

## Вплив смарт-технологій на економічний розвиток та підвищення енергоефективності національної економіки

*Паласевич Микола Богданович<sup>1</sup>, Савка Олександр В'ячеславович<sup>2</sup>,  
Лепак Тарас Андрійович<sup>3</sup>*

Опубліковано	Секція	УДК
08.08.2024	Економіка	330.3

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13268557>

Ліцензовано за умовами Creative Commons BY 4.0 International license

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню економічного потенціалу смарт-технологій у підвищенні енергоефективності національної економіки. У ній розглядаються основні аспекти впровадження смарт-технологій, пов'язані із смарт-мережами, розумними лічильниками, системами управління попитом, накопичення енергії, Інтернет речами (IoT), штучним інтелектом (AI) та великими даними (Big Data). Автори аналізують переваги та виклики, пов'язані з використанням цих технологій для оптимізації процесів виробництва, розподілу та споживання енергії. Особлива увага приділяється аналізу світового досвіду та інвестиційних проектів у сфері цифровізації енергетичних систем, що сприяє підвищенню енергоефективності та зниженню витрат. У статті також висвітлюються екологічні та економічні переваги використання смарт-технологій, а також їх роль у забезпеченні сталого розвитку та підвищенні конкурентоспроможності національної економіки. Показано, що незважаючи на те, що Україна знаходиться на початкових етапах впровадження цих технологій, існуючі проекти та ініціативи демонструють великий потенціал для подальшого розвитку.

**Ключові слова:** розумні технології, енергоефективність, розумні мережі, великі дані, відновлювана енергетика, економічний потенціал, сталий розвиток.

### Impact of smart technologies on economic development and the increase in energy efficiency of the national economy

**Annotation.** The article explores the economic potential of smart technologies in enhancing the energy efficiency of national economies. It focuses on key aspects of smart technology implementation, including smart grids, smart meters, demand response systems, energy storage, the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and big data. The authors analyze the advantages and challenges associated with these technologies in optimizing the production, distribution, and consumption of energy. Special attention is given to the global experience and investment plans in the field of energy system digitalization, highlighting how

<sup>1</sup> кандидат економічних наук, доцент, доцент, кафедра математики та економіки, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4474-543X>

<sup>2</sup> аспірант, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6615-1969>

<sup>3</sup> аспірант, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7627-8989>

these initiatives contribute to increasing energy efficiency and reducing costs. The article also discusses the environmental and economic benefits of smart technologies, emphasizing their role in promoting sustainable development and enhancing the competitiveness of national economies. The integration of smart technologies is shown to be critical for achieving substantial economic gains, reducing greenhouse gas emissions, and ensuring a more resilient and adaptable energy infrastructure. Furthermore, the article outlines the importance of government support, international cooperation, and innovation in advancing these technologies, which are pivotal in meeting the energy needs of the future and fostering a more sustainable global economy. The study highlights the pivotal role of smart grids in facilitating the integration of renewable energy sources, thereby reducing reliance on fossil fuels and enhancing energy security. It underscores the necessity of advanced data analytics and AI in predicting energy demand and managing energy resources more efficiently. The article also points out the growing market for smart technologies and their potential to create new business opportunities and jobs. Finally, it emphasizes the importance of public awareness and consumer engagement in realizing the full benefits of smart energy solutions. It is shown that despite the fact that Ukraine is at the initial stages of implementing these technologies, existing projects and initiatives demonstrate great potential for further development.

**Keywords:** Smart Technologies, Energy Efficiency, Smart Grids, Big Data, Renewable Energy, Economic Potential, Sustainable Development.

### Вступ

Світова спільнота все більше зосереджується на зниженні викидів вуглекислого газу та боротьбі зі зміною клімату. У цьому контексті смарт-технології, які сприяють ефективному використанню енергії, відіграють важливу роль у досягненні глобальних цілей сталого розвитку. Використання смарт-технологій дозволяє суттєво знизити витрати на енергію в різних галузях економіки, від промисловості до житлового сектору. Це може стати вагомим стимулом для економічного зростання, оскільки заощаджені кошти можуть бути інвестовані в інші сфери. Смарт-технології, такі як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), та великі дані (Big Data), забезпечують нові можливості для моніторингу, аналізу та оптимізації енергоспоживання. Це сприяє більш гнучкому управлінню ресурсами та підвищенню енергоефективності. Для країн, залежних від імпорту енергоресурсів, підвищення енергоефективності є критично важливим для зниження зовнішньої залежності та забезпечення стабільності енергопостачання.

Наприкінці 2022 року Європейська комісія представила план дій ЄС "Цифровізація енергетичної системи", у якому прогнозується, що до 2030 року європейська електромережа отримає близько 584 мільярдів євро (633 мільярди доларів США) інвестицій, з яких 170 мільярдів євро (184 мільярди доларів США) буде спрямовано на цифровізацію. Ці кошти підуть на впровадження розумних лічильників, автоматизоване управління мережами та цифрові технології для вимірювання і покращення польових операцій.

Китай має намір модернізувати та розширювати свої електромережі, плануючи інвестиції в розмірі 442 мільярди доларів США протягом 2021-2025 років. У 2022 році Японія оголосила про програму, що забезпечить 155 мільярдів доларів США для залучення інвестицій у розвиток смарт-електромереж. Того ж року Індія започаткувала програму на суму 3,03 трільйона індійських рупій (близько 38 мільярдів доларів США), щоб підтримати енергорозподільні компанії та вдосконалити розподільчу інфраструктуру. США в 2022 році анонсували програму GRIP, яка передбачає інвестиції у розмірі 10,5 мільярда доларів США для модернізації та розширення електромереж країни. У той самий час, Канада інвестує 100 мільйонів доларів США у програму Smart Grid, спрямовану на впровадження технологій смарт-мереж та інтегрованих систем [1].

Енергоефективні технології можуть стати важливим фактором у підвищенні конкурентоспроможності національних підприємств на міжнародних ринках, оскільки зниження енергетичних витрат безпосередньо впливає на зниження собівартості продукції. Отже, дослідження економічного потенціалу смарт-технологій у підвищенні енергоефективності є надзвичайно актуальним для розуміння можливостей та викликів, пов'язаних з впровадженням інноваційних рішень у національну економіку.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій* Проблемам дослідження ролі смарт-технологій у підвищенні енергоефективності національної економіки присвячено чимало наукових досліджень та публікацій. Так, у роботі Шараз А. [2] показано, що швидка урбанізація та зростаюча глобальна увага до сталого розвитку поставили концепцію смарт-мереж на передній план сучасного енергетичного управління. Смарт-мережі, які інтегрують цифрові технології в традиційні електричні мережі, дозволяють більш ефективно і надійно розподіляти енергію. Дослідження Міжнародного енергетичного агентства (IEA) [1] та Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії IRENA (International Renewable Energy Agency) [4] наводять статистичні дані про те, що використання аналітики великих даних у смарт-мережах відкриває значні можливості для підвищення стійкості та управління складнощами урбанізації. У роботі [5] показано, що інтелектуальні мережі можуть допомогти системам розподілу в розумних містах краще інтегрувати непостійні відновлювані джерела енергії, такі як вітрові та сонячні. У дослідженні [6] було запропоновано модель корисної оцінки на основі штучного інтелекту (AIEM) для прогнозування впливу відновлюваних джерел енергії та енергоефективності на економіку.

У статті [7] проаналізовано причини, які спонукали Європейський Союз розробити законодавчу базу, яка сприятиме перетворенню існуючих будівель на розумні будівлі. Було запропоновано шаблон розумної будівлі, який керує продуктивністю всіх технічних систем за допомогою технології Інтернету речей з метою підвищення енергоефективності. Крім того, щоб покращити сертифікацію існуючих будівель з енергоефективності, було розроблено автоматизований метод дистанційного керування, який підтримує хмарний інтерфейс. Про використання смарт-технологій як важливого статистичного значущого чинника підвищення енергоефективності країн Європи наголошено у роботах [8] та [9]. Проте проблемам виокремлення саме економічного потенціалу впровадження смарт-технологій присвячено не достатньо уваги.

*Мета статті* – дослідження економічного потенціалу смарт-технологій у контексті підвищенні енергоефективності національної економіки та економічного розвитку.

### **Результати**

Смарт-технології включають інноваційні рішення, що використовують інформаційно-комунікаційні технології для оптимізації процесів виробництва, розподілу та споживання енергії. Основною метою впровадження смарт-технологій є підвищення енергоефективності та зниження витрат на енергоспоживання. До основних смарт-технологій, що сприяють підвищенню енергоефективності національної економіки можна віднести:

1. Смарт-мережі (Smart Grids).
2. Розумні лічильники (Smart Meters)
3. Системи управління попитом (Demand Response Systems)
4. Відновлювані джерела енергії (Renewable Energy Sources)
5. Системи накопичення енергії (Energy Storage)
6. Інтернет речей (IoT) у будівлях

## 7. Штучний інтелект (AI) та великі дані (Big Data)

Переваги та недоліки смарт-технологій у контексті підвищення енергоефективності національних економік подано у Таблиці 1.

Таблиця 1

## Порівняння смарт-технологій підвищення енергоефективності

Технологія	Опис	Переваги	Недоліки
<b>Смарт-мережі (Smart Grids)</b>	Інтеграція традиційних енергетичних систем з цифровими технологіями для оптимізації розподілу енергії.	Зменшення втрат енергії, поліпшення балансування попиту та пропозиції, підвищення надійності мережі.	Висока вартість впровадження, складність інтеграції з існуючими системами.
<b>Розумні лічильники (Smart Meters)</b>	Цифрові прилади, які збирають дані про споживання енергії в режимі реального часу.	Точний облік споживання, можливість для споживачів контролювати та оптимізувати своє енергоспоживання.	Приватні питання, пов'язані з даними, потреба в захисті від кібератак.
<b>Системи управління попитом (Demand Response Systems)</b>	Автоматичне управління споживанням енергії для оптимізації пікових навантажень.	Зниження навантаження на мережу під час пікових періодів, покращення загальної ефективності системи.	Залежність від участі споживачів, можливі незручності для кінцевих користувачів.
<b>Системи накопичення енергії (Energy Storage)</b>	Зберігання надлишкової енергії для використання під час дефіциту або пікових навантажень.	Підвищення стабільності енергопостачання, ефективне використання відновлюваних джерел.	Високі витрати на встановлення та обслуговування, обмежена тривалість життя батарей.
<b>Інтернет речей (IoT) у енергетиці</b>	Використання датчиків та інтернет-підключених пристроїв для моніторингу та управління енергосистемами.	Покращення управління активами, реальний моніторинг та діагностика обладнання.	Залежність від стабільного інтернет-з'єднання, потенційні ризики кібербезпеки.
<b>Штучний інтелект (ШІ) у енергетиці</b>	Використання ШІ для оптимізації виробництва, розподілу та споживання енергії.	Покращення прогнозування попиту та виробництва, автоматизація вирішення проблем.	Складності з інтеграцією в існуючі системи, високі вимоги до якості даних.

У 2022 році відновлювані джерела енергії сформували 29,1% світової виробничої потужності електроенергії, що становило 8440 ТВтч. Решта 70,9% або 20 591 ТВтч генерувалися за рахунок використання викопного палива, ядерної енергії, гідроаккумуляційних систем та інших невідновлюваних ресурсів, завдяки чому загальний обсяг світового виробництва електроенергії сягнув 29 031 ТВтч у тому ж році. У 2022 році Азія очолила світ у генерації відновлюваної електроенергії, виробляючи 3

749 ТВтг, що на 9,3% більше за попередній рік, завдяки розвитку сонячної енергетики та гідроенергетики, незважаючи на зниження у вітровій енергії та біоенергетиці. Північна Америка також показала зростання, з виробництвом 1 493 ТВтг, що на 8,6% більше, де зростання було спричинене збільшенням використання біоенергетики. У Європі було вироблено 1 462 ТВтг, що відзначає незначне скорочення на 0,6% у порівнянні з 2021 роком. У Південній Америці виробництво досягло 940 ТВтг, демонструючи зростання на 11,9% у порівнянні з 2021 роком, де основну роль відіграла відновлення гідроенергетики та значний внесок сонячної енергії [4].

Існуюча електроенергетична мережа є складною фізичною інфраструктурою, що використовується для розподілу електроенергії. В електромережі є три основні системи: виробництва, передачі та розподілу електроенергії. Така інтегрована мережа використовується для доставки електроенергії споживачам і включає електростанції, що використовуються для вироблення електроенергії, підстанції, що використовуються для перетворення напруги, і розподільні пристрої для доставки електроенергії від підстанцій споживачам.

Фізичній інфраструктурі не вистачає автоматизації, вона значною мірою залежить від послуг співробітників з технічного обслуговування та ремонту та постійно виявляється нестійкою, оскільки майбутні технології продовжують розвиватися, такі як удосконалені вимірювання та віддалений моніторинг. Традиційна система електричних мереж має значну кількість недоліків, включаючи інфраструктуру, що старіє, погану стійкість до збоїв. Враховуючи зростання попиту на більш стійкі до зміни клімату системи, інтеграція відновлюваних джерел енергії в енергосистему є необхідним кроком.

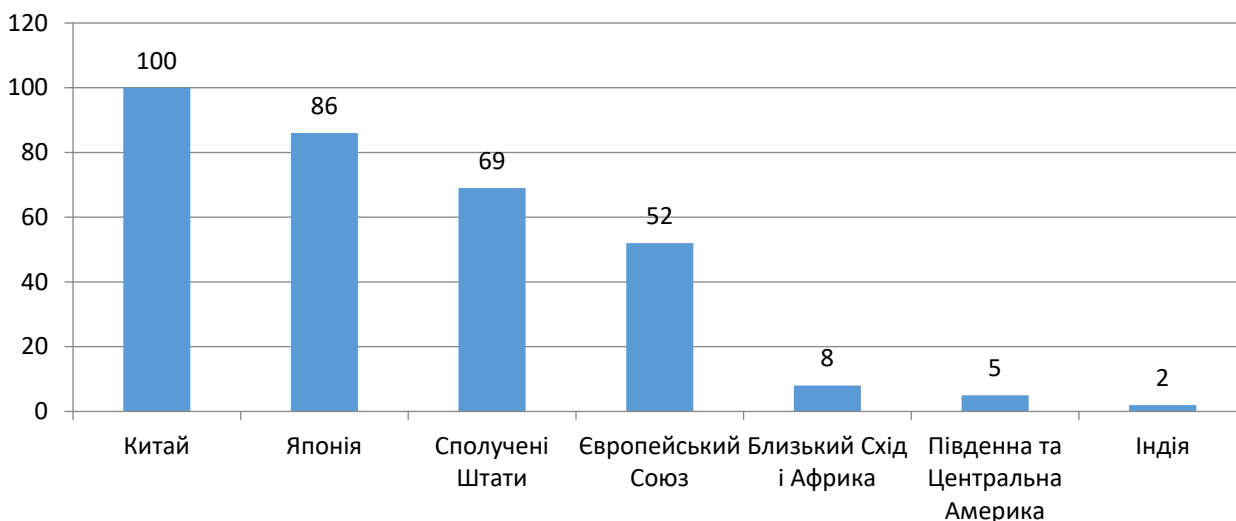
Термін "смарт мережа" відноситься до наступного покоління електричних мереж, які є енергетичними системами з інтегрованим двостороннім зв'язком, що використовується для покращення генерації та управління енергією. Вони здатні взаємодіяти та використовувати розподілені обчислення для забезпечення більшої надійності контролю, довговічності та захисту. Електроенергія передається між виробниками і споживачами через смарт мережу, в якій цифрові технології формують двосторонній зв'язок [2]. Смарт-мережі інтегрують традиційні енергетичні системи з цифровими технологіями, забезпечуючи двосторонню комунікацію між виробниками та споживачами енергії. Компонентами такої мережі є розумні лічильники, автоматизовані системи управління, системи інтеграції відновлюваних джерел енергії, енергетичні сховища.

Смарт мережі тісно пов'язані з розширенням відновлюваних джерел енергії у всьому світі. Для ефективної інтеграції таких джерел потрібно впровадити спеціалізовані механізми балансування. Це стосується не тільки масштабних промислових об'єктів, зведених енергетичними компаніями, але й розподіленої генерації, наприклад, сонячних панелей на приватних дахах. Система розподіленої генерації зараз є світовим трендом, який сприяє автономії споживачів. Дедалі більше людей переходять від ролі чистих споживачів до часткових виробників електроенергії. Ці особи не тільки самостійно задовольняють власні потреби в енергії, але й часто виступають як продавці надлишків своєї продукції на загальний ринок. Автономні системи, які залежать від "зеленої" генерації і забезпечують себе енергією, ідеально підходять для дослідження можливостей "розумних" мереж. Компанія "Укренерго", яка є оператором магістральних мереж і диспетчером української енергосистеми, оголосила про розвиток системи Smart Grid як один з основних напрямків своєї стратегії [3].

За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), глобальні інвестиції в смарт-мережі в 2020 році склали понад \$30 мільярдів. Очікується, що до 2030 року інвестиції в смарт-мережі досягнуть \$100 мільярдів на рік. У Європейському Союзі вже

реалізовано понад 200 проектів смарт-мереж, загальна вартість яких перевищує €5 мільярдів [1].

Розумні лічильники дозволяють збирати дані про споживання енергії в режимі реального часу, надаючи споживачам можливість контролювати та оптимізувати своє споживання. Їх основними функціями є моніторинг споживання, автоматичне зчитування показників, двостороння комунікація з постачальником енергії.



**Рис. 1. Частка домогосподарств із розумними лічильниками (Smart Meters),% [1]**

Технологія Smart metering, або "розумне вимірювання", відноситься до використання спеціалізованих лічильників, які дозволяють точно вимірювати споживання енергії в реальному часі. Ці лічильники значно розширюють можливості традиційних лічильників, забезпечуючи двосторонній зв'язок між споживачем енергії та енергетичною компанією. Основні характеристики та переваги технології Smart metering включають:

*Дистанційне відчитування:* Енергетичні компанії можуть збирати дані про споживання без необхідності візиту до місця встановлення лічильника, що знижує витрати та підвищує ефективність.

*Підвищена точність:* Розумні лічильники забезпечують більш точне вимірювання споживання, що допомагає споживачам краще розуміти і контролювати свої енерговитрати.

*Динамічне ціноутворення:* Лічильники дозволяють здійснювати більш гнучке ціноутворення, засноване на реальному часі доби, що може спонукати споживачів зменшувати споживання під час пікових навантажень.

*Покращення енергетичної ефективності:* Споживачі можуть використовувати дані від своїх розумних лічильників для оптимізації використання енергії, що призводить до зниження витрат та зменшення впливу на довкілля.

*Швидке виявлення проблем:* Розумні лічильники можуть швидко ідентифікувати проблеми в мережі, такі як витоки або несправності, дозволяючи енергетичним компаніям оперативно вживати заходів.

*Інтеграція з іншими розумними пристроями:* Вони можуть взаємодіяти з іншими розумними пристроями в домогосподарстві, такими як розумні термостати і прилади, створюючи інтегровану систему управління енергоспоживанням.

Розумне вимірювання є ключовим компонентом інтелектуальних мереж, що сприяє більш ефективному і сталому використанню енергетичних ресурсів, а також підвищує загальну надійність і стійкість енергосистеми. Система розумних датчиків використовує інформаційні та комунікаційні технології разом з IoT-технологіями (Інтернет речей) і спеціалізоване програмне забезпечення, розроблене для потреб розумного міста. Для телеметрії застосовується стандарт NB-IoT, призначений для пристроїв, які передають дані в малих обсягах. Серед переваг цього стандарту – ефективне управління енергоспоживанням і висока місткість мережі. Особливо важливо, що сигнал NB-IoT здатний проникати навіть у підвальні простори з щільним залізобетонним фундаментом.

За даними Mordor Intelligence, світовий ринок розумних лічильників оцінюється в \$13.1 мільярда у 2020 році та очікується, що він зросте до \$20.2 мільярда до 2025 року. У Європейському Союзі понад 72% споживачів вже оснащені розумними лічильниками.

Системи управління попитом дозволяють автоматично регулювати споживання енергії в залежності від попиту та пропозиції на ринку. Системи управління попитом (Demand Response Systems) — це стратегії та технології, які дозволяють операторам енергетичних систем та електропостачальникам регулювати споживання електроенергії серед споживачів у відповідь на пікові навантаження, зміни в цінах на енергію, або інші фактори, що впливають на енергетичну систему. Через програми управління попитом споживачі можуть відгукнутися на сигнали ціноутворення або запити операторів мережі, зменшуючи або зміщуючи своє споживання під час пікових періодів. Це допомагає уникнути перевантаження енергетичної системи. Споживачі отримують компенсацію або знижки на тарифи за участь у програмах Demand Response, що робить ці програми вигідними для кінцевих користувачів. Управління попитом може швидко реагувати на виклики, пов'язані з нестабільністю в мережі, зокрема через інтеграцію великої кількості відновлюваних джерел енергії, які можуть бути непостійними. Зменшення попиту в пікові періоди допомагає уникнути використання дорогих та менш ефективних енергетичних ресурсів, що знижує загальні витрати на електроенергію.

Системи управління попитом є важливою частиною сучасних стратегій енергетичного управління, особливо в контексті переходу до стійкішої та ефективнішої енергетичної інфраструктури. Вони не тільки сприяють стабільності енергосистеми, але й надають споживачам більш активну роль у процесах управління енергоспоживанням. Інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції, в енергосистему сприяє зменшенню залежності від викопних видів палива.

Світовий ринок систем управління попитом оцінюється в \$6.3 мільярда у 2020 році та очікується, що він зросте до \$14.2 мільярда до 2025 року. У США програми управління попитом дозволяють економити до 50 ГВт потужності під час пікових навантажень. У рамках проекту ДТЕК "Мережа майбутнього" впроваджено системи управління попитом, що дозволяють знижувати навантаження на мережу до 15% під час пікових періодів.

Енергетичні сховища відіграють ключову роль у підвищенні енергоефективності національної економіки, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів та сприяючи сталому розвитку. Енергетичні сховища дозволяють зберігати енергію, вироблену у періоди низького попиту, і використовувати її під час пікових навантажень. Це знижує потребу в запуску додаткових потужностей, які часто є менш ефективними та більш забруднюючими. Сховища є критично важливими для інтеграції відновлюваних джерел, таких як сонячна та вітрова енергія, які мають непостійний характер виробництва. Вони дозволяють згладжувати виробництво енергії, роблячи ці джерела більш надійними та ефективними.

Завдяки можливості купувати енергію під час низьких тарифів і використовувати її під час високих тарифів, сховища дозволяють знижувати витрати на енергію, як для окремих споживачів, так і для цілої економіки. Енергетичні сховища можуть швидко реагувати на зміни в навантаженні та інші перебої в системі, що підвищує стабільність мережі та забезпечує більш якісне електропостачання. Використання сховищ допомагає знизити залежність від енергетичних установок, які спалюють викопне паливо, зменшуючи викиди парникових газів і сприяючи досягненню цілей у сфері зменшення вуглецевого сліду. Розвиток та впровадження нових технологій сховища енергії стимулюють інновації в багатьох секторах, включаючи матеріалознавство, хімію та інженерію, що сприяє загальному технологічному прогресу.

У таблиці 2 подано різні типи накопичувачів енергії та їх основні характеристики.

Таблиця 2

## Типи систем накопичення енергії та їх основні характеристики

Тип сховища	Опис	Застосування
<b>Механічні сховища</b>		
Накопичення енергії за допомогою водяних насосів (Pumped Hydro Storage)	Вода перекачується в резервуар на вищому рівні під час низького споживання та випускається для вироблення енергії в пікові періоди	Великомасштабне зберігання, балансування мережі
Накопичувач енергії маховика (Flywheel Energy Storage)	Енергія зберігається у формі кінетичної енергії обертючих дисків	Короткочасне зберігання, стабілізація частоти мережі
<b>Електрохімічні сховища</b>		
Літій-іонні батареї	Висока ємність і ефективність	Портативні пристрої, електромобілі, резервне живлення
Свинцево-кислотні батареї	Широко поширені, використовуються десятиліттями	Аварійне живлення, резервне зберігання
Натрій-сірчані батареї	Використовуються для більших стаціонарних додатків	Стабілізація мережі, довготривале зберігання
<b>Хімічні сховища</b>		
Водень	Виробляється з води, зберігається, використовується у паливних елементах	Зберігання великих обсягів енергії, транспорт
Синтез-газ	Виробляється з біомаси або вугілля	Енергетика, хімічна промисловість
<b>Теплові сховища</b>		
Молекулярне теплове зберігання	Використовують матеріали, що змінюють свої теплові властивості	Централізоване та децентралізоване опалення
Зберігання тепла у формі пара або гарячої води	Широко використовується для централізованого опалення	Промислові процеси, централізоване опалення
Компресорні накопичення повітря	Повітря стискається і зберігається під землею, використовується для виробництва енергії	Великомасштабне зберігання, покращення надійності мережі

За даними BloombergNEF, світовий ринок систем накопичення енергії зріс з 1 ГВт у 2013 році до 17 ГВт у 2020 році та очікується, що він досягне 158 ГВт до 2030 року. У Європейському Союзі загальна встановлена потужність енергетичних сховищ досягла 4.5 ГВт у 2020 році [4].

Інтернет речей (IoT) у будівлях — це концепція, яка включає використання розумних пристроїв і систем для моніторингу, управління та автоматизації різноманітних процесів та служб у будівлях. Це включає, але не обмежується, освітленням, опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням, безпекою та іншими системами управління будівлями. Концепція Інтернету речей (IoT) у будівлях дедалі більше набуває популярності у світі, особливо у розвинених країнах, де значний акцент робиться на енергоефективність, безпеку та комфорт.

Сенсори та обладнання Інтернету речей (IoT) у будівельному секторі охоплюють широкий спектр пристроїв, призначених для вимірювання та контролю різних аспектів середовища будівлі:

1. Датчики температури контролюють і регулюють тепло в приміщеннях.
2. Лічильники електроенергії мають вирішальне значення для відстеження споживання енергії.
3. Датчики присутності та вмісту CO<sub>2</sub> є необхідними для управління якістю внутрішнього повітря та оптимізації використання простору.
4. Датчики летких органічних сполук (VOC) і термостатичні клапани також сприяють покращенню якості повітря та теплового комфорту.
5. Датчики освітленості регулюють освітлення відповідно до реальних потреб, економлячи енергію і підвищуючи комфорт користувачів.

Впровадження смарт-технологій у національну економіку дозволяє не лише досягти значних економічних вигод, але й сприяє сталому розвитку та екологічній безпеці країни. Смарт-технології відіграють ключову роль у підвищенні енергоефективності національної економіки. Вони забезпечують оптимізацію процесів виробництва, розподілу та споживання енергії, сприяють зниженню витрат, покращенню надійності та гнучкості енергетичних систем. Впровадження цих технологій сприятиме сталому розвитку та підвищенню конкурентоспроможності національної економіки України.

### Висновки

Впровадження смарт-технологій у різних галузях енергетики має значний потенціал для підвищення енергоефективності національної економіки. Незважаючи на те, що Україна знаходиться на початкових етапах впровадження цих технологій, існуючі проекти та ініціативи демонструють великий потенціал для подальшого розвитку. Залучення державної підтримки, міжнародного співробітництва та інноваційних технологій сприятиме створенню ефективної та надійної енергетичної системи.

Економічний потенціал смарт-технологій на нашу думку пролягає у підвищенні енергоефективності національної економіки полягає у наступних ключових аспектах:

*Оптимізація енергоспоживання.* Використання смарт-лічильників та сенсорів для моніторингу та аналізу енергоспоживання в реальному часі. Автоматизація систем управління енергією в будівлях та виробництвах дозволяє знижувати витрати енергії шляхом оптимізації процесів та зменшення втрат.

*Зниження витрат.* Завдяки точному обліку та контролю за споживанням енергії підприємства можуть ефективніше управляти своїми ресурсами, що веде до зниження операційних витрат. Впровадження смарт-технологій дозволяє зменшити витрати на обслуговування та ремонт обладнання завдяки прогнозуванню та запобіганню несправностей.

*Підвищення продуктивності та ефективності виробництва.* Інтеграція інтелектуальних систем у виробничі процеси сприяє більш ефективному використанню енергоресурсів, знижуючи втрати та підвищуючи продуктивність. Використання розумних систем управління для оптимізації виробничих процесів та логістики, що призводить до економії енергії та ресурсів.

*Екологічна стійкість.* Сприяння зменшенню викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин завдяки більш раціональному використанню енергоресурсів. Підтримка переходу на відновлювані джерела енергії через інтеграцію смарт-технологій для управління та оптимізації використання цих джерел.

*Інновації та розвиток нових ринків.* Стимулювання розвитку інноваційних рішень та технологій у сфері енергоефективності, що сприяє зростанню економіки. Відкриття нових ринків для смарт-технологій та рішень, що сприяє залученню інвестицій та створенню нових робочих місць.

*Поліпшення якості життя.* Використання смарт-технологій у побуті для підвищення комфорту та зручності, а також для економії енергоресурсів в домогосподарствах. Зниження енергетичних витрат для споживачів, що веде до зменшення рахунків за енергію та підвищення рівня життя населення.

#### Список використаних джерел

1. International Energy Agency. Smart-grids. <https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids>
2. Sheraz A., Herodotos H., Nouman A. Smart Grid Analytics for Sustainability and Urbanization in Big Data. Sustainability. November 2023. 282 p. [https://mdpi-res.com/bookfiles/book/8224/Smart\\_Grid\\_Analytics\\_for\\_Sustainability\\_and\\_Urbanization\\_in\\_Big\\_Data.pdf?v=1722215040](https://mdpi-res.com/bookfiles/book/8224/Smart_Grid_Analytics_for_Sustainability_and_Urbanization_in_Big_Data.pdf?v=1722215040)
3. Офіційний сайт компанії Viessmann. Smart Grid що це і яке відношення має до обладнання Viessmann? 03.09.2020. <https://serviceportal.viessmann.ua/articles/smart-grid-so-ce-i-ake-vidnosenna-mae-do-obladnanna-viessmann>
4. IRENA. Renewable energy statistics 2024. International Renewable Energy Agency. November 2023. <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024>
5. Strielkowski W., Veinbender T., Tvaronavičienė M., Lace N. Economic efficiency and energy security of smart cities, Economic ResearchEkonomiska Istraživanja. 2020. 33:1. 788-803. DOI: 10.1080/1331677X.2020.1734854
6. Cheng C., Yuhan H., Marimuthu K., Priyan K. Artificial intelligence on economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. 101358. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101358>.
7. Metallidou C. K., Psannis K. E., Egyptiadou E. A. Energy Efficiency in Smart Buildings: IoT Approaches. IEEE Access. 2020. Vol. 8. 63679-63699. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2984461.
8. Kyshakevych B., Klymkovych I. Estimation of Z-Score for Ukrainian banking system. Scientific Journal of Polonia University. 2018. Vol. 30(5). 43-51. <https://doi.org/https://doi.org/10.23856/3003>
9. Kyshakevych B., Maksyshko N., Voronchak I., Nastoshyn S. Ecological and economic determinants of energy efficiency in European countries. Scientific Horizons. 2023. Vol. 26(8). 140-155. DOI: 10.48077/scihor8.2023.140