

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ

MONITORING, DIAGNOSTICS AND MANAGEMENT OF ENERGY PROCESSES AND EQUIPMENT

УДК 621.317.318

DOI 10.20535/1813-5420.4.2025.341326

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

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

ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ МСП ЧЕРЕЗ БЕНЧМАРКІНГ

Переважна більшість малих та середніх підприємств (МСП) беруть участь у програмах підвищення рівня енергетичної ефективності задля посилення конкурентоспроможності на ринку в першу чергу за рахунок розширення виробничих потужностей, а не підвищення енергоефективності існуючого обладнання через зменшення невиробничих втрат. Тому ці програми майже не впливають на реальну декарбонізацію і досягнення МСП цільового показника щорічного скорочення споживання енергії. Задля подолання прогалин в статті досліджено доцільність та необхідну періодичність енергомоніторингу, а також розглянуто шляхи підвищення його достовірності. Проведено енергоаудити трьох супермаркетів, в рамках яких здійснено паспортизацію електроспоживального обладнання; виконано диференційовані вимірювання споживаної електричної потужності та визначено розрахункове споживання електроенергії. За результатами енергоаудитів та розгляду архівних даних виконано порівняльний аналіз питомого споживання електроенергії супермаркетів (приведеного до 1 м² загальної площі) і проведено бенчмаркінг їх енергетичної ефективності. Розглянуто виклики в процесі бенчмаркінгу. Наведено узагальнені дані питомого електроспоживання трьох супермаркетів з розбивкою по групах однотипних споживачів. Запропоновано впровадження автоматичної системи енергомоніторингу підприємства, яка дозволить реалізувати потенціал діджиталізації, вилучити суб'єктивні фактори з процесів енергомоніторингу, а також забезпечить автоматизацію проведення бенчмаркінгу енергоефективності, контролю базового рівня енергоспоживання і дотримання встановлених лімітів. Підтверджено доцільність енергомоніторингу і важливість використання бенчмаркінгу енергоефективності в якості інструменту енергетичного менеджменту. Наведено шляхи підвищення достовірності енергомоніторингу МСП задля зменшення енергоспоживання і підвищення рівня їх енергоефективності. Бібл. 10, рис. 2, табл. 4.

Ключові слова: бенчмаркінг, декарбонізація, електроенергія, енергетична ефективність, енергетичний менеджмент, енергоаудит, енергомоніторинг, МСП.

Вступ.

Задля забезпечення сталого підвищення енергоефективності кінцевого споживання енергії в статті 9 Закону України “Про енергетичну ефективність” [1] встановлено цільовий показник щорічного скорочення споживання енергії на рівні не менше ніж 0,8 % від сукупного річного обсягу постачання енергії споживачам. Досягнення такого показника передбачається шляхом вжиття організаційно-економічних та правових заходів із стимулювання енергоефективності, а також завдяки діяльності відповідних фондів.

Окрім цього, з метою підтримки ініціатив щодо енергоефективності, проведення енергетичних аудитів і підтримки здійснення енергоефективних заходів суб'єктами малого та середнього підприємництва (МСП) Закон [1] передбачає впровадження цільових економічних програм енергоефективності.

На сьогодні суттєва частина таких програм реалізується за кошти міжнародних донорів. При цьому до МСП висуваються певні вимоги для участі. Так, серед іншого, енергоефективні заходи, що реалізуються

в рамках зазначених програм, мають призвести до певного зменшення енергоспоживання або скорочення викидів парникових газів відносно базового рівня. Необхідний обсяг скорочення енергоспоживання або викидів може різнитися залежно від конкретної програми, проте зазвичай складає щонайменше 20 %.

Оскільки в МСП організаційні енергозберігаючі заходи, як і впровадження системи енергетичного менеджменту (СЕМ), призводять здебільшого до економії, меншої за необхідні 20 %, подібні програми спрямовані на фінансування виключно інвестиційних енергоефективних заходів, пов'язаних в першу чергу з придбанням основних засобів.

З метою аналізу результатів діяльності міжнародних програм енергоефективності розглянуто одну з найбільш дієвих і популярних ініціатив для МСП – “EU4Business” [2]. В рамках цієї ініціативи в Україні з 2018 року функціонує низка програм, створених Європейським банком реконструкції та розвитку (ЄБРР) у співпраці з Європейським Союзом (ЄС) з метою сприяння фінансуванню інвестицій у МСП для підтримки сталих інвестицій у технології, що відповідають найкращим стандартам у сфері якості продукції, охорони здоров'я та безпеки праці, захисту навколишнього середовища, а також сприяння використанню “зелених” технологій.

Наразі до реалізації цих програм доєдналися 11 найбільших українських банків, які забезпечили фінансування понад 3000 енергоефективних заходів на загальну суму, що перевищує еквівалент 310 млн Євро.

В річних звітах зазначених програм енергоефективності МСП для опису позитивного ефекту на довкілля використовуються терміни “Energy use avoided” та “Greenhouse gas emissions avoided”, котрі означають уникнення певної кількості спожитої енергії або викидів парникових газів. Ці терміни є надто широко трактованими і охоплюють як реальне зменшення енергоспоживання/викидів при прямій заміні існуючого обладнання на нове, з виводом старого з експлуатації, так і недопущення зайвого збільшення енергоспоживання/викидів при придбанні нового обладнання, яке є енергоефективнішим за аналогі.

Аналіз портфелів цих програм показує, що переважна більшість реалізованих енергоефективних заходів (понад 90 %) пов'язана не з заміною існуючого обладнання підприємств на енергоефективніше, а з придбанням нового. Ба більше, вимоги до виводу з експлуатації або утилізації старого обладнання в цих програмах відсутні.

При цьому зменшення енергоспоживання або скорочення викидів парникових газів під час впровадження таких заходів обґрунтовується тим, що профінансоване нове обладнання щонайменше на 20 % є енергоефективнішим за аналогічне, представлене на українському ринку. Або ж робиться порівняння з базовою лінією по галузі, тобто з найбільш розповсюдженими моделями старого зразка.

Іншими словами, вибір нового обладнання для МСП звужується до найбільш енергоефективних моделей нового обладнання. Однак, при такому сценарії, енергоспоживання МСП в абсолютних показниках неодмінно збільшується, а позитивний ефект полягає у недопущенні понаднормових втрат енергії, тобто задекларована економія виявляється “віртуальною”.

Таким чином, МСП приймають участь у програмах енергоефективності ЄБРР та ЄС з метою максимізації прибутку, а не мінімізації витрат [3]. Тому ці програми майже не впливають на реальну декарбонізацію [4] і досягнення МСП цільового показника щорічного скорочення споживання енергії відповідно до статті 9 Закону [1].

Метою досліджень є оцінка доцільності та необхідної періодичності індивідуального контролю енергоспоживання (енергомоніторингу) МСП, а також пошук шляхів підвищення його достовірності задля скорочення витрат на оплату енергоресурсів і реального зменшення викидів парникових газів.

Для досягнення поставленої мети проведено енергоаудити трьох схожих за форматом супермаркетів, розташованих у київських в торговельних центрах (ТЦ), виконано порівняльний аналіз їх споживання електроенергії і проведено бенчмаркінг їх енергетичної ефективності [5].

Матеріал і результати досліджень.

Питання організації бенчмаркінгу енергоефективності досліджувало багато науковців, зокрема, КПП ім. Ігоря Сікорського: В.П. Розен, Б.Л. Тишевич [6, 7] та ін.

В якості об'єктів досліджень обрано два київських супермаркети, які орендують частину площ ТЦ в розмірі 9991 м² і 8708 м² та працюють кожен день з 08:00 по 23:00. При цьому торгові зали займають близько половини загальної площі. За результатами натурних обстежень було встановлено, що енергоспоживальне обладнання в обох супермаркетах майже ідентичне і використовується в схожих режимах. Супермаркети складаються з однакових підрозділів, включаючи такі енергоємні, як кулінарія, пекарня, м'ясний та рибний цехи. Загальна кількість струмоприймачів в супермаркеті 1 складає 2981 одиниць, а в супермаркеті 2 – 2920 одиниць.

Враховуючи різницю в площах супермаркетів, порівняння споживання електроенергії проведено не в абсолютних, а в питомих величинах (приведених до 1 м² загальної площі) за формулою:

$$\Delta_{num} = \frac{\left| \frac{\Sigma W_1}{S_1} - \frac{\Sigma W_2}{S_2} \right|}{\frac{\Sigma W_2}{S_2}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де ΣW – річне споживання активної електроенергії, кВт·год; S – площа, м².

Таким чином визначено, що споживання електроенергії супермаркетом 1 за відомостями, наданими ТЦ, перевищує споживання електроенергії супермаркетом 2 на 55 %. Ця розбіжність є надзвичайно великою, навіть враховуючи незначну різницю в обладнанні супермаркетів і режимів його використання.

Для більшої наочності на рис. 1 наведено порівняння питомого місячного споживання електроенергії супермаркетів в межах одного календарного року.

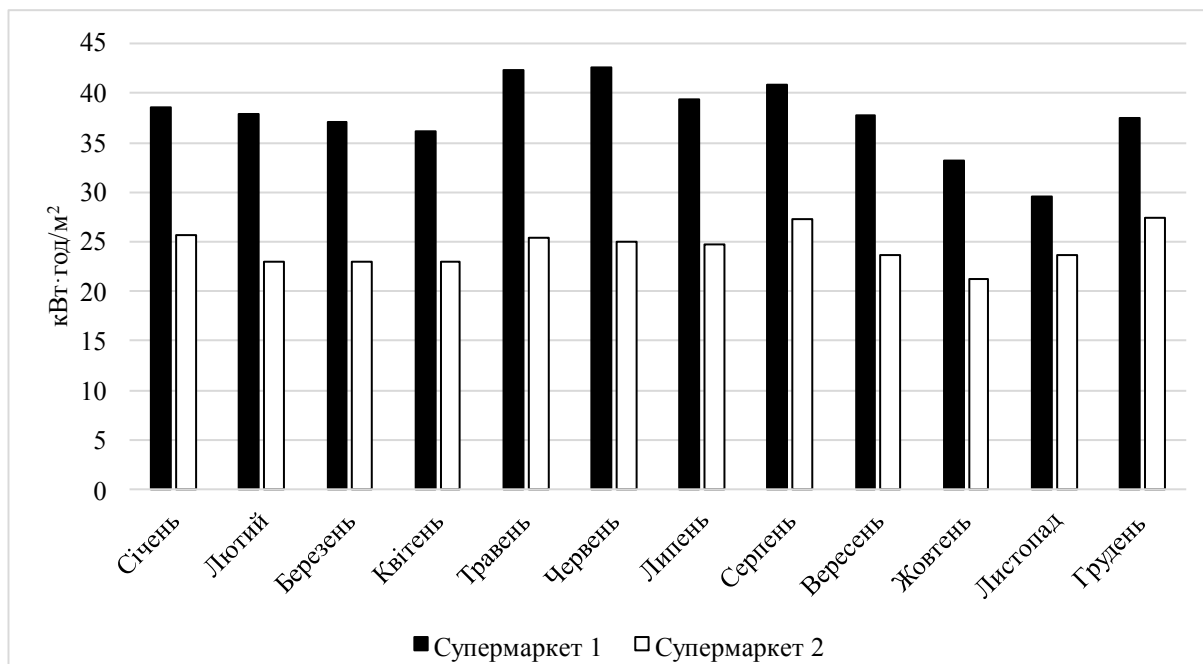


Рисунок 1 – Питоме місячне споживання електроенергії супермаркетами

Для визначення розрахункового споживання електроенергії кожного супермаркету виконано паспортизацію електроспоживального обладнання з зазначенням встановленої потужності, графіку роботи та режиму використання і проведено відповідні розрахунки [8] за формулою:

$$W_{розр} = P_{вст} \cdot T_m \cdot K_{вик}, \quad (2)$$

де $P_{вст}$ – встановлена (паспортна, номінальна) електрична потужність обладнання, кВт; T_m – час роботи обладнання протягом розрахункового місяця, год; $K_{вик}$ – коефіцієнт використання встановленої електричної потужності, прийнятий за нормативами для конкретного обладнання або розрахований як відношення середньої активної потужності обладнання до його номінального значення.

Окрім цього, виконано диференційовані вимірювання споживаної електричної потужності за розподільними щитами (силовим, освітлення, вентиляції) й окремо за найбільш енергоємними споживачами (компресори холодильних і морозильних централей, печі, пароконвектомати, плити, розстоечні шафи) та їх групах (рибний цех, м'ясний цех, кулінарія, пекарня) з урахуванням вимог [9]. Отримані в такий спосіб дані наведено в табл. 1.

Відхилення розрахункового від фактичного місячного споживання електроенергії супермаркетів розраховано за формулою:

$$\Delta_{абс} = \frac{|W_{факт} - W_{розр}|}{W_{розр}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

де $W_{факт}$ і $W_{розр}$ – відповідно фактичне і розрахункове місячне споживання активної електроенергії, кВт·год.

Таблиця 1. Відхилення розрахункового від фактичного споживання електроенергії

Супермаркет	Площа, м ²	Споживання електроенергії, кВт·год за місяць		Відхилення, %
		Розрахункове	Фактичне за останні 3 місяці	
1	9 991	233 515	378 628 332 286 295 621	27...62
2	8 708	195 813	205 684 184 689 206 562	5...6

Враховуючи значне відхилення розрахункового від фактичного споживання електроенергії зроблено припущення про некоректність обліку в супермаркеті 1. З метою підтвердження цієї гіпотези проведено детальний аналіз розрахунків за спожиту електроенергію.

В результаті встановлено, що обидва супермаркети не мають прямих договорів з електропостачальними компаніями, як і власних комерційних вузлів обліку. Замість цього облік організовано за рахунок технічних вузлів, влаштованих на електричних вводах: 13 у супермаркеті 1 (всі розташовані у приміщеннях ТЦ) та 36 у супермаркеті 2 (23 з яких розташовані на території супермаркету, а решта 13 – у приміщеннях ТЦ).

Наприкінці кожного місяця представники ТЦ і супермаркету утворюють спільні комісії і разом зчитують покази всіх лічильників, на підставі чого складається відомість місячного споживання електроенергії супермаркетом. За цими даними обліку та чинними тарифами виставляється рахунок за компенсацію спожитої супермаркетом електроенергії.

Аналіз архівних даних місячного споживання електроенергії окремо по кожному з лічильників технічного обліку упродовж двох минулих років не виявив аномалій: споживання або коливалось в межах 10 %, або чітко прослідковувалась кореляція з сезонністю.

Проблему виявлено лише після натурного обстеження всіх вузлів технічного обліку супермаркету 1. З'ясовано, що до споживання активної електроенергії додається споживання реактивної електроенергії по двом індукційним лічильникам. Це є неприпустимим, оскільки щомісячне споживання активної електроенергії виявляється завищеним на 50-80 тис. кВт·год від реального значення.

Більш того, в рахунках на компенсацію електроспоживання, які виставляє ТЦ, сума активної та реактивної електроенергії множить на тариф активної електроенергії, який є набагато вищим за тариф реактивної енергії, що призвело до значних переплат протягом більш ніж двох років.

Усунувши виявлені таким чином невідповідності вдалося заощадити суттєву кількість грошових ресурсів і перерахувати фактичне питома електроспоживання супермаркетом 1, яке знизилось з 37,7 до 27,7 кВт·год/м² за місяць. Незважаючи на це, перераховане значення питомого електроспоживання перевищувало аналогічний показник для супермаркету 2 на 14 %.

Для подальшого проведення внутрішніх бенчмаркінгових досліджень [5] виконано порівняння електроспоживання однотипних споживачів (та їх груп) обох супермаркетів (табл. 2). В результаті найбільші розбіжності виявлено по системах холодопостачання.

Таблиця 2. Розрахункове електроспоживання груп однотипних споживачів

Група споживачів	Споживання електроенергії, кВт·год за місяць	
	Супермаркет 1	Супермаркет 2
Вентиляція і кондиціонування	36 543	39 874
Освітлення (штучне)	39 773	35 321
Офісне обладнання, оргтехніка	11 661	11 505
Технологічне обладнання	37 164	35 904
Холодильне обладнання	108 373	73 208
Разом	233 515	195 813

Дійсно, натурне обстеження супермаркету 1 показало підвищені втрати через суттєві пошкодження теплоізоляції фреоноводів, обмерзання компресорів, а також роботу холодильної централі з неоптимальними параметрами температури випаровування і конденсації холодоагенту [10].

Запропоновано використати частину заощаджених коштів для впровадження заходів з підвищення енергоефективності системи холодопостачання супермаркету 1, які дозволять досягти показника питомого електроспоживання в розмірі 25,2 кВт·год/м² за місяць, що відрізняється від аналогічного показника супермаркету 2 лише на 3 %. При цьому заплановане річне зменшення споживання електроенергії становить 300 тис. кВт·год, а річне скорочення викидів парникових газів – 126 т.

У підсумку варто зазначити, що пошук перевитрат електроенергії на підприємстві було виконано несвоєчасно, зайняло багато часу і вимагало залучення сторонніх енергоаудиторів.

Для подолання цих прогалин з метою своєчасного виявлення перевитрат електроенергії, і оперативного усунення причин їх виникнення з залученням обмежених сил власної служби експлуатації, запропоновано впровадити сучасну систему енергомоніторингу підприємства, яка функціонуватиме в цілком автоматичному режимі та інтерпретуватиме дані енергоспоживання. Така система, серед іншого, дозволить реалізувати потенціал діджиталізації, вилучити суб'єктивні фактори з процесів енергомоніторингу, а також забезпечить автоматизацію проведення бенчмаркінгу енергоефективності, контролю базового рівня енергоспоживання і дотримання встановлених лімітів.

В підсумку це призведе до суттєво підвищення достовірності енергомоніторингу МСП, дозволить зменшити енергоспоживання і підвищити рівень їх енергоефективності.

Система автоматичного енергомоніторингу в загальному розумінні має забезпечувати такий функціонал:

- періодичний збір даних енергоспоживання з приладів обліку;
- верифікація та валідація зібраних даних;
- аналіз та інтерпретація даних.

Періодичний збір даних енергоспоживання має виконуватись виключно в автоматичному режимі, без залучення працівників підприємства. Це вивільнить робочий час відповідних працівників, а також повністю вилучить суб'єктивні фактори.

Непоодинокими є випадки, коли співробітники, залучені до збору даних з приладів обліку, недбало ставляться до покладених на них обов'язків, допускаючи помилки в своїх записах, коли попередні покази виявляються більшими за поточні, в показах пропущені цифри і т. ін. Зазначені помилки, зокрема, були виявлені при аналізі архівних даних споживання електроенергії по лічильникам технічного обліку супермаркетів 1 і 2.

Крім того, якщо приладів обліку велика кількість, вони розташовані на значній відстані один від одного та/або в місцях з незручним фізичним доступом, працівники, залучені до збору даних, нерідко нехтують своїми обов'язками зчитування фактичних показів, вказуючи їх приблизні значення таким чином, щоб енергоспоживання виявилось співрозмірним до попереднього періоду. При цьому, реальне зчитування показів відбувається один-два рази на рік, за рахунок чого відбувається коригування енергоспоживання. В незалежності від того, чи проводяться фінансові розрахунки по такому приладу обліку, аналіз архівних даних по ньому стає неможливим, оскільки графік енергоспоживання перетворюється на пряму лінію з необґрунтованими екстремумами в періоди фактичного зчитування показів.

Відсутність можливості адекватного аналізу енергоспоживання може призвести до негативних наслідків. Так, під час аналізу архівних даних енергоспоживання Супермаркету 2 встановлено, що дані по двом лічильникам електроенергії мають підозріло схоже щомісячне споживання (коливання у межах 0,5 %), при цьому по одному з них в грудні зафіксовано нереалістичний пік (+600 % в порівнянні з листопадом), а по другому – несуттєвий провал (-2 % в порівнянні з листопадом).

Ці лічильники встановлені в технічних приміщеннях, розташованих на даху ТЦ, і обліковують електроспоживання підсвітки рекламних вивісок на північному та західному фасадах відповідно. Під час опитування працівників супермаркету і ТЦ, залучених до зчитування показів, з'ясувалося, що покази з цих двох лічильників фактично знімаються лише раз на рік, а в інші місяці до відомості заносяться приблизні очікувані значення, сформовані відповідно до уявлень вказаних працівників про середньомісячне споживання електроенергії.

Першою причиною полягає у тому, що ці два лічильники розташовані в приміщеннях з ускладненим доступом і на значному віддаленні від інших приладів обліку, тобто такі дії зумовлені суто суб'єктивним фактором – лінощами. Природно, що відповідальні працівники супермаркету і ТЦ не змогли надати пояснень причини виникнення по одному із лічильників настільки суттєвого відхилення фактичного енергоспоживання від очікуваного.

З метою встановлення реальної причини значного збільшення споживання по лічильнику, який обліковує підсвітку рекламних вивісок на північному фасаді, проведено ретельне натурне обстеження і виконані відповідні вимірювання споживаної електричної потужності. Виміряна електрична потужність підсвітки складає 2,4 кВт, а працювати вона має лише у темну частину доби. Відповідно до статистичних даних середньомісячної тривалості світлового дня для м. Києва проведено розрахунок теоретичного споживання електроенергії за формулою (2).

Для наочності на рис. 2 наведено порівняння розрахункового місячного споживання електроенергії рекламної підсвітки на північному фасаді та архівних даних, які були внесені до відомостей взаєморозрахунків супермаркету і ТЦ.

Розрахункове річне споживання електроенергії рекламної підсвітки становить 10284 кВт·год, в той час як архівне по даним з відомостей – 15492 кВт·год, тобто відмінність складає 51 %.

Під час проведення обстеження в світлий час доби виявилось, що рекламна підсвітка була увімкнена, незважаючи на те що її ввімкнення і вимкнення реалізовано автоматично по сигналу від

сутінкового реле. Це означає, що автоматика з певної причини вийшла з ладу та перестала виконувати свої функції. Таким чином, орієнтовно пізвочу рекламна вивіска працювала цілодобово, навіть під час світлового дня, коли в її роботі не було потреби. Це призвело до перевитрати електроенергії в розмірі 5208 кВт·год та надлишкових викидів парникових газів в 2,2 т.

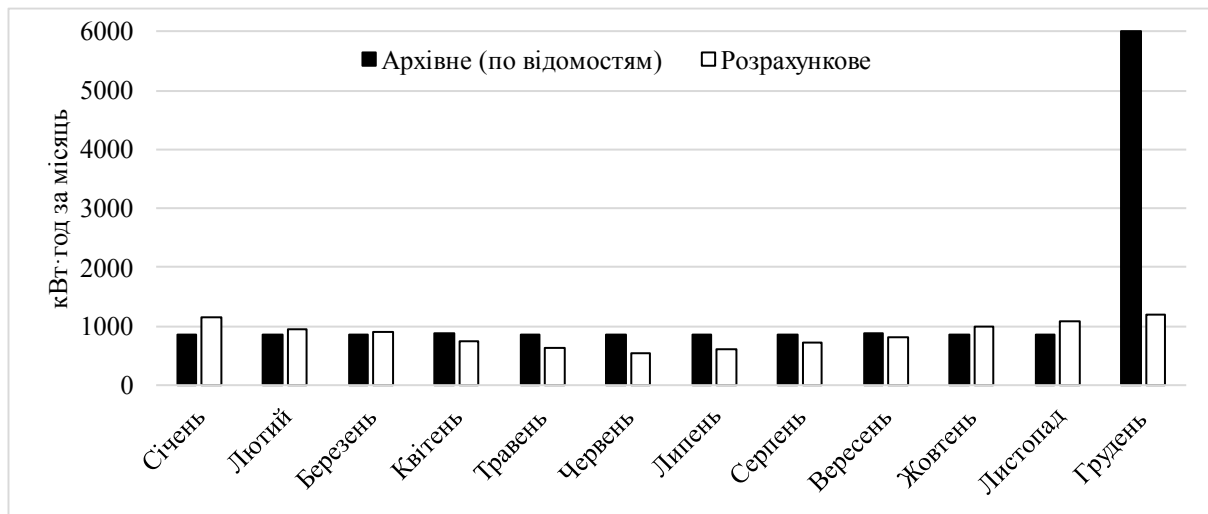


Рисунок 2 – Архівне і розрахункове місячне споживання електроенергії рекламної підсвітки

Оскільки в світлий час доби роботу зовнішньої рекламної підсвітки помітити практично неможливо, а планове технічне обслуговування системи автоматики не передбачалось, тільки ретельний аналіз даних енергоспоживання з приладів обліку дозволив виявити проблему. Однак недбалість працівників, відповідальних за зняття показань з приладів обліку, призвела до того, що перевитрата електроенергії не була виявлена своєчасно. А враховуючи відсутність процедури аналізу даних енергоспоживання, підприємство не звернуло би уваги на цю проблему без залучення зовнішніх енергоаудиторів. В такому випадку система енергомоніторингу, серед іншого, мала б можливість щоденно здійснювати в автоматичному режимі збір даних енергоспоживання з лічильників електроенергії та проводити внутрішній бенчмаркінг електроспоживання підсвітки рекламних вивісок на північному та західному фасадах. Оскільки рекламні підсвітки на обох фасадах мають як однакову встановлену потужність, так і однаковий режим роботи, істотне відхилення їх енергоспоживання мало бути визначено в автоматичному режимі і інтерпретовано відповідальному працівнику підприємства, який би за розробленим регламентом ухвалення та втілення управлінських рішень оперативно усунув би виявлену проблему.

Викликом в процесі бенчмаркінгу може стати відсутність бенчмарку, тобто еталонного або стандартного значення для порівняння даних. В такому випадку необхідно виконувати розрахунок і обґрунтування цільового енергоспоживання з обов'язковим визначенням і урахуванням факторів впливу на режими енергоспоживання. При цьому доцільно розраховувати цільове енергоспоживання не по всьому підприємству, а диверсифіковано по його складовим (цехам, підрозділам) або окремим інженерним системам.

В якості ще одного об'єкту досліджень вибрано київський супермаркет (в подальшому – супермаркет 3), який орендує частину площі ТЦ в розмірі 8574 м² та працює кожен день з 10:00 по 22:00. Усі струмоприймачі супермаркету (2799 одиниць) живляться від ввідно-розподільного пристрою (ВРП), до якого від мереж ТЦ підведено два кабельних вводи, обладнані лічильниками електроенергії Itron ACE661B. Окрім цього технічним обліком обладнано найбільш енергоємні групи споживачів магазину: кулінарія, кондитерський цех, пекарня, гарячий цех кулінарії, цех виробництва сиру, ресторан, рибний ресторан, бар, середньотемпературна холодильна централь, низькотемпературна холодильна централь, вентиляція, кондиціонування, освітлення торгового залу, освітлення технологічних приміщень. Для цих потреб встановлено ще п'ятнадцять лічильників електроенергії NIK 2303. Тобто супермаркет 3 забезпечений технологічним обліком електроенергії і створено всі передумови для реалізації продуктивного енергомоніторингу. Проте, ця можливість не використовується, оскільки покази з ввідних лічильників знімаються співробітниками супермаркету вручну один раз на місяць з метою розрахунку з ТЦ за спожиту електроенергію, а з п'ятнадцяти інших – взагалі не знімаються. Ба більше, зібрані дані енергоспоживання не аналізуються належним чином.

Питоме електроспоживання супермаркету 3 складає 31,0 кВт·год/м² за місяць, що перевищує аналогічний показник для супермаркетів 1 і 2 в середньому на 25 %. Таке порівняння недостатньо точне, оскільки в супермаркеті 3 встановлена більша кількість енергоємного обладнання на одиницю площі (через наявність фуд-корту з двома ресторанами та баром, а також кондитерського цеху). Однак, оскільки

технологічне обладнання та інженерні системи супермаркету 3 є більш новими і енергоефективнішими за паспортними даними, таке значне перевищення питомого електроспоживання спонукає до проведення натурних обстежень і ретельного аналізу.

Для визначення розрахункового споживання електроенергії супермаркету 3 виконано паспортизацію електроспоживального обладнання з зазначенням встановленої потужності, графіку роботи та режиму використання і проведено відповідні розрахунки за формулою (2). Одночасно з цим протягом трьох днів натурних обстежень з усіх лічильників технічного обліку знімалися покази на початку, в середині і в кінці зміни, а також в неробочий час. В результаті виконано порівняння розрахункового і усередненого фактичного енергоспоживання основних груп споживачів (табл. 3).

Таблиця 3. Розрахункове і фактичне електроспоживання груп однотипних споживачів

Група споживачів	Споживання електроенергії, кВт·год за добу	
	Розрахункове	Фактичне
Вентиляція	1 453	2 386
Кондиціонування	360	522
Освітлення (штучне)	902	1 405
Офісне обладнання, оргтехніка	471	473
Технологічне обладнання	1 460	1 467
Холодильне обладнання	2 304	2 312
Разом	6 950	8 564

Відповідно до знятих показів з лічильників технічного обліку відмічено, що по всіх групах споживачів, для яких фактичне споживання електроенергії перевищує розрахункове, навантаження залишається приблизно на тому ж самому рівні в неробочий час (вночі), що і під час робочої зміни. Дійсно, натурне обстеження, виконане вночі, виявило проблеми, які значною мірою впливають на електроспоживання супермаркету 3:

- робота систем вентиляції (як частини локальних технологічних витяжок, так і потужних загальнообмінних припливно-витяжних установок з секціями нагріву та охолодження);
- робота частини кондиціонерів;
- робота освітлення торгового залу.

Примітно, що перші дві проблеми пов'язані з людським фактором та відсутністю належних інструкцій, в тому числі посадових, які б зобов'язували відповідальних працівників контролювати виключення систем вентиляції і кондиціонування в неробочий час. В той же час система освітлення торгового залу обладнана системою автоматики з таймером, яка включає і відключає освітлення в заданий час доби. Не зважаючи на це, співробітники супермаркету, які залишаються працювати на ніч, можуть примусово вмикати освітлення з відповідних щитів, виключаючи із електричного кола блок автоматики (функція "байпас"). Під час проведення нічного обстеження все освітлення торгового залу працювало. При цьому співробітник відділу товарного обліку повідомив, що один зі щитів він увімкнув у ніч обстеження, а другий був увімкнений кількома ночами раніше. З його слів освітлення в торгового залу вночі вмикають співробітники його відділу для робочих цілей на певний час (найчастіше не більше ніж на 20 хвилин, якщо це не переоблік), після чого його потрібно вручну вимикати так само з відповідного щита. Через людський фактор цього часто не відбувається, тому схема автоматики з таймером не функціонує, і освітлення торгового залу працює вночі доти, доки хтось зі співробітників не згадає про необхідність його вимкнення.

Усунення виявлених проблем дозволить досягти показника питомого електроспоживання супермаркету 3 в розмірі 25,1 кВт·год/м² за місяць, що відрізняється від аналогічного показника супермаркетів 1 і 2 максимум на 3 %. При цьому заплановане річне зменшення споживання електроенергії становить 583 тис. кВт·год, а річне скорочення викидів парникових газів – 245 т.

Узагальнені дані питомого електроспоживання всіх трьох супермаркетів з розбивкою по групах однотипних споживачів наведені в табл. 4. Їх можна використовувати в якості бенчмарку для супермаркетів відповідного формату.

Наведені приклади підтверджують доцільність енергомоніторингу і важливість використання бенчмаркінгу енергоефективності в якості інструменту енергетичного менеджменту.

Важливо підкреслити, що автоматизація функцій збору даних сама по собі не гарантує ефективного використання енергоресурсів, оскільки раптовий вихід з ладу або несанкціоноване втручання в роботу автоматизованої системи з боку персоналу підприємства, можуть звести нанівець очікуваний економічний ефект. І без повнофункціонального енергомоніторингу і бенчмаркінгу перевитрата енергоносіїв може залишатися непоміченою тривалий час.

Для того, щоб обсяг роботи не виявився приголомшливим для служб експлуатації МСП, особливо в умовах скорочення їх чисельності, необхідно повною мірою використовувати потенціал діджиталізації та автоматизації процесів енергомоніторингу та бенчмаркінгу енергоефективності.

Основним недоліком такого рішення є його вартість, пов'язана з необхідністю впровадження технологічного обліку енергоносіїв, що може вимагати придбання значної кількості приладів обліку та реконструкцію системи внутрішнього електропостачання підприємства.

Таблиця 4. Питоме електроспоживання груп однотипних споживачів

Група споживачів	Питоме електроспоживання, кВт·год/м ² за місяць		
	Супермаркет 1	Супермаркет 2	Супермаркет 3
Вентиляція і кондиціонування	4,0	5,0	6,6
Освітлення (штучне)	4,3	4,4	3,3
Офісне обладнання, оргтехніка	1,3	1,4	1,7
Технологічне обладнання	4,0	4,5	5,3
Холодильне обладнання	11,7	9,1	8,3
Разом	25,2	24,4	25,1

Висновки.

Відсутність індивідуального контролю енергоспоживання (енергомоніторингу) на підприємствах може призвести до значних перевитрат, які важко піддаються контролю. Окрім цього, в МСП гостро відчуються проблеми, пов'язані з недостатньою кількістю інженерного персоналу. Як результат, кількість часу, яку працівники можуть присвятити енергомоніторингу, замала для його якісного виконання, а отже і його періодичність зазвичай є незадовільною.

Більш того, простий аналіз енергоспоживання у порівнянні з попередніми періодами може вказати лише на випадкові відхилення. В той час, як для виявлення систематичних відхилень необхідно застосовувати бенчмаркінг (як внутрішній, так і зовнішній) або розраховувати і обґрунтовувати цільове енергоспоживання. Застосування таких методів здатне відчутно підвищити достовірність енергомоніторингу.

Збирання, аналіз та інтерпретація даних енергоспоживання в автоматичному режимі з достатньою періодичністю і застосуванням інструментів підвищення їх достовірності, а також розробка сценаріїв ухвалення та втілення управлінських рішень при відхиленні енергоспоживання за межі очікуваних рівнів, вирішить зазначені проблеми та призведе до мінімізації витрат і декарбонізації МСП.

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 20.05.2025).
2. EU4Business: річний звіт 2024. URL: <https://eu4business.org.ua/reports/eu4business-annual-report-2024/> (дата звернення 20.05.2025).
3. Дерій В. Поняття і значення економічного контролю для мінімізації витрат та максимізації доходів підприємств / В. Дерій // Бухгалтерський облік і аудит. - 2011. - № 2. - С. 48-56. - URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/boau_2011_2_7 (дата звернення 20.05.2025).
4. Mazhar, MU, Domingues, AR, Bull, R and O'Boyle, S, 2022. Small and medium-sized enterprises: hard to reach, data-poor but rich in creative potential as agents of change for decarbonisation. In: European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) Summer Study proceedings. European Council for an Energy Efficient Economy, pp. 145-153. URL: <https://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/51521> (дата звернення 20.05.2025).
5. ДСТУ EN 16231:2017 Методологія бенчмаркінгу енергетичної ефективності (EN 16231:2012, IDT).
6. Розен В. П. Бенчмаркінг як засіб підвищення рівня енергоефективності промисловості України / В. П. Розен, Б. Л. Тишечевич, В. Г. Городецький, П. В. Розен // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія : Гірництво. - 2012. - Вип. 22. - С. 166-171. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_gir_2012_22_26 (дата звернення 20.05.2025).
7. Розен В. П. Методологія бенчмаркінгу енергоефективності для промисловості України / В. П. Розен, Б. Л. Тишечевич, П. В. Розен // Енергосбережение. Енергетика. Енергоаудит. - 2012. - № 6. - С. 9-19. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecee_2012_6_3 (дата звернення 20.05.2025).
8. Шестеренко В.С. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підручник / В.С. Шестеренко. – Вінниця : Нова Книга, 2004. – 656 с.
9. Правила улаштування електроустановок. Затверджено Наказом Міністерства енергетики України від 21.07.2017 № 476. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#Text> (дата звернення 20.05.2025).
10. Yasmine Salehy, Hong-Minh Hoang, François Cluzel, Yann Leroy, Anthony Delahaye, et al. Energy performances assessment for sustainable design recommendations: Case study of a supermarket's refrigeration system. 27th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, May 2020, Grenoble, France. pp.328-333. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.102> (дата звернення 20.05.2025).

IMPROVING THE CREDIBILITY OF SME ENERGY MONITORING VIA BENCHMARKING

Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) often engage in energy efficiency programs to boost competitiveness through production expansion, rather than optimizing existing equipment. This approach limits their contribution to decarbonization and hinders the achievement of energy reduction targets. To bridge this gap, this article explores the feasibility and optimal frequency of energy monitoring, along with strategies to enhance its credibility. We conducted energy audits in three supermarkets, meticulously documenting electrical equipment and measuring power consumption to calculate estimated electricity usage. This data, combined with archival records, enabled a comparative analysis of specific electricity consumption (per m²) and comprehensive energy efficiency benchmarking, for which associated challenges are also discussed. Our findings provide generalized specific electricity consumption data for these supermarkets, categorized by consumer groups. We advocate for the implementation of an automatic energy monitoring system. Such a system would harness digitalization, mitigate human error, and automate benchmarking, baseline control, and compliance with energy limits. This research confirms the practicality of energy monitoring and the vital role of energy efficiency benchmarking in effective energy management. Additionally, it offers actionable recommendations to bolster the credibility of SME energy monitoring, fostering significant reductions in energy consumption and improvements in overall energy efficiency. Ref. 10, Fig. 2, Tabl. 4.

Keywords: benchmarking, decarbonisation, electricity, energy efficiency, energy management, energy audit, energy monitoring, SMEs.

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 20.05.2025). (Ukr)
2. EU4Business: Annual report 2024. URL: <https://eu4business.org.ua/reports/eu4business-annual-report-2024/> (accessed at 20.05.2025). (Ukr)
3. Deriy, V. The concept and significance of economic control for minimising costs and maximising profits of enterprises / V. Deriy // Accounting and Audit. - № 2. - p. 48-56. - URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/boau_2011_2_7 (accessed at 20.05.2025). (Ukr)
4. Mazhar, MU, Domingues, AR, Bull, R and O'Boyle, S, 2022. Small and medium-sized enterprises: hard to reach, data-poor but rich in creative potential as agents of change for decarbonisation. In: European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) Summer Study proceedings. European Council for an Energy Efficient Economy, pp. 145-153. URL: <https://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/51521> (accessed at 20.05.2025).
5. DSTU EN 16231:2017 Energy efficiency benchmarking methodology (EN 16231:2012, IDT). (Ukr)
6. Rosen, VP. Benchmarking as a means of increasing the level of energy efficiency of the Ukrainian industry / V. Rosen, B. Tyshevysh, V. Gorodetskyi, P. Rosen // Bulletin of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. Series: Mining. - 2012. - Issue 22. - p. 166-171. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_gir_2012_22_26 (accessed at 20.05.2025). (Ukr)
7. Rosen, VP. Methodology of energy efficiency benchmarking for the industry of Ukraine / V.P. Rosen, B.L. Tyshevysh, P.V. Rosen // Energy saving. Energy. Energy audit. - 2012. - № 6. - p. 9-19. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecee_2012_6_3 (accessed at 20.05.2025). (Ukr)
8. Shesterenko, VE. Systems of power consumption and power supply of industrial enterprises: textbook / V.E. Shesterenko - Vinnytsia: Nova Knyha, 2004. – 656 p.
9. Regulation for electrical installation. Approved by the Order of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine dated 21.07.2017 № 476. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#Text> (accessed at 20.05.2025). (Ukr)
10. Yasmine Salehy, Hong-Minh Hoang, François Cluzel, Yann Leroy, Anthony Delahaye, et al. Energy performances assessment for sustainable design recommendations: Case study of a supermarket's refrigeration system. 27th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, May 2020, Grenoble, France. pp.328-333. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.102> (accessed at 20.05.2025).

Надійшла: 22.05.2025

Received: 22.05.2025