

ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВОГО РІВНЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

В. З. Пашкевич, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: pashkevitch.volodymyr@gmail.com

В. Б. Шепітчак, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: shepitchak@gmail.com

В. Я. Крайовський, доктор технічних наук, професор

E-mail: vkrayovskyy@ukr.net

В. М. Желих, доктор технічних наук, професор

E-mail: v_zhelykh@msn.com

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Сучасний економічний стан більшості країн, у тому числі України, а також проблеми нерационального енерговикористання є актуальними в цілому світі, а їх вирішення є складовою ланкою сталого розвитку суспільства, що поєднує екологічну, економічну та соціальну складові та формує основні вимоги до використання енергоресурсів. В умовах росту цін на паливно-енергетичні ресурси енергоефективність повинна стати ключовим чинником забезпечення конкурентоспроможності у всіх сферах економічної діяльності України, і в першу чергу - бюджетної сфери до якої відносяться заклади вищої освіти (ЗВО).

Заклади вищої освіти вважаються досить великими споживачами енергоресурсів. Питоме споживання енергоресурсів на 1 м² у ЗВО України в 2-4 рази перевищує рівень споживання в країнах Західної Європи, США та Канаді. Переважають витрати на теплову енергію (до 70 %), на електроенергію (до 40 %), на водопостачання та водовідведення (до 30 %).

Неефективне і нерациональне споживання енергоресурсів у системі вищої школи вимагає розробки комплексних підходів та створення цілісної моделі управління енергоспоживанням закладів вищої освіти, основними складовими якого є енергоменеджмент, енергоаудит, енергосертифікація.

Визначення потенціалу енергозбереження на основі прийнятої загальної системи показників є однією з умов сталого соціально-економічного та матеріально-технічного розвитку закладів вищої освіти, що повинно посилити увагу керівників ЗВО до проблем пов'язаних з підвищенням енергоефективності існуючих будівель та інженерних мереж. Високі показники енергоефективності повинні бути не тільки іміджевою складовою кожного технічного ЗВО, а й свідченням високого наукового рівня розвитку. А відтак проблема

енергоефективності повинна бути проблемою не тільки адміністративно-господарського, але і наукового персоналу ЗВО.

Нагальна необхідність створення ефективної системи управління процесами енергоспоживання та енергозбереження галузі освіти, недостатній ступінь розробки теоретико-методологічних підходів оцінки рівня енергоефективності, з одного боку, та важливість результатів дослідження для забезпечення сталого розвитку закладів вищої освіти та країни, з іншого, свідчить про об'єктивну необхідність проведення подальших наукових досліджень вище зазначеної проблеми.

Ключові слова: *енергозбереження, енергоефективність, енергоаудит, енергоменеджмент, енергоспоживання, енергоресурси, заклад вищої освіти, система енергетичного менеджменту*

Актуальність. Розробка нових і удосконалення існуючих методів оцінювання енергоефективності, побудови системи управління процесами споживання енергії об'єктами ЗВО є актуальним завданням і мають науковий і практичний інтерес.

Недостатня узгодженість теоретичних і практичних підходів до дослідження принципів енергоспоживання у вищій школі зумовлює той факт, що багато проблем залишаються неузгодженими, дискусійними та вимагають додаткового вивчення, зокрема: відсутність універсальних підходів до побудови системи імплементації міжнародних стандартів в практику вищої школи; невизначеність критеріїв оцінювання енергоефективності, її кількісних та якісних показників; недостатня обґрунтованість інструментів стимулювання енергоощадних заходів [3].

Нажаль, сьогодні у ЗВО присутні лише елементи управління споживанням енергії, тобто елементи енергетичного менеджменту наявні, але вони несистематизовані і неструктуровані, не мають повного забезпечення методами та засобами управління. Тому виникла необхідність розробки концепції моделі впровадження енергетичного менеджменту у ЗВО, у якій зазначені елементи ефективного функціонування системи управління енергоспоживанням [4].

Відсутність адекватної оцінки енергоспоживання будівель ЗВО призводить до того, що неможливо точно визначити базу порівняння поточного рівня енергоефективності і встановити реалістичні цілі щодо його зниження. Вирішення цих завдань, аналіз фактичних та отримання приведених до стандартних умов даних з енергоспоживання потребує використання методів розрахунку та математичних моделей різного призначення [7].

У процесі забезпечення належних параметрів мікроклімату в навчальних корпусах і гуртожитках університету для служби енергоменеджменту постає проблема оцінки раціонального використання енергоресурсів і своєчасного виявлення можливих шляхів економії енергоресурсів.

Система енергетичного менеджменту (СЕМ) будівлі – це постійно діюча система, метою функціонування якої є забезпечення мінімального значення енергоспоживання, яке необхідно для якісного надання послуг в будівлі (рис. 1). Моніторинг енергоефективності є складовою частиною енергетичного менеджменту

Для досягнення цієї мети в процесі моніторингу повинні вирішуватися такі завдання:

- отримання вихідної інформації для розробки проектів підвищення енергетичної ефективності будівель;
- виявлення та усунення причин нераціонального використання ПЕР в будівлі в процесі експлуатації;
- оцінка фактичної економії ПЕР за рахунок реалізації енергоефективних проектів (заходів).

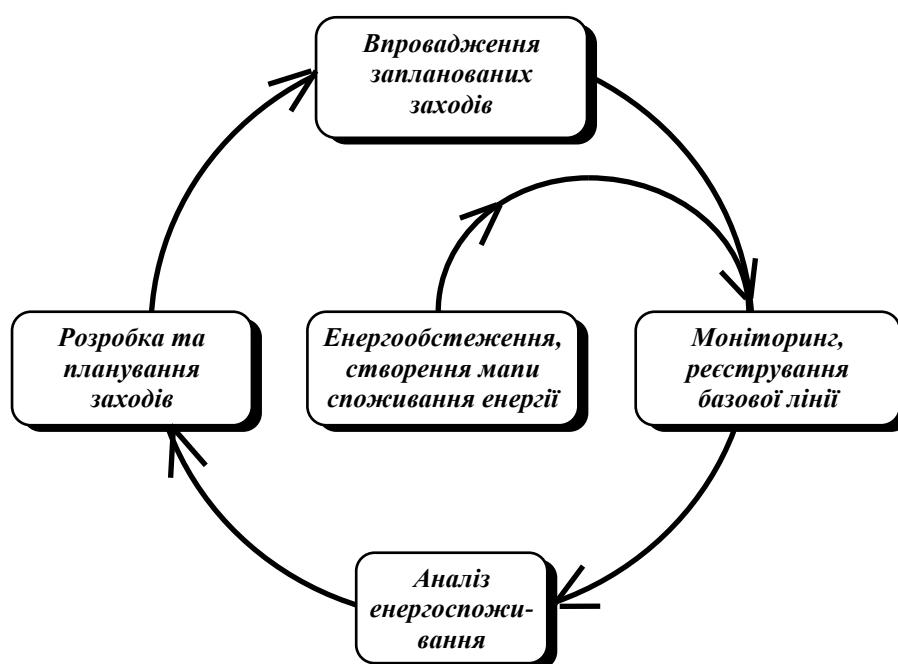


Рис. 1. Схема функціонування СЕМ будівлі

Комплексне виконання складових: «Енергообстеження - реєстрування базового рівня - аналіз енергоспоживання – розробка та планування заходів – впровадження заходів – моніторинг - аналіз енергоспоживання» дозволяє постійно вдосконалювати і впроваджувати принципи енергетичного менеджменту у повсякденну практику навчального закладу. Для оцінки економії енергоресурсів надзвичайно важливо точно визначити базовий рівень енергоспоживання будівлі, який буде відправною точкою в частині оцінки результатів впровадження заходів з енергоощадності, визначення термінів окупності, визначення показників реалізації енергосервісних договорів тощо. Визначення обґрунтованого базового рівня енергоспоживання є ключовою задачею для ефективного функціонування енергетичного менеджменту [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині розроблено та запроваджено багато методів оцінки енергоефективності будівель, але особливості їхнього застосування визначаються їх складністю, точністю оцінки результатів, вартісними показниками - у випадку коли їх не може реалізувати енергоменеджер ЗВО і вони вимагають спеціальної кваліфікації та навчання персоналу, або коли це платний програмний продукт.

Оцінювання енергоефективності закладів вищої освіти проводиться на основі нормування питомих показників електроспоживання.

Норми питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) визначаються прямим розрахунком з урахуванням рівня фактично досягнутих норм і можуть бути визначені шляхом застосування таких методів: розрахунково-аналітичного, експериментального, розрахунково-статистичного та комбінованого. Розрахунково-аналітичний метод передбачає визначення питомих норм витрат ПЕР шляхом визначення реального споживання відповідно до технологічної структури споживання на основі прогресивних показників та прогнозу їх зменшення з урахуванням оціненого потенціалу енергозбереження та підвищення енергоефективності. Експериментальний метод полягає у визначенні норм на підставі даних одержаних у результаті експериментальних вимірювань та прогнозу їх споживання з урахуванням оціненого потенціалу енергозбереження та

підвищення енергоефективності. Розрахунково-статистичний метод полягає у визначенні питомих норм на основі використання статистичних даних про фактичні витрати ПЕР та про значення чинників, що впливають на величину їх питомих витрат. Комбінованим методом поєднує в собі експериментальний та розрахунково-аналітичний методи визначення питомих норм витрат ПЕР і дає можливість одержати обґрунтовані індивідуальні норми витрат з урахуванням особливостей технологічних процесів.

Доцільно визначити та проаналізувати такі індикатори енергоефективності будівель [3]:

- абсолютні значення витрат енергії;
- питомі показники енергоспоживання на одиницю опалювальної площі, об'єму та інші одиниці виміру за окремими видами ресурсів за звітний період;
- питомі показники споживання на потреби опалення на градус-день;
- енергоспоживання в т.у.п. (відображає структуру енергобалансу);
- коефіцієнти, приведені показники (кВт·год/день, кВт·год/м²·тиждень);
- відносні показники (наприклад, заощадження X спожитих одиниць енергії відносно базових рівнів енергоспоживання за певний період, відсоток покращення порівняно з базовим рівнем енергоспоживання за період).

У статті [3] оцінку енергоефективності запропоновано здійснити шляхом побудови енергопрофілів будівель на основі статистичних спостережень за розрахунковим річним споживанням енергії. Наочність такого підходу дозволяє однозначно класифікувати енергетичну ефективність будівель за річним питомим споживанням енергії. Також проведено аналіз впливу окремих факторів, які впливають на питоме енергоспоживання будівель за допомогою багатокритеріального факторного аналізу.

В роботах [6] запропоновано здійснювати контроль ефективності використання теплової енергії на основі розроблених регресійних моделей, які дозволяють оцінювати та прогнозувати теплоспоживання об'єкту в залежності від зміни погодних умов з врахуванням конструктивних особливостей будівлі. Середнє відхилення прогнозованого та фактичного теплоспоживання становить 15 %.

Енергетична ефективність будівель повинна визначатися з розрахункової або фактичної річної енергії на задоволення потреб опалення, при забезпеченні відповідних санітарно-гігієнічних норм в приміщеннях будівель. В ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель» наведено метод розрахунку енергоспоживання на основі градусодоби. Фіксована тривалість опалювального періоду необхідна для розрахунків сумарної теплопередачі та сумарних теплових надходжень протягом опалювального періоду. Цей метод дозволяє скоригувати споживання теплової енергії на опалення відповідно до фактичних значень зовнішньої температури та середніх температур приміщень.

Роботи [1] та [2] дозволяють визначити питомі норми споживання теплової енергії на потреби опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, а також - споживання електричної енергії.

Норми споживання теплової енергії на потреби опалення визначаються, виходячи з питомих характеристик опалення, середнього денного теплового навантаження, року забудови та об'єму будівель та місця їх розташування. Вони враховують трансмісійні втрати і втрати на інфільтрацію без урахування всіх видів теплових надходжень згідно умов енергобалансу будівлі. Залежно від наявних вихідних даних норми споживання теплової енергії можна визначати, виходячи з середньогодинного теплового навантаження будівлі, або за питомими опалювальними характеристиками.

З метою аналізу дійсного стану справ, пов'язаних з витратами теплової, електричної енергії і води, визначення розрахункових втрат, необхідних для досягнення комфортних умов мікроклімату в приміщеннях, аналізу фактичного рівня витрат паливно-енергетичних ресурсів, з'ясування причин можливих перевитрат енергії і, як результат, розроблення енергозберігаючих заходів та рекомендацій з ощадливого користування ресурсами необхідно проводити енергетичний аудит будівель.

У роботі [5] розглянуто можливість впровадження автоматизованої системи управління енергоефективністю закладів вищої освіти, сформовано вимоги до цієї

системи і обґрунтовано вибір програмної платформи та системи управління базами даних.

Існують інші методи проведення аналізу енергоспоживання будівлі. Поширеним програмним продуктом для аналізу енергетичних характеристик будівель є Energy Plus, ANSYS, FLUENT, SolidWorks, Energy Plan, Energy Monitor. Проте більшість програмних продуктів розроблені не для умов України, їх потрібно заздалегідь корегувати, а також прив'язувати до погодних умов на певній території. Деякі програмні продукти вже мають базу даних з погодними умовами для України, наприклад такі як Energy Plus.

З огляду на вище сказане можна зробити висновок, що методи запропоновані в роботах [1, 2, 3] є прості в реалізації, не вимагають фінансових затрат на їхню реалізацію і доступні будь-якому енергоменеджеру ЗВО і вони можуть бути застосовані для експрес-аналізу оцінки енергоспоживання будівель. Методи описані в роботах [6, 7] є складними за своєю реалізацією, вимагають спеціальної підготовки енергоменеджерів і очевидно дороговартісні. Що стосується прецизійних характеристик даних методів, то це буде предметом подальшого дослідження цієї статті.

Мета дослідження - теоретичне обґрунтування положень та розробка принципів оцінювання енергетичної ефективності будівель ЗВО шляхом визначення базового рівня енергоспоживання на прикладі Національного університету «Львівська політехніка».

Матеріали і методи дослідження. Запропоновані вище методи можна класифікувати так (рис. 2).

Зважаючи на те, що в університеті є накопичена інформація стосовно енергоспоживання, пропонується новий підхід для оцінювання базового рівня споживання теплової енергії закладами бюджетної сфери на основі запропонованої методики [8]. Зазначена методика може бути використана за наявності об'єктивних даних про споживання енергоресурсів за попередні періоди.

Об'єктом дослідження є гуртожиток №5 НУ «Львівська політехніка», який обладнаний індивідуальним тепловим пунктом з погодозалежною автоматикою.

Облік теплової енергії на потреби опалення, вентиляції і гарячого водопостачання здійснюється тепловим лічильником фірми Kamstrup встановленим на вході в індивідуальний тепловий пункт (ІТП).



Рис. 2. Класифікація методів оцінювання енергоефективності будівель

На початку досліджень вибирались дані про споживання теплової енергії і середньомісячні температури зовнішнього повітря.

- $T_{\text{вн.}}$ приймалося з статистичних даних про налаштування параметрів мікроклімату на вузлі керування ІТП (контролер ECL фірми «Danfoss»);
- Середньомісячна температура зовнішнього повітря бралась з даних метеоцентру.

Місяці року були поділені на дві групи:

- Опалювальний період (жовтень-квітень);
- Неопалювальний період (травень-вересень).

Вентиляція будівлі є природною і відбувається за рахунок інфільтрації. Механічна вентиляція знаходиться в неробочому стані. Тому, очевидно» теплове навантаження гуртожитку №5 необхідно розділити на трансмісійні втрати і інфільтраційні.

При визначенні узагальненої характеристики на гаряче водопостачання не враховуються місяці в яких ТЕЦ стає на ремонт.

Результати досліджень та їх обговорення.

Розрахунок базового рівня споживання теплової енергії на потреби гарячого водопостачання

Базовий рівень споживання паливно-енергетичних ресурсів та житлово-комунальних послуг – усереднене значення обсягів річного споживання паливно-енергетичних ресурсів та житлово-комунальних послуг (у натуральних показниках) об'єктом енергосервісу із зазначенням обсягів споживання кожного виду паливно-енергетичних ресурсів та житлово-комунальних послуг середньорічних за три роки, що передують року, в якому здійснюється публічна закупівля енергосервісу.

При визначенні базового рівня енергоспоживання будівлі використовують відповідне програмне забезпечення або розрахунковий метод базового річного рівня енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та ГВП будівель житлового та громадського призначення, що проектується або експлуатуються. Цей розрахунковий метод встановлено Національним Стандартом України ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні». Базове енергоспоживання використовується для:

- оперативного контролю ефективності споживання ПЕР в процесі експлуатації будівель;
- побудови базової лінії енергоспоживання;
- розрахунків економії після впровадження енергоефективних заходів (ЕЕЗ).

Загальне базове споживання теплової енергії будівлею розраховується з урахуванням:

- базового споживання теплової енергії на потреби опалення;
- базового споживання теплової енергії на потреби вентиляції;
- базового споживання теплової енергії на гарячого водопостачання.

Для розрахунків базового енергоспоживання обрано базовий період за останні три роки 2016 – 2018 рр.

За відсутності окремого вузла обліку теплової енергії на гаряче водопостачання та за наявності інформації про нарахування за спожиту теплову енергію на потреби гарячого водопостачання щомісячний базовий рівень споживання теплової енергії на потреби гарячого водопостачання для всіх місяців року визначається як:

$$Q_{\text{б}}^{\text{зеп}} = K_1 \frac{m^{p.\text{д.}}}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i^{\text{зеп}}}{m_i^{p.\text{д.}}} \right), \quad (1)$$

де $Q_{\text{б}}^{\text{зеп}}$ – базовий рівень споживання теплової енергії на потреби гарячого водопостачання, Гкалл/місяць ; K_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення витрат теплової енергії на гаряче водопостачання (в опалювальний період $K_1=1,25$, в між опалювальний період $K_1=1$); $m^{p.\text{д.}}$ – кількість робочих днів в місяці, для якого визначається базовий рівень споживання теплової енергії; n – кількість місяців, по яким усереднювалось споживання теплової енергії на гаряче водопостачання; $Q_i^{\text{зеп}}$ – споживання теплової енергії відповідно до нарахувань за i -тий місяць, Гкалл/місяць ; $m_i^{p.\text{д.}}$ – кількість робочих днів в i -тому місяці, протягом яких відбувалося гаряче водопостачання (до робочих днів не відносяться період канікул в загальноосвітніх навчальних закладах).

За наявності інформації щодо по добового або щотижневого споживання теплової енергії в неопалювальний період базовий рівень теплоспоживання на потреби гарячого водопостачання для всіх місяців у Гкалл/місяць визначається за формулою:

$$Q_{\text{б}}^{\text{зеп}} = K_1 \frac{m^{p.\text{д.}}}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{Q_j^{\text{зеп}}}{m_j^{p.\text{д.}}} \right), \quad (2)$$

де $Q_{\text{б}}^{\text{зеп}}$ – базовий рівень споживання теплової енергії на потреби гарячого водопостачання, Гкалл/місяць ; $Q_j^{\text{зеп}}$ – споживання на потреби ГВП за j -й період, Гкалл ; $m_j^{p.\text{д.}}$ – кількість робочих днів в j -тому періоді, протягом яких відбувалося гаряче водопостачання (до робочих днів не відносяться період канікул в загальноосвітніх навчальних закладах).

Узагальнена характеристика споживання теплової енергії закладом по теплоспоживанню на потреби гарячого водопостачання у Гкалл/добу визначається за формулою:

$$TX^{ГВП} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{Q_j^{звн}}{m_j^{p.д.}} \right), \quad (3)$$

де $TX^{ГВП}$ – узагальнена характеристика споживання теплової енергії закладом по теплоспоживанню на потреби гарячого водопостачання, Гкалл/добу;

Тоді (2) можна записати у вигляді:

$$Q_6^{звн} = K_1 \cdot m^{p.д.} \cdot TX^{ГВП} \quad (4)$$

Розрахунок базового рівня споживання теплової енергії на потреби вентиляції

За відсутності окремого обліку на потреби вентиляції місячний базовий рівень споживання теплової енергії на потреби вентиляції визначається за формулою:

$$Q_6^{вент} = q_{макс}^{вент} \cdot l \cdot \frac{(t_{норм.}^{вн.} - t_{факт.}^{звн.})}{(t_{норм.}^{вн.} - t_{розр.}^{звн.})}, \quad (5)$$

де $Q_6^{вент}$ – базовий рівень споживання теплової енергії на потреби вентиляції, Гкалл/місяць; $q_{макс}^{вент}$ – максимальне теплове навантаження на потреби вентиляції відповідно до проекту або договору на тепlopостачання, Гкалл/год; l – кількість годин роботи системи вентиляції в періоді, для якого визначається базовий рівень (фактичне – за умови, що вентиляція працює в проектному режимі, нормативне – за умови, що вентиляція не працює); $t_{норм.}^{вн.}$ – нормативна температура внутрішнього повітря в закладі, °C; $t_{розр.}^{звн.}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для якої визначено $q_{макс}^{вент}$, °C; $t_{факт.}^{звн.}$ – фактична температура зовнішнього повітря протягом періоду, для якого визначається базовий рівень, °C;

За умови, якщо $t_{факт.}^{звн.} < t_{розр.}^{звн.}$:

$$Q_6^{вент} = q_{макс}^{вент} \cdot l, \quad (6)$$

Узагальнена характеристика закладу на потреби вентиляції визначається за формулою:

$$TX^{вент} = \frac{q_{макс}^{вент}}{(t_{норм.}^{вн.} - t_{розр.}^{звн.})}, \quad (7)$$

де $TX^{вент}$ – узагальнена характеристика споживання теплової енергії закладом по теплоспоживанню на потреби вентиляції, $G_{калл}/добу \text{ } ^0C$;

$$\text{Тоді } Q_{\delta}^{вент} = TX^{вент} \cdot l \cdot K_2, [G_{калл}/місяць], \quad (8)$$

де K_2 - коефіцієнт, що враховує температуру зовнішнього повітря:

$$K_2 = (t_{норм.}^{вн.} - t_{факт.}^{зовн.}), \text{ якщо } t_{факт.}^{зовн.} \geq t_{розр.}^{зовн.};$$

$$\text{та } K_2 = (t_{норм.}^{вн.} - t_{розр.}^{зовн.}), \text{ якщо } t_{факт.}^{зовн.} < t_{розр.}^{зовн.}$$

Формули (8) та (5) є еквівалентними.

Для закладів, в яких проектом не передбачена механічна припливна вентиляція, а проектні рішення по повітрообміну відповідають діючим нормативним документам, приймається, що теплоспоживання на потреби вентиляції враховано в базовому рівні на опалення.

Розрахунок базового рівня споживання теплової енергії на потреби опалення

За відсутності окремого обліку на потреби опалення та за умови, що припливні вентиляційні установки не працюють місячний базовий рівень споживання теплової енергії на потреби опалення визначається за формулою:

$$Q_{\delta}^{оп} = \frac{m^{оп.}(t_{норм.}^{вн.} - t^{зовн.})}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i^{заг} - Q_{\delta i}^{звн}}{m_i^{оп.}(t_i^{вн.} - t_i^{зовн.})} \right). \quad (9)$$

За умови, що припливна механічна система вентиляції працює:

$$Q_{\delta}^{оп} = \frac{m^{оп.}(t_{норм.}^{вн.} - t^{зовн.})}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i^{заг} - Q_{\delta i}^{звн} - Q_{\delta i}^{вент}}{m_i^{оп.}(t_i^{вн.} - t_i^{зовн.})} \right), \quad (10)$$

де $Q_{\delta}^{оп}$ – базовий рівень споживання теплової енергії на потреби опалення, $G_{калл}/місяць$; $m_i^{оп.}$ – кількість діб протягом i -го періоду, коли відбувалося тепlopостачання на потреби опалення; $t_{норм.}^{вн.}$ – нормативна температура внутрішнього повітря в закладі; $t_i^{зовн.}$ – середня за i -й період температура зовнішнього повітря; $t_i^{вн.}$ – середня за i -й період температура внутрішнього повітря, за відсутності підтвердженої інформації про її величину приймається рівною $t_{норм.}^{вн.}$; $t^{зовн.}$ – середня температура зовнішнього повітря, протягом місяця для якого розраховується базовий рівень; $m_i^{оп.}(t_i^{вн.} - t_i^{зовн.}) = G_{Д_i}$ – кількість градусо-діб в i -му періоді; n – кількість періодів; $Q_i^{заг}$ – загальне споживання теплової енергії закладом протягом i -го періоду

(враховуються лише місяці опалювального періоду: жовтень-квітень); $Q_{\delta i}^{2bn}$ – базове теплоспоживання на гаряче водопостачання для i -го періоду, розраховане згідно (2) або (3); $Q_{\delta i}^{6ent}$ – базове теплоспоживання на вентиляцію для i -го періоду, розраховане згідно (10).

Для періодів з 1 по n аналізується величина $\frac{Q_i^{3az} - Q_{\delta i}^{2bn}}{m_i^{on} \cdot (t_i^{6n} - t_i^{3ovn})} = TX_i$ – теплова характеристика закладу, коли $TX_i < 0.8 \bar{TX}$ (де $\bar{TX}$ – середнє значення теплової характеристики для періодів з 1 по n), період i в розрахунках базового рівня не враховується. Це дозволяє виключити періоди, протягом яких спостерігалися значні недотопи та погіршення умов перебування відвідувачів та персоналу.

Узагальнена характеристика закладу на потреби опалення визначається за формулою:

$$TX^{on} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i^{3az} - Q_{\delta i}^{2bn}}{m_i^{on} \cdot (t_i^{6n} - t_i^{3ovn})} \right) \quad (11)$$

або

$$TX^{on} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i^{3az} - Q_{\delta i}^{2bn} - Q_{\delta i}^{6ent}}{m_i^{on} \cdot (t_i^{6n} - t_i^{3ovn})} \right) \quad (12)$$

де TX^{on} – узагальнена характеристика закладу на потреби опалення, $G_{kall}/(доба \cdot ^\circ C$.

Тоді (9) можна записати у вигляді:

$$Q_{\delta}^{on} = m^{on} \cdot (t_{норм.}^{6n} - t^{3ovn}) \cdot TX^{on} = ГД \cdot TX^{on}. \quad (13)$$

У загальному випадку базовий рівень теплоспоживання для i -го місяця визначається за формулою:

$$Q_{\delta} = m^{on} \cdot (t_{норм.}^{6n} - t^{3ovn}) \cdot TX^{on} + K_1 \cdot m^{p.д.} \cdot TX^{ГВП} + l \cdot K_2 \cdot TX^{6ent}. \quad (14)$$

При цьому базовий рівень для місяців між опалювального періоду визначатиметься за формулою:

$$Q_{\delta} = K_1 \cdot m^{p.д.} \cdot TX^{ГВП}. \quad (15)$$

Середньогодинне базове теплоспоживання для оперативного контролю за теплоспоживанням визначатиметься за формулою:

$$Q_{\delta}^{zod} = \frac{(t_{норм.}^{вн.} - t_{зовн.}^{зовн.}) \cdot TX^{оп}}{24} + \frac{K_1 \cdot TX^{ГВП}}{24} + K_2 \cdot TX^{вент}, \quad (16)$$

де Q_{δ}^{zod} – середньогодинне базове теплоспоживання, Гкал/год.

Базовий рівень визначається для кожного місяця нормативного року. Як нормативний рік приймається умовний рік, протягом якого температура та кількість робочих днів по місяцям року відповідає усередненому показнику за 3 останні роки, що передують впровадженню заходів з підвищення ефективності енергоспоживання.

У разі, якщо інформація по всім або частині показників, зазначених в методиці, відсутня (відсутня проектна документація, нова будівля, будівля після реконструкції тощо) розрахунок базового рівня ведеться на основі енергетичних аудитів, паспортів та сертифікатів.

Річний базовий рівень визначається як:

$$Q_{\delta}^{річн} = \sum_{i=1}^{12} Q_{\delta i}, \quad (17)$$

де $Q_{\delta}^{річн}$ – річний базовий рівень теплоспоживання, Гкал/рік; $Q_{\delta i}$ – базовий рівень для i -го місяця, Гкал/місяць.

Висновки і перспективи. Представлені результати структурного аналізу енергоспоживання і енергозбереження галузі освіти. Запропоновано класифікацію навчальних закладів за галузевим спрямуванням та рівнем енергоспоживання, до утворених кластерів яких входять технічні університети, економічні університети та гуманітарні. Оскільки основними об'єктами-споживачами паливно-енергетичних ресурсів є будівлі і споруди ЗВО, то основні витрати енергії пов'язані з системами опалення, гарячого водопостачання та вентиляції.

Список літератури

1. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. КТМ 204 Київ, 2001, 376 с.
2. Міжгалузеві норми споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України. Київ, 2000, 103 с.
3. Каплун В. В., Щербак В. Г. Багатофакторний критеріальний аналіз енергетичної ефективності будівель вищого навчального закладу. Бухгалтерський облік, аналіз і аудит. 2016. С. 349 – 359.

4. Соловей О. І., Ткаченко В. Ф., Курбага Г. В. Деякі питання щодо організації управління енергоспоживанням у вищих навчальних закладах України. Обладнання, електротехнічні автоматизовані та комплекси. Вісник КНУТД. 2015. №5 (90). С. 91-98.
5. Захарченко Ю. А., Соколова Н. П., Масленников С. В. Автоматизація управління енергоефективністю освітніх закладів бюджетної сфери. Вісник КНУТД. 2013. №6. С. 31-39.
6. Шовкалюк М. М., Войналович Н.О. Застосування регресійних залежностей для прогнозування тепло споживання навчальних закладів. Young Scientist. 2015. №5(20), Part1. С. 57-61.
7. Білоус І. Ю., Дешко В. І. Математичні моделі для оцінки енергоспоживання. Будівельні конструкції: Міжнародний науково-технічний збірник наукових праць. 2014. Випуск 80. С. 68-72.
8. Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». 2017.

References

1. Normy ta vказivky po normuvanniu vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarsko-pobutovi potreby v Ukraini. KTM 204 (2001). [Standards and guidelines for the regulation of fuel and heat consumption for heating residential and public buildings, as well as for household and household needs in Ukraine. KTM 204]. Kyiv, 376.
2. Mizhhaluzevi normy spozhyvannia elektrychnoi ta teplovoi enerhii dlia ustanov i orhanizatsii biudzhetnoi sfery Ukrainy (2000). [Intersectoral norms of consumption of electric and thermal energy for institutions and organizations of the budgetary sphere of Ukraine]. Kyiv, 103.
3. Kaplun, V. V., Shcherbak, V. H. (2016). Bahatofaktornyi kryterialnyi analiz enerhetychnoi efektyvnosti budivel vyshchoho navchalnoho zakladu [Multifactorial Criteria Analysis of Energy Efficiency of Higher Education Buildings. Accounting, analysis and audit]. Bukhhalterskyi oblik, analiz i audit, 349 – 359.
4. Solovei, O. I., Tkachenko, V. F., Kurbaha, H. V. (2015). Deiaki pytannia shchodo orhanizatsii upravlinnia enerhospozhyvanniam u vyshchykh navchalnykh zakladakh Ukrainy. [Some questions about organization of energy management in higher educational establishments of Ukraine]. Obladnannia, elektrotekhnichni avtomatyzovani ta kompleksy. Visnyk KNUTD, №5 (90), 91-98.
5. Zakharchenko, Yu. A., Sokolova, N. P., Masliennikov, S. V. (2013). Avtomatyzatsiia upravlinnia enerhoefektyvnistiu osvitnikh zakladiv biudzhetnoi sfery [Automation of energy efficiency management of budgetary educational institutions]. Visnyk KNUTD, 6, 31-39.
6. Shovkaliuk, M. M., Voinalovych, N. O. (2015). Zastosuvannia rehresiinykh zalezhnostei dlia prohnozuvannia teplo spozhyvannia navchalnykh zakladiv [Applying regression dependencies to predict the heat of school consumption]. Young Scientist, 5(20), Part1, 57-61.
7. Bilous, I. Yu., Deshko, V. I. (2014). Matematychni modeli dlia otsinky enerhospozhyvannia [Mathematical models for energy consumption estimation]. Budivelni konstruktsii: Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk naukovykh prats, 80, 68-72.

8. Proekt USAID «Munitsypalna enerhetychna reforma v Ukraini» (2017).[USAID Municipal Energy Reform Project in Ukraine].

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЗОВОГО УРОВНЯ ЭНЕРГИИ

В. С. Пашкевич, В. Б. Шепитчак, В. Я. Краевский, В. М. Желых

Аннотация. Современное экономическое положение большинства стран, в том числе Украины, а также проблемы нерационального энергопотребления актуальны во всем мире, а их решение является составным звеном устойчивого развития общества, сочетает экологическую, экономическую и социальную составляющие и формирует основные требования к использованию энергоресурсов. В условиях роста цен на топливно-энергетические ресурсы энергоэффективность должна стать ключевым фактором обеспечения конкурентоспособности во всех сферах экономической деятельности Украины, и в первую очередь - бюджетной сферы, к которой относятся высшие учебные заведения (ЗВО).

Высшие учебные заведения считаются достаточно крупными потребителями энергоресурсов. Удельное потребление энергоресурсов на 1 м² в ЗВО Украины в 2-4 раза превышает уровень потребления в странах Западной Европы, США и Канаде. Преобладают расходы на тепловую энергию (до 70 %), на электроэнергию (до 40 %), на водоснабжение и водоотведение (до 30 %).

Неэффективное и нерациональное потребление энергоресурсов в системе высшей школы требует разработки комплексных подходов и создания целостной модели управления энергопотреблением высших учебных заведений, основными составляющими которого являются энергоменеджмент, энергоаудит, энергосертификация.

Определение потенциала энергосбережения на основе принятой общей системы показателей является одним из условий устойчивого социально-экономического и материально-технического развития учреждений высшего образования, что должно усилить внимание руководителей ЗВО к проблемам связанных с повышением энергоэффективности существующих зданий и инженерных сетей. Высокие показатели энергоэффективности должны быть не только имиджевой составляющей каждого технического ЗВО, но и свидетельством высокого научного уровня развития. Следовательно, проблема энергоэффективности должна быть проблемой не только административно-хозяйственного, но и научного персонала ЗВО.

Настоятельная необходимость создания эффективной системы управления процессами энергопотребления и энергосбережения области образования, недостаточная степень разработки теоретико-методологических подходов оценки уровня энергоэффективности, с одной стороны, и важность результатов исследования для обеспечения устойчивого развития высших учебных заведений страны, с другой, свидетельствует об объективной необходимости проведения дальнейших научных исследований выше указанной проблемы.

Ключевые слова: *энергосбережение, энергоэффективность, энергоаудит, энергоменеджмент, энергопотребление, энергоресурсы, учреждение высшего образования, система энергетического менеджмента*

Evaluation of energy efficiency of higher education buildings on the basis of determining the basic level of energy consumption

V. Pashkevich, V. Shepichak, V. Krayovsky, V. Zhelikh

Abstract. *The current economic situation of most countries, including Ukraine, as well as the problems of irrational energy use are relevant worldwide, and their solution is an integral part of sustainable development of society, combining environmental, economic and social components and forms the basic requirements for the use of energy resources. In the context of rising prices for fuel and energy resources, energy efficiency should become a key factor in ensuring competitiveness in all spheres of economic activity of Ukraine, and first of all - the budget sector to which higher education institutions (HEIs) belong.*

Higher education institutions are considered to be sufficiently large consumers of energy resources. The specific consumption of energy per 1 m² in the EIA of Ukraine is 2-4 times higher than the level of consumption in the countries of Western Europe, the USA and Canada. Costs for thermal energy (up to 70 %), electricity (up to 40 %), water supply and sanitation (up to 30 %) prevail.

Inefficient and irrational consumption of energy resources in the higher education system requires the development of integrated approaches and the creation of a holistic model of energy management of higher education institutions, the main components of which are energy management, energy audit, energy certification.

Determining the energy-saving potential based on the adopted common system of indicators is one of the conditions for sustainable socio-economic and logistical development of higher education institutions, which should increase the attention of the HEI managers to the problems related to improving the energy efficiency of existing buildings and utilities. High energy efficiency indicators should be not only an image component of each technical HL, but also a testament to the high scientific level of development. Therefore, the problem of energy efficiency should be a problem not only for the administrative and economic staff but also for the scientific staff of the HEA.

The urgent need to create an effective system for managing energy consumption and energy conservation in the education sector, the lack of development of theoretical and methodological approaches to assessing energy efficiency, on the one hand, and the importance of research results to ensure the sustainable development of higher education institutions and the country, on the other, testifies to the objective the need for further research into the above problem.

Key words: *energy saving, energy efficiency, energy audit, energy management, energy consumption, energy resources, higher education institution, energy management system*