

Бориченко О.В., канд. техн. наук, доцент
Чернецька Ю.В., канд. техн. наук, ст. викладач
Сгоренко А.А., магістрантка
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАКЕТІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ БЮДЖЕТНИХ УСТАНОВ

Вступ. Підвищення енергетичної ефективності будівель бюджетних установ є одним із пріоритетних завдань для органів місцевого самоврядування в Україні, оскільки зменшення обсягів використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) дозволяє скоротити видатки на їх закупівлю. Разом із тим, реалізація повного комплексу енергоефективних заходів (ЕЕЗ) для сотень будівель, як правило, потребує обсягу інвестицій, що перевищує доступний бюджет. Задача оптимального вибору ЕЕЗ є досить добре вивченою, один із варіантів її розв'язання представлено в [1]. Енергоконсалтингові компанії зазвичай здійснюють попереднє техніко-економічне обґрунтування ЕЕЗ та пропонують альтернативні пакети заходів з різним потенціалом енергозбереження та обсягом необхідних інвестицій, базуючись на експертному досвіді.

Мета роботи: розробити і здійснити апробацію математичної моделі оптимального вибору ЕЕЗ за критерієм досягнутої економії ПЕР на заданих наборах даних; за результатами обчислювальних експериментів напрацювати рекомендації щодо формування оптимальних пакетів ЕЕЗ для будівель бюджетних установ на нових даних.

Основний зміст. У якості вихідних даних для розроблення і апробації оптимізаційної моделі використано результати техніко-економічного обґрунтування ЕЕЗ для будівель бюджетних установ м. Запоріжжя, опубліковані на офіційному сайті Запорізької міської ради [2]. Зокрема, аналізувалися дані про загальний обсяг інвестицій та економію ПЕР, досягнуту в результаті впровадження типових ЕЕЗ для будівель 15 дошкільних навчальних закладів: утеплення зовнішніх стін (ЕЕЗ 1); заміна (утеплення) вхідних дверей (ЕЕЗ 2); утеплення покрівлі (ЕЕЗ 3); утеплення підлоги (ЕЕЗ 4); заміна старих вікон та балконних блоків на металопластикові з подвійним склопакетом (ЕЕЗ 5); заміна ламп розжарювання внутрішнього освітлення (ЕЕЗ 6); заміна ламп вуличного освітлення (ЕЕЗ 7); влаштування радіаторних теплових рефлекторів (ЕЕЗ 8); встановлення ручних балансувальних вентилів з попереднім налаштуванням (ЕЕЗ 10); встановлення автоматичного вузла подачі теплової енергії (ЕЕЗ 11); реконструкція системи опалення (ЕЕЗ 12); влаштування ізоляції трубопроводів системи опалення (ЕЕЗ 15); влаштування ізоляції трубопроводів системи гарячого водопостачання (ЕЕЗ 16).

Цільовою функцією оптимізаційної моделі є сумарна економія ПЕР, досягнута в результаті реалізації шуканих пакетів ЕЕЗ для будівель бюджетних установ громади. Визначення оптимального пакету ЕЕЗ, що максимізує значення цільової функції, здійснюється із врахуванням обмеження: вартість впровадження ЕЕЗ не перевищує заданий бюджет. Змінні, за якими формується оптимальний пакет ЕЕЗ, можуть приймати лише два значення: 1, якщо ЕЕЗ для певної будівлі включається у пакет, 0 – у протилежному випадку.

Результатом розв'язання оптимізаційної задачі при заданому бюджетному обмеженні є перелік ЕЕЗ, реалізація яких забезпечить максимальну економію ПЕР (табл. 1).

Таблиця 1 Фрагмент оптимального пакету ЕЕЗ при бюджетному обмеженні 20 млн. грн.

	ЕЕЗ 1	ЕЕЗ 2	ЕЕЗ 3	ЕЕЗ 4	ЕЕЗ 5	ЕЕЗ 6	ЕЕЗ 7	ЕЕЗ 8	ЕЕЗ 10	ЕЕЗ 11	ЕЕЗ 12	ЕЕЗ 15	ЕЕЗ 16
ДНЗ №293	1	-	0	0	0	1	-	1	1	1	0	1	-
ДНЗ №171	1	0	0	-	0	0	1	1	-	1	0	-	-
ДНЗ №175	0	1	0	0	0	0	1	-	1	1	0	1	1
...	...												
ДНЗ №161	1	-	0	-	0	0	1	1	-	1	0	-	-

Узагальнені результати обчислювальних експериментів представлено на рис. 1. Очевидно, що

зі збільшенням обсягу інвестицій у ЕЕЗ збільшується обсяг досягнутої економії ПЕР. Так, за умови, що обсяг інвестицій у ЕЕЗ складає 80 млн. грн., фактично без бюджетних обмежень, до пакету увійдуть усі 165 доступних ЕЕЗ, при цьому буде досягнуто економії ПЕР 5,3 млн. кВт·год./рік. Але як можна побачити із рис 1, при бюджеті до 5 млн. грн. графік зростає більш стрімко, тобто значної економії ПЕР можна досягти реалізувавши ЕЕЗ із найкращим співвідношенням показників вартості впровадження та досягнутої економії ПЕР: ЕЕЗ 7, ЕЕЗ 8, ЕЕЗ 11, ЕЕЗ 15 та ЕЕЗ 16.

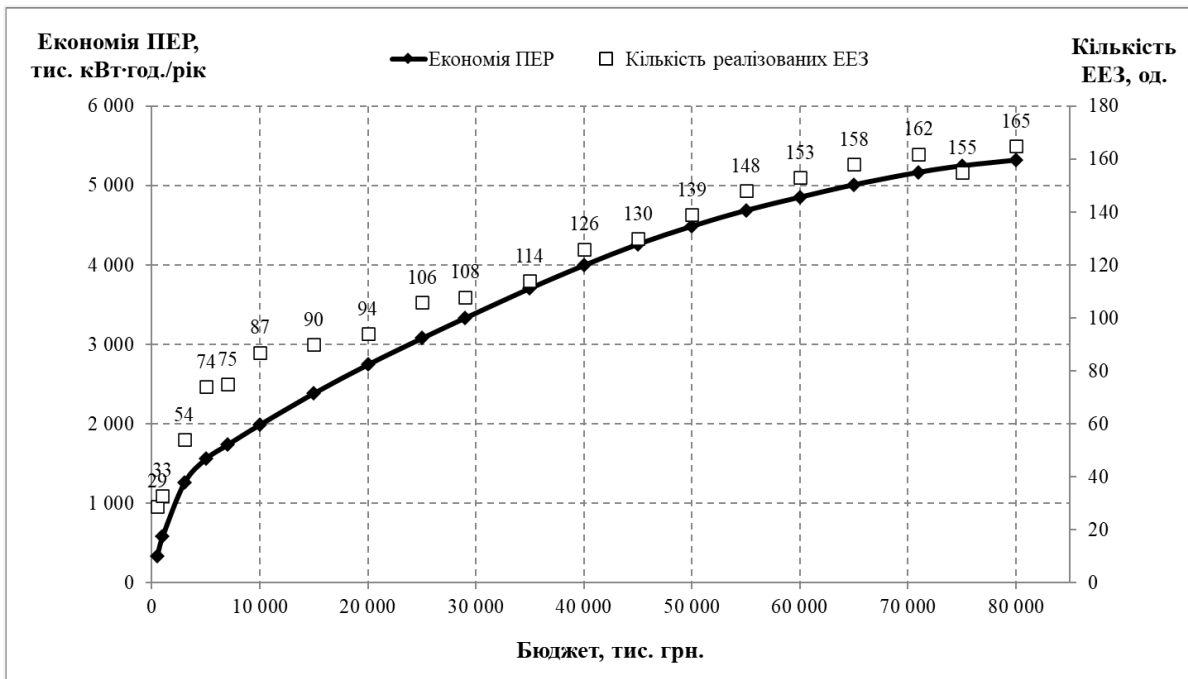


Рисунок 1 – Результати моделювання досягнутої економії ПЕР внаслідок реалізації ЕЕЗ у залежності від бюджетного обмеження

Результати оптимізаційного моделювання також дозволили виявити ЕЕЗ із найгіршим співвідношенням показників вартості впровадження та досягнутої економії ПЕР: ЕЕЗ 4 та ЕЕЗ 12. Проте для більшості ЕЕЗ рішення про його включення до оптимального пакету необхідно приймати в залежності від результатів техніко-економічних розрахунків, виконаних для конкретної будівлі та із врахуванням загального бюджетного обмеження.

Висновки. Розроблення і апробація математичної моделі оптимального вибору ЕЕЗ за критерієм максимуму досягнутої економії ПЕР на реальних даних показала доцільність її застосування для формування оптимальних пакетів ЕЕЗ для будівель бюджетних установ. Виявлено ЕЕЗ із найкращим та найгіршим співвідношеннями показників вартості впровадження та досягнутої економії ПЕР.

Список використаних джерел:

4. Tan B., Yavuz Y., Otay E.N., Camlibel E. Optimal selection of energy efficiency measures for energy sustainability of existing buildings. *Computers & Operations Research*. 2016. Vol. 66. P. 258-271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.01.013>.
5. Попереднє техніко-економічне обґрунтування впровадження заходів з енергозбереження та підвищення рівня енергоефективності 40 бюджетних будівель м. Запоріжжя. Розробник: Енергоконсалтингова компанія «АЙТКОН», 2017. 106 с. URL: https://zp.gov.ua/upload/editor/poperedne_teo_m-zaporizhzhya_kf.pdf.