

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

УДК 621.317.318

DOI 10.20535/1813-5420.2.2025.327133

О.В. Коцар¹, канд.техн.наук, ORCID 0000-0002-7958-2335

С.С. Довгий¹, аспірант, ORCID 0009-0003-9428-7240

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

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ МСП ЧЕРЕЗ УПРАВЛІННЯ ДАНИМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ

За результатами понад 200 енергоаудитів енергетичних і промислових підприємств, комерційних компаній і побутових споживачів виявлено низку недосконалостей, зокрема, недостатнє використання потенціалу енергомоніторингу; незадовільну якість даних енергомоніторингу, зокрема, в частині їхньої повноти цілісності, достовірності та актуальності; відсутність належного аналізу даних про енерговикористання; неналежну формалізацію, уніфікацію та автоматизацію процесів енергомоніторингу; неврахування переваг регулярного технічного обслуговування енергоспоживаючого обладнання і відсутність контролю якості його проведення. Зазначені проблеми не дозволяють повною мірою використовувати потенціал систем енергетичного менеджменту та призводять до незадовільного рівня енергоефективності. Задля подолання прогалин в статті досліджено шляхи реалізації потенціалу систем енергомоніторингу і вдосконалення технічного обслуговування технологічного устаткування малих та середніх підприємств з метою формування вимог до систем енергомоніторингу і реалізації політики управління ефективністю використання енергії, оцінено потенціал діджиталізації енергомоніторингу, застосовано інтерпретування результатів енергомоніторингу із залученням сучасних інформаційних технологій, а також розглянуто прямі і непрямі вигоди від підвищення продуктивності систем енергетичного менеджменту. Бібл. 10. Рис. 2.

Ключові слова: електроенергія, енергетична ефективність, енергетичний менеджмент, енергоаудит, енергомоніторинг, МСП, технічне обслуговування.

Вступ. З метою оптимізації операційних витрат відчутна кількість українських компаній суттєво скоротила чисельність служб експлуатації, вивівши працівників поза штат основної компанії або цілком поклавшись на аутсорсинг. За такого підходу у штаті компанії може залишатися лише 1-2 інженери, на яких покладено обов'язки із забезпечення надійної та безперебійної роботи електроустаткування, а також контролю за його технічним обслуговуванням (ТО) і ремонтом. Разом із неспростовними фінансовими вигодами для компанії, обумовленими зниженням навантаження на фонд оплати праці, за такого підходу виникають проблеми, пов'язані з відсутністю у інженерів достатньої кількості часу, який можна було б приділити енергомоніторингу та підвищенню рівня енергетичної ефективності компанії. Зазвичай, дані з приладів обліку знімаються лише в періоди щомісячної звітності, а їхній аналіз обмежується перевіркою виконання встановлених керівництвом компанії норм енергоспоживання.

Закон України «Про енергетичну ефективність» [1] передбачає, що суб'єкти господарювання із середнім рівнем річного енергоспоживання в обсязі 100 тисяч МВт-год на рік та вище зобов'язані проводити енергетичний аудит кожні чотири роки або впровадити і сертифікувати систему енергетичного та/або екологічного менеджменту з метою забезпечення неухильного підвищення рівня енергетичної ефективності. Враховуючи високий граничний рівень енергоспоживання, вимоги Закону розповсюджуються переважно на потужні промислові підприємства. Водночас, малі та середні підприємства (МСП), в яких найбільш часто спостерігаються проблеми з енергетичним менеджментом і енергомоніторингом через малу чисельність або відсутність служб експлуатації фактично опинилися поза вимогами Закону [1].

МСП відіграють ключову роль в економіці України, забезпечуючи близько 64% доданої вартості, 81,5% зайнятих працівників у суб'єктів господарювання та 37% податкових надходжень [2]. Українським МСП надається як державна [3], так і міжнародна підтримка, зокрема існує низка цільових економічних програм підвищення рівня енергетичної ефективності, метою яких є зменшення викидів парникових газів.

Проте, на відміну від інвестиційних енергоефективних заходів, зазначені програми зазвичай жодним чином не стимулюють підвищення продуктивності систем енергетичного менеджменту (СЕНМ) МСП. Враховуючи значення МСП в економіці України [4], підвищення продуктивності СЕНМ через управління даними енергомоніторингу в умовах скорочення інженерного персоналу і дефіциту в енергосистемі є актуальним завданням, оскільки дозволить відчутно скоротити витрати МСП на оплату енергоресурсів і спрямувати вивільнені кошти на розвиток бізнесу.

Метою досліджень є підвищення продуктивності систем енергетичного менеджменту МСП через управління даними енергомоніторингу і вдосконалення технічного обслуговування технологічного устаткування.

Для досягнення поставленої мети заплановано дослідження методів та засобів систем енергомоніторингу МСП, в ході виконання яких буде виявлено і реалізовано потенціал підвищення продуктивності таких систем, що має підвищити продуктивність СЕНМ в цілому. Заплановані дослідження виконуються в рамках енергетичних аудитів, під час яких, зокрема, зібрано дані енергоспоживання обладнання та інженерних систем, характерних для МСП (далі – об’єкти дослідження), проведено аналіз результатів ТО технологічного устаткування та виконано їхню обробку в рамках розв’язання таких завдань:

- статистичний аналіз з визначенням патернів енерговикористання (сезонність, періодичне підвищення/зниження енергоспоживання тощо);
 - оцінка доцільності та необхідної періодичності індивідуального контролю енергоспоживання (енергомоніторингу) для кожного об’єкту дослідження;
 - верифікація та валідація даних;
 - визначення факторів впливу на режими енергоспоживання об’єктів дослідження та оцінка можливості та економічної доцільності керування енерговикористанням з врахуванням таких факторів;
 - визначення впливу регламентних ТО об’єктів дослідження на рівень енергоспоживання МСП та оцінка понаднормових витрат енергії залежно від своєчасності та якості проведення ТО;
 - оцінка якості ТО шляхом дослідження рівня енергоспоживання МСП до та після його проведення і диференціація об’єктів дослідження, для яких таку оцінку може бути застосовано;
 - розрахунок і обґрунтування цільового енергоспоживання об’єктів дослідження з урахуванням факторів впливу;
 - розрахунок і обґрунтування довірчого інтервалу та розробка механізмів формування (вимірювання, фіксування тощо), збирання, аналізу та інтерпретації даних енергоспоживання в автоматичному режимі, а також розробка сценаріїв ухвалення та втілення управлінських рішень за відхилення енергоспоживання за межі очікуваних рівнів.
- За результатами досліджень буде сформовано вимоги до вдосконалення методів та засобів енергомоніторингу, зокрема, функцій та інструментарію, і реалізовано:
- формування вимог до системи енергомоніторингу з метою її вдосконалення на МСП і реалізації політики управління ефективністю використання енергії;
 - визначення потенціалу діджиталізації під час створення системи енергомоніторингу з метою виключення суб’єктивних факторів з процесів збирання та оброблення даних енергоспоживання;
 - інтерпретування результатів енергомоніторингу із залучення технологій big data і штучного інтелекту (ШІ);
 - конвертування результатів застосування СЕНМ у прямі і непрямі вигоди для МСП.

Матеріал досліджень. Проблеми енергомоніторингу та ефективного управління енерговикористанням досліджувало багато науковців, зокрема, КПІ ім. Ігоря Сікорського: А.В. Праховник [5, 6], В.П. Розен, О.І. Соловей [7] та ін. На думку авторів саме діджиталізація та вилучення суб’єктивних факторів з процесів енергомоніторингу МСП чинить найбільший вплив на підвищення продуктивності систем енергетичного менеджменту та рівня енергоефективності в цілому. Кінцева мета полягає у повній автоматизації процесів формування, збирання, агрегування, оброблення, аналізування даних енергоспоживання, а також ухвалення та імплементації управлінських рішень на базі сучасних систем енергомоніторингу, які функціонують в цілком автоматичному режимі та інтерпретують дані енергоспоживання для продуктивного розв’язання таких завдань:

- контролю базового рівня енергоспоживання і дотримання встановлених лімітів;
- прогнозування енергоспоживання та управління попитом;
- планування енергоспоживання та економії енергоресурсів;
- відстеження рівня досягнутої/досяжної енергоефективності [8];
- оптимізації режимів роботи обладнання та інженерних систем.

Повна автоматизація процесів енергомоніторингу дозволяє прискорити і підвищити продуктивність процесів прийняття рішень та адаптування до поточної ситуації. Очікується, що це стане одним із рушіїв

цифрової трансформації (діджиталізації) МСП і реалізації концепції Індустрії 4.0, що охоплює шість етапів розвитку від використання окремих комп'ютерних програм до адаптованості до мінливого середовища [9].

Під час енергетичного аудиту науково-виробничого підприємства у м. Києві взимку 2024 року досліджено потенціал використання енергомоніторингу. Визначено, що облік споживання електроенергії підприємства здійснюється 8-ма ввідними комерційними вузлами обліку. Додатково на підприємстві встановлено 135 лічильників технічного (технологічного) обліку електроенергії, які забезпечують облік понад 86% від загального споживання електроенергії підприємством. Технічний облік диференційовано як за групами однотипних струмоприймачів, так і за ввідними розподільними пристроями (ВРП) та головними розподільними щитами (ГРЩ), від яких заживлено різні групи споживачів (вентиляція, освітлення, розеткові групи тощо). Таким чином, підприємство забезпечено деталізованим обліком електроенергії і створено всі передумови для реалізації продуктивного енергомоніторингу.

Під час проведення енергоаудиту встановлено, що дані електроспоживання по всіх комерційних і технічних точках обліку збиралися вже понад рік, проте, жодним чином не аналізувалися фахівцями попри наявність на підприємстві власної служби експлуатації, яка складається з усіх необхідних профільних інженерів. Аналіз статистичних погодинних даних електроспоживання по багатьох точках технічного обліку показав періодичні нетипові відхилення від патернів (рис. 1), як то відсутність зниження споживання в неробочі години та у вихідні дні, відсутність кореляції споживання погодозалежного обладнання з температурою довкілля тощо (рис. 2).

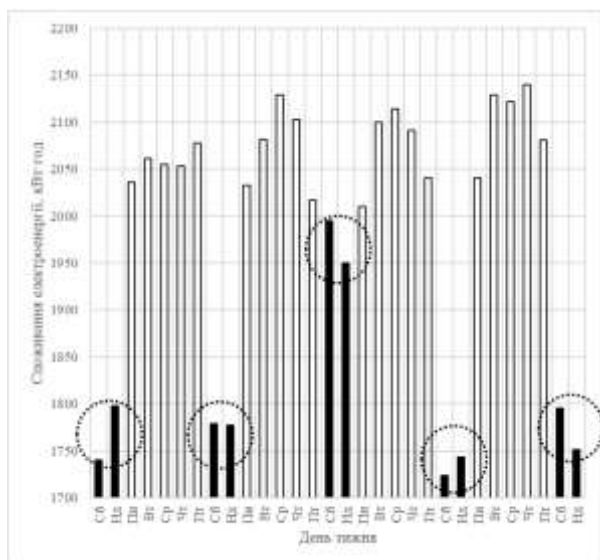


Рисунок 1 – Добове споживання електроенергії обладнання і його ліміт

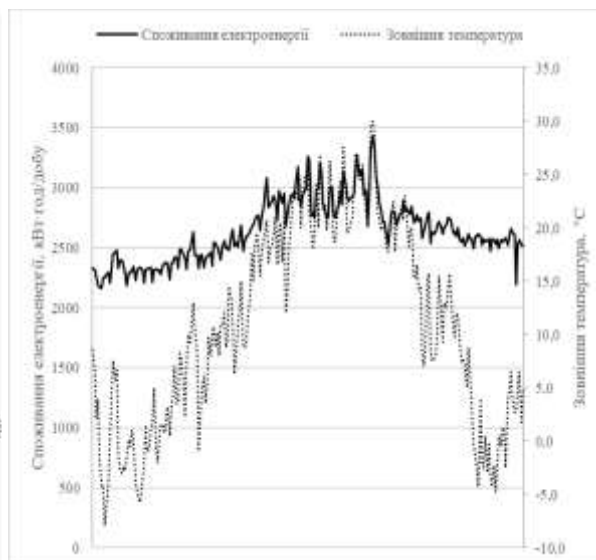


Рисунок 2 – Добове споживання електроенергії погодозалежного обладнання і середньодобова температура зовнішнього повітря

Оскільки пояснення таким відхиленням не надано службою експлуатації, зроблено припущення, що їх спричинено суб'єктивним фактором внаслідок недостатнього рівня трудової дисципліни. Через відсутність належного енергомоніторингу і оперативного визначення причин відхилень електроспоживання річна перевитрати електроенергії на підприємстві склали щонайменше 12%.

Іншим потенціальним джерелом підвищення рівня енергетичної ефективності є технічне обслуговування технологічного устаткування відповідно до технічної документації за встановленими регламентами. ДСТУ 9050:2020 [10] визначено, що ТО – це комплекс операцій чи операція для підтримки справного стану чи працездатності об'єкта, що використовується за призначенням, під час простою, зберігання та транспортування. ТО інженерних систем та технологічного енергоспоживаючого обладнання має виконуватись з періодичністю і відповідно до регламентів, зазначених в технічній документації на це обладнання або у відповідних галузевих стандартах. Виконавцем ТО може виступати як власна служба експлуатації підприємства, так і стороння організація на договірній основі.

Під час енергетичного аудиту офісно-складського комплексу у м. Києві влітку 2019 року виконано вимірювання параметрів роботи компресорних холодильних машин, зокрема, тиску/температури випаровування і конденсації, переохолодження та перегріву, а також споживання електричної енергії. Для охолодження повітря приміщень комплексу в теплий період року використовуються мультизональні системи (VRF/VRV) виробництва "Daikin" потужністю від 30 до 50 кВт, що працюють на холодоагенті R410A. Загалом система кондиціонування складається з 10 зовнішніх і 59 внутрішніх блоків.

Переохолодження і перегрів холодоагенту є ключовими показниками правильного налагодження і коректної роботи холодильних машин. Температура переохолодження ($T_{п.о.}$) визначається як різниця між температурою конденсації холодоагенту ($T_{конд}$) і температурою холодоагенту у рідкому стані на виході з конденсатора (T_x):

$$T_{п.о.} = T_{конд} - T_x. \quad (1)$$

Температура перегріву ($T_{п.г.}$) визначається як різниця між кипіння парорідинної суміші у випарнику ($T_{вип}$) і температурою холодоагенту у пароподібному стані, що всмоктується в компресор ($T_{всм}$).

$$T_{п.г.} = T_{вип} - T_{всм}. \quad (2)$$

За результатами вимірювань по всіх машинах було виявлено, що переохолодження холодоагенту менше 2 К, а перегрів перевищує 10 К, внаслідок чого продуктивність холодильних машин виявилася нижчою на 3-20% від паспортних значень. Оскільки VRV системи виробництва “Daikin” є одними з найкращих на ринку, можливість виробничого браку одразу на всіх машинах не розглядалася. Зазвичай, подібні проблеми спричинені неправильним заправленням холодильного контуру холодоагентом. Варто зазначити, що ТО системи кондиціонування повітря було виконано підрядником навесні 2019 року, за кілька місяців до проведення енергоаудиту. Згідно з переліком робіт в рамках періодичного ТО, зазначеного у акті виконаних робіт, рівень холодоагенту перевірено по всіх системах і виконано дозаправку по тих системах, де це було необхідно. Однак аналіз даних енергоаудиту показав, що роботу лише 2-х з 10-и систем кондиціонування можна було прирівняти до штатної. Це означає, що ТО було виконано з недотриманням регламентів і контроль за його виконанням був неналежним. Внаслідок консервативної оцінки, приведеної до умов стандартного року, було встановлено перевитрату електроенергії на потреби системи кондиціонування повітря 8%.

Приведені приклади ілюструють недосконалість енергомоніторингу і ТО та надають розуміння потенціалу енергозбереження.

Висновки. В умовах скорочення чисельності служб експлуатації автоматизація енергомоніторингу і виключення суб’єктивного фактора може суттєво підвищити продуктивність систем енергетичного менеджменту загалом і дозволить зменшити енергоспоживання МСП, що своєю чергою призведе до підвищення рівня їх енергоефективності, конкурентоспроможності, стійкості та адаптивності перед актуальними викликами, та в цілому буде сприяти післявоєнному відновленню та сталому розвитку українського суспільства.

Список використаної літератури

1. Закон України “Про енергетичну ефективність”. Редакція від 18.09.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20> (дата звернення 15.11.2024).
2. Підтримка малого і середнього підприємництва. URL: <https://www.kmu.gov.ua/reformi/ekonomichne-zrostantnya/pidtrimka-malogo-i-serednogo-pidpriyemnictva> (дата звернення 15.11.2024).
3. Закон України “Про розвиток та державну підтримку малого і середнього підприємництва в Україні”. Редакція від 05.10.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4618-17> (дата звернення 15.11.2024).
4. Оцінка впливу війни на мікро-, малі та середні підприємства в Україні. Київ: Програма розвитку ООН в Україні, 2024 рік – 86 с. URL: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-04/undp-ua-smb-2024.pdf> (дата звернення 15.11.2024).
5. Практичний посібник з енергозбереження для об’єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України/А. В Праховник та ін. Луганськ, вид-во “Місячне сяйво”, 2010 – 696 с.
6. Енергетичний менеджмент: навч. посіб. / А.В. Праховник та ін.; під ред. А.В. Праховника; Національний технічний ун-т України “Київський політехнічний ін-т”, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту. – К.: Київська нотна ф-ка, 1999. – 184 с.
7. Праховник А.В., Розен В.П., Соловей О.І та ін. Енергетичний менеджмент. – К.: Київська нотна фабрика, 2001 – 472 с.
8. ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова. [Чинний від 01.09.2016]. ДП «УкрНДНЦ», 2016. (Інформація та документація).
9. Schuh, G./Anderl, R./Dumitrescu, R./Krüger, A./ten Hompel, M. (Eds.): Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 – (acatech STUDY), Munich 2020 URL: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/> (дата звернення 15.11.2024).
10. ДСТУ 9050:2020 Система технічного обслуговування та ремонтування техніки. Терміни та визначення понять. [Чинний від 01.04.2021]. ДП «УкрНДНЦ», 2021. (Інформація та документація).

O. Kotsar¹, Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0002-7958-2335

S. Dovgyi¹, PhD student, ORCID 0009-0003-9428-7240

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ENHANCEMENT THE ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS PERFORMANCE IN THE SME VIA ENERGY MONITORING DATA GOVERNANCE

More than 200 energy audits of power and industrial enterprises, commercial companies and households revealed a number of weaknesses, including insufficient use of the energy monitoring potential ; poor quality of energy monitoring data, in particular in terms of its completeness, reliability and relevance; lack of proper analysis of energy using data; improper formalisation, unification and automation of energy monitoring processes; disregard for the benefits of regular maintenance of energy-consuming equipment and lack of quality control of such maintenance. These problems do not allow to fully utilise the energy management systems potential and lead to an insufficient level of energy efficiency. In order to overcome these gaps, the article analyses the ways of utilising the energy monitoring potential and improving the maintenance of technological equipment in the small and medium-sized enterprises in order to develop requirements for energy monitoring systems and implement energy efficiency policies, the energy monitoring digitalisation potential was assessed, the interpretation of energy monitoring results using modern information technologies was applied, and consider direct and indirect benefits from the improved of energy management system performance. References 10. Fig. 2.

Keywords: electricity, energy efficiency, energy management, energy audit, energy monitoring, SMEs, service maintenance.

References

1. The Law of Ukraine “On Energy Efficiency”. Version of 18.09.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20> (accessed at 15.11.2024). (Ukr)
2. Support for small and medium-sized enterprises. URL: <https://www.kmu.gov.ua/reformi/ekonomichne-zrostantnya/pidtrimka-malogo-i-serednogo-pidpriyemnictva> (accessed at 15.11.2024). (Ukr).
3. The Law of Ukraine “On the Development and State Support of Small and Medium-Sized Enterprises in Ukraine”. Version of 05.10.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4618-17> (accessed at 15.11.2024). (Ukr).
4. Assessment of the impact of the war on micro, small and medium-sized enterprises in Ukraine. Kyiv: United Nations Development Programme in Ukraine, 2024 - 86 p. URL: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-04/undp-ua-smb-2024.pdf> (accessed at 15.11.2024). (Ukr).
5. Practical guide to energy saving for industrial, construction and housing and communal facilities of Ukraine / A. Prakhovnyk et al. Luhansk: Misiachne Siayvo, 2010. 696 p. (Ukr).
6. Energy management: a textbook / A.V. Prakhovnyk et al; ed. by A.V. Prakhovnyk; National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Institute of Energy Saving and Energy Management. – Kyiv: Kyivska Notna Fabryka, 1999. – 184 p. (Ukr).
7. A.V. Prakhovnyk, V.P. Rosen, O.I. Solovey et al. Energy Management – Kyiv: Kyivska Notna Fabryka, 2001 - 472 p. (Ukr).
8. DSTU ISO 50006:2016 Energy management systems. Measuring energy performance using energy baselines and energy performance indicators. General principles and guidance. [Effective as of 01.09.2016]. UkrNDNC, 2016. (Ukr).
9. Schuh, G./Anderl, R./Dumitrescu, R./Krüger, A./ten Hompel, M. (Eds.): Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 – (acatech STUDY), Munich 2020 URL: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/> (accessed at 15.11.2024).
10. DSTU 9050:2020 Maintenance and repair system of engineering. Terms and definitions. [Effective as of 01.04.2021]. UkrNDNC, 2021. (Ukr).

Надійшла: 11.12.2024

Received: 11.12.2024