

© А.В. Чернявський¹, О.В. Бориченко¹, В.Ф. Находов¹, Ю.В. Шишко²

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

АДАПТАЦІЯ АНАЛІТИЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ СИСТЕМ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

A. Cherniavskiy¹, <https://orcid.org/0000-0003-2858-8224>

O. Borychenko¹, <https://orcid.org/0000-0002-6127-2945>

V. Nakhodov¹, <https://orcid.org/0000-0001-7643-5965>

Yu. Shyshko² <https://orcid.org/0000-0003-4919-6297>

¹ National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

² Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

ADAPTATION OF ANALYTICAL TOOLS OF ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS OF UKRAINIAN INDUSTRIAL ENTERPRISES IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF INTERNATIONAL STANDARDS

Мета. Обґрунтування теоретико-методологічних засад та адаптація аналітичного інструментарію систем енергоменеджменту промислових підприємств України до вимог міжнародних стандартів (ISO 50001:2018, ISO 50006:2023) для підвищення достовірності оцінки енергоефективності, забезпечення коректного формування базових рівнів енергоспоживання та інтеграції результатів у систему управління в умовах воєнних викликів та нестабільності енергопостачання.

Методика. Застосовано комплекс методів, спрямованих на адаптацію та вдосконалення аналітичного інструментарію систем енергоменеджменту. Використано математичне моделювання (лінійна та багатофакторна регресія тощо) для формування базових рівнів енергоспоживання з урахуванням незалежних змінних, систематизовано методи нормалізації та порівняння енерговитрат, проаналізовано можливості бенчмаркінгу та енергетичних балансів як інструментів стратегічного управління.

Результати. Розроблено концептуальний підхід до адаптації аналітичного інструментарію систем енергоменеджменту, що ґрунтуються на використанні математичного моделювання для побудови базових рівнів енергоспоживання, удосконаленні методів нормалізації та порівняння енерговитрат, інтеграції показників енергоефективності та інструментів бенчмаркінгу у систему управління.

Наукова новизна. Полягає в обґрунтуванні та розробці підходів до адаптації аналітичного інструментарію систем енергоменеджменту підприємств до вимог міжнародних стандартів ISO 50001:2018 та ISO 50006:2023, що передбачає удосконалення методів формування базових рівнів енергоспоживання, систематизацію методів нормалізації й порівняння енерговитрат та інтеграцію їх у систему управління енергоспоживанням у поточних умовах діяльності підприємств України.

Практична значимість. Полягає у можливості використання результатів дослідження підприємствами України для створення та удосконалення систем енергоменеджменту, формування коректних базових рівнів енергоспоживання та показників ефективності, об'єктивної оцінки та верифікації ефективності енергоефективних заходів.

Ключові слова: базовий рівень енергоспоживання, показник енергоефективності, промислове підприємство, система енергоменеджменту.

Вступ. Сучасні умови функціонування промислових підприємств України характеризуються високим рівнем енергетичних ризиків, що зумовлено як воєнними діями та руйнуванням енергетичної інфраструктури, так і значною залежністю від імпортних енергоресурсів та коливанням їх вартості. У таких обставинах питання енергоефективності та енергетичної стійкості стають ключовими для забезпечення безперервності виробництва, зниження собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності української промисловості. Важливу роль у цьому процесі відіграють системи енергоменеджменту (СЕНМ), які виступають інструментом досягнення цілей сталого розвитку, раціонального використання енергетичних ресурсів та зміцнення енергетичної безпеки.

Ефективна СЕНМ дозволяє не лише знижувати енерговитрати та підвищувати конкурентоспроможність виробництва, а й забезпечує виконання завдань сталого розвитку та посилює стійкість підприємств до зовнішніх ризиків.

Попри зростаючу увагу до питань енергоефективності, існуючий інструментарій аналітичної підтримки управлінських рішень залишається недостатньо розвиненим. У більшості випадків аналіз енергоспоживання обмежується застосуванням питомих показників чи простих статистичних методів, які не дозволяють коректно враховувати багатофакторний вплив виробничих, кліматичних і організаційних умов. У результаті керівництво підприємств не завжди має можливість отримати об'єктивні дані для оцінки ефективності впроваджених заходів та прогнозування майбутнього енергоспоживання.

Особливої значущості ці проблеми набувають в умовах воєнного часу, коли промислові підприємства працюють із високими енергетичними ризиками, перебоями у постачанні та необхідністю швидкої адаптації до нових режимів роботи. У цьому контексті особливої актуальності набуває завдання адаптації аналітичного інструментарію систем енергоменеджменту до вимог міжнародних стандартів, зокрема ISO 50001:2018 та ISO 50006:2023. Їх впровадження створює умови для формування достовірних базових рівнів енергоспоживання (EnB), коректного визначення показників результативності (EnPI), проведення порівняльного аналізу енерговитрат та обґрунтованої верифікації досягнутих результатів. Адаптація зазначених підходів до українських реалій дозволить не лише інтегрувати національну практику енергоменеджменту у світовий контекст, а й підвищити стійкість промислових підприємств у кризових умовах.

Отже, дослідження спрямоване на розвиток методологічних основ і практичних підходів до удосконалення та адаптації аналітичного інструментарію СЕМ в Україні, що сприятиме формуванню сучасної системи прийняття управлінських рішень, здатної забезпечити економічну ефективність, енергетичну безпеку та відповідність міжнародним стандартам (ISO 50001:2018 [1], ISO 50006:2023 [2]).

Основна частина. Розвиток СЕнМ у промислових підприємствах є ключовим інструментом реалізації політики енергоефективності та підвищення енергетичної безпеки держави. Згідно з міжнародним стандартом ISO 50001:2018, СЕнМ передбачає систематичне впровадження заходів з управління енерговикористанням, що базується на циклі PDCA (Plan–Do–Check–Act) і вимагає наявності надійного аналітичного інструментарію для збору, обробки та аналізу даних [3]. Саме аналітичне забезпечення є основою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, визначення потенціалу підвищення ефективності та верифікації результатів впроваджених заходів.

В межах даної роботи пропонується розглядати аналітичне забезпечення СЕнМ виробничих підприємств як інтегрований комплекс методів, інструментаріїв та і процедур, спрямованих на:

- збір та обробку даних з різних джерел (системи енергомоніторингу, інструментальні вимірювання, виробничі показники, економічна звітність);
- нормалізацію даних для врахування впливу змінних факторів (виробничих обсягів, погодних умов, графіків роботи обладнання);
- розрахунок ключових показників енергоефективності для оцінки результативності заходів;
- підтримку процесів прогнозування та стратегічного планування у сфері енергоефективності.

На відміну від традиційного підходу, який часто обмежується статичними показниками енергоемності продукції, сучасне аналітичне забезпечення має будуватися на динамічних моделях, що враховують багатофакторний вплив та змінність зовнішніх умов. Нижче, в таблиці 1 показано опис основних складових концепції аналітичного забезпечення систем енергоменеджменту.

Концепція аналітичного інструментарію СЕнМ ґрунтується на таких ключових принципах:

- системність – інтеграція даних з усіх рівнів (операційного, тактичного, стратегічного) у єдину інформаційно-аналітичну платформу;
- достовірність – забезпечення високої якості даних, що унеможливорює спотворення результатів аналізу;
- гнучкість – здатність адаптуватися до змін виробничих умов, коливань енергопостачання та впровадження нових технологій;
- верифікованість – можливість перевірки результатів енергоефективних заходів за допомогою прозорих і загальноприйнятих методик;
- відповідність стандартам – орієнтація на міжнародні норми (ISO 50001:2018, ISO 50006:2023), що забезпечує інтеграцію у глобальний контекст.

Особливе місце в аналітичному інструментарії належить математичному моделюванню базових рівнів енергоспоживання [3]. На відміну від спрощених підходів, які базуються лише на питомих показниках енергоемності, математичні моделі дозволяють урахувати багатофакторність процесів (виробничі обсяги, погодні умови, завантаження обладнання, режими роботи). Це забезпечує більшу точність, достовірність та гнучкість у прийнятті управлінських рішень.

Таблиця 1

Основні складові концепції аналітичного інструментарію СЕНМ у відповідності до міжнародних стандартів

Елемент аналітичного інструментарію	Зміст	Очікуваний результат
1. Збір та інтеграція даних	– Джерела: лічильники, системи АСКОЕ, SCADA, ERP, бухгалтерська звітність, інструментальні вимірювання. – Вимоги: повнота, достовірність, уніфікованість форматів.	– Єдина база даних для подальшої аналітики.
2. Нормалізація та обробка даних	– Усунення впливу незалежних змінних (виробничий обсяг, погодні умови, робочий графік). – Застосування статистичних методів для приведення даних до зіставного вигляду.	– Підготовлений масив даних для моделювання.
3. Математичне моделювання базового рівня енергоспоживання (EnB)	– Методи: лінійна та багатофакторна регресія, аналіз часових рядів, стохастичні та нелінійні моделі. – Побудова функціональної залежності між енергоспоживанням та ключовими змінними. – Формування EnB згідно з ISO 50006:2023.	– Коректне порівняння фактичного та очікуваного енергоспоживання. – Основа для оцінки ефективності заходів.
4. Використання результатів у системі управління	– Розрахунок EnPI та оцінка досягнутої економії. – Верифікація результатів енергоефективних заходів. – Прогнозування енергоспоживання у різних сценаріях. – Інтеграція результатів у стратегічне планування.	– Підтримка управлінських рішень. – Обґрунтування інвестицій. – Прозора звітність для зацікавлених сторін.

Встановлення базового рівня енергоспоживання (Energy Baseline, EnB) є фундаментальним елементом аналітичного забезпечення СЕНМ. Базовий рівень виступає «точкою відліку», що дозволяє:

- порівнювати фактичне енергоспоживання з очікуваним (референсним);
- визначати ефект від впровадження енергоефективних заходів;
- верифікувати досягнуті результати енергетичної політики;
- забезпечувати прозорість і достовірність звітності, у тому числі для зовнішніх зацікавлених сторін.

Особливе значення для адаптації інструментарію мають вимоги стандарту ISO 50006:2023 [2], який визначає правила формування базових рівнів енергоспоживання (EnB) та показників енергетичної результативності (EnPI). Цей документ орієнтований на практичне застосування статистичних і математичних методів для врахування впливу незалежних змінних (виробничого обсягу, погодних умов, графіків роботи тощо) з метою забезпечення коректності порівняння фактичних і очікуваних результатів. У цьому контексті саме адаптація міжнародних вимог до специфіки українських промислових підприємств, що функціонують в умовах воєнних викликів та нестабільності енергопостачання, набуває першочергового значення.

Стандарт ISO 50006:2023 [2] встановлює, що:

- базовий рівень повинен формуватися на основі достатнього обсягу достовірних історичних даних;
- при її побудові базового рівня слід враховувати релевантні незалежні змінні (наприклад, обсяги виробництва, погодні умови, режим роботи устаткування);
- необхідно забезпечити можливість оновлення базового рівня у випадку суттєвих змін у виробництві, структурі енергоспоживання або впровадженні нових технологій;
- базовий рівень завжди пов'язаний з показниками енергоефективності (EnPI), які мають бути чітко визначені для підприємства.

Таким чином, ISO 50006:2023 задає методичні рамки, в яких математичні моделі відіграють визначальну роль.

Використання математичних моделей у побудові базових рівнів енергоспоживання є необхідною умовою для забезпечення об'єктивності та достовірності аналітичних висновків. Основними функціями математичних моделей у цьому контексті є [3]:

- **урахування багатфакторності:** енергоспоживання залежить від численних змінних (обсяг виробництва, завантаженість обладнання, кліматичні умови, години роботи, технологічні особливості). Моделі дозволяють визначати кореляційні залежності між енерговитратами та цими змінними;
- **нормалізація даних:** моделі дозволяють «очистити» енергоспоживання від впливу змінних факторів, що забезпечує коректне порівняння різних періодів часу;
- **прогнозування:** математичні моделі створюють можливість формувати прогнози енергоспоживання при зміні ключових параметрів виробництва чи зовнішніх умов;

- **верифікація заходів:** модель базового рівня є основою для кількісної оцінки досягнутої економії та підтвердження результатів енергоефективних проєктів.

Формування базових рівнів енергоспоживання передбачає використання різних математичних моделей [3–10]:

- лінійних і багатофакторних регресій, що дозволяють встановити залежність енергоспоживання від кількох незалежних змінних;
- аналізу часових рядів, який враховує сезонність і довгострокові тренди у динаміці енергоспоживання;
- стохастичних і нелінійних моделей, здатних відобразити складні взаємозв'язки та невизначеність у роботі технологічних систем.

Застосування цих моделей дозволяє не лише формувати EnB, але й здійснювати прогнозування споживання енергії, верифікувати досягнуті результати та проводити сценарний аналіз можливих змін у виробничих процесах.

Вітчизняні підприємства стикаються з низкою бар'єрів у використанні міжнародних методик, серед яких:

- обмеженість і фрагментарність даних про енергоспоживання;
- відсутність інтегрованих систем енергомоніторингу;
- низький рівень цифровізації виробничих процесів;
- нестабільність енергопостачання, що ускладнює формування достовірних базових періодів;
- дефіцит кваліфікованих кадрів у сфері аналітики та енергоменеджменту.

Деталізація цих бар'єрів адаптації аналітичного інструментарію СЕнМ наведена в таблиці 2.

Подолання цих бар'єрів потребує адаптації міжнародних методичних підходів до національних умов та створення інструментарію, який поєднує вимоги ISO зі специфікою роботи українських підприємств.

Математична модель енергоспоживання, яким би методом вона не була побудована, завжди має деяку залишкову похибку. Тому для здійснення об'єктивного контролю рівня ефективності енерговикористання слід застосовувати «стандарти» енергоспоживання, побудовані у вигляді верхніх та нижніх границь довірчих інтервалів, які визначаються для відповідних математичних моделей споживання енергії. Методику встановлення довірчих інтервалів до математичних моделей проілюстровано в [11] на прикладі математичної моделі обсягу споживання електричної енергії, побудованої в результаті попередніх досліджень для одного з виробничих підрозділів хімічного підприємства. Зазначена математична модель електроспоживання має такий вигляд:

$$W = 1080,833 - 0,291 \cdot F_1 + 0,343 \cdot F_2 + 6,895 \cdot F_3,$$

де F_1 , F_2 , F_3 – певні чинники, що суттєво впливають на величину електроспоживання підрозділу, що розглядається.

Таблиця 2

Чинники та бар'єри адаптації аналітичного інструментарію СЕНМ до міжнародних стандартів

Чинники	Зміст	Вплив на адаптацію
Наявність міжнародних стандартів (ISO 50001:2018, ISO 50006:2023)	Регламентують вимоги до формування базових рівнів (EnB), показників результативності (EnPI) та процесу управління енергоспоживанням.	Створюють методологічну основу для гармонізації українських практик з міжнародними підходами.
Розвиток цифрових технологій (енергомоніторинг, SCADA, ERP)	Забезпечують автоматизований збір та обробку даних про енергоспоживання.	Сприяють підвищенню достовірності даних і можливості практичного застосування ISO-методик.
Воєнні виклики та нестабільність енергопостачання	Зумовлюють перебої у роботі промислових підприємств та ускладнюють формування достовірних базових періодів.	Вимагають адаптації міжнародних методів до умов кризової та неповної інформації.
Фрагментарність і недостатність даних	Відсутність єдиних баз даних та інтегрованих систем збору інформації.	Знижує точність моделювання та ускладнює застосування регресійних і стохастичних методів.
Кадровий потенціал	Обмежена кількість фахівців з енергоменеджменту та аналітики.	Уповільнює впровадження інструментів ISO, потребує додаткових програм підготовки.
Фінансові обмеження	Недостатність ресурсів для впровадження систем енергомоніторингу, цифровізації та навчання персоналу.	Знижує темпи адаптації аналітичного інструментарію, потребує зовнішньої підтримки (державної та міжнародної).

Встановлювати зазначені межі довірчого інтервалу до математичної моделі енергоспоживання найбільш доцільно безпосередньо в процесі здійснення контролю ефективності використання палива чи енергії на відповідному об'єкті. Так для виробничого підрозділу, що розглядається, оперативний контроль ефективності використання електричної енергії здійснювався щодобово. Отже, необхідні для виконання такого контролю межі довірчого інтервалу до математичної моделі електроспоживання цього підрозділу встановлювались послідовно, тобто на початку кожної доби, безпосередньо під час контролю ефективності

використання електроенергії за відповідну попередню добу. Графічна інтерпретація результатів послідовного встановлення границь довірчого інтервалу для індивідуальних значень обсягу споживання електроенергії у виробничому підрозділі, що розглядається, розрахованих на підставі наведеної вище математичної моделі для кожної доби одного з місяців, представлена на рисунку [11].

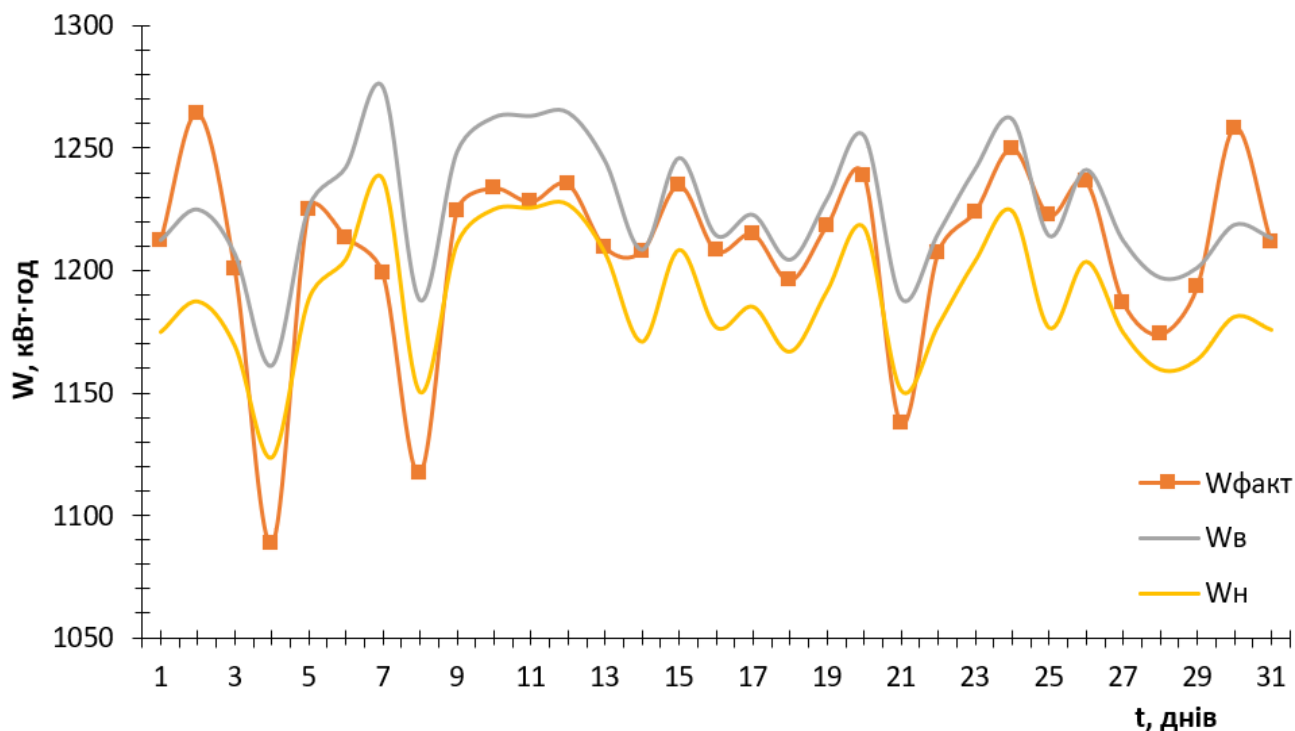


Рис. Границі довірчого інтервалу до математичної моделі електроспоживання виробничого підрозділу ($W_{\text{факт}}$ – фактичні обсяги добового споживання електроенергії, $W_{\text{в}}$, $W_{\text{н}}$ – верхня та нижня межі довірчого інтервалу)

Таким чином, контроль ефективності використання електроенергії шляхом простого порівняння фактичних обсягів споживання енергії з межами довірчих інтервалів, встановлених до відповідної математичної моделі, в принципі, дає змогу здійснювати моніторинг результатів впровадження заходів з енергозбереження, тобто визначити певні «критичні» періоди, відносно яких можна зробити висновки про більш або менш ефективне використання енергетичних ресурсів у порівнянні зі встановленим «стандартом». Однак, такий спосіб контролю не дозволяє зробити висновки про невідповідність зниження чи підвищення ефективності використання електричної енергії, а також знаходити та аналізувати причини змін рівня енергоефективності.

Для аналізу невідповідності варіації рівня енергоефективності в [11] пропонується проводити контроль ефективності споживання електроенергії за методикою А. Вальда.

Таким чином, формування аналітичного забезпечення систем енергоменеджменту вимагає поєднання методологічних вимог ISO 50006:2023 та інструментарію математичного моделювання. Базові рівні енергоспоживання, побудовані на математичних моделях, забезпечують достовірність енергетичного

аналізу, підвищують результативність прийняття рішень та формують основу для прозорості звітності у сфері енергоефективності.

Концепція аналітичного забезпечення не обмежується лише створенням моделей. Її ефективність проявляється тоді, коли результати аналізу інтегруються у систему стратегічного управління підприємством. Це означає:

- перехід від статичної звітності до динамічного моніторингу;
- використання показників енергоефективності (EnPI) як інструментів контролю та мотивації;
- формування сценарних прогнозів, які дозволяють підготувати підприємство до можливих змін у середовищі;
- інтеграцію енергоефективності у бізнес-процеси – від інвестиційних рішень до виробничого планування.

Аналітичні результати, отримані за допомогою математичного моделювання, повинні не лише існувати у вигляді технічних звітів, а й безпосередньо впливати на процеси управління підприємством. Інтеграція результатів відбувається у кількох напрямках:

1. Операційний рівень:

- використання EnPI для щоденного контролю ефективності використання енергії;
- своєчасне виявлення відхилень у споживанні (наприклад, підвищення енерговитрат через некоректну роботу обладнання);
- прийняття оперативних рішень щодо оптимізації режимів роботи.

2. Тактичний рівень:

- аналіз результативності впроваджених заходів та їх верифікація;
- використання економічних показників (NPV, IRR, строк окупності) для обґрунтування нових інвестиційних проєктів;
- порівняння досягнутих результатів із плановими показниками та галузевими бенчмарками.

3. Стратегічний рівень:

формування довгострокових цілей енергоефективності на основі об'єктивних даних;

використання сценарного прогнозування для оцінки впливу різних варіантів розвитку виробництва чи енергопостачання;

інтеграція енергоменеджменту у систему корпоративного управління та ESG-звітності (Environmental, Social, Governance).

4. Комунікація та звітність:

- результати моделювання дозволяють формувати прозорі звіти для внутрішніх і зовнішніх стейкхолдерів;
- вони можуть бути використані для обґрунтування фінансування проєктів міжнародними донорами чи банками;
- підвищується довіра до управлінських рішень з боку персоналу, інвесторів та державних органів.

Важливим інструментом зовнішнього порівняння, який дозволить оцінити позиції підприємства відносно кращих практик у галузі, може стати бенчмаркінг енергоефективності. Він може виконувати на підприємстві такі функції:

- виявлення «точок росту» для підвищення енергоефективності;
- оцінка конкурентоспроможності підприємства;
- використання результатів як елементу мотивації персоналу та підтвердження досягнень перед інвесторами.

Для реалізації бенчмаркінгу можуть використовуватися:

- галузеві та міжнародні довідники (наприклад, BAT Reference Documents у ЄС);
- статистичні дані енергоспоживання підприємства за різні роки;
- порівняння між різними виробничими підрозділами підприємства.

Також, для потреб аналітичного інструментарію можуть залучатись спеціалізовані надбудови в MS Excel, які вже розроблені для побудови саме регресійних моделей енергоспоживання та визначення показників енергоефективності. Сюди можна, наприклад, віднести інструменти енергоменеджера, представлені на сайті Міненерго США [12] Energy Performance Indicator (EnPI), Manufacturing Energy Assessment Software for Utility Reduction (MEASUR), а також Energy Bill Tracker Tool - Energy Performance Indicators, запропонований SEAI [13]. Також для нашого завдання може бути цікавим для застосування інструмент «Decarbonization Action Plan Tool», який доступний для вільному використання на сайті Міненерго США [12].

Отже, інтеграція всіх цих інструментів і результатів їх практичного застосування у систему управління забезпечує перехід від «реактивного» управління енергією (усунення відхилень після їх виникнення) до «проактивного» управління (передбачення проблем і ухвалення превентивних рішень). Це підвищує не лише енергоефективність, а й загальну стійкість підприємства до зовнішніх і внутрішніх викликів.

Висновки.

1. Запропоновано підхід до адаптації аналітичного інструментарію систем енергоменеджменту промислових підприємств України, який базується на застосуванні математичного моделювання для побудови базових рівнів енергоспоживання відповідно до вимог ISO 50006:2023 та інтеграції отриманих результатів у багаторівневу систему управління.

2. Встановлено, що використання методів нормалізації та порівняння енерговитрат, у поєднанні з показниками енергоефективності, бенчмаркінгом та енергетичними балансами, дозволяє забезпечити коректність оцінки досягнутої економії, прозорість верифікації енергоефективних заходів і формування стратегічних орієнтирів розвитку підприємств.

3. Доведено, що адаптація міжнародних стандартів ISO 50001:2018 та ISO 50006:2023 до українських умов створює основу для інтеграції національної практики енергоменеджменту у світовий контекст, підвищення енергетичної стійкості промислових підприємств, а також сприяє забезпеченню енергетичної безпеки України в умовах воєнних викликів і нестабільності енергопостачання.

4. Практичне застосування результатів дослідження дозволяє підприємствам формувати обґрунтовані управлінські рішення, підвищувати ефективність використання енергоресурсів, зменшувати енергетичні витрати та забезпечувати конкурентоспроможність національної промисловості.

Перелік посилань

1. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). (2020). Київ: ДП «УкрНДНЦ».
2. ISO 50006:2023 *Energy management systems — Evaluating energy performance using energy performance indicators and energy baselines*. (2023).
3. Fuchs, H., Therkelsen, P., Miller, W. C., Siciliano, G., & Sheaffer, P. (2023). ISO 50001-Based Energy Management Systems as a Practical Path for Decarbonization: Initial Findings from a Survey of Technical Assistance Cohort Participants. *Energies*, 16(14), 5441. <https://doi.org/10.3390/en16145441>
4. Kouaho, E. S., N'Guessan, Y., & Marvillet, C. (2024). Comparative Study of an Energy Information System and Energy Management System According to ISO 50001. *Energies*, 17(21), 5446. <https://doi.org/10.3390/en17215446>
5. Knayer, T., & Kryvinska, N. (2023). The influence of energy management systems on the progress of efficient energy use in cross-cutting technologies in companies. *Energy Efficiency*, 16, 12. <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10086-9>
6. Borichenko, O., & Cherniavskiy, A. (2018). Identification of objects priority for conducting energy monitoring. *Technology Audit and Production Reserves*, 3(141), 58–63. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.135497>
7. Borychenko, O., Cherniavskiy, A., & Ostapchuk, Y. (2018). Застосування методу головних компонент для оцінювання рівня енергоефективності. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, 16(1292), 9–15. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.16.02>
8. Nakhodov, V., Borychenko, O., & Cherniavskiy, A. (2020). The methodical issues of industrial energy monitoring systems implementation. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 3, 47–56. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2020.228616>
9. Бориченко, О.В., & Чернявський, А.В. (2021). Моделі базових рівнів енергоспоживання для вимірювань та верифікації енергорезультативності систем енергоменеджменту промислових об'єктів. *VII Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'21"*, Україна, Київ, 9-11 березня 2021, 38–39.
10. Находов, В.Ф., Бориченко, О.В., & Чернявський, А.В. (2022). Формування стратегії підвищення енергоефективності металургійних підприємств як запорука декарбонізації економіки України. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2, 48–57. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2022.261493>
11. Находов, В.Ф., Бориченко, О.В., Іванько, Д.О., Пецкова, О.О., & Пецков, Р.О. (2015). Методичні основи моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*, 8, 8–19. <http://eee.khpi.edu.ua/article/view/66122>
12. *Software Tools* (n.d.). Website of US Department of Energy: <https://www.energy.gov/eere/amo/software-tools>
13. Website of Ireland's national sustainable energy authority <https://www.seai.ie/tools/>

ABSTRACT

Purpose. Article aims to substantiate the theoretical and methodological foundations and adapt the analytical tools of energy management systems of industrial enterprises in Ukraine to the requirements of international standards (ISO 50001:2018, ISO 50006:2023) to improve the reliability of energy efficiency assessments, ensure the correct formation of baseline energy consumption levels,

and integrate the results into the management system in conditions of military challenges and energy supply instability.

The methods. The research applies a set of methods aimed at adapting and improving the analytical tools of energy management systems. Mathematical modeling (linear and multivariate regression, etc.) was used to form baseline energy consumption levels considering independent variables, methods for normalizing and comparing energy costs were systematized, and the possibilities of benchmarking and energy balances as strategic management tools were analyzed.

Findings. A conceptual approach has been developed for adapting analytical tools for energy management systems based on the use of mathematical modeling to construct baseline energy consumption levels, improve methods for normalizing and comparing energy costs, and integrate energy efficiency indicators and benchmarking tools into the management system.

The originality. The scientific novelty of the research lays in the justification and development of approaches to adapting the analytical tools of energy management systems of enterprises to the requirements of international standards ISO 50001:2018 and ISO 50006:2023, which is to lead to the improvement of methods for forming basic levels of energy consumption, systematization of methods for normalizing and comparing energy costs, and their integration into the energy consumption management system in the current conditions of Ukrainian enterprises.

Practical implementation. It lies in the possibility of using the results of the study by Ukrainian enterprises to create and improve energy management systems, form correct baseline energy consumption levels and performance indicators, and objectively assess and verify the effectiveness of energy efficiency measures.

Keywords: *energy baseline, energy performance indicator, industrial enterprise, energy management system.*

дата першого надходження статті до видання	01.07.2025
дата прийняття до друку статті після рецензування	02.08.2025
дата публікації (оприлюднення)	03.09.2025