

Семко Олександр Вікторович, PhD, асистент кафедри електротехнічних систем, +38(093)610-23-59, o.semko@chdtu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-4309-3556

*Черкаський державний технологічний університет
б-р. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна*

Семко Інга Борисівна, к.т.н., доцент, доцент кафедри електротехнічних систем, +38(096)410-06-91, semkoinga77@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6251-5830

*Черкаський державний технологічний університет
б-р. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна*

Бедрій Дмитро Іванович, д.т.н., доцент, старший дослідник, заступник директора з наукової роботи, професор кафедри менеджменту і маркетингу, професор кафедри штучного інтелекту та аналізу даних, +38(067)487-12-04, dimi7928@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5462-1588

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення»,

Одеська державна академія будівництва та архітектури,

Національний університет «Одеська політехніка»

пр. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна

LLM ЯК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АСИСТЕНТ В СИСТЕМІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

Анотація. У статті обґрунтовано доцільність застосування великих мовних моделей у системі енергоменеджменту. Акцентовано, що потенціал застосування LLM як ключового елемента інтелектуальної підтримки прийняття рішень, розкривається через можливість мовних моделей інтерпретувати контекст та бути незамінною ланкою в системі «людина – технологія». Такий підхід дозволяє енергоменеджменту вийти за межі простого інструменту, контролюючи енергоефективність споживання ресурсів. Це створює умови переходу СЕМ на рівень інтелектуального центру, який здатний складні енергоаудити трансформувати в алгоритм виконання дій, виявляти закономірності у масивах баз даних, генерувати звіти та рекомендації, щодо змін в енергополітиці організації.

Ключові слова: LLM, енергетика, енергоменеджмент, система, штучний інтелект, енергоаудит, паливно-енергетичні ресурси, інтелектуальний аналіз даних, енергозбереження, цифрова трансформація.

Semko Oleksandr, PhD, Associate of the Department of Electrical Engineering Systems, +38(093)610-23-59, o.semko@chdtu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-4309-3556

*Cherkasy State Technological University
460 Shevchenko Ave., Cherkasy, 18006, Ukraine*

Semko Inga, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering Systems, +38(096)410-06-91, semkoinga77@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6251-5830

*Cherkasy State Technological University
460 Shevchenko Ave., Cherkasy, 18006, Ukraine*

Bedrii Dmytro, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Deputy Director for Research, Professor of the Department of Management and Marketing, Professor of the Department of Artificial Intelligence and Data Analysis, +38(067)487-12-04, dimi7928@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5462-1588
*State Enterprise “Ukrainian Scientific Research Institute Of Radio And Television”,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa Polytechnic National University
1 Shevchenko Avenue, Odessa, 65044, Ukraine*

LLM AS AN INTELLECTUAL ASSISTANT IN ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS

Abstract. *The article substantiates the feasibility of using large language models in the energy management system. It is emphasized that the potential of using LLM as a key element of intelligent decision-making support is due to the ability of language models to interpret the context and be an indispensable link in the "human – technology" system. This approach allows energy management to go beyond a simple tool that controls the energy efficiency of resource consumption. This creates conditions for the transition of the SEM to the level of an intellectual center that is able to transform complex energy audits into an algorithm for performing actions, identify patterns in database arrays, generate reports and recommendations on changes in the organization's energy policy.*

Keywords: *LLM, energy, energy management, system, artificial intelligence, energy audit, fuel and energy resources, intelligent data analysis, energy saving, digital transformation.*

Вступ. Енергетична галузь України сьогодні знаходиться на етапі відновлення та розвитку своєї інфраструктури в умовах турбулентності економіки та загроз. Цей процес передбачає ні тільки відновлення потужностей енергетики, а насамперед, зміну векторів в напрямку декарбонізації, розосередженої генерації та цифрової трансформації енергосистеми.

Перехід до сучасних тенденцій розвитку енергетики, вимагає як інженерних рішень, так й змін в управлінні, і саме енергетичний менеджмент надає можливості для вироблення ефективних управлінських рішень ощадливого використання паливно-енергетичних ресурсів. Водночас, цифрові технології перетворюючись на невід’ємну частину енергетичної галузі, стають тим інструментом, який дозволяє гнучко та результативно управляти процесами енергетичного менеджменту, що означає перехід від спостереження та аналізу до інтелектуального супроводу кожного етапу управління паливно-енергетичними ресурсами.

Класичні методи систем моніторингу та аналізу енерговитрат (АСКОЕ, SCADA) забезпечують оперативне отримання необхідної інформації, але мовні моделі, як інтелектуальний інтерфейс, розширюють можливості користувачів, забезпечуючи новий рівень адаптивності, ефективності, тобто, LLM дозволяє автоматизувати найбільш працемісткі процеси, скоротити час на пошук та обробку інформації.

Даний інструмент цифрових технологій робить можливим для користувача без знань та досвіду програмування, «висловлювати свої потреби природною мовою, а системи штучного інтелекту перетворюють їх на технічні корегування..., створюючи більш інтуїтивний інтерфейс між людиною та інфраструктурою» [1], що є важливою ланкою в системі енергоменеджменту.

Великі мовні моделі (LLM) використовують глибокі нейронні архітектури для обробки значної інформаційної бази даних в режимі реального часу [2] та виконання таких задач, як «реагування на попит, координація гібридних енергетичних мереж та оптимізація акумуляторних батарей» [3-4].

Не дивлячись на потенційні можливості мовних моделей, все ще відкрито питання системної інтеграції LLM до структури системи енергоменеджменту (SEM). Подолання розриву між дослідженнями функціоналу генеративного штучного інтелекту та реальними потребами SEM стане стратегічним кроком до цифровізації галузі, забезпечивши перехід від втрат до проактивного управління паливно-енергетичними ресурсами (ПЕР).

Постановка проблеми. Відповідно до Енергетичної стратегії України [5], пріоритетними напрямками є енергетична незалежність, перехід до енергоефективного і енергоощадливого використання та споживання ПЕР із запровадженням інноваційних технологій. Енергетичний менеджмент виступає ефективним механізмом у досягненні стратегічних цілей з енергонезалежності та оощадливого використання енергоресурсів.

Це унікальний інструмент, який можна розглядати як складову загального управління з певним набором засобів контролю, обліку та керування енергоспоживанням [6], «...бо він дає змогу постійно поліпшувати стан

підприємства, зменшувати енерговитрати, покращувати його конкурентоздатність» [7].

Активна цифровізація сучасного світу, суспільства, економіки, освіти, промислового виробництва – це не тільки комп'ютеризація та автоматизація, це насамперед, сучасні інтелектуальні технології, що дозволяють опрацьовувати великі обсяги інформації та змінюють орієнтири у взаємодії «людина-технічні системи».

За [8] «інтелектуальне управління енергоспоживанням – це підхід до оптимізації використання енергії в різних системах та мережах за допомогою сучасних технологій, таких як штучний інтелект (AI), машинне навчання (ML), Інтернет речей (IoT), аналіз великих даних і автоматизовані системи» [8].

Автор аналітичної доповіді [9] відмічає, що особливості послуг з енергозабезпечення полягає у обробці великих масивів інформаційних даних в режимі реального часу. Інформаційна база, зазвичай, містить дані щодо режимів роботи та стану обладнання та ліній електропередач, обсяги споживання та виробництва електроенергії тощо. Такий об'єм інформації потребує глибокої аналітики, що «...відкриває шлях для застосування ШІ в енергетиці» [9]. В роботі виокремлені основні функції та сервіси, інтеграція ШІ в які, є доцільним та перспективним напрямом: взаємодія з клієнтами, управління мережею, Smart grids, мікромережа, віртуальні електростанції, створення нових бізнес-моделей роботи на ринку, торгівля електроенергією, виявлення крадіжок електроенергії, акумулювання енергії, прогнозування режимів роботи інфраструктури та планування її розвитку, збільшення виробництва та будівництво, підвищення рівня кібербезпеки енергосистеми, системи управління виробничими процесами.

На державному рівні, прийнята у 2020 році, Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні [10] «...визначає пріоритетні напрями і основні завдання розвитку технологій штучного інтелекту для задоволення прав та законних інтересів фізичних та юридичних осіб, побудови конкурентоспроможної національної економіки, вдосконалення системи публічного управління» та відмічено, що «використання технологій штучного інтелекту сприятиме

зменшенню обсягу витрат, підвищенню ефективності виробництва, якості товарів і послуг» [10].

Наукова робота [11], одна з перших розкриває об'єми функціональних можливостей великих мовних моделей. В роботі доведено, що масштабування LM покращує ефективність незалежно від того наскільки складне завдання. GPT-3 продемонстрував високу ефективність при перекладах текстів, відповідях на запитання, виконання завдань, що потребували миттєвого виконання.

У роботі [12] автори аналізуючи можливості мовних моделей, дійшли висновку, що збільшення об'ємів LM дійсно покращує їх ефективність при виконанні завдань з обробки природної мови, але все ще існують труднощі при виконанні завдань з міркування (математичні задачі, операції із символами). Автори дослідили здатність LM генерувати ланцюжок, що імітує етапи міркування, а підказки з боку користувача дозволяють краще розуміти та прискорювати виконання поставлених завдань.

У дослідженні [13] вже пропонується платформа LATS, яка дозволяє поєднувати процеси міркування, дії та планування, що в цілому покращує вирішення задач за допомогою LM без додаткового навчання. Автори відмічають, що синергія системи «пошук-взаємодія-рефлексія» створює новий універсальний підхід до автономності прийняття рішень LM, як універсального мовного агента.

Робота [14] демонструє застосування можливостей LLM у системі управління енергоспоживанням будівель. У дослідженні акцентована увага на проблемах ШІ з узагальненнями у різних будівельних середовищах, яку автори пропонують вирішувати за рахунок Sequence-Based Building Energy Modeling Framework. Даний фреймворк моделює проблему енергоменеджменту у вигляді завдань послідовного моделювання, використовуючи великі мовні моделі для моделювання довгострокових зв'язків даних з енергоспоживання будівель.

Дослідження [15] присвячено аналізу застосування LLM в енергетичних системах, описані ролі великих мовних моделей та запропоновані напрями вирішення питань інтеграції LLM у енергетичну галузь.

Робота [16] присвячена застосування LLM у диспетчеризації електроенергії. Автори пропонують новий підхід до побудови набору даних з різних джерел для точного налаштування Grid Artificial Intelligent Assistant великої мовної моделі, як інструменту для виконання оперативних завдань енергосистеми.

Автори роботи [17] аналізуючи застосування LLM в енергосистемах, розглядають прогрес ШІ від простих методів до машинного навчання та трансформаторних моделей., відмічені важливі особливості моделі інтерпретувати результати, здатність до розширення для різних застосувань та гнучкість роботи.

З попереднього аналізу видно, що широкі функціональні можливості ШІ дозволяють трансформувати енергетичну інфраструктуру у відповідності до сучасних викликів та загроз, а підтримка ШІ на державному рівні, як потужного інструменту, дозволить енергетиці бути конкурентоспроможною на міжнародному ринку.

Тому, питання інтеграції великих мовних моделей в систему енергоменеджменту є актуальним та перспективним на шляху досягнення цілей Енергетичної стратегії України.

Метою роботи є обґрунтування доцільності інтеграції великих мовних моделей у систему енергетичного менеджменту промислових підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стрімкий прогрес штучного інтелекту створив можливості «спілкування» між технологіями та людиною завдяки інструменту LLM.

ШІ набуває популярності з огляду на свій функціональний потенціал, який розкривається через машинне навчання, глибоке навчання, мовні моделі, розпізнавання зображень, експертні системи. Особливості роботи ШІ узагальнено можна описати, як алгоритм дії: збір даних, обробка даних, навчання моделі, виявлення певних закономірностей (відхилень), прийняття рішень (прогнозування), самонавчання. В основу класифікації штучного інтелекту закладені такі характеристики, як універсальність та принцип роботи.

Універсальність технології ШІ:

- слабкий, можливості якого полягають у виконанні конкретної задачі під яку вони навчені;
- сильний, можливості якого полягають у самонавчанні, здатності переносити отримані знання з однієї сфери до іншої;
- суперінтелект, можливості майбутнього.

Принцип роботи ШІ:

- аналітичний дозволяє обробляти масиви даних та знаходити закономірності, робити прогнози, здійснювати систематизацію об'єктів;
- генеративний дозволяє створювати контент у вигляді тексту, зображення, коду тощо;
- автономний дозволяє роботизованим системам (агентам) самостійно діяти у цифровому або фізичному середовищі.

У даному дослідженні доцільності застосування ШІ розглянуто на прикладі використання великих мовних моделей.

За даними моделі Gemini, найпопулярніші такі інтелектуальні системи:

GPT від Open AI, з моделлю GPT-5.4 для професійного використання, що має високий рівень логіки, мультимодальність та пам'ятає контекст крізь сесії, має вбудований роутер задач завдяки якому модель самостійно розбиває складні запити на підзадачі з подальшим їх виконанням;

Gemini від Google, мультимодальні моделі, особливо Gemini 3.1Pro, Gemini 3.1Flash мають гігантське вікно контексту та швидкість, що дозволяє за один запит проаналізувати до 1млн токенів; модель Live-Audio-to-Audio підтримує голосовий діалог з незначною затримкою в часі; модель Robotics-ER 1.6 для роботи з роботизованими системами, має здатність розуміти просторове обмеження та систему координат;

Claude від Anthropic, останні розробки представлені моделями Claude Opus 4.7 та Claude Sonnet 4.7, які здатні обробляти надскладні логічні задачі, виявляти помилки у великих репозиторіях коду, підтримують зображення з надвисокою роздільною здатністю, при обмеженості даних моделі не галюцинують.

Знання когнітивних можливостей LLM та розуміння того, як працює штучний інтелект, дозволяє інтегрувати його у діяльність різних галузей, у тому числі й енергетичну.

Певні обмеження такого практичного інструменту енергоменеджменту, як енергетичний аудит, вимагає нових підходів, а саме реалізація взаємодії з інтелектуальними агентами ШІ. Тому, особливого значення набуває промт-інжиніринг, за допомогою якого можлива ефективна інтеграція потенціальних можливостей штучного інтелекту у систему енергоменеджменту.

Для практичної реалізації інтегрованої моделі ключовим моментом є правильне конструювання запитів до LLM. Написання промтів базується на таких принципах, як:

- визначення та опис ролі самої LLM (role/context setting), наприклад: «Ти як провідний експерт з енергоменеджменту, який спеціалізується на впровадженні штучного інтелекту в енергетичний сектор ...»;
- формулювання завдання та його мети (task), наприклад «...повинен проаналізувати відповідність фактичних режимів енергоспоживання до технічної документації, стандартів ISO 50001...»;
- декомпозиція завдання на послідовні підзадачі (chain-of-thought), наприклад «...проведи покроковий аналіз фактичних даних з нормативними, визначити часові проміжки з найбільшими відхиленнями, проаналізуй характер відхилень та можливі їх причини...»;
- формат подачі результатів завдання (format), наприклад «...на основі проведеного тобою аналізу, згенеруй об'єктивні висновки щодо відхилень та їх вплив на загальну енергоефективність об'єкту, що досліджується».

Відповідно до [18, 19] СЕМ повинна забезпечувати інформацією про споживання енергоресурсів за певний період часу, використовуючи такі інформаційні джерела, як персонал, обладнання, навчання, інформація за попередні роки.

Класичну модель СЕМ, з урахуванням подальшої інтеграції LLM, можна представити, як багаторівневу систему:

Стратегічний рівень:

- енергетична політика організації, яка обов'язково повинна бути включена до пріоритетних напрямків роботи організації та узгоджена із стратегічними цілями організації;
- енергетичне планування повинно мати чітко визначені терміни, ресурси та об'єкти для проведення енергетичного аудиту;

Операційний рівень:

- реалізація плану дій передбачає збір інформації та її аналіз щодо енергоефективності об'єкту, моніторинг;
- проведення енергоаудиту об'єкту та рекомендації щодо покращення результатів з енергоефективності об'єкту;

Рівень прийняття рішень:

- розгляд та ухвалення управлінських рішень за результатами енергоаудиту;
- перегляд стратегії управління організації в контексті енергетичної політики.

У відповідності до такої структури, модель з урахуванням функціональних можливостей LLM в умовах реального часу набуває вигляду (рис.1):

Стратегічний рівень:

- LLM виступає як аналітик, який отримуючи внутрішні показники по організації, аналізує їх у відповідності до нормативних вимог та стандартів, надає рекомендації щодо подальшої стратегії з енергоефективності;

Операційний рівень

- LLM виступає як асистент енергоменеджерів, які здійснюють збір інформації та її обробку, що дозволяє значно скоротити час на обробку масиву даних;
- LLM може виявити невідповідності показників до нормативних вимог в процесі порівняння даних;
- LLM на базі даних, отриманих в ході проведення енергоаудиту, може згенерувати звіт з енергоаудиту у форматі, який буде прописаний у промті;

Рівень прийняття рішень

– LLM на підставі звіту з енергоаудиту та з урахуванням основних напрямів енергополітики організації, може запропонувати стратегічні рішення щодо змін або корегування енергетичної політики організації.

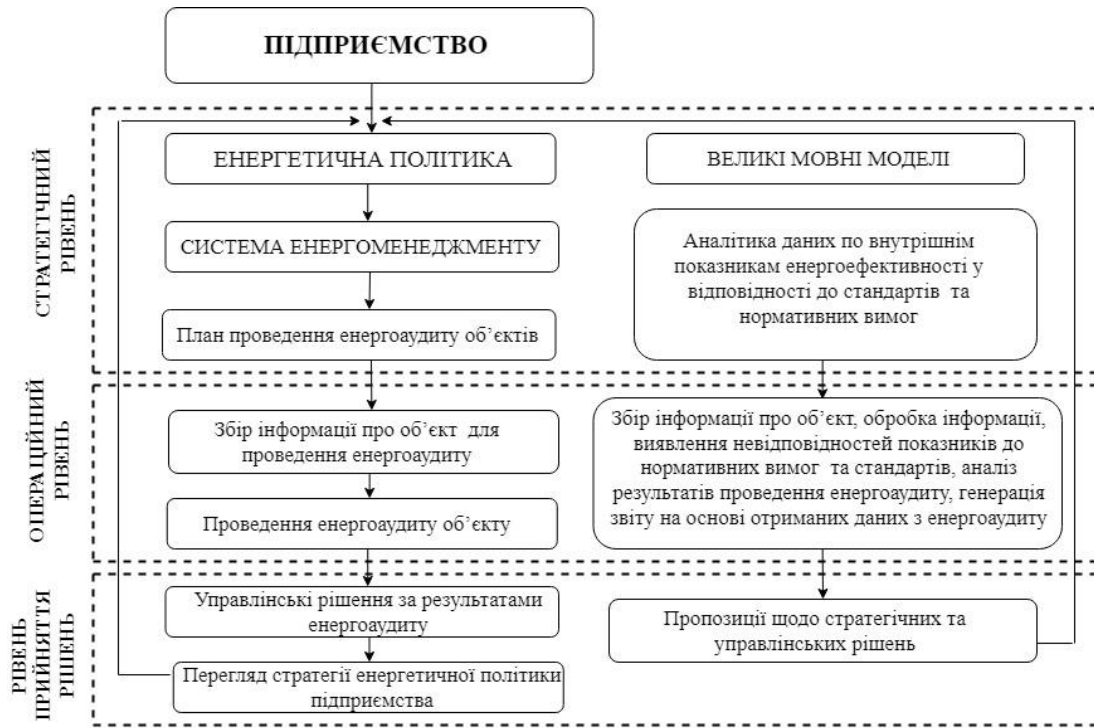


Рисунок 1 – Схема моделі взаємодії LLM з системою енергоменеджменту підприємства

Таким чином, інтеграція мовних моделей в СЕМ дозволить енергоменеджерам скорочувати час на отримання, обробку та аналіз необхідної інформації, але необхідно пам'ятати, що правильно створений промт є запорукою отримання інформації від інтелектуального асистента без «галюцинацій».

Висновки. Впровадження великих мовних моделей в систему енергоменеджменту дозволяє подолати певні функціональні обмеження традиційного інструментарію, забезпечити перехід до безперервного моніторингу та інтерпретації технічних даних в режимі реального часу, а використання LLM для обробки масивів даних дозволяє автоматично генерувати звіти та формувати прогнозовані сценарії управління. Це забезпечить формування інтелектуальної системи прийняття рішень, де поєднання розуміння технічного контексту та

швидкості обробки даних, дозволяє мінімізувати операційні ризики в умовах невизначеності та загроз.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Dimitrios Vamvakas, Ioannis Papaioannou, Christos Tsaknakis, Thomas Sgouros and Christos Korkas. (2025). Generative AI for Sustainable Smart Environments: A Review of Energy Systems, Buildings, and User-Centric Decision-Making. *Energies*, 18(23). 6163; <https://doi.org/10.3390/en18236163>
2. T. A. Alka, M. Suresh, Santanu Mandal, Walter Leal Filho, and Raghu Raman. (2026). Large Language Models in Sustainable Energy Systems: A Systematic Review on Modeling, Optimization, Governance, and Alignment to Sustainable Development Goals. *Energies*, 19(6). 1588; <https://doi.org/10.3390/en19061588>
3. Zhao A.P., Li S., Qian T., Guan A., Cheng X., Kim J., Alhazmi M., Hernando-Gil I. (2025). Can People Flow Enhance the Shared Energy Facility Management? *IEEE Trans. Smart Grid*. 6. 4673–4684. DOI:10.1109/tsg.2025.3577474
4. Guo C., Wang X., Zheng Y., Zhang F. (2022). Real-time optimal energy management of microgrid with uncertainties based on deep reinforcement learning. *Energy*, 238. 121873. <https://doi.org/10.1016/j.enerdgy2021.121873>
5. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>
6. Ажаман І. А., Хабіб А., Пущина Н. В., Мельничук О. І. Світовий досвід розвитку системи енергетичного менеджменту та перспективи його впровадження в Україні. *Журнал стратегічних економічних досліджень*, 2023. 1(12). 73–81. DOI: 10.30857/2786-5398.2023.1.8. URL: https://www.researchgate.net/publication/372359096_SVITOVII_DOSVID_ROZVITKU_SISTEMI_ENERGETICNOGO_MENEDZMENTU_TA_PERSPEKTIVI_JOGO_VPROVADZENNA_V_UKR_AINI
7. Держенергоефективності: Енергетичний менеджмент дасть підприємствам найбільший ефект у підготовці до викликів енергобезпеки та стабільної роботи. *Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України*, опубліковано 12 грудня 2022 р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/derzhenerhoefektyvnosti-enerhetychnyi-menedzhment-dast-pidpriemstvam-naibilshyi-efekt-u-pidhotovtsi-do-vyklykiv-enerhobezpeky-ta-stabilnoi-roboty>
8. Бученко І. Інтелектуальне управління енергоспоживанням у периферійних обчислювальних мережах на основі теорії ігор. *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2025. 3(27). 180–192. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.27.732>
9. Суходоля О. М. Штучний інтелект в енергетиці : аналіт. доповідь. К. : НІСД, 2022. 49 с. URL: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>
10. Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556-р. Документ 1556-2020-р, чинний, поточна редакція – Редакція від 29.12.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-p#Text>
11. Brown T., Mann B., Ryder N. (2020). Language Models are Few-Shot Learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 33. 1877–1901. URL: <https://arxiv.org/abs/2005.14165>
12. Wei J., Wang X., Schuurmans D. et al. (2022). Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 35. 24824–24837. URL: <https://arxiv.org/abs/2201.11903>
13. Andy Zhou, Kai Yan, Michal Shlapentokh-Rothman, et al. (2024). Language Agent Tree Search Unifies Reasoning, Acting, and Planning in Language Models. *Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning*, Vienna, Austria. PMLR 235, 2024. URL: <https://openreview.net/pdf?id=njwv9BsGHF>

14. Minghui Zhang, Minhao Liu, Hao Wang, et al. (2025). Leveraging Large Language Model for Generalization in Building Energy Management. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 16(6). 4712–4725. DOI: 10.1109/TSG.2025.3589202
15. Chaobo Zhang, Jian Zhang, Jie Lu, Yang Zhao. (2026). Large Language Models Meet Energy Systems: Opportunities, Challenges, and Future Perspectives. *Applied Energy*. 403 (A). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.127076>
16. Yuheng Cheng, Huan Zhao, Xiyuan Zhou, et al. (2025). A large language model for advanced power dispatch. *Scientific Reports*. 15. 8925. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91940-x>
17. Masoumeh Ghafari, Asal Sami, Hamed Rezapour et al. (2025). A Comprehensive Review on the Application of Large Language Models (LLMs) in Power Systems. *IEEE Access*. (99):1-1. DOI:10.1109/ACCESS.2025.3637226
18. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 33с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_50001_2020.pdf
19. Вадим Литвин, Іма Хренова-Шимкіна, Олександр Гончарук та ін. Як скоротити енергоспоживання в будівлях державних органів: посібник енергоменеджера. *Проект «Реформи у сфері енергоефективності в Україні», що виконується GIZ за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ)*, 2019. 61с.

REFERENCES:

1. Dimitrios Vamvakas, Ioannis Papaioannou, Christos Tsaknakis, Thomas Sgouros and Christos Korkas. (2025). Generative AI for Sustainable Smart Environments: A Review of Energy Systems, Buildings, and User-Centric Decision-Making. *Energies*, 18(23). 6163; <https://doi.org/10.3390/en18236163>
2. T. A. Alka, M. Suresh, Santanu Mandal, Walter Leal Filho, and Raghu Raman. (2026). Large Language Models in Sustainable Energy Systems: A Systematic Review on Modeling, Optimization, Governance, and Alignment to Sustainable Development Goals. *Energies*, 19(6). 1588; <https://doi.org/10.3390/en19061588>
3. Zhao A.P., Li S., Qian T., Guan A., Cheng X., Kim J., Alhazmi M., Hernando-Gil I. (2025). Can People Flow Enhance the Shared Energy Facility Management? *IEEE Trans. Smart Grid*. 6. 4673–4684. DOI:10.1109/tsg.2025.3577474
4. Guo C., Wang X., Zheng Y., Zhang F. (2022). Real-time optimal energy management of microgrid with uncertainties based on deep reinforcement learning. *Energy*, 238. 121873. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121873>
5. On approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2050. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 21, 2023 No. 373-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>
6. Ajaman I. A., Khabib A., Pushchina N. V., Melnychuk O. I. (2023). World experience in the development of the energy management system and prospects for its implementation in Ukraine. *Journal of Strategic Economic Research*. 1(12). 73–81. DOI: 10.30857/2786-5398.2023.1.8. URL: https://www.researchgate.net/publication/372359096_SVITOVIJ_DOSVID_ROZVITKU_SISTEMI_ENERGETICNOGO_MENEDZMENTU_TA_PERSPEKTIVI_JOGO_VPROVADZENNA_V_UKR_AINI
7. State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine: Energy management will give enterprises the greatest effect in preparing for the challenges of energy security and stable operation. *State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine*, published on December 12, 2022. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/derzhenerhoefektyvnosti-enerhetychnyi-menedzhment-dast-pidpriemstv-am-naibilshyi-efekt-u-pidhotovtsi-do-vyklykiv-enerhobezpeky-ta-stabilnoi-roboty>

8. Buchenko I. (2025). Intelligent energy management in peripheral computing networks based on game theory. *Electronic professional scientific publication «Cybersecurity: education, science, technology»*. 3(27). 180–192. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.27.732>
9. Sukhodolya O.M. (2022). Artificial intelligence in energy: analytical report. K.: NISD. 49 p. URL: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>
10. Concept of the development of artificial intelligence in Ukraine. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 2, 2020 No. 1556-r. Document 1556-2020-r, current, current version – Version dated 12/29/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-p#Text>
11. Brown T., Mann B., Ryder N. (2020). Language Models are Few-Shot Learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 33. 1877–1901. URL: <https://arxiv.org/abs/2005.14165>
12. Wei J., Wang X., Schuurmans D. et al. (2022). Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 35. 24824–24837. URL: <https://arxiv.org/abs/2201.11903>
13. Andy Zhou, Kai Yan, Michal Shlapentokh-Rothman (2024). Language Agent Tree Search Unifies Reasoning, Acting, and Planning in Language Models. *Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning*, Vienna, Austria. PMLR 235. 2024. URL: <https://openreview.net/pdf?id=njwv9BsGHF>
14. Minghui Zhang, Minhao Liu, Hao Wang, et al. (2025). Leveraging Large Language Model for Generalization in Building Energy Management. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 16(6). 4712–4725. DOI: 10.1109/TSG.2025.3589202
15. Chaobo Zhang, Jian Zhang, Jie Lu, Yang Zhao. (2026). Large Language Models Meet Energy Systems: Opportunities, Challenges, and Future Perspectives. *Applied Energy*. 403 (A). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.127076>
16. Yuheng Cheng, Huan Zhao, Xiyuan Zhou (2025). A large language model for advanced power dispatch. *Scientific Reports*. 15. 8925. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91940-x>
17. Masoumeh Ghafari, Asal Sami, Hamed Rezapour et al. (2025). A Comprehensive Review on the Application of Large Language Models (LLMs) in Power Systems. *IEEE Access*. (99):1-1. DOI:10.1109/ACCESS.2025.3637226
18. DSTU ISO 50001:2020. Energy management systems. Requirements and guidelines for use. Kyiv: State Enterprise "UkrNDNTs", 33p. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_50001_2020.pdf
19. Vadym Lytvyn, Ima Khrenova-Shymkina, Oleksandr Honcharuk (2019). How to reduce energy consumption in government buildings: an energy manager's guide. *The project «Energy Efficiency Reforms in Ukraine», implemented by GIZ on behalf of the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ)*. 61p.

Стаття надійшла до редакції: 08.04.2026; рецензування: 15.04.2026;

прийнята до публікації 21.04.2026. Автори прочитали і дали згоду рукопису.

The article was submitted on 08.04.2026; revised on 15.04.2026; and accepted for publication on 21.04.2026. The authors read and approved the final version of the manuscript.