

УДК 620.9

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).166-172](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).166-172)

П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, **С.В. Серебренніков**, проф., канд. техн. наук, **К.Г. Петрова**, доц., канд. техн. наук, **І.В. Савеленко**, доц., канд. техн. наук, **О.І. Сіріков**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: kateflash27@gmail.com

Проблеми визначення ефективності та ранжування енергоощадних заходів на об'єктах бюджетної сфери

Проаналізовано енергетичні особливості об'єктів бюджетної сфери за результатами енергоаудитів, розглянуто критерії оцінювання ефективності енергоощадних заходів та їх ранжування за пріоритетністю.

енергоефективність, енергоаудит, об'єкт бюджетної сфери, критерії ранжування

П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, **С.В. Серебренніков**, проф., канд. техн. наук, **Е.Г. Петрова**, доц., канд. техн. наук, **І.В. Савеленко**, доц., канд. техн. наук, **А.І. Сириков**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Проблемы определения эффективности и ранжирования энергосберегающих мероприятий на объектах бюджетной сферы

Проанализированы энергетические особенности объектов бюджетной сферы по результатам энергоаудитов, рассмотрены критерии оценки эффективности энергосберегающих мероприятий, их ранжирование по приоритетности.

энергоэффективность, энергоаудит, объект бюджетной сферы, критерии ранжирования

Постановка проблеми. Перманентне підвищення тарифів на всі види енергії стимулює пошук можливостей енергоощадження, що дозволить споживачам зменшити плату за енергоресурси. Крім того, для отримання фінансування з державного та/або місцевих бюджетів, інвестицій від міжнародних фондів на енергетичну модернізацію об'єктів бюджетної сфери, необхідне обґрунтування комплексу енергоощадних заходів (ЕОЗ) за результатами енергетичного аудиту (ЕА) та наявність енергетичних сертифікатів будівель.

Серед бюджетних установ типовими споживачами енергоресурсів є освітні заклади (ВНЗ, технікуми, ПТУ, коледжі, ліцеї, гімназії, школи, дошкільні установи, інтернати тощо), питоме енергоспоживання яких у 2...4 рази вище, ніж у країнах Західної Європи та США [1]. До того ж в освітніх закладах підвищені вимоги до внутрішньої температури приміщень [2], що також обумовлює і більші теплові втрати. Потенціал енергоощадження в цих установах сягає 40...50 % від існуючого рівня споживання [3]. Як правило, джерелом тепlopостачання в освітніх закладах є котельні на природному газі, а отже, зменшення енергоспоживання будівлею призводить до зменшення споживання природного газу, від чого у вигаї не тільки об'єкт господарювання, а і країна загалом.

Все це актуалізує дослідження енергопотоків об'єктів бюджетної сфери шляхом проведення енергоаудитів та пошук можливостей підвищення їхнього рівня енергоефективності шляхом впровадження ЕОЗ.

© П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, К.Г. Петрова, І.В. Савеленко, О.І. Сіріков, 2019

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [4] приведено аналіз результатів енергетичних аудитів у ВНЗ. Структура енергетичних витрат в установах бюджетної сфери та комплекс енергоощадних заходів, що базуються на досвіді енергетичних аудитів у США, показані в роботі [1], та в [3] – на досвіді країн ЄС. Проте, в роботах [1-2, 4] не достатньо приділено уваги особливостям ранжування пріоритетності ЕОЗ та визначення енергетичної ефективності об'єктів бюджетної сфери.

Постановка завдання. Метою роботи є постановка та вирішення проблеми визначення енергетичної ефективності ЕОЗ при виконанні енергетичного аудиту та їх ранжування за пріоритетністю.

Виклад основного матеріалу. Передумовою проведення енергоаудиту є узгодження із замовником його мети, з'ясування розмірів та джерел можливого фінансування модернізації об'єкта енергетичних досліджень (ОЕД). Відповідно до цього акцентують увагу на завданнях енергоаудиту (рис. 1) і особливостях реалізації проекту, – наприклад, превалює критерій:

- техніко-енергетичний (зменшення енергоспоживання й підвищення класу енергоефективності будівель), або
- економічний (зменшення оплати енергоресурсів), чи
- нормативно-правовий (покращення мікроклімату до санітарно-гігієнічних норм і збільшення комфорту в приміщеннях із залишенням попереднього рівня енергоспоживання),
- екологічний (зменшення емісії CO₂ – еквівалентів парникових газів) тощо.

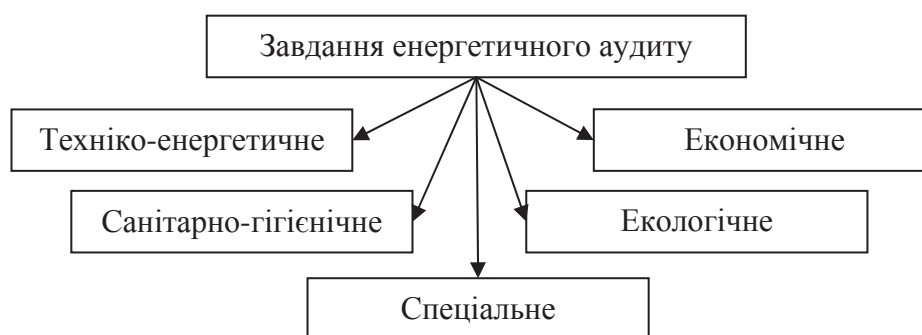


Рисунок 1 – Класифікація завдань енергетичного аудиту

Джерело: розроблено авторами

Природно, що за домінування іноземних інвестицій превалюють екологічні чинники, які впливають на покращення загального клімату Землі; якщо ж переважно задіяні місцеві джерела надання коштів – першочерговим є зменшення енергоспоживання та витрат на паливно-енергетичні ресурси (ПЕР); у разі використання власних коштів превалюють санітарно-гігієнічні чинники – покращення мікроклімату з підвищенням рівня енергетичної ефективності та продуктивності праці. Якщо інвестування проекту модернізації здійснюватиметься з кількох джерел (власні кошти, кредити, фонди, гранти та інші), – необхідно враховувати тривалість «життя» ЕОЗ і, відповідно, розраховувати такі показники: рентабельність інвестицій, термін окупності (простий та динамічний) капітальних вкладень, термін граничного повернення кредитів і відсотків за ними; чистий дисконтований дохід, питомі витрати енергії, скорочення емісії CO₂ тощо [4, 6, 7].

Досвід виконання енергетичних аудитів свідчить, що замовник не завжди чітко усвідомлює першочерговість ЕОЗ та реальний рівень втрат через елементи огорожувальних конструкцій, в інженерних системах електропостачання, опалення,

вентиляції тощо. Це призводить до нераціонального розподілу грошових коштів на впровадження ЕОЗ. Розібратися в поставлених задачах замовнику допоможе лише проведення комплексного енергетичного аудиту будівлі та її інженерних систем.

У звіті з ЕА розроблені ЕОЗ, як правило, об'єднують у 2...5 пакетів залежно від обраних техніко-економічних критеріїв (наприклад, – капіталовкладення та очікуване заощадження енергії). Формування 1-го пакету мінімально необхідних ЕОЗ має враховувати суму коштів, які замовник згодний вкласти у модернізацію об'єкту впродовж 3-х років (доки результати ЕА є актуальними); водночас, збільшення капіталовкладень від першого (мінімального з 3...5 ЕОЗ) до останнього (повний пакет, що містить 10...12 ЕОЗ з глибокою модернізацією), зазвичай, не повинно перевищувати 70% і має бути сумірним із приростом рівня енергоефективності (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні показники для чотирьох запропонованих пакетів ЕОЗ на прикладі енергетичного аудиту комунального підприємства «Бальнеологічна лікарня»

Пакети ЕОЗ	Річні заощадження		Інвестиції, грн	Термін повернення, рік	Скорочення викидів CO ₂ , т/рік
	кВт·год	грн			
Пакет №1 (5 ЕОЗ)	403 764	438 387	3 471 535	7,9	105,7
Пакет №2 (6 ЕОЗ)	568 784	519 458	3 781 602	7,3	147,9
Пакет №3 (8 ЕОЗ)	1 086 513	673 463	6 114 698	9,1	282,5
Пакет №4 (10 ЕОЗ)	1 286 185	930 000	7 712 656	8,3	334,4

Джерело: розроблено автором

Інколи, до проведення ЕА, замовник попередньо зорієнтований на той чи інший ЕОЗ, наприклад, – утеплення зовнішніх стін, і просить аудиторів зробити техніко-економічне обґрунтування бажаного ЕОЗ. Проте, за результатами проведення техніко-економічних розрахунків, бажаний ЕОЗ може мати не найкращі показники серед запропонованих, та, навіть, не потрапити до 1-го мінімального пакету ЕОЗ. Наприклад, бажаний замовником ЕОЗ може мати найбільше заощадження енергії, водночас – вимагатиме найбільших інвестицій, і матиме термін окупності, сумірний з тривалістю «життя» даного ЕОЗ. Отже, в цьому разі техніко-енергетичний критерій є протилежним до економічного.

З огляду на це, енергоаудитор формує перелік пропозицій в пакетах на основі комплексу критеріїв (рис. 1) та власного науково-практичного досвіду [4]. Тому вибір критерію для ранжування ЕОЗ по пакетах є доволі складною задачею, вирішення якої не завжди може ґрунтуватися та техніко-економічних розрахунках, а враховувати також санітарно-гігієнічний, екологічний, соціальний та інші аспекти. Отже, є актуальним пошук об'єктивних показників, за якими необхідно ранжувати пріоритетність ЕОЗ при групуванні їх по пакетах.

За основні техніко-економічні критерії оцінювання рівня ефективності енергоощадних заходів можуть бути прийняті реальний економічний ефект і економія енергоресурсів.

Критерії можна поділити на економічні і натуральні.

До натуральних критеріїв оцінювання рівня ефективності використання енергії належать питома витрата енергії і питома зведена витрата умовного палива.

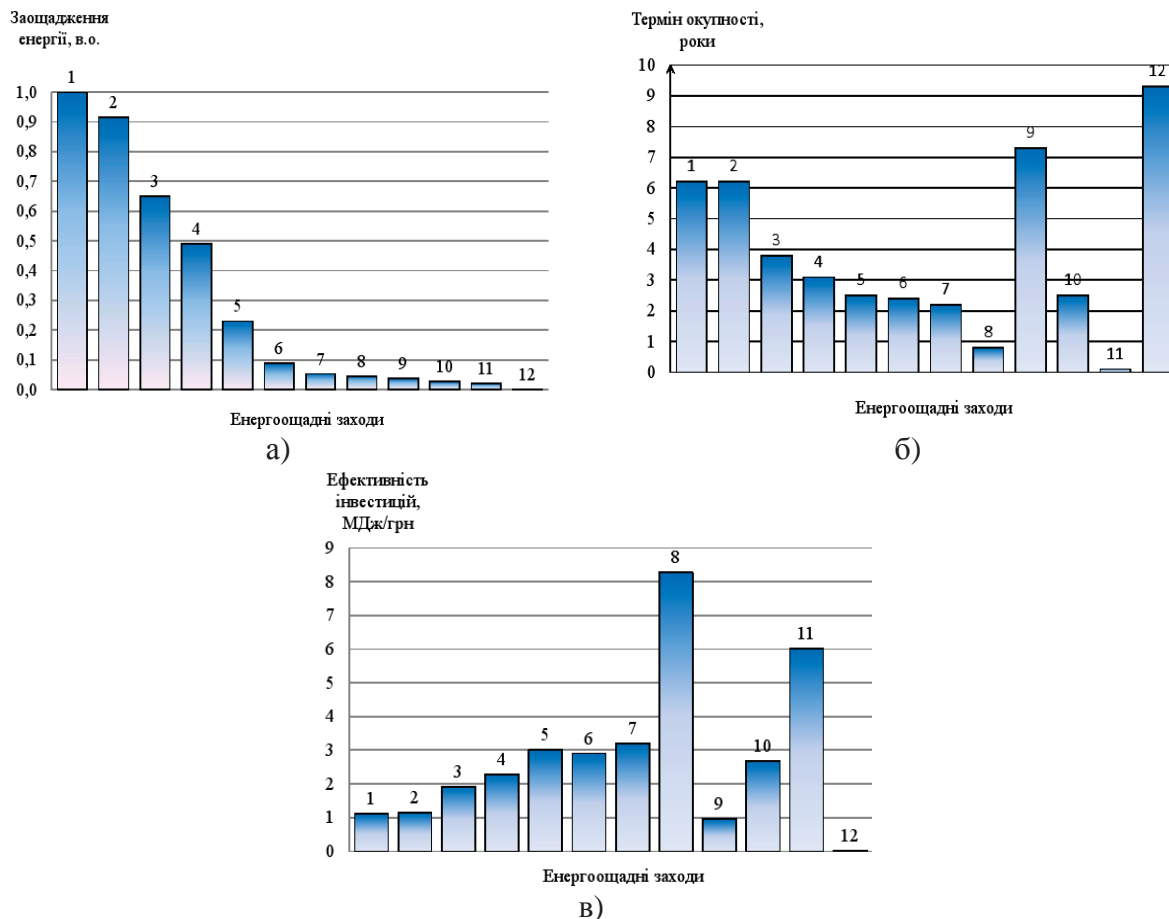
Економічні критерії також можна поділити на:

– прості критерії: чистий прибуток, рентабельність інвестицій, термін окупності капітальних вкладень, термін граничного повернення кредитів і відсотків за ними;

– інтегральні критерії: чистий дисконтований дохід, внутрішня норма рентабельності, термін повернення капіталу, сумарні і питоми витрати.

Внаслідок того, що бюджет інвестицій в ЕОЗ завжди обмежений і, як правило, менший за суму інвестиційних пропозицій, заходи необхідно ранжувати, щоб обрати серед них найефективніші рішення.

На рис. 2 а-в зображено ранжування 12-ти запропонованих ЕОЗ за трьома критеріями: натуральним – заощадження енергії (заходи вишикувано за енергозаощадженням E/E_{MAX} , рис. 2 а), та за економічними критеріями – терміном окупності (рис. 2 б) й ефективністю інвестицій (економія енергії на одну вкладену гривню, МДж/грн) (рис. 2 в).



1 – утеплення зовнішніх стін; 2 – теплодернізація даху; 3 – теплодернізація підлоги; 4 – теплодернізація зовнішніх світлопрозорих конструкцій (вікон і лоджій); 5 – удосконалення системи опалення, встановлення індивідуального теплового пункту; 6 – встановлення рефлекторів з теплоізоляційного матеріалу за радіаторами; 7 – встановлення входних дверей з утеплювачем; 8 – відновлення гарячого водопостачання; 9 – теплоізоляція трубопроводів та запірної арматури системи опалення та гарячого водопостачання; 10 – заміна існуючих ламп розжарювання на сучасні зі світловіддачею 80...150 лм/Вт; 11 – покращення умов тепловіддачі від опалювальних приладів будівлі (демонтаж декоративних щитів); 12 – балансування опалювальної системи шляхом встановлення балансувальних клапанів

Рисунок 2 - Ранжування енергозаощаджуючих заходів за критерієм: а – заощадження енергії; б – терміна окупності; в – ефективності

Джерело: розроблено автором

За результатами порівняння діаграм (рис. 2 а, б, в) видно, що черговість ЕОЗ істотно відрізняється залежно від обраного критерію; тобто на практиці пакет ЕОЗ з найкращими енергетичними характеристиками не завжди є вигідним економічно і

навпаки. Отже, остаточне ранжування ЕОЗ необхідно проводити за сукупністю натуральних і економічних критеріїв [5, 6].

Зменшення енергоспоживання ΔE визначають як різницю

$$\Delta E = E_0 - E,$$

де E_0 – базове споживання енергії (до впровадження заходу) кВт·год, МДж, Гкал, E – споживання енергії після впровадження ЕОЗ.

Значення ΔE є енергетичним показником, який слугує основою для техніко-економічних та екологічних розрахунків ефективності ЕОЗ, тому коректне визначення ΔE є відповідальним завданням при проведенні ЕА та енергетичної сертифікації будівель. Розрахунок споживання енергії E після впровадження ЕОЗ ґрунтується на покращенні того чи іншого показника (опору теплопередачі, температури, кратності повітрообміну тощо) або їх поєднання. При проведенні ЕА та енергетичної сертифікації будівель базовий рівень споживання E_0 визначають за методикою [1] за нормативних значень показників – кратності повітрообміну, зовнішньої та внутрішньої температури приміщень, тривалості опалювального сезону, температури води в подавальному та зворотному трубопроводах тощо.

Нормативні показники можуть істотно відрізнятись від фактичних, що впливає на енергоспоживання будівлею. Так, наприклад, зменшення температури в приміщенні на 2 °С призводить до зменшення енергоспоживання на 10 %, а зменшення кратності повітрообміну з 2 до 0,5 об./год може призвести до зниження енергоспоживання в 2 і більше разів залежно від теплових втрат крізь огорожуючі конструкції. Зазвичай, фактичне енергоспоживання на опалення будівлі є меншим від розрахункового, що пояснюється кумулятивним ефектом накладання таких факторів, як зниження кратності повітрообміну в порівнянні з нормативним (завдяки щільним металопластиковим вікнам та невикористанню механічної вентиляції), заниженою температурою в приміщеннях (у вихідні дні та в неробочий час, або – в невідповідальних приміщеннях), зменшення тривалості опалювального сезону (внаслідок затягування початку опалювання тепlopостачальною організацією, завдяки теплій погоді або перериванню виробничого процесу задля економії плати за E), недотримання температурного графіку, особливо під час сильних морозів тощо.

Тому, при розрахунках за методикою [1] можливі ситуації, коли обчислене річне енергоспоживання на опалення за фактичними показниками опору теплопередачі огорожувальних конструкцій та нормативними показниками істотно відрізняються (у разі) від виміряного тепловим лічильником, а розрахована економія тепла від усіх ЕОЗ може навіть перевищувати фактичне споживання тепла за опалювальний сезон.

При оцінці ефективності ЕОЗ замовника насамперед цікавить реальна економія відносно фактичного рівня енергоспоживання, яку можна буде використати, наприклад, на погашення кредиту, взятого на реалізацію ЕОЗ. У разі ж дотримання замовником і енергопостачальником нормативних вимог, енергоспоживання було б вищим і наближалось б до розрахункового.

На нашу думку, є некоректним оцінювання енергоефективності ЕОЗ відносно фактичного рівня споживання впродовж 3-х років [8], який змінюється з року в рік залежно від зовнішніх умов і стану ОЕД. Натомість нормативні умови є сталими та науково обґрунтованими і для отримання коректних результатів розрахунку економії від впровадження ЕОЗ треба орієнтуватись на базову лінію енергоспоживання, яка ґрунтується на проектному режимі роботи та нормативному мікрокліматі в приміщеннях і показує цільове споживання енергії за різної зовнішньої температури. Отже, проблема визначення базового рівня енергоспоживання для розрахунку енергетичної ефективності ЕОЗ є актуальним питанням та потребує подальших дискусійних обговорень і досліджень.

Ще одним з принципів розділення ЕОЗ є їх поділ на безвитратні, маловитратні та витратні [9]. Якщо виокремлення безвитратних ЕОЗ не викликає питань, то поділ ЕОЗ на мало- та багатовитратні є відносним, адже залежить від фінансових можливостей замовника.

Висновки.

1. Замовник енергоаудиту не завжди усвідомлює реальний рівень втрат через елементи огорожуючих конструкцій, в системах електропостачання, опалення, вентиляції тощо. Це призводить до суб'єктивного і нераціонального розподілу грошових ресурсів на впровадження енергоощадних заходів.

2. Вибір критеріїв для ранжування енергоощадних заходів є складною задачею, яка не завжди може ґрунтуватися та техніко-економічних розрахунках, тому актуальним є пошук натуральних і економічних критеріїв, за якими потрібно ранжувати енергоощадні заходи в пакетах.

3. Поділ енергоощадних заходів на мало- та багатовитратні є залежить від фінансових можливостей замовника, тому є умовним.

4. Для отримання коректних результатів розрахунку економії від впровадження ЕОЗ треба орієнтуватись на базову лінію енергоспоживання, яка ґрунтується на проектному режимі роботи та нормативному мікрокліматі в приміщеннях. Проблема визначення базового рівня енергоспоживання є актуальною та потребує подальших дискусійних обговорень і досліджень.

Список літератури

1. Прокопенко В.В., Закладний О.М., Кульбачний П.В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями : навч. посіб. Київ: Освіта України, 2009. 438 с.
2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2016–01–01]. Київ: Мінрегіон України, 2015. 139 с. (Національний стандарт України).
3. Енергетичний аудит: навч. посіб. / Соловей О.І. та ін.; – Черкаси: ЧДТУ, 2005. 299 с.
4. Черновол М.І., Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Савеленко І.В., Петрова К.Г. Підвищення рівня енергофактивності технічного університету шляхом оптимізації енергетичного балансу. *Вісник КНУТД. Серія «Технічні науки»*. Київ: КНУТД, 2015. № 5 (90). С. 99 - 106.
5. Петрова К.Г., Серебренніков С.В. Ранжування методів управління режимами електроспоживання за експертною оцінкою. *Енергетика і автоматика: електрон. фах. вид. / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України*. Київ: 2013. № 2 (16). С. 1 – 6. – URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2013_2%2816%29__14.pdf. (дата звернення: 24.06.2019).
6. Ткаченко В.Ф., Петрова К.Г. Підвищення рівня ефективності енергоспоживання вищих навчальних закладів за рахунок виявлення почерговості впровадження заходів з енергоощадження. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ*. Кіровоград: КНТУ, 2016. Вип. 29. С. 275 – 281.
7. Samoilenko I., Gnatenko M. Research on energy efficiency factors: instrumental control and verification *Technology audit and production reserves*. 2017. № 2(4). P. 20-24.
8. Іншеков Є.М., Нікітін Є.Є., Тарновський М.В., Чернявський А.В. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту. Київ: Поліграф плюс, 2014. 238 с.
9. ДСТУ Н Б А.2.2-13:2015. Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної ефективності будівель. [Чинний від 2016–01–01]. Київ: Мінрегіон України, 2015. 38 с. (Національний стандарт України).

References

1. Prokopenko, V.V., Zakladnyj, O.M. & Kul'bachnyj, P.V. (2009). *Energetychnyj audyt z prykladamy ta iljustracijamy [Energy audit with examples and illustrations]*. Kyiv: Osvita Ukrai'ny [in Ukrainian].
2. DSTU B A.2.2-12:2015. *Energetychna efektyvnist' budivel'. Metod rozrahunku energospozhyvannja pry opalenni, oholodzhenni, ventyljacji, osviltenni ta garjachomu vodopostachanni [National Standard B A.2.2-12:2015. Energy efficiency of buildings. Calculation method of energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]*. Kyiv, Minregion Ukrai'ny, 2015. 139 p. [in Ukrainian].

3. Solovej, O.I. & et al. (2005). Energetychnyj audyt [Energy audit]. Cherkasy: ChDTU [in Ukrainian].
4. Chernovol, M.I., Pljeshkov, P.G., Serebrennikov, S.V., Savelenko, I.V. & Petrova, K.G. (2015). Pidvyshhennja rivnja energofektyvnosti tehničnogo universytetu shljahom optymizacii' energetychnogo balansu [Increasing the level of the energy efficiency of the technical university by optimizing the energy balance]. *Visnyk KNUTD - Bulletin of the KNUTD*, 5 (90), 99-106. [in Ukrainian].
5. Petrova, K.G. & Serebrennikov, S.V. (2013). Ranzhuvannja metodiv upravlinnja rezhymamy elektrospozhyvannja za ekspertnoju ocinkoju (*Ranking methods of control regime of power consumption according to expert estimates*). Retrieved from http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2013_2%2816%29__14.pdf.
6. Tkachenko, V.F. & Petrova, K.G. (2016). Pidvyshhennja rivnja efektyvnosti energospozhyvannja vyshhyh navchal'nyh zakladiv za rahunok vyjavlennja pochergovosti vprovadzhennja zahodiv z energooshadzhennja [Increasing the level of the energy efficiency of the higher education institutions by identifying order of priority of implementation ways of power saving]. *Engineering in agricultural production, industry engineering, automation - Machinery in agricultural production, industry machine building, automation*, 29, 275-281. [in Ukrainian].
7. Samoilenko, I. & Gnatenko, M. (2017). Research on energy efficiency factors: instrumental control and verification. *Technology audit and production reserves*, 2(4), 20-24. [in English].
8. Inshekov, Je.M., Nikitin, Je.Je., Tarnovskij, M.V. & Chernjavs'kyj, A.V. (2014). *Posibnyk z muncypal'nogo energetychnogo menedzhmentu [Guide to Municipal Energy Management]*. Kirovohrad: Poligraf pljus [in Ukrainian].
9. DSTU N B A.2.2-13:2015. *Energetychna efektyvnist' budivel'. Nastanova z provedennja energetychnoi' efektyvnosti budivel'* [National Standard N B A.2.2-13:2015. Energy efficiency of buildings. Guidelines for energy efficiency of buildings]. Kyiv, Minregion Ukraïny, 2015. 38 p. [in Ukrainian].

Petro Pleshkov, Prof., PhD tech. sci., **Sergiy Serebrennikov**, Prof., PhD tech. sci., **Kateryna Petrova**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Savelenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Sirikov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Problems of Determining the Efficiency and Ranking of Energy-saving Measures at the Objects of the Budget Sphere

The purpose of the work is to formulate and solve the problem of determining the energy efficiency of energy-saving measures when performing energy audits and ranking them by priority. We have developed investigation of energy flows of budgetary objects by conducting energy audits and finding ways to improve their energy efficiency by implementing energy-efficient measures.

Energy peculiarities of the objects of the budget sphere according to the results of energy audits are analyzed, criteria of estimation of efficiency of energy saving measures and their ranking by priority are considered. Permanent tariff increases for all types of energy stimulate the search for energy savings, which will allow consumers to reduce their energy bills. In addition, to obtain financing from the state and / or local budgets, investments from international funds for the energy modernization of budgetary objects, it is necessary to justify a complex of energy-saving measures based on the results of the energy audit and the availability of energy certificates of buildings. Energy audits shows that the customer does not always clearly understand the priority of energy efficient measures and the real level of losses due to elements of fencing structures, in engineering systems of power supply, heating, ventilation etc. This leads to irrational allocation of funds for the implementation of energy efficient measures. Only a comprehensive energy audit of the building and its engineering systems will help the customer understand the tasks. The investment budget for energy efficiency measures is always limited and, as a rule, less than the amount of investment proposals, measures should be ranked in order to choose the most effective solutions.

Choosing the criteria for ranking energy-saving measures is a difficult task that cannot always be based on technical and economic calculations, so it is important to search for natural and economic criteria by which energy-saving measures should be ranked in packages. The division of energy-saving measures into small and high-cost ones depends on the financial capacity of the customer and is therefore conditional. To obtain the correct results of calculating the savings from the implementation of energy-saving measures, it is necessary to focus on the baseline of energy consumption, which it is based on the design mode of operation and the regulatory microclimate in the premises. The problem of determining the baseline level of energy consumption is an urgent one and it needs further discussion and research.

energy efficiency, energy audit, budget object, ranking criteria

Одержано (Received) 11.03.2019

Прорецензовано (Reviewed) 14.03.2019

Прийнято до друку (Approved) 04.06.2019