS, проте темпи заміни залишаються недостатніми для швидкої модернізації системи обліку електроенергії в масштабах країни.

Для комплексної оцінки стану цифровізації обліку та навантаження на мережеву інфраструктуру доцільно проаналізувати динаміку змін у структурі споживачів та точок обліку ОСР у 2023–2025 роках. У Додатку А «Таблиця А.1. - Інформація про кількість споживачів та точок обліку за періоди 2023–2025 рр.» наведено порівняльні дані за категоріями побутових і непобутових споживачів у АТ «Запоріжжяобленерго», АТ «Черкасиобленерго», АТ «Тернопільобленерго», АТ «Хмельницькобленерго», АТ «Харківобленерго», АТ «Миколаївобленерго», що дозволяє оцінити тенденції в міських і сільських мережах, а також у промисловому та непрофільному сегментах [44].

Аналіз динаміки споживачів та точок обліку за 2023–2025 роки свідчить про загальну стабільність структури споживання в ОСР із незначними коливаннями у різних категоріях. Побутові споживачі традиційно становлять абсолютну більшість (понад 3,7 млн), причому частка міських домогосподарств є домінуючою. Для непобутових споживачів характерне поступове зростання у сегменті промислових та підприємств зі споживанням менше 750 кВА, що відображає відновлення економічної активності у 2024–2025 роках. Загалом зміни у структурі споживачів та точок обліку підтверджують стабільну роботу ОСР, але водночас підкреслюють потребу у посиленій модернізації мереж та цифрових систем обліку для ефективного реагування на збільшення кількості підключень і ускладнення структури споживання.

Цифрова трансформація енергетики є не лише технологічним процесом, а й потужним інструментом публічного управління. Вона забезпечує ефективніше планування, контроль та керування мережами, підвищує прозорість і підзвітність, розширює доступ до енергії та участь громадян, а також дозволяє оперативно реагувати на ризики (зокрема, військові та кліматичні), зберігаючи безпеку. Це є сучасною основою не тільки для Smart Grids, але й для стійкого, інтегрованого та керованого даними енергетичного менеджменту.

Отже, виходячи з вищевикладеного аналізу, органи публічної влади України забезпечують три ключові функції у сфері впровадження інтелектуальних технологій в енергетиці:

- ~ нормативно-правове регулювання: Створення необхідної законодавчої та стратегічної бази (закони, стратегії, постанови);
- ~ інституційна координація: Забезпечення ефективної взаємодії між усіма залученими органами (енергетичними, цифровими та безпековими);
- ~ безпека та інтеграція: Зміцнення кіберзахисту, гармонізація з європейськими нормами та розвиток інноваційних проєктів.

Таким чином, держава виступає головним драйвером цифрової трансформації енергетики, формуючи сприятливі умови для залучення інвестицій та впровадження інноваційних технологій.

Цифровізація впливає на весь ланцюжок створення вартості в енергетиці, від виробництва до транспортування, розподілу, постачання та кінцевого споживання. Для успішної трансформації необхідний загальносистемний підхід та підтримка країн ЄС для сприяння співпраці між усіма зацікавленими сторонами. Така синергія критично важлива для узгодження з політичними пріоритетами Європейського Союзу (включно з Європейським зеленим курсом) та забезпечення цифрової зрілості енергетичного сектору України [45].

### **2.3. Каталізатори цифрової трансформації в енергетиці**

Галузеві прогнози вказують на стрімке зростання світового ринку цифрових енергетичних послуг: очікується, що його обсяг зросте до 239,38 млрд. дол. у 2028 році порівняно з 55,02 млрд. дол. на початковому етапі.

Ключовими чинниками, що зумовлюють цей розвиток, є:

~ збільшення попиту на ресурси. Зростання населення та урбанізація посилюють глобальні енергетичні потреби. Для їхнього задоволення компанії використовують цифрові рішення для оптимізації моніторингу активів, виробництва та доставки енергії;

~ високий рівень забруднення. Традиційні методи генерації енергії спричиняють значне забруднення. Мережі з підтримкою IoT та інтелектуальні мережі спільно працюють над моніторингом і коригуванням виробничих процесів з метою зниження викидів;

~ екологічне регулювання. Уряди різних країн запроваджують посилені екологічні, соціальні та управлінські закони (ESG) щодо викидів. Цифрові рішення допомагають бізнесу досягати відповідності цим стандартам, сприяючи переходу до більш екологічних джерел енергії.

Згідно з аналітичними звітами Всесвітнього Економічного Форуму (WEF) за 2023–2025 роки, які оцінюють прогрес країн у переході до нової енергетики (з точки зору балансу доступності, безпеки та сталості), інвестиції у ВДЕ

перевищили інвестиції у викопне паливо. У 2025 році зафіксовано вдосконалення показників Energy Transition Index (ETI) у більшості країн (близько 65%), а також помітне покращення в питаннях енерго-справедливості та сталості на тлі пом'якшення цінового тиску. Уряди надають стимули для переходу на низьковуглецеві джерела для досягнення мети нульових викидів до 2050 року. Цифрова трансформація дозволяє енергетичним організаціям ефективно використовувати цю фінансову допомогу [46].

Енергетика України сьогодні є однією з найбільш динамічних галузей, що проходять цифрову трансформацію. З початку повномасштабного вторгнення в лютому 2022 року російська федерація систематично атакує енергетичну та цивільну інфраструктуру України. Лише протягом листопада 2024 року ворог випустив по українській енергосистемі 350 ракет та понад 2 500 безпілотників. Унаслідок цих ударів, загальні збитки енергетичній інфраструктурі (теплопостачання, електроенергетика, нафта й газ) на кінець 2024 року оцінюються у \$20,5 млрд, тоді як вартість відбудови за європейськими стандартами становить \$67,8 млрд. Україна загалом втратила приблизно 27 ГВт зі своєї довоєнної встановленої потужності 56,1 ГВт. Унаслідок цього громадяни та бізнес пережили останні зими з доступом до менше ніж половини довоєнних потужностей, що змусило владу ввести жорсткі обмеження на електропостачання. Ситуацію вдалося тимчасово стабілізувати завдяки надзвичайним заходам – ремонту пошкоджених потужностей та розгортанню тисяч резервних дизель-генераторів. На тлі цієї безпрецедентної кризи енергетична децентралізація вийшла на передній план як стратегія виживання. Загальна структура енергоресурсів, як видно з рисунку 2.1 свідчить про зміну профілю енергоспоживання та зростання ролі ВДЕ та атомної генерації на фоні падіння виробництва теплової енергії й зменшення обсягів імпорту палива [47].



Рисунок 2.1. Стан енергетики в Україні станом на 14.10.2025 рік

Джерело: [47]

Це підтверджує курс на формування більш стійкої та менш залежної від викопних ресурсів енергосистеми, однак водночас вказує на необхідність прискорення відновлення генеруючих потужностей і розвитку гнучких резервів для покриття пікових навантажень.

Невеликі розподілені енергоблоки потужністю від 5 до 100 МВт розглядаються експертами як єдиний ефективний спосіб запобігти загальнонаціональному блекауту та забезпечити стабільне постачання для населення та бізнесу. Важливо, що ці невеликі одиниці є складною мішенню для ракетних ударів. Крім того, децентралізація повністю узгоджується з довгостроковими зобов'язаннями України щодо сталого та збалансованого енергетичного балансу. Українські та міжнародні експерти сходяться на думці, що відбудова енергосистеми за старою, централізованою моделлю (із застарілими вугільними станціями та залежністю від імпорту) не є життєздатним варіантом. Навпаки, Україна має унікальну можливість збудувати сучасну енергетичну систему, засновану на більш ефективному та збалансованому поєднанні технологій, що зміцнить її майбутню енергетичну безпеку та економічну стійкість. Відновлення та подальший розвиток енергетичної системи України безпосередньо залежать від обраного сценарію економічного

відродження. Аналіз прогностичних показників попиту на електроенергію за регіонами ОЕС України дозволяє виділити три ключові сценарії розвитку до 2030 року.

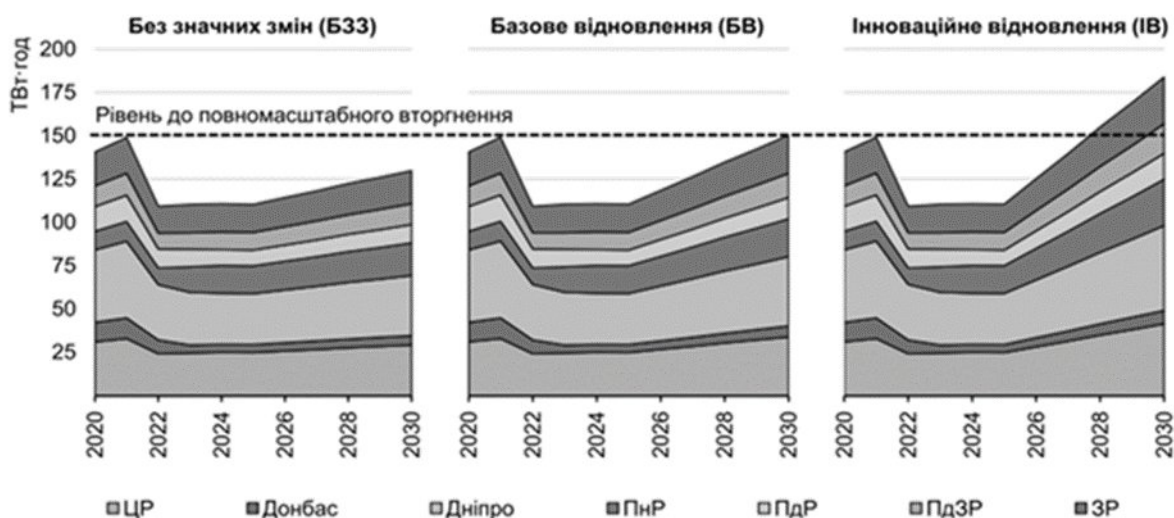


Рисунок 2.2. Графічна візуалізація сценаріїв у розрізі регіональних енергосистем (Дніпровська, Донбаська, Західна, Кримська, Південна, Південно-Західна, Північна, Центральна)

*Джерело: [48].*

Відповідно до звіту Міжнародного енергетичного агентства «Посилення України шляхом децентралізації енергетичної системи» (2024) [48], як видно з рисунку 2.2, прогнозування динаміки попиту на електроенергію до 2030 року базується на трьох альтернативних сценаріях, розроблених у рамках ініціативи Net Zero World. Консервативний сценарій «Без значних змін» (Business as Usual) передбачає інерційне збереження поточних тенденцій із помірним відновленням економіки, за якого рівень споживання навіть у довгостроковій перспективі залишатиметься суттєво нижчим за довоєнні показники. Як базова модель для стратегічного планування та розрахунку необхідних потужностей обрана стратегія «Базового відновлення» (Base Recovery), що ґрунтується на реалізації цілей Національного плану з енергетики та клімату (НПЕК) і передбачає вихід на пікове навантаження близько 25 ГВт до 2030 року завдяки впровадженню заходів з енергоефективності та структурній перебудові економіки. Третій

сценарій, «Інноваційне (Інтенсивне) відновлення» (Intense Recovery), розглядається як оптимістичний варіант, що базується на агресивній модернізації та масовій електрифікації транспорту й промисловості, що призведе до стрімкого зростання попиту понад довоєнний рівень і вимагатиме значних капітальних інвестицій у розвиток гнучкої генерації та розподільчих мереж. Усі сценарії враховують наслідки воєнних дій, зокрема падіння попиту на 30% після 2022 року та географічне зміщення центрів навантаження у західні та північні регіони країни.

Наступні два роки є критично важливими для енергетичної безпеки України. Поки атаки тривають, Україна поспішає переформатувати свою енергосистему перед зимою та додати нові генеруючі потужності. У цей період український уряд має здійснити значний обсяг роботи на всіх рівнях (національному та регіональному) з регулювання, реформ та стимулів. Міжнародна донорська спільнота та іноземні інвестори уважно стежать за розвитком подій, оскільки вони є ключовими гравцями у досягненні візії України. Для Сполучених Штатів підтримка енергетичної модернізації України узгоджується з їхніми стратегічними інтересами: вона створює ринки для американських компаній, зміцнює стійкість України та зменшує здатність Росії завдавати шкоди українській економіці. З метою підтримки модернізації енергетичної системи, уряд України здійснив низку регуляторних реформ, зокрема запровадивши податкові та митні пільги на імпорт критично важливого енергетичного обладнання.

Урядові ініціативи відіграють значну роль. З метою підтримки модернізації енергетичної системи, уряд України здійснив низку регуляторних реформ, зокрема запровадивши податкові та митні пільги на імпорт критично важливого енергетичного обладнання. Крім того, щоб надати можливість місцевій владі внести свій вклад у модернізацію енергетичної системи, у січні 2025 року Верховна Рада України ухвалила Закон № 9381. Цей акт спрощує регуляторні процедури та стимулює інвестиції у побудову децентралізованого та сталого енергетичного сектору.

Також, розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), підтриманий державними реформами, набув критичної ваги для забезпечення енергетичної незалежності країни. Національний план з енергетики та клімату (NECP 2025–2030) встановлює амбітну ціль – досягнення 27 % частки ВДЕ у структурі кінцевого споживання до 2030 року. Реалізація цієї мети потребує значних інвестицій, оціночна сума яких коливається у межах \$41,5 – 50 млрд. [49].

Для оцінки фактичної динаміки розвитку розподіленої генерації та навантаження на мережі доцільно проаналізувати обсяги введених у експлуатацію потужностей ВДЕ операторами систем розподілу за останні три роки. З даною інформацією можна детально ознайомитися у Додатку Б «Таблиця Б.1. – Обсяги введених у експлуатацію потужностей ВДЕ у період з 2023–2025 рр» [44]. Аналіз введення потужностей відновлюваної енергетики у шести ОСР свідчить про стабільне зростання обсягів розподіленої генерації у 2023–2025 роках. Найдинамічніше розвиваються побутові та юридичні СЕС, які формують основну частку приросту. У 2025 році обсяг уведених потужностей за звітний період зріс більш ніж удвічі порівняно з попереднім роком (128,52 МВт проти 58,22 МВт), що свідчить про активізацію інвестицій та високий попит на децентралізовані джерела енергії. Водночас частка ВЕС залишається менш значною, що пов'язано з більшими технічними та фінансовими бар'єрами.

Головною стратегічною метою енергетичного сектору є повний перехід від традиційних викопно-паливних джерел до нової безвуглецевої енергетичної моделі. Демонстрація відданості відновлюваним джерелам енергії та екологічній відповідальності приносить компаніям прямі фінансові переваги. Зокрема, дослідження ІВМ за 2022 рік показало, що майже половина клієнтів (49%) готові нести більші витрати за продукти, які є стійкими та соціально відповідальними [50]

## РОЗДІЛ 3

### ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ ТА МІСЦЕВОМУ РІВНЯХ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

#### **3.1. Аналіз передового міжнародного досвіду впровадження цифрових бізнес-моделей та технологічних рішень в енергетиці**

Сучасний етап розвитку світової енергетики характеризується фундаментальними структурними змінами, які в експертному середовищі отримали визначення «Енергетичний перехід 4.0». В основі цієї парадигми лежать принципи, відомі як концепція «3D»: декарбонізація, децентралізація та діджиталізація. При цьому роль цифрових технологій зазнала суттєвої еволюції: з категорії допоміжних інструментів вони перейшли у статус критичної інфраструктури, необхідної для гарантування надійності енергопостачання.

Важливим вектором реалізації енергетичної стратегії стало оновлення нормативно-правової бази. Перегляд Директиви з енергоефективності у вересні 2023 року встановив нову обов'язкову ціль для країн-членів ЄС: скорочення кінцевого енергоспоживання на 11,7% до 2030 року порівняно з еталонним сценарієм 2020 року. Особливу увагу зосереджено на будівельному секторі, який у 2023 році відповідав за 52% споживання природного газу в ЄС. У зв'язку з цим, у 2024 році було узгоджено оновлену Директиву щодо енергетичної ефективності будівель, спрямовану на активізацію термомодернізації. Результатом цих зусиль стало зниження кінцевого енергоспоживання у 2023 році на 5,6% (до 894 млн т н.е.) порівняно з 2021 роком, що свідчить про позитивну динаміку навіть в умовах високої волатильності цін [51].

Світовий досвід демонструє, що цифрова трансформація енергетики виходить далеко за межі простого встановлення «розумних лічильників». Вона веде до фундаментальної зміни архітектури ринку, перетворюючи пасивних

споживачів на активних учасників та створюючи нові моделі забезпечення стійкості мереж. Для України, яка стикається з викликами децентралізації та воєнних загроз, критично важливим є вивчення практичних кейсів реалізації концепцій «Віртуальних електростанцій» (VPP), національних даних-хабів та локальних енергетичних ринків.

З метою впровадження найкращих європейських практик, що можуть бути релевантними для українських реалій проведемо аналіз міжнародного досвіду впровадження цифрових рішень у сфері енергетики, з акцентом на практичні кейси.

Успішним прикладом імплементації цифрових технологій у структуру енергетичного ринку є естонська платформа Estfeed Datahub. Цей програмний комплекс, адміністрований національним оператором системи передачі (TSO) Elering, демонструє практичне втілення концепції розумного обміну даними (smart data exchange). Актуалізація платформи, проведена у вересні 2024 року, підтвердила курс на технологічне вдосконалення інфраструктури, що дозволяє не лише оптимізувати ринкові процеси, а й інтегрувати кінцевих споживачів та локальні громади у процеси енергетичного переходу.

Функціональна архітектура Estfeed базується на принципах централізованого сховища даних, яке забезпечує рівний та прозорий доступ для всіх верифікованих учасників ринку і функціонує за допомогою IoT (Internet of Things) для моніторингу стану мереж у реальному часі. Серед користувачів системи – оператори розподільчих мереж, генерація, постачальники енергетичних сервісів, бізнес-суб'єкти, домогосподарства та наукові інституції. Важливим технічним досягненням платформи є перехід з квітня 2025 року на 15-хвилинний цикл дискретизації даних, що суттєво підвищує оперативність інформаційного обміну та точність прогнозування.

Ключовою особливістю Estfeed є механізм управління даними, який гарантує суверенітет споживача. Система агрегує інформацію з інтелектуальних приладів обліку (smart meters) електроенергії та газу, дані від мережевих операторів та виробників. При цьому кінцевий споживач зберігає повний

контроль над доступом до власної інформації, самостійно визначаючи, які сервісні компанії можуть отримувати його дані. Після авторизації доступу платформа забезпечує захищений трансфер інформації у машинозчитуваному форматі, поєднуючи дані про споживання в реальному часі з зовнішніми факторами, такими як біржові ціни на електроенергію та метеорологічні прогнози [52].

Унікальність Estfeed полягає у її здатності забезпечувати транскордонний обмін даними (cross-border data exchange), що є критично важливим для інтеграції європейських енергетичних ринків. Консолідація різномірних джерел даних та програмних рішень у єдиному хабі створює передумови для підвищення енергоефективності та оптимізації процесів інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Це дозволяє як енергетичним компаніям, так і споживачам приймати більш обґрунтовані рішення, базуючись на верифікованих даних.

Таким чином, Estfeed Datahub виступає не лише технічним інструментом, а й драйвером децентралізації енергетики. Надаючи інструментарій для енергетичних спільнот та просьюмерів, платформа сприяє демократизації ринку та залученню широкого кола учасників до переходу на чисту енергію. Досвід Естонії свідчить, що подібна цифрова інфраструктура є необхідною умовою для побудови стійкої, прозорої та ефективної енергетичної системи майбутнього.

В умовах інтеграції об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України до континентальної європейської мережі ENTSO-E, досвід функціонування платформи Estfeed набуває критичного значення для вітчизняного енергетичного сектору. В Україні функції адміністратора комерційного обліку (АКО) покладено на НЕК «Укренерго», яка забезпечує роботу централізованої платформи Datahub. На поточному етапі українська платформа виконує роль централізованого реєстру точок комерційного обліку та адмініструє процеси зміни електропостачальника, що є фундаментом лібералізованого роздрібного ринку [66].

Для наочної ілюстрації відмінностей у підходах до цифровізації енергетичних ринків доцільно провести порівняльний аналіз функціональних

можливостей естонської платформи Estfeed та українського аналога Datahub (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика платформ обміну даними Estfeed (Естонія) та Datahub (Україна)

Критерій порівняння	Estfeed (Естонія)	Datahub (Україна)
Адміністратор платформи	Elering (TSO Естонії)	НЕК «Укренерго» (TSO України)
Основна функціональна модель	Відкрита екосистема сервісів та «розумного» обміну даними (Smart Data Exchange)	Централізований реєстр комерційного обліку та адміністрування зміни постачальника, адміністрування відключення
Доступ третіх сторін	Відкритий (на основі згоди споживача): доступ для енергосервісних компаній, розробників додатків, наукових установ	Обмежений: переважно для ліцензованих учасників ринку (постачальники, оператори системи розподілу)
Роль споживача	Активний суб'єкт (просьюмер): повний контроль даних, монетизація гнучкості, управління попитом	Пасивний суб'єкт або учасник роздрібного ринку: основна функція — зміна постачальника та перегляд історії споживання
Транскордонна взаємодія	Реалізована (інтеграція з європейськими хабами даних)	На етапі технічної гармонізації та впровадження європейських протоколів
Періодичність обміну даними	Перехід на 15-хвилинний цикл (з квітня 2025 р.), наблизений до реального часу	Погодинний облік / перехід до 15-хвилинної дискретизації для комерційних розрахунків
Сфера застосування	Електроенергія та природний газ (комплексний підхід)	Переважно електроенергія (комерційний облік)

*Джерело: Проаналізовано за [52; 53].*

Аналіз естонської та української моделей виявляє суттєвий потенціал для розвитку вітчизняної системи. Якщо український Datahub наразі фокусується переважно на адміністративних функціях (ведення баз даних, розрахунків балансів, забезпечення процедур зміни постачальника), то естонський Estfeed еволюціонував до рівня екосистеми сервісів. Ключовою відмінністю є те, що Estfeed не просто акумулює дані, а виступає інтерфейсом для взаємодії третіх

сторін (енергосервісна компанія, розробників додатків, науковців) зі споживачем. Це дозволяє створювати додану вартість на основі "сирих" даних обліку.

Для України імплементація підходів, реалізованих в Estfeed, є необхідною умовою для переходу до повноцінного Smart Grid. Зокрема, критично важливим є впровадження стандартів обміну даними, сумісних із загальноєвропейськими, що дозволить у майбутньому інтегруватися в єдиний цифровий енергетичний простір ЄС. Крім того, перехід України на 15-хвилинний період врегулювання небалансів (що корелює з планами Estfeed) вимагатиме суттєвої модернізації IT-інфраструктури та алгоритмів обробки великих масивів даних.

Таким чином, трансформація українського Datahub з облікового інструменту в сервісну платформу за зразком Estfeed дозволить не лише підвищити прозорість ринку, але й активізувати участь споживачів в управлінні попитом (Demand Response), що є ключовим елементом енергетичної безпеки та децентралізації в умовах сучасних викликів.

Особливий науково-практичний інтерес становить підсистема Digital Asset Twin, розробка якої здійснюється у партнерстві з Технологічним університетом Наньян (NTU). Функціональне призначення цього модуля полягає у переході від планово-попереджувальних ремонтів до обслуговування за станом (condition-based maintenance). Використовуючи алгоритми штучного інтелекту та масиви даних від сенсорів реального часу, система дозволяє здійснювати предиктивний аналіз зносу обладнання. Це критично важливо для масштабної інфраструктури Сінгапуру, яка включає понад 11 000 підстанцій, 18 000 трансформаторів та 27 000 км кабельних ліній.

Практична цінність впровадження цифрового двійника виявляється у наступних аспектах:

- ~ система дозволяє моделювати сценарії підключення нових навантажень, зокрема зарядної інфраструктури для електромобілів (EV) та сонячних фотоелектричних систем (PV), без ризику перевантаження фізичної мережі, тобто оптимізувати планування;

~ дистанційний моніторинг стану активів (Asset Health) дозволяє мінімізувати необхідність фізичних інспекцій, вивільняючи людські ресурси для виконання більш складних завдань, що підвищує операційну ефективність;

~ зі зростанням частки відновлюваних джерел енергії, мережа стає більш складною в управлінні. Цифровий двійник забезпечує необхідну гнучкість для балансування попиту та пропозиції в умовах стохастичної генерації.

Таким чином, сінгапурський кейс демонструє, що цифровізація перестає бути опцією і стає безальтернативним інструментом для забезпечення надійності енергопостачання в епоху «Енергетичного переходу 4.0» [54 - 57].

Впровадження концепції цифрових двійників, продемонстроване на прикладі сінгапурської моделі Grid Digital Twin, є надзвичайно актуальним для України, особливо в контексті післявоєнної відбудови енергосистеми за принципом «Build Back Better». На вітчизняному ринку елементи цієї технології вже імплементуються ключовими гравцями, зокрема операторами системи розподілу (наприклад, «ДТЕК Мережі») та оператором системи передачі (НЕК «Укренерго»), проте існують суттєві відмінності у глибині та функціональності рішень.

Якщо сінгапурський підхід базується на синергії управління активами (Asset Twin) та режимами мережі (Network Twin) з використанням штучного інтелекту для предиктивного обслуговування, то українські аналоги наразі фокусуються на цифровізації топології мереж та автоматизації диспетчерського управління.

Найбільш наближеним до концепції цифрового двійника в Україні є проект цифровізації мереж операційного холдингу «ДТЕК Мережі». Компанія впроваджує програмні комплекси класу ADMS (Advanced Distribution Management System) у поєднанні з геоінформаційними системами (ГІС). Це дозволяє створювати цифрову модель мережі для автоматичного розрахунку технічних умов приєднання нових споживачів та оптимізації ремонтних робіт. Однак, на відміну від сінгапурського прикладу, де акцент зроблено на моніторингу «здоров'я» активів у реальному часі через IoT-сенсори, українські

системи здебільшого оперують статичними даними та результатами періодичних оглядів [58].

В умовах відновлення зруйнованої інфраструктури Україна має унікальну можливість не відновлювати застарілу архітектуру мереж, а одразу проєктувати нові сегменти з урахуванням вимог Digital Twin. Це передбачає інтеграцію датчиків моніторингу стану на етапі будівництва підстанцій та прокладання ліній, що в майбутньому дозволить досягти ефективності управління активами, порівнянної з провідними світовими практиками.

### **3.2. Практичні кейси цифровізації енергосистеми на національному та локальному рівнях: досвід Данії та Греції**

В контексті дослідження передового європейського досвіду, показовим прикладом цифрової трансформації енергетичного сектору є муніципалітет Гольстebro (Данія). Об'єктом управління місцевої влади є значний портфель нерухомості загальною площею 230 000 м<sup>2</sup>, обслуговування якого здійснюється обмеженим кадровим ресурсом (енергетична команда з трьох фахівців та п'ять менеджерів будівельних проєктів).

До початку цифрової модернізації процес енергоменеджменту характеризувався низкою системних проблем. Використовувана раніше система енергетичного менеджменту була морально застарілою і виконувала переважно функцію пасивного збору даних (data logging), не надаючи аналітичних інструментів для прийняття рішень. Низька верифікованість даних та висока трудомісткість обслуговування системи призводили до того, що кваліфікований персонал витрачав робочий час на ручну обробку інформації замість виконання практичних заходів з енергозбереження.

Рішенням проблеми стала імплементація платформи Ento – віртуального енергетичного радника, що базується на алгоритмах штучного інтелекту (AI). Принцип роботи системи полягає у багатофакторному аналізі: алгоритм корелює

дані споживання енергоресурсів конкретними будівлями із зовнішніми змінними, такими як метеорологічні умови, графіки використання приміщень та специфічні фактори (наприклад, карантинні обмеження). Це дозволяє автоматично фіксувати аномалії споживання, які неможливо виявити при ручному моніторингу. Впровадження AI-системи призвело до якісної зміни операційної моделі управління енергоресурсами:

- ~ система автоматично групує об'єкти за рівнем відхилення від нормативного споживання, що дозволяє команді фокусуватися на найбільш проблемних будівлях, тобто пріоритезувати завдання;

- ~ звільнення персоналу від рутинної обробки даних дозволило збільшити час присутності фахівців безпосередньо на об'єктах для проведення технічних аудитів;

- ~ функціонал системи дозволяє відстежувати ефективність впроваджених заходів у динаміці, порівнюючи фактичне споживання з прогнозною моделлю.

Економічний ефект від впровадження Ento підтверджується статистичними показниками. Починаючи з 2021 року, муніципалітет досяг економії бюджетних коштів у розмірі понад 1 мільйон датських крон (DKK). Основний обсяг заощаджень було отримано за рахунок оптимізації роботи систем вентиляції та тонкого налаштування систем управління будівлями (BMS). У короткостроковій перспективі очікується масштабування ефекту за рахунок оптимізації систем опалення та водопостачання.

Таким чином, досвід Гольстебро доводить, що перехід від консервативного енергетичного менеджменту до інтелектуальних систем прийняття рішень дозволяє нівелювати проблему дефіциту кадрів та забезпечити реальну енергоефективність без капітальних витрат на розширення штату [59-61].

Імплементація технологій штучного інтелекту в муніципальному секторі, продемонстрована на прикладі муніципалітету Гольстебро, є стратегічним орієнтиром для розвитку системи енергоменеджменту в Україні. На сучасному етапі вітчизняні громади, більшість з яких є підписантами європейської ініціативи «Угода мерів», активно впроваджують автоматизовані системи

енергомоніторингу (АСЕМ). Найбільш поширеними програмними продуктами на українському ринку є системи типу uMuni, АІС «Енергосервіс» та хмарні рішення від ІоТ-операторів [62; 63].

Ключова проблема українського муніципального енергоменеджменту полягає у «людському факторі». Традиційна АСЕМ (наприклад, uMuni) вимагає від енергоменеджера високої кваліфікації для інтерпретації графіків: фахівець має самостійно помітити аномалію та співставити її з погодою чи режимом роботи закладу. В умовах високої плинності кадрів у бюджетній сфері України це часто знижує ефективність системи до рівня простої статистики. Данська модель, де ШІ бере на себе функцію аналітика, нівелює цю проблему.

Таблиця 3.2. – Порівняльна характеристика систем енергоменеджменту:

Ento (Данія) та типові АСЕМ (Україна)

Критерій	Інтелектуальна система (на прикладі Ento, Данія)	Традиційна АСЕМ (на прикладі uMuni/Енергоплан, Україна)
Технологічна основа	Штучний інтелект (AI) та машинне навчання (ML)	Бази даних, веб-інтерфейси візуалізації, ручні алгоритми
Роль енергоменеджера	Прийняття рішень: валідація пропозицій системи та координація технічних служб	Аналітика: самостійний пошук аномалій, ручний аналіз графіків та звітів
Метод виявлення втрат	Автоматичний/Предиктивний: система сама надсилає сповіщення про аномалію (наприклад, «Вентиляція працює у вихідний»)	Ручний/Реактивний: менеджер бачить «червону зону» у звіті постфактум
Врахування зовнішніх факторів	Динамічне моделювання (погода, свята, карантин, розклад занять) в реальному часі	Переважно статичне нормування (порівняння з базовим роком або лімітом)
Основний ефект	Скорочення часу на аналіз даних на 80-90%, фокус на фізичних роботах	Впорядкування бухгалтерського обліку енергоресурсів, бенчмаркінг будівель
Врахування зовнішніх факторів	Динамічне моделювання (погода, свята, карантин, розклад занять) в реальному часі	Переважно статичне нормування (порівняння з базовим роком або лімітом)

*Джерело: Проаналізовано за [62; 63].*

Досвід Гольстебро демонструє, що еволюція українських систем енергомоніторингу має відбуватися у напрямку інтеграції модулів штучного інтелекту. Це особливо актуально в умовах післявоєнної відбудови, коли кількість об'єктів та вимоги до енергоефективності зростатимуть, а дефіцит

кваліфікованих кадрів зберігатиметься. Перехід від пасивного моніторингу до AI-радників дозволить українським муніципалітетам досягти реальної економії (до 10-15% без капітальних вкладень) за рахунок оптимізації налаштувань інженерних систем, як це було реалізовано в Данії.

У контексті глобальних викликів енергетичної безпеки та сталого розвитку, модель енергетичної системи Данії визнана однією з найефективніших у світі. Згідно з рейтингом Всесвітньої енергетичної ради (World Energy Council – WEC), країна займає лідируючі позиції за показниками енергетичної безпеки, соціальної рівності доступу до ресурсів та екологічної стійкості [64]. Фундаментом цього успіху стала стратегія повної цифровізації обліку та управління попитом, реалізована на національному рівні.

Ключовим етапом трансформації стало завершення у 2020 році програми тотального впровадження інтелектуальних систем обліку (Smart Metering). На сьогодні 100% будівель у Данії обладнані цифровими лічильниками, що забезпечують дискретизацію даних споживання електроенергії, тепла та води з погодинною частотою. Такий масив даних (Big Data) дозволяє операторам систем розподілу не лише здійснювати моніторинг у реальному часі, а й застосовувати предиктивну аналітику для прогнозування навантажень та оптимізації режимів роботи мережі [65].

Унікальною особливістю данської моделі є глибока інтеграція сектору централізованого теплопостачання (District Heating – DH), яке охоплює близько двох третин домогосподарств країни. Розвинена підземна інфраструктура тепломереж виступає гнучким інструментом балансування енергосистеми. Як зазначають дослідники Йохансен та Вернер, використання розумних лічильників як елемента зворотного зв'язку дозволяє знижувати температуру теплоносія без втрати комфорту споживачів, що підвищує загальну ефективність системи [66].

Ця інфраструктура є критично важливою для досягнення амбітних кліматичних цілей Данії до 2030 року. Для інтеграції значних обсягів стохастичної генерації (вітрової та сонячної енергії) уряд ініціював програми безпечного обміну даними між різними секторами енергетики. Це дозволяє

створювати синергію між електропостачанням, опаленням та водопостачанням, формуючи єдину інтелектуальну енергетичну систему (Smart Energy System), де управління базується на зниженні попиту та гнучкому реагуванні споживачів [67].

В умовах переходу до парадигми «Розумного міста» (Smart City), показовим кейсом комплексної цифровізації міської інфраструктури є досвід грецького муніципалітету Палаїо Фаліро (Афінська агломерація). Реалізація проєкту відбувалася в рамках стратегічного планування «Оперативної програми 2019-2023», де пріоритетним вектором було визначено оновлення міського середовища через впровадження інноваційних технологій моніторингу [68].

Технічною основою системи виступила спеціалізована IoT-платформа SenseOne, яка забезпечує централізований збір, нормалізацію та аналітичну обробку великих даних (Big Data). Архітектура системи побудована за багаторівневим принципом:

1. Інтелектуальні лічильники електроенергії та контролери вуличного освітлення здійснюють вимірювання параметрів у режимі реального часу – рівень фізичних пристроїв.
2. Контролери передають «сирі» дані на хмарний сервер через захищені канали зв'язку – комунікаційний рівень.
3. Програмне забезпечення обробляє дані, формуючи енергетичні профілі об'єктів. Доступ до інтерфейсу здійснюється через веб-браузери, що забезпечує мобільність управлінського персоналу – рівень платформи (Application Layer).

Ключовою особливістю платформи є її універсальність – система агрегує дані з різномірних об'єктів інфраструктури: адміністративних будівель, закладів освіти, спортивних споруд, центрів обслуговування громадян та мереж вуличного освітлення. Впровадження платформи дозволило муніципалітету перейти від реактивного до проактивного управління енергоресурсами. Система SenseOne реалізує функціонал, необхідний для відповідності міжнародному стандарту енергоменеджменту ISO 50001:

- автоматичний розрахунок показників енергетичної ефективності (Energy Performance Indicators) та їх порівняння з базовою лінією;
- ~ порівняльний аналіз енергоємності однотипних будівель (наприклад, шкіл) для виявлення найгірших та найкращих за показниками об'єктів –бенчмаркінг;
- ~ алгоритми системи фіксують відхилення від нормальних патернів споживання (наприклад, нічне споживання у школах) та генерують автоматичні сповіщення (Alarms) для технічних служб виявлення аномалій [69].

Інтеграція цифрового моніторингу стала фундаментом для залучення інвестицій та грантових коштів. Завдяки верифікованим даним, муніципалітет Палайо Фаліро успішно пройшов сертифікацію за стандартом ISO 50001, що стало обов'язковою умовою для участі у фінансових програмах «Зеленого фонду» та європейському проєкті PRODESA [70].

За результатами впровадження системи та супутніх заходів з термомодернізації було досягнуто наступних показників:

- ~ Модернізація освітлення. Заміна застарілих ламп на LED-технології під керуванням IoT-контролерів дозволила досягти економії електроенергії на рівні 60-70% порівняно з базовим періодом [71].

- ~ Операційна ефективність. Автоматизація збору даних скоротила трудовитрати персоналу на підготовку звітності на 80%, нівелювавши ризики помилок ручного введення.

- ~ Економічний ефект. Завдяки виявленню прихованих витоків та оптимізації графіків роботи обладнання (усунення позаробочого споживання) загальне енергоспоживання муніципальних будівель скоротилося на 15-20% ще до проведення капітальних ремонтів [69].

Отримані дані стали фактично базою для розробки стратегій сталого розвитку (SECAP), дозволяючи муніципалітету аргументовано подавати заявки на фінансування (Project Development Assistance). Таким чином, IoT-платформа трансформувалася з інструменту обліку в інструмент стратегічного фінансового планування та зменшення вуглецевого сліду міста.

Досвід муніципалітету Палаіо Фаліро демонструє, що критичною перевагою IoT-платформ є не просто фіксація споживання, а здатність керувати ним. Українські системи на кшталт uMuni ефективно вирішують задачу інвентаризації споживання та бенчмаркінгу, що дозволило багатьом містам досягти первинної економії у 5-10% за рахунок організаційних заходів. Проте, вони обмежені «людським фактором»: точність та оперативність даних залежить від дисципліни відповідальної особи на об'єкті. Для досягнення результатів, співмірних з грецьким кейсом (економія 20-60%), українським муніципалітетам необхідно трансформувати існуючі системи енергомоніторингу з інструментів «бухгалтерського обліку енергії» в інженерні системи диспетчеризації та управління на базі IoT.

Міжнародний досвід доводить ключову роль цифрових технологій у модернізації енергетики, яка включає цифровізацію. Впровадження цифрових систем дозволяє зменшувати витрати, підвищувати точність управління та забезпечувати енергетичну стійкість. Особливо важливими для України є муніципальні та комунальні кейси, що демонструють можливість швидкої економії ресурсів навіть за обмежених бюджетів.

### **3.3. Проектне рішення щодо впровадження цифрової системи оптимізації електроспоживання насосних станцій КП «Луцькводоканал» на основі міжнародного досвіду EPAL (Португалія)**

Системи водопостачання мають значний вплив на довкілля та енергетику через велику кількість енергії, що споживається на перекачування води та втрати води. Безпечна та ефективна робота цих систем є надзвичайно важливою, адже цифрові інструменти, такі як моніторинг, гідроінформатика та алгоритми оптимізації, є ключовими підходами, які можуть відігравати важливу роль у прийнятті рішень щодо підтримки. Енергетична складова діяльності комунальних водопостачальних підприємств є одним із ключових чинників їх

фінансової стабільності та операційної ефективності. Для КП «Луцькводоканал» питання оптимізації електроспоживання має особливе значення, оскільки значна частка витрат підприємства, від 55 до 70 %, припадає саме на роботу насосних станцій, що забезпечують подачу та транспортування води. Сучасні виклики, такі як зростання тарифів на електроенергію, нерівномірність добового водоспоживання, зношеність обладнання та потреба інтеграції у сучасні енергетичні стандарти, вимагають переходу до цифрових інструментів управління енерговитратами, які здатні мінімізувати споживання електроенергії без втрати якості надання послуг та шукати шляхи її здешевлення.

У цьому контексті високий практичний інтерес становить досвід водоканалу EPAL у Португалії, який реалізував цифрову платформу Smart Pumping Optimization System. Компанія EPAL (Empresa Portuguesa das Águas Livres), яка забезпечує водопостачанням понад 3 мільйони мешканців Лісабонської агломерації, реалізувала одну з найскладніших у Європі систем цифровізації енергоспоживання. Успіх EPAL базується не лише на програмному забезпеченні для насосів, а на створенні цілісної екосистеми WONE (Water Optimization for Network Efficiency), частиною якої є енергетичний модуль. Ця система поєднує функції автоматичного керування насосними агрегатами, алгоритми машинного навчання, прогнозування водоспоживання, розрахунок оптимальних режимів роботи насосів відповідно до динамічних тарифів на електроенергію, а також використання цифрового двійника насосних станцій. У межах впровадження платформи EPAL модернізував систему моніторингу та збору даних, інтегрував алгоритми оптимізації у штатну SCADA-систему та налаштував можливість автоматичного планування роботи насосів відповідно до поточних і прогнозованих параметрів енергоринку. У системі задіяно понад 3000 датчиків тиску, витрати та рівня, а також аналізатори якості води. 100% точок входу електроенергії обладнані інтелектуальними лічильниками, що передають дані про споживання та параметри якості електроенергії ( $\cos \phi$ , гармоніки) кожні 15 хвилин. Використовуються нейронні мережі (ANN) для прогнозування погодинного споживання води в кожній зоні тиску (DMA – District Metered Area)

на 24–48 годин наперед – точність прогнозу становить 97–98%. Перед тим як подати команду на насос, система симулює гідравлічний відгук мережі – застосовується цифровий двійник (Digital Twin). Унікальною особливістю стратегії EPAL, яка відрізняє її від більшості водоканалів, є використання рельєфу Лісабона не лише як проблеми, а і як ресурсу. Це дозволяє уникнути гідроударів та розривів труб при різкій зміні режимів роботи насосів. Результати впровадження підтвердили високу ефективність цифрових рішень: підприємство досягло зниження енергоспоживання на 17 %, скорочення пікових навантажень на 30 %, а річна економія становила понад 2,5 млн євро. Основна економія досягається не за рахунок того, що насоси працюють менше, а за рахунок того, що вони працюють в інший час. Система накачує воду в резервуари вночі (коли тариф найнижчий). Вдень, у пікові години, насоси вимикаються, а вода подається споживачам самопливом із заповнених резервуарів. Система EPAL інтегрована з даними енергетичної біржі OMIE (оператор ринку електроенергії Піренейського півострова). Якщо ціна на електроенергію раптово падає (наприклад, через надлишок вітрової генерації в Португалії), система автоматично вмикає додаткові насоси для заповнення резервуарів «про запас»[72-76].

Адаптація такого досвіду для КП «Луцькводоканал» може стати логічним та технічно обґрунтованим кроком, оскільки структура енергоспоживання та технічна організація насосних станцій у Луцьку подібні до португальського прикладу. Міжнародний досвід водоканалу EPAL (Португалія) доводить, що інтеграція алгоритмів штучного інтелекту та управління часом роботи насосів дозволяє знизити енергоспоживання на 17%. Однак, в умовах України, де різниця між піковим та нічним тарифом є критичною (до 10 разів), найбільш ефективним інструментом стає енергетичний, арбітраж за допомогою установок зберігання енергії (УЗЕ, BESS). Застосування міжнародної практики дає можливість скористатися перевіреними технологічними підходами без необхідності проходити етапи експериментів і помилок, скорочуючи час, витрати та ризики впровадження. Цей проєкт передбачає комплексне цифрове

оновлення системи керування насосними станціями підприємства з акцентом на оптимізацію енергетичних витрат.

На першому етапі необхідно провести детальний аудит наявної інфраструктури, оцінити технічні характеристики насосних агрегатів, частотних перетворювачів, систем телеметрії та SCADA. Результати аудиту дозволять визначити перелік об'єктів, що потребують модернізації для інтеграції в цифрову систему управління. Цифровізація у даному контексті виступає не як самоціль, а як технологічний базис (enabler), оскільки ефективна робота УЗЕ неможлива без Smart Metering (похвилинного обліку енергії), предиктивної аналітики (прогнозування навантаження на основі Digital Twin (цифрового двійника)), автоматизованого диспетчерського управління (SCADA) (для миттєвого перемикання режимів «мережа – батарея»).

Техніко-економічний розрахунок ефективності впровадження УЗЕ:

Для моделювання економічного ефекту проведено розрахунок встановлення системи накопичення енергії на каналізаційно-насосній станції (КНС) №7 КП «Луцькводоканал». Розрахунок базується на реальних даних роботи станції та ринкових цінах на електричну енергію станом на 11.11.2025 р.[77]:

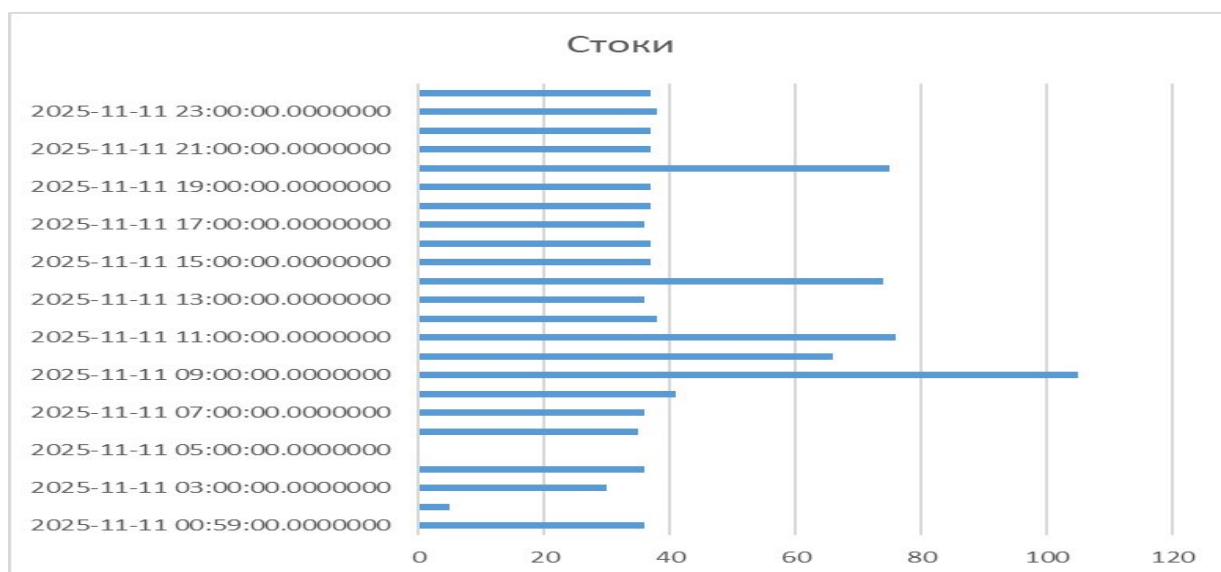


Рисунок 3.1. Кількість стоків (м³/год) представленої КНС за один день 11.11.2025 р.

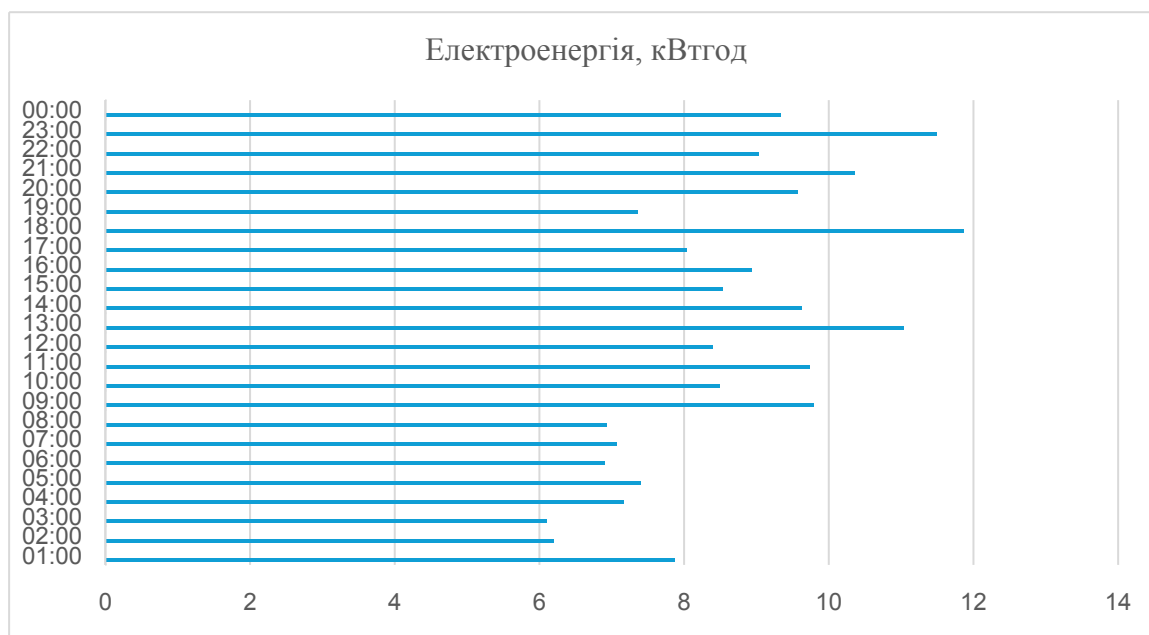


Рисунок 3.2. Кількість спожитої електричної енергії кожну годину за 11.11.2025 р.

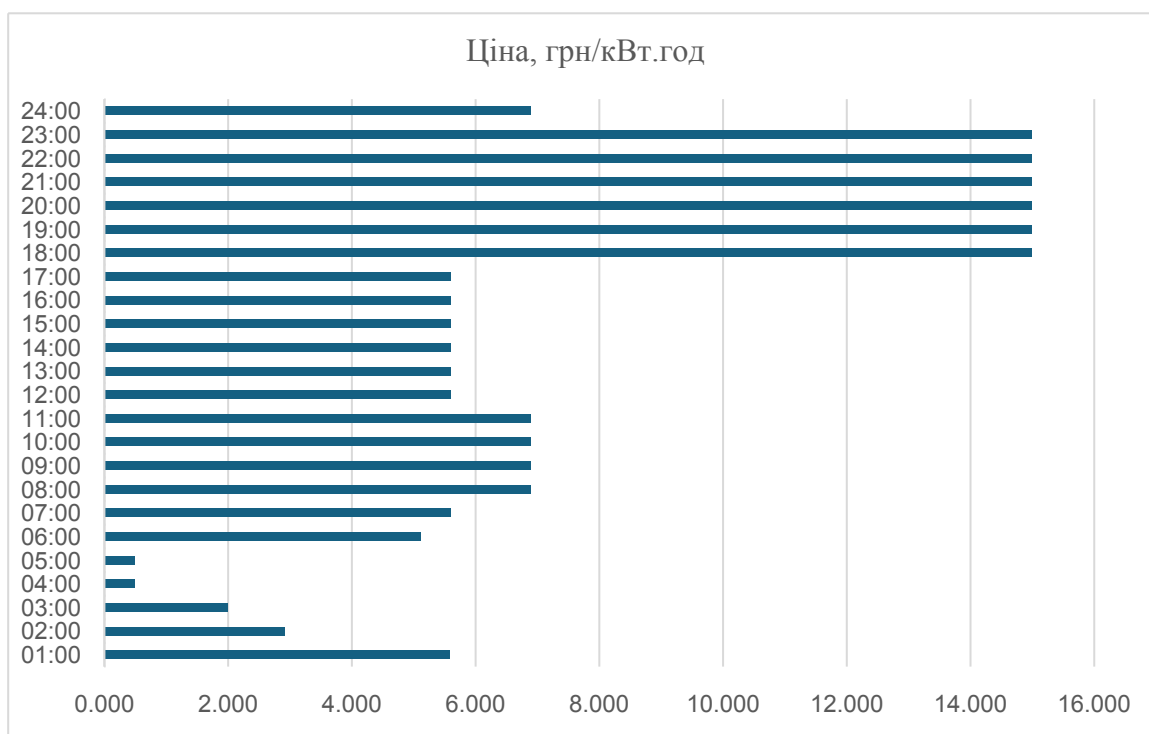


Рисунок 3.3. Погодинні ціни купівлі електричної енергії на РДН 11.11.2025 р. за даними Оператора ринку

*Джерело: [77]*

Аналіз графіка навантаження показує, що пікове споживання співпадає з періодом найвищих цін на ринку «на добу наперед» (РДН).

Таблиця 3.3 – Параметри споживання КНС у години вечірнього піку  
(11.11.2025)

Часовий інтервал	Обсяг стоків, Q (м3)	Споживання ЕЕ, Wload (кВт·год)	Тариф РДН, P <sub>peak</sub> (грн/кВт·год)
18:00 – 19:00	37	11,87	15
19:00 – 20:00	37	7,37	15
20:00 – 21:00	75	9,57	15
21:00 – 22:00	37	10,37	15
22:00 – 23:00	37	9,03	15
23:00 – 00:00	38	11,5	15
ВСЬОГО	261	59.70	15,00 (сер.)

Суть запропонованого рішення полягає у зміщенні навантаження (load shifting):

~ зарядка акумуляторів відбувається вночі за мінімальним тарифом, а розрядка – у години пік;

~ середній нічний тариф (P(off-peak)): 1,48 грн/кВт·год (інтервал 02:00–06:00);

~ середній піковий тариф (P(peak)): 15,00 грн/кВт·год;

~ Економічний спред (різниця):

$$\Delta P = P(\text{peak}) - P(\text{off-peak}), \quad (3.1)$$

$$\Delta P = 15,00 - 1,48 = 13,52 \text{ грн/кВт·год.}$$

Для покриття пікового попиту 59,70 кВт·год обрано установку номінальною ємністю 100 кВт.

Добова економія ( $S(\text{день})$ ) розраховується як добуток зміщеного обсягу енергії на різницю тарифів:

$$S(\text{день}) = W_{\text{load}} \times \Delta P \quad (3.2)$$

$$S(\text{день}) = 59,70 \times 13,52 = 807,14 \text{ грн.}$$

Річна економія ( $S(\text{рік})$ ), за умови щоденного циклування системи:

$$S(\text{рік}) = S(\text{день}) \times 365 = 807,14 \times 365 \approx 294606,14 \text{ грн.} \quad (3.3)$$

Окупність інвестицій:

~ капітальні інвестиції (КІ) становлять 2 000 000 грн (середньоринкова вартість УЗЕ 100 кВт);

~ термін окупності (ТО):

$$TO = \frac{KI}{S(\text{рік})} = \frac{2000000}{294606,14} = 6,78 \text{ років} \quad (3.4)$$

Проведений техніко-економічний аналіз демонструє високу ефективність впровадження цифрових технологій управління попитом на базі систем накопичення енергії для КП «Луцькводоканал». Розрахунковий термін окупності проєкту становить 6,78 років, що є прийнятним показником для інфраструктурних проєктів, враховуючи, що нормативний термін експлуатації сучасних літій-залізо-фосфатних (LFP) систем становить 12–20 років. Це означає, що після повернення інвестицій система приноситиме чистий прибуток підприємству протягом щонайменше 6–10 років.

Крім того, встановлення УЗЕ вирішує не лише фінансові завдання, а й питання безпеки. В умовах воєнного стану та нестабільності енергосистеми, наявність власного резерву потужності дозволяє підтримувати роботу

критичного обладнання КНС під час короткочасних відключень, запобігаючи екологічним аваріям.

Подальший розвиток проєкту може передбачати створення цифрового двійника ключових насосних станцій КП «Луцькводоканал». Це дасть змогу моделювати гідравлічні процеси, оцінювати енергетичні втрати, прогнозувати технічний стан обладнання та розраховувати економічно оптимальні режими роботи. Використання цифрового двійника дозволить підприємству приймати рішення на основі даних, а не на основі статичних графіків чи традиційного диспетчерського досвіду. Наступним етапом є впровадження алгоритмів оптимізації електроспоживання. Для цього до SCADA-системи підприємства інтегрується спеціальний модуль, що аналізуватиме інформацію про поточні тарифи на електроенергію, прогноз споживання води, рівні наповненості резервуарів та технічні обмеження насосного обладнання. Алгоритм визначатиме найвигідніший час для роботи насосів та забезпечуватиме автоматичне регулювання їх навантаження. На початковому етапі система працюватиме у режимі рекомендацій, після чого можливе повне автоматичне керування. Така система дозволить КП «Луцькводоканал» значно скоротити енергетичні витрати. Системне впровадження проєкту сприятиме переходу КП «Луцькводоканал» до сучасної моделі енергетичного менеджменту, заснованої на аналізі даних та автоматизованих рішеннях. Це дасть можливість підприємству інтегруватися до механізмів Smart Grid, брати участь у програмах управління піковим навантаженням та отримувати компенсації за участь у заходах demand response. Цифровізація енергетичного сегменту діяльності водоканалу підвищить його стійкість до форс-мажорів, зокрема спричинених військовими загрозами, оскільки система забезпечить можливість резервування даних, дистанційного управління та автономного функціонування окремих елементів інфраструктури.

Таким чином, адаптація моделі EPAL до умов КП «Луцькводоканал» є своєчасним і перспективним рішенням, що відповідає сучасним вимогам ефективності, енергетичної стійкості та цифрової трансформації комунальних

підприємств. Реалізація запропонованого проєкту дозволить суттєво знизити витрати підприємства, підвищити надійність роботи насосного обладнання та інтегруватися у сучасну енергетичну екосистему, що є важливим кроком у напрямі модернізації комунальної інфраструктури та створить прецедент для масштабування технології на інші об'єкти водоканалу.

У контексті запропонованої моделі цифрової стійкості ключову роль відіграють органи місцевого самоврядування, від рішень і управлінських дій яких залежить можливість практичного впровадження Microgrids, систем зберігання енергії та цифрових платформ управління. Згідно з Законом «Про енергетичну ефективність [35]», органи влади зобов'язані впроваджувати системи енергоменеджменту. Зараз органи місцевого самоврядування виступають як просунуті споживачі з елементами цифрового моніторингу, але не як повноправні учасники керування енергосистемою. На прикладі КП «Луцькводоканал» обґрунтовується, що саме вони можуть створити правові, фінансові та організаційні умови, необхідні для реалізації такого проєкту. Зокрема, міська рада має повноваження затверджувати програми енергетичної стійкості, схеми енергопостачання критичних об'єктів та стратегічні документи цифрової трансформації ЖКГ. З метою стимулювання будівництва установок накопичення енергії для резервування, вона може забезпечувати співфінансування закупівлі обладнання, залучати грантові кошти та виступати гарантом у міжнародних інвестиційних програмах, що значно розширює можливості комунальних підприємств щодо встановлення Microgrids і BESS.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра здійснено комплексне дослідження теоретичних засад та практичних аспектів впровадження цифрових технологій у систему управління енергетичними ресурсами. Досліджено роль цифрових технологій у системі управління енергетичними ресурсами та визначено їх потенціал як інструменту публічного управління в т.ч. умовах воєнного стану, децентралізації та зростаючих вимог до енергоефективності. На основі аналізу вітчизняного та міжнародного досвіду, нормативно-правової бази та реальних даних комунального підприємства вирішено поставлені завдання та отримано наступні результати:

Проаналізовано сучасні підходи до цифровізації в енергетичній сфері України та ЄС. Встановлено, що цифрова трансформація енергетики є незворотнім глобальним процесом, який базується на парадигмі «Енергетичного переходу 4.0» та концепції «3D» (декарбонізація, децентралізація, діджиталізація). Визначено, що в Європейському Союзі цифровізація розглядається не як окремий технічний процес, а як інструмент досягнення цілей Європейського зеленого курсу та енергоефективності. Ключовими технологіями, що змінюють архітектуру управління, є Smart Grid, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та системи SCADA. Аналіз українського контексту показав, що попри наявність стратегічних документів (Енергетична стратегія до 2050 року, Національний план дій з енергоефективності), фактичний рівень цифровізації залишається точковим. Зокрема, на прикладі декількох операторів системи розподілу темпи впровадження інтелектуальних систем обліку (Smart IMS) у 2024–2025 роках сповільнилися, що стримує розвиток повноцінного ринку та активну участь споживачів. Водночас, нормативно-правова база (Закони України «Про ринок електричної енергії», «Про енергоефективність») створює необхідний фундамент для переходу від адміністративного управління до ринкових механізмів, підсилених цифровими даними.

Оцінено вплив цифрових технологій на забезпечення енергетичної безпеки України. Доведено, що в умовах сучасних викликів цифрові технології трансформувалися з допоміжного інструменту в критично важливий елемент національної безпеки. Інституційний аналіз діяльності регуляторних органів (Міненерго, НКРЕКП, Держенергонагляд) свідчить, що державне управління все більше спирається на цифрову аналітику для моніторингу надійності постачання та балансування системи. Україна вже інтегрує окремі цифрові рішення, однак розвиток цифрової енергетики стримується інституційною слабкістю, обмеженим фінансуванням та нерівномірністю впровадження інновацій. На прикладі порівняльного аналізу української платформи Datahub та естонської Estfeed обґрунтовано необхідність трансформації вітчизняної системи з реєстру комерційного обліку в повноцінну сервісну екосистему. Це дозволить забезпечити прозорість ринку, кіберстійкість інфраструктури та створити умови для розвитку розподіленої генерації, що є запорукою фізичної безпеки енергосистеми.

Виявлено виклики та можливості цифрової трансформації енергетики в умовах війни. Встановлено, що масовані атаки на централізовану енергетичну інфраструктуру зробили модель децентралізації безальтернативною стратегією виживання та відновлення. Розподілена генерація та мікромережі (Microgrids) є менш вразливими мішенями, проте їх ефективна інтеграція в загальну мережу неможлива без цифрових систем диспетчеризації та прогнозування. Аналіз показав, що війна стала каталізатором змін: спостерігається стрімке зростання введення в експлуатацію потужностей ВДЕ (зокрема СЕС) операторами систем розподілу (зростання більше ніж удвічі у 2025 році порівняно з 2024 роком). Основними викликами залишаються дефіцит маневрових потужностей, вразливість до кібератак та обмеженість фінансових ресурсів для модернізації мереж. Цифрові двійники (Digital Twins) та AI-алгоритми, за прикладом сінгапурського досвіду, визначено як інструменти, що дозволяють оптимізувати витрати на відбудову та обслуговування мереж в умовах обмежених ресурсів.

У роботі запропоновано практичні рекомендації та обґрунтовано переваги цифровізації для органів місцевого самоврядування. На основі аналізу кращих практик муніципального енергоменеджменту (кейси муніципалітетів Гольстебро, Данія та Палаїо Фаліро, Греція) доведено, що органи місцевого самоврядування повинні перейти від ролі пасивних споживачів до активних учасників енергоринку. Практичну цінність дослідження підтверджено запропонованим проєктним рішенням для КП «Луцькводоканал» щодо встановлення установки зберігання енергії (УЗЕ) потужністю 100 кВт на каналізаційно-насосній станції №7. Запропонована модель цифрової стійкості громади, яка передбачає інтеграцію таких технічних рішень у систему муніципального управління дозволить не лише зменшити навантаження на місцеві бюджети, але й забезпечити резервне живлення критичної інфраструктури під час блекаутів.

Для успішної реалізації таких проєктів рекомендовано органам місцевого самоврядування:

- ~ Впроваджувати автоматизовані системи енергомоніторингу з елементами ШІ для усунення «людського фактору».
- ~ Розробляти місцеві програми підтримки розподіленої генерації та систем накопичення енергії.
- ~ Використовувати механізми державно-приватного партнерства та залучати грантові кошти для цифрової модернізації комунальних підприємств.

Таким чином, цифровізація енергетики є комплексним управлінським завданням, вирішення якого дозволить Україні побудувати стійку, ефективну та євроінтегровану енергетичну систему навіть в умовах воєнних загроз.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Сакала М. Цифровізація у сфері енергетики. *Економічний вісник*. 2023. URL: <http://188.190.43.194:7980/jspui/bitstream/123456789/12487/1/EVESP-23-424-426.pdf>.
2. Хаустова М. Г. Правове забезпечення цифрової трансформації у сучасних умовах. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2022.
3. Encyclopedia of Information Science and Technology / Khosrow-Pour M. (Ed.). 4th ed. IGI Global, 2017. 8104 p.
4. Соснін О. Цифровізація як нова реальність країни. *Юридичний вісник України*. 2020. № 1.
5. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Governance and policy in the digital transformation of energy systems: Case study. Geneva, 2024. Doc. GEEE-11.2024.INF.3. URL: [https://unece.org/sites/default/files/2024-09/GEEE-11.2024.INF\\_3\\_governance.policy\\_case.study\\_2024.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2024-09/GEEE-11.2024.INF_3_governance.policy_case.study_2024.pdf).
6. Every1 Energy. Review of Digital Transformation in the Energy Sector: Assessing Maturity and Adoption Levels. 2024. URL: [https://every1.energy/sites/default/files/2024-07/Review\\_of\\_Digital\\_Transformation\\_in\\_the\\_Energy\\_Sector.pdf](https://every1.energy/sites/default/files/2024-07/Review_of_Digital_Transformation_in_the_Energy_Sector.pdf).
7. Ullah M. et al. Processing smart meter data for energy management: challenges and opportunities. *LUT University Repository*. 2022. URL: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163825/ullah\\_et\\_al\\_processing\\_smart\\_meter\\_data\\_aam.pdf](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163825/ullah_et_al_processing_smart_meter_data_aam.pdf).
8. IoT for utilities: Harnessing big data from grids edge. *Smart Energy International*. URL: <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/energy-grid-management/iot-for-utilities-harnessing-big-data-from-grids-edge/>.

9. How AI enhances power grid resilience during data center surge. *Business Insider*. URL: <https://www.businessinsider.com/sc/how-ai-enhances-power-grid-resilience-during-data-center-surge>.
10. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. *Future Generation Computer Systems*. 2013. Vol. 29, no. 7. P. 1645–1660.
11. Ashton K. That ‘Internet of Things’ Thing. *RFID Journal*. 2009. URL: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?498>.
12. Al-Fuqaha A. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2015. Vol. 17, no. 4. P. 2347–2376.
13. Boyer S. SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition. 4th ed. ISA, 2010.
14. Tan W., Wang N. Industrial Control Systems and SCADA: Principles and Applications. Springer, 2015.
15. Stouffer K., Falco J., Scarfone K. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security. NIST Special Publication 800-82. 2015.
16. Farhangi H. The path of the smart grid. *IEEE Power and Energy Magazine*. 2010. Vol. 8, no. 1. P. 18–28.
17. Fang X., Misra S., Xue G., Yang D. Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2012. Vol. 14, no. 4. P. 944–980.
18. Gungor V. C. et al. Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2013. Vol. 7, no. 4. P. 529–539.
19. Kow E. W. et al. Artificial intelligence techniques in smart grids. *Energy Reports*. 2016.
20. Seyedmahmoudian M. et al. Maximum power point tracking in PV systems using AI. *Renewable Energy*. 2015.

21. Kong W. et al. Short-term residential load forecasting based on LSTM. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2018.
22. Rodríguez F. et al. Deep learning for solar power forecasting. *Solar Energy*. 2018.
23. Debnath K. B., Mourshed M. Forecasting renewable energy using AI. *Applied Energy*. 2018.
24. International Energy Agency. World Energy Outlook 2023. Paris: IEA, 2023.
25. European Commission. Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target. Brussels: EC, 2021.
26. Hogan W. Electricity Market Design: Lessons from the World. Harvard Kennedy School, 2020.
27. Joskow P. Markets for Power: An Analysis of Electric Utility Deregulation. MIT Press, 2020.
28. Stoft S. Power System Economics: Designing Markets for Electricity. IEEE Press, 2002.
29. Sioshansi F. (Ed.). Digitalization of Power Markets and Systems. Academic Press, 2020.
30. Jamasb T., Pollitt M. Electricity Market Reform in the European Union. *The Energy Journal*. 2005. Vol. 26(SI). P. 11–41.
31. Brown T., Hörsch J., Schlachtberger D. PyPSA: Python for Power System Analysis. *Journal of Open Research Software*. 2018. Vol. 6, no. 4.
32. North D. Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge University Press, 1990.
33. Хомин В. Інституційно-правова складова забезпечення енергетичної трансформації на місцевому рівні. *П'яти наукові читання пам'яті академіка В.К. Мамутова*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Київ, 28 червня 2024 р.). Київ-Чернігів, 2024. С. 304–311.
34. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.

35. Про енергетичну ефективність: Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20>.
36. Про схвалення Стратегії розвитку інноваційної діяльності на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 10.07.2019 № 526-р (в ред. Стратегії цифрового розвитку WINWIN).
37. Валовий внутрішній продукт. Банк даних Державної служби статистики України. URL: <https://db.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 15.12.2025).
38. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2021 № 1803-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.11.2025)
39. Оцінка діяльності НКРЕКП очима споживачів, ліцензіатів та експертів: соціологічне дослідження. *Центр Разумкова*. 2021. URL: <https://razumkov.org.ua>.
40. Міністерство енергетики України. Офіційний сайт. URL: <https://mev.gov.ua>.
41. Про затвердження Положення про Державну інспекцію енергетичного нагляду України: Постанова Кабінету Міністрів України від 14.02.2018 № 77.
42. Меморандум про співробітництво між Держенергонаглядом та ГС «Український фонд енергоефективності та енергозбереження». *Громадська спілка ONOVA*. URL: <https://onova.org.ua>.
43. Digitalisation of the energy system. *European Commission*. URL: [https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/digitalisation-energy-system\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/digitalisation-energy-system_en).
44. Інформація та аналіз діяльності операторів систем розподілу. АТ «Українські розподільні мережі» Інформаційний бюлетень за грудень та 12 місяців 2024 р., за жовтень 2025 року – звітні дані
45. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p#Text> (дата звернення: 20.11.2025).

46. Fostering Effective Energy Transition 2024 Edition. World Economic Forum. Geneva, 2024. URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Fostering\\_Effective\\_Energy\\_Transition\\_2024.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2024.pdf) (дата звернення: 15.11.2025).

47. Погляд у найближче майбутнє: як змінюється нафтогазовий сектор під впливом «зеленої трансформації», презентація, Станіслав Ігнат'єв, доктор технічних наук, професор Керівник проектів і програм з декарбонізації та відновлюваної енергетики філії «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз» професор Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Експерт Українського інституту майбутнього.

48. Посилення України шляхом децентралізації енергетичної системи : дорожня карта збільшення використання розподілених енергетичних ресурсів в Україні до 2030 року / Міжнародне енергетичне агентство. – Париж : МЕА, 2025. – URL: <https://www.iea.org/reports/empowering-ukraine-through-a-decentralised-electricity-system> (дата звернення: 03.12.2025)

49. Bandura R., Staguhn J. Striving for Access, Security, and Sustainability. Center for Strategic and International Studies (CSIS). 2023. URL: <https://www.csis.org/analysis/striving-access-security-and-sustainability> (дата звернення: 21.11.2025).

50. A new energy world in the making: Imaginary business futures in a dramatically changing world of decarbonized energy production / T. J. Laitinen, M. J. Anttiroiko, J. J. T. Tervonen, M. M. Heikkinen. Futures. 2020. Vol. 116. Article 102500. URL: [https://www.researchgate.net/publication/338971300\\_A\\_new\\_energy\\_world\\_in\\_the\\_making\\_Imaginary\\_business\\_futures\\_in\\_a\\_dramatically\\_changing\\_world\\_of\\_decarbonized\\_energy\\_production](https://www.researchgate.net/publication/338971300_A_new_energy_world_in_the_making_Imaginary_business_futures_in_a_dramatically_changing_world_of_decarbonized_energy_production) (дата звернення: 20.11.2025).

51. REPowerEU: 3 years on. *European Commission*. 2025. URL: <https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european->

[green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](#) (дата звернення: 21.11.2025).

52. Lepik L. Estfeed Datahub: Powering Estonia's digital energy future. CEE Bankwatch Network. 2025. URL: <https://bankwatch.org/blog/estfeed-datahub-powering-estonia-s-digital-energy-future> (дата звернення: 26.11.2025)..

53. Національна енергетична компанія «Укренерго» : офіційний вебсайт. URL: <https://ua.energy/> (дата звернення: 26.11.2025).

54. SP Group pilots Singapore's first Grid Digital Twin to enhance network reliability. *SP Group Press Release*. URL: <https://www.spgroup.com.sg>.

55. Leveraging Digital Solutions to Future-Proof Singapore's Energy Grid. *SIEW*. 2023. URL: <https://www.siew.gov.sg>.

56. Singapore Energy Statistics 2024. *Energy Market Authority (EMA)*. URL: <https://www.ema.gov.sg/resources/singapore-energy-statistics>.

57. Singapore Green Plan 2030. A Whole-of-Nation Movement. URL: <https://www.greenplan.gov.sg>.

58. Цифровізація мереж. *ДТЕК Мережі*. URL: <https://www.dtek-grids.com>.

59. Holstebro Municipality: Achieving Energy Efficiency with AI-based System. *Asia Growth Partners*. URL: <https://asiagrowthpartners.com/case-study/holstebro-municipality>.

60. Holstebro Municipality Case Study. *Ento – AI Energy Management*. URL: <https://ento.ai/customers/holstebro-municipality>.

61. Climate Action Plan. *Holstebro Kommune*. URL: <https://www.holstebro.dk>.

62. uMuni – система енергомоніторингу для громад. URL: <https://umuni.com>.

63. Угода мерів – Схід (Covenant of Mayors East). URL: <https://com-east.eu/uk>.

64. Denmark: An intelligent energy system that enables a green and safe transition. *HARTING Technology Group News*. 2024. URL: <https://www.harting.com>.

65. Bergsteinsson H. G. et al. Use of smart meters as feedback for district heating temperature control. *Energy Reports*. 2021. Vol. 7. P. 213–221.

66. Johansen K., Werner S. Something is sustainable in the state of Denmark: A review of the Danish district heating sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 158. Art. 112117.
67. Energy Policy in Denmark. *Danish Energy Agency*. URL: <https://ens.dk/en>.
68. Municipality of Palaio Faliro: Sustainable Energy Action Plan. *Covenant of Mayors Reports*. URL: <https://mycovenant.eumayors.eu>.
69. SenseOne IoT Platform for Smart Cities: Case Study Palaio Faliro. *SenseOne Official Resources*. URL: <https://www.senseone.io>.
70. PRODESA Project: Energy Efficiency in Greece. *European Commission CORDIS*. URL: <https://cordis.europa.eu>.
71. Energy Efficiency Interventions in Municipal Lighting. *Green Fund Greece Annual Report*. Athens, 2023.
72. WONE: Water Optimization for Network Efficiency. *EPAL Presentation*. Lisbon: EPAL, 2016. URL: <https://www.epal.pt>.
73. Active Water Loss Control. Technical Report. Lisbon: EPAL, 2016. URL: <https://www.epal.pt>.
74. Sustainable Non-Revenue Water Control: The Lisbon Case. *China-Europe Water Platform (CEWP)*. 2021. URL: <http://cewp.eu>.
75. Siemens contributes to EPAL's energy neutrality. *Siemens Press Release*. 2023. URL: <https://assets.new.siemens.com>.
76. EPAL – Portugal (Case Profile). *Clean Energy Ministerial*. 2022. URL: <https://www.cleanenergyministerial.org>.
77. Параметри роботи КНС 7 за даними КП «Луцькводоканал» – звітні дані.

# ДОДАТОК А

Таблиця А.1. – Інформація про кількість споживачів та точок обліку за періоди 2023–2025 рр. (за даними АТ «Запоріжжяобленерго», АТ «Черкасиобленерго», АТ «Тернопільобленерго», АТ «Хмельницькобленерго», АТ «Харківобленерго», АТ «Миколаївобленерго»)

Станом на	Категорія	Всього	в тому числі:													
			Побутових споживачів				Непобутових споживачів									
			Всього	в тому числі:			Всього	в тому числі:								
				В міських населених пунктах	В сільських населених пунктах			Непромислових ( < 1000 В )			Промислових та привіняних до них		Сільсько-господарських	Корпоративних	Непромислових (> 1000 В )	
					Всього	в тому числі:		Всього	в тому числі:							
шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
01.10.2025 р.	Споживачів	3839095	3711144	2255137	1456007	128068	109621	71318	38303	7099	783	6316	5657	117	5574	
	Точок обліку	4030015	3696511	2245381	1451130	344134	276002	182338	93664	28113	4166	23947	12300	10630	17089	
01.10.2024 р.	Споживачів	3840338	3713568	2293124	1420444	126887	108654	71951	36703	7020	774	6246	5555	117	5541	
	Точок обліку	4032065	3699640	2283434	1416206	342915	275123	185179	89944	28456	4150	24306	12167	10490	16679	
01.10.2023 р.	Споживачів	3810774	3692291	2282752	1409539	118603	100448	70338	30110	7196	779	6417	5640	120	5199	
	Точок обліку	4003313	3680558	2274633	1405925	333922	264794	177714	87080	29330	4161	25169	12198	11167	16433	

# ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1. – Обсяги введених у експлуатацію потужностей відновлювальних джерел енергії у період з 2023–2025 рр.

Назва ОСР	Вид відновлюваного джерела енергії	Введена потужність ВДЕ у 2023 році, МВт		Введена потужність ВДЕ у 2024 році, МВт		Введена потужність ВДЕ у 2025 році, МВт	
		станом на 01.01.2023	за звітний період	станом на 01.01.2024	за звітний період	станом на 01.01.2025	за звітний період
АТ «Запоріжжяобленерго», АТ «Черкасиобленерго», АТ «Тернопільобленерго», АТ «Хмельницькобленерго», АТ «Харківобленерго», АТ «Миколаївобленерго»	СЕС побутові	291,04	23,822	314,6	11,06	342,94	34,98
	СЕС юридичні	1352,55	4,706	1355,56	15,56	844,43	55,91
	ВЕС	665,13	0	665,13	2,1	505,53	19,73
	Інші	124,7	13,685	139,89	29,5	142,05	17,9
<b>Всього по 6 ОСР</b>		<b>2433,41</b>	<b>42,212</b>	<b>2475,18</b>	<b>58,22</b>	<b>1834,92</b>	<b>128,52</b>