



Федорук М. І. (Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТУВАННЯ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Удосконалено методичні підходи багатокритеріального оцінювання ефективності інвестування в енергозберігаючі заходи у будівлях шляхом урахування економічного, соціального, екологічного і технічного критеріїв. Запропонована нами ієрархія критеріїв, яку було реалізовано методом аналізу ієрархій, поєднує кількісні та якісні показники в процесі прийняття інвестиційних рішень. Ця модель має модульну реалізацію, що уможливорює адаптацію моделі до обмежень інформаційного забезпечення, бюджету часу і коштів конкретного інвестиційного проекту. Використання запропонованого багатокритеріального оцінювання дає змогу серед можливих альтернатив обрати заходи енергозбереження, впровадження яких, окрім отримання фінансової вигоди, зменшить негативний вплив на довкілля та не спричинить негативного впливу на здоров'я людей. Удосконалені методичні підходи до оцінювання еколого-економічної ефективності інвестування можуть бути застосовані при проведенні тендерів, прийнятті рішень про доцільність виділення коштів на реалізацію чи фінансове стимулювання проектів.
Ключові слова: енергозбереження, багатокритеріальна оцінка, ефективність інвестування в енергозбереження, еколого-економічні показники ефективності, метод аналізу ієрархій.

Постановка проблеми. Енергозбереження в будівлях має вирішальну роль у контексті запобігання зміні клімату та зменшення дефіциту енергетичних ресурсів. Відповідно, фінансування енергозберігаючих заходів (ЕЗЗ) відносять до екологічно орієнтованих інвестицій [1], під якими розуміють усі види майнових та інтелектуальних цінностей, що вкладаються в господарську діяльність та спрямовані на зниження та ліквідацію негативного антропогенного впливу на довкілля; збереження, поліпшення і раціональне використання природно-ресурсного потенціалу територій, забезпечення екологічної безпеки в країні, завдяки яким досягаються екологічні, соціальні, економічні і політичні результати. Проте, фінансування ЕЗЗ варто відносити до екологічно орієнтованих інвестицій лише у тому випадку

ку, коли результати впровадження проектів з енергозбереження є не лише економічно ефективними, але й мають позитивний вплив на довкілля та суспільство. На жаль, на сьогоднішній день відповідальне інвестування (*англ. responsible investments*) є скоріше винятком ніж правилом, тому надзвичайно важливим є державне стимулювання та регулювання інвестиційної діяльності на основі еколого-економічних показників ефективності [3].

Очевидною стає необхідність комплексного аналізу інвестицій в енергомодернізацію як з боку контролюючих органів, так і з боку інвестора. Адже ЕЗЗ мають численні «побічні ефекти», у тому числі внаслідок використання матеріалів і технічних рішень, спектр яких значно розширився за останні роки, а їхня екологічність не аналізувалася. Також потрібно враховувати помилки планування чи виконання, які можуть спричинити низьку економію енергії, шкоду для здоров'я та негативний вплив на навколишнє середовище [4].

Щоб правильно оцінити стан існуючої будівлі та обрати оптимальні заходи енергозбереження, необхідно застосувати комплексні знання спеціалістів з різних галузей. Відповідно, щоб інтегрувати ці міждисциплінарні знання і підходи у процес прийняття рішень необхідно застосувати методи багатокритеріального аналізу. Вони дають змогу оцінити ефективність проектів енергозбереження не лише з урахуванням грошового значення, але за декількома критеріями, у тому числі якісними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Зарубіжними та вітчизняними вченими широко досліджуються питання аналізу проектів інвестування в енергозбереження, в тому числі якості будівництва та реконструкції будівель. Mikušionienė, Martinaitis & Keras, Kazakevičius, Vitkauskas запропонували та обґрунтували вибір критеріїв, які застосовують для оцінки оптимального проекту ЕЗ. Українськими вченими Г. С. та О. Г. Ратушняк запропоновано критерії, на яких базується управління проектами термомодернізації. Однак, віддаючи належне напрацюванням цих учених, потрібно сказати, що у зв'язку з постійним розвитком технологій і матеріалів ЕЗЗ, а також зміною екологічної ситуації та потреб населення, необхідне подальше дослідження вибору та обґрунтування критеріїв, а також відповідних показників для покращення якості та ефективності процесу прийняття рішень у сфері ЕЗ.

Метою нашого дослідження є розробка інструменту всебічного аналізу інвестицій в енергозбереження, який було б зручно застосовувати інвесторам, мешканцям, а також структурам, які зацікавлені в якості енергозберігаючих заходів. Для цього можуть бути використані різні методи, зокрема: Experts panel, методи головної компоненти,



Endpoint method, комплексного критерію, справедливого компромісу, Гермейєра, Economy method, побудови та аналізу множини Еджворта-Парето, метод аналізу ієрархій (MAI) [5] та ін. Останній зазначений метод був запропонований математиком Сааті [6] і сьогодні набирає все більшої популярності. MAI – це математичний апарат, який передбачає застосування попарного порівняння критеріїв та альтернатив для вибору оптимальної з конкуруючих альтернатив [7]. MAI не лише дає змогу особам, які приймають рішення (ОПР) отримати найкраще рішення, але також надає чітке логічне пояснення щодо того, чому це так має бути, розбиваючи складний процес прийняття рішення на низку попарних порівнянь.

Виклад основного матеріалу. Процес прийняття управлінського рішення, в тому числі з використанням MAI, базується на критеріях, за допомогою яких оцінюються наявні альтернативи. Своєю чергою показники розкривають та уточнюють критерії оцінювання альтернатив. Вибір критеріїв і показників залежить від мети аналізу.

Найчастіше для аналізу інвестицій в енергозбереження в будівлях використовують лише фінансовий критерій. Зазвичай фінансовий критерій представляють такими величинами як: ЧТВ, ВНД і термін окупності [8]. Короткий термін окупності інвестори розглядають як вагому причину інвестування та надійний показник для прийняття рішення [9]. Інвестиційні витрати є зрозумілим показником, який легко обчислити, тому на нього інвестори орієнтуються найчастіше.

Для реалізації проекту енергозбереження необхідні інвестиції. Натомість ми отримуємо збереження енергії протягом періоду використання будівлі. Для того, щоб реалізований захід був прибутковим, заощаджені кошти мають бути більшими, ніж капіталовкладення. Тому важливим показником інвестиційної привабливості, який успішно використовується в світовій практиці для оцінювання інвестиційних проектів, є величина очікуваної економії енергії, а отже, заощадження коштів за результатами впровадження запропонованих рішень з енергозбереження. Згадана величина впливає на такі показники фінансового аналізу як ЧТВ, термін окупності та ВНД, адже скорочення споживання енергії дає можливість отримати фінансову вигоду [10]. Тому обсяг ресурсозбереження ми пропонуємо враховувати для порівняння альтернативних проектів за економічним критерієм.

Показник скорочення енерговитрат часто також відносять і до показників аналізування проектів за довкіллям критерієм. Адже, крім ресурсозбереження, важливим параметром екологічної оцінки енергозберігаючих заходів є питомі викиди CO_{2eq} в розрахунку на кі-

ловат-годину [11]. Тому ми відносимо показник скорочення викидів до показників групи захисту навколишнього середовища. Величина скорочення викидів парникових газів залежить від технологій тепlopостачання. Найбільші викиди виділяються при використанні масляних конденсаційних котлів, нижчі викиди дають газові конденсаційні котли, газові теплові насоси, повітряні теплові насоси, геотермальні теплові насоси, а також твердопаливні котли. Сонячні теплові системи навпаки сприяють скороченню викидів в межах від 10 до 25% залежно від того, використовують їх для гарячого водопостачання чи опалення [4].

Проте, впливи на довкілля та скорочення енерговитрат не варто зводити до одного критерію та вимірювати лише показником питомих викидів CO₂. Адже впровадження ЕЗЗ може мати не лише позитивні, але і негативні результати для навколишнього середовища і для здоров'я людей [3; 12]. Спектр енергозберігаючих матеріалів і технологій останнім часом суттєво розширився, проте одночасно підвищилась токсичність і ресурсомісткість їхнього виробництва. У результаті проведених досліджень [4] було визначено, що ізоляційні матеріали на основі нафти EPS та PUR мають вищі значення в категоріях виділення парникових газів та інших негативних екологічних впливів, ніж мінеральна вата, силікат кальцію та NaWaRo (конопля, дерево та целюлозні волокна). Але навіть за допомогою ізоляційних матеріалів від NaWaRo токсичність може стати проблемою для здоров'я мешканців через певні добавки.

Вплив на навколишнє середовище виражається такими показниками, як руйнування озонового шару, окислення ґрунтів та викиди в повітря токсичних забруднювачів, що також впливають на здоров'я людини [13].

Отже, одночасне застосування ОЖЦ матеріалів, необхідних для термомодернізації та величини енергозбереження дозволяє нам проаналізувати обидва аспекти, а саме: оцінити позитивні результати впровадження ЕЗЗ для ресурсозбереження та оцінити їхні негативні впливи на навколишнє середовище [14]. Тому ми пропонуємо до показників екологічної групи віднести розроблені нами показники екологічного ефекту ($E_{\text{еколог}}$), коефіцієнт екологічності ЕЗЗ ($K_{\text{еколог}}$) коефіцієнт інтегрованої ефективності ЕЗЗ ($K_{\text{ефект}}$):

$$E_{\text{еколог}} = LCIA_{\text{es}} - LCIA_{\text{mat}}, \quad (1)$$

де $LCIA_{\text{es}}$ – вплив ЕЗЗ на навколишнє середовище (ресурси, екосистеми і здоров'я людини), зумовлений скороченням енергоспоживання і визначений методом оцінювання життєвого циклу (ОЖЦ), тобто шкода, якої вдалося уникнути завдяки запровадженню ЕЗЗ, екобали



(points, Pt);

$LCIA_{mat}$ – вплив на навколишнє середовище (ресурси, екосистеми і здоров'я людини) матеріалів, використаних у процесі запровадження ЕЗЗ, теж визначений методом ОЖЦ, Pt.

Коефіцієнт екологічності ЕЗЗ $K_{еколог}$ – відношення величини зміни впливу на навколишнє середовище, зумовленого скороченням енергоспоживання, до відповідного впливу технологій та матеріалів, використаних для впровадження ЕЗЗ. Обидва впливи оцінюють з позицій усього життєвого циклу. Коефіцієнт екологічності ЕЗЗ пропонуємо визначати за формулою

$$K_{еколог} = \frac{LCIA_{es}}{LCIA_{mat}}. \quad (2)$$

Цей коефіцієнт показує величину зменшення навантаження внаслідок запровадження ЕЗЗ, яка припадає на одиницю навантаження, зумовленого використанням енергозберігаючих матеріалів.

Коефіцієнт інтегрованої ефективності ЕЗЗ ($K_{ефект}$ – це відношення екологічного ефекту від запровадження ЕЗЗ до суми інвестицій, необхідних для впровадження цих заходів ($I_{ЕЗЗ}$), приведених до теперішнього часу. Цей коефіцієнт визначаємо за формулою

$$K_{ефект} = \frac{E_{еколог}}{\sum_{t=0}^T I_{ЕЗЗt} d_t}, \quad (3)$$

де d_t – коефіцієнт дисконтування для року t .

Крім економічного та екологічного критеріїв, усе частіше використовують соціальний критерій. Як правило, його виражають у показнику термального комфорту [15] або мікроклімату приміщення [16; 17].

Ми пропонуємо оцінювати соціальний критерій шляхом визначення зміни мікроклімату в приміщенні після впровадження ЕЗЗ відповідно до стандарту ДСТУ Б EN 15251:2011. Стандарт визначає методи для довгострокової оцінки мікроклімату приміщення, отриманої в результаті розрахунків чи вимірювань. Цей показник може бути виражено як відсоток від часу, коли внутрішнє середовище (температура, норми вентиляції чи концентрація CO₂) відповідає різним категоріям (I, II, III та IV).

Соціальний критерій може бути вирішальним для прийняття мешканцями будинку рішення щодо інвестування в енергозбереження. Адже вирішуючи питання «Які саме ремонтні роботи виконувати?», власники квартири швидше за все обирають ремонт ванної кімнати чи кухні, на противагу заміні вікон чи термоізоляції [19]. Хоча

встановлено, що впровадження ЕЗЗ має позитивний вплив на зменшення кількості випадків захворювань дихальних шляхів, втрати ваги та схильності до захворювань і навіть покращення психічного здоров'я людей [20].

Крім того, ЕЗЗ в багатоквартирному будинку зазвичай вимагають значних капіталовкладень і комплексних робіт, тобто для цього необхідно дійти згоди всім мешканцям будинку. Отже, стимули для комплексної реконструкції будівлі мають бути дуже вагомими і соціальний критерій міг би виконати цю функцію.

Якщо заходи були виконані без дотримання всіх необхідних норм і/або з використанням шкідливих матеріалів – мікроклімат у приміщенні може навіть погіршитися, виникне пліснява, перегрівання повітря, погіршиться доступ свіжого повітря, що спричиняє захворювання мешканців. Оскільки багато чинників є вирішальним для забезпечення належного мікроклімату, реконструкція будівлі завжди вимагає дуже ретельного планування та виконання робіт. Тому потрібно приділяти особливу увагу всім потенційним тепловим мостам, такими як стелі, перегородки, двері та вікна [4].

Тому ще один важливий критерій, який потрібно враховувати, вибираючи кращий проект ЕЗЗ в будівлях – це технологічний критерій. Заходи енергозбереження у будівлях залежать від типу будівлі, року будівництва, фізичного стану та багатьох інших чинників, наприклад, від клімату. Технічне обґрунтування здійснення ЕЗЗ у будівлях передбачає аналіз інженерних рішень, що забезпечують використання визначеної кількості енергоресурсів, які необхідні для створення комфортних умов життєзабезпечення людини за умови мінімальних витрат на теплозабезпечення будівель. Тому до групи технологічних критеріїв пропонуємо віднести наступні характеристики: енергетичний клас будівлі після виконання ЕЗЗ, виконання ДСТУ і першочерговість виконання заходів. Відповідно, комплексний аналіз проектів ЕЗЗ має надати можливість врахувати не лише якісні, але й кількісні показники з різними одиницями вимірювання.

Системний підхід до вибору критеріїв оцінювання дає змогу уникнути ризиків від впровадження ЕЗЗ, що стимулюватиме інвестиції в енергозбереження в будівлях. Оптимальний проект повинен покращити якість будинку, з точки зору зменшення впливу на навколишнє середовище, одночасно забезпечуючи економічні та соціальні вигоди, не перевищуючи заплановані витрати інвестора.

Ідентифіковані нами критерії були деталізовані підкритеріями, які впливають на прийняття рішення. На рис. 1 підкритерії представлені як центральний елемент комплексного методу багатокритеріального аналізу ефективності інвестування в енергозбереження в бу-

дівлі і можуть бути використані як для точнішого підбору показників під конкретний проект, так і для корегування важелів впливу регулюючих органів.

Упровадження ЕЗЗ – це складний процес, який потребує залучення знань із різних сфер. Для вирішення завдання оцінювання та оптимізації вибору проекту ми пропонуємо застосовувати комплексний метод багатокритеріального аналізу ефективності інвестування в ЕЗЗ (рис. 1).

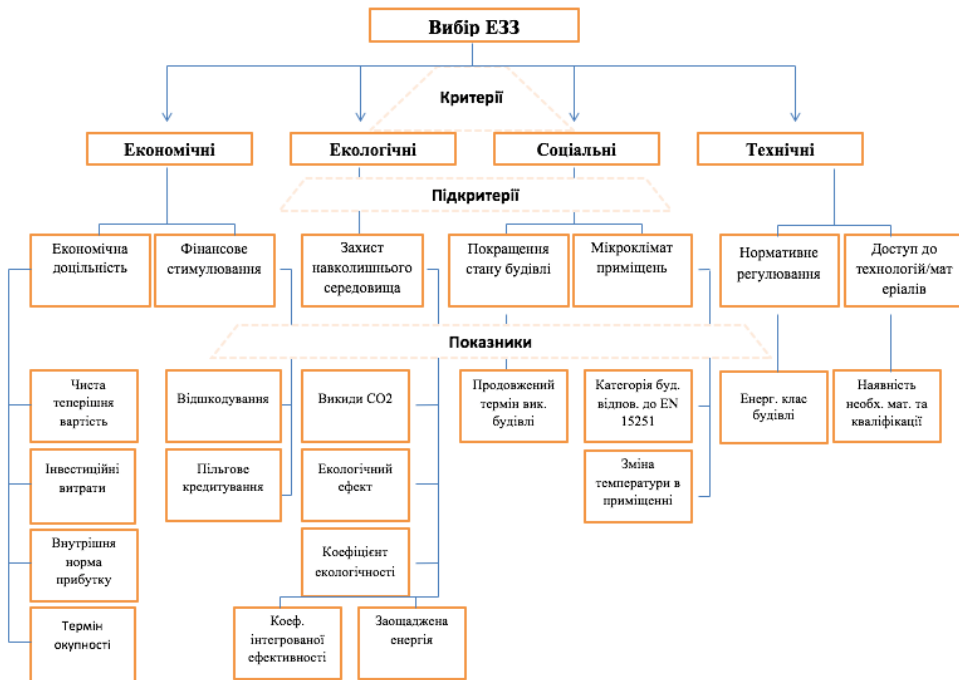


Рис. 1. Концептуальна модель багатокритеріального оцінювання ефективності інвестування в заходи енергозбереження в будівлях
Розроблено автором

Запропонована нами ієрархія критеріїв може бути реалізована методами багатокритеріального аналізу, зокрема MAI, і дозволяє застосовувати кількісні та якісні показники в процесі прийняття рішень. Ця модель має модульну реалізацію, оскільки на практиці її застосування обмежується наявними даними, бюджетом часу і коштів конкретного інвестиційного проекту.

Алгоритм вирішення задачі методом MAI може бути реалізований у шість кроків [7]:

1. Формулювання мети оптимізації;
2. Побудова дерева рішень;
3. Попарне порівняння альтернатив за всіма критеріями;

4. Порівняння критеріїв;
5. Визначення кращої альтернативи;
6. Сенситивний аналіз результатів ранжування альтернатив.

Спектр інструментів аналізу постійно розширюється, так само як і перелік нових партнерів для реалізації програм підвищення енергоефективності. Тому питання уніфікованості методів стає більш важливим, щоб сукупність оцінок представляла єдине повідомлення про впливи ЕЗЗ. Використання методів оцінки має прямий та непрямий вплив на впровадження принципів сталості в будівництві та реконструкції, адже ускладнення механізмів прийняття виважених управлінських рішень спричиняють гальмування процесів енергозбереження в Україні.

Висновки. Отже, використовуючи результати комплексного багатокритеріального оцінювання, органи державної та місцевої влади можуть сприяти зменшенню впливів на довкілля, а також покращенню здоров'я мешканців, стимулюючи ті проекти, які мають найвищу екологічну ефективність і вигоди для суспільства. Тобто у випадку, коли реалізація ЕЗЗ, з точки зору інвестора, є фінансово не вигідною, але їх впровадження є важливим для суспільства, повинні застосовуватись економічні та регулюючі інструменти: часткового повернення витрат на ЕЗЗ; надання консультаційної підтримки на всіх етапах підготовки та впровадження проекту; видача дозволів при дотриманні відповідних норм і стандартів, сертифікація робіт і виконавців та ін.

Багатокритеріальне оцінювання дозволить подолати пріоритетизацію та обмеженість фінансових показників у процесах прийняття інвестиційних рішень. Таким чином, використання запропонованої моделі багатокритеріального оцінювання ефективності ЕЗЗ сприятиме реалізації державної енергетичної політики України та досягненню Цілей Сталого Розвитку (зокрема цілям 12 «Відповідальне використання ресурсів» та 13 «Протидія зміні клімату»), формування низьковуглецевої економіки.

1. Харічков С., Андрєєва Н. Зелені інвестиції як каталізатор переходу до нового курсу розвитку економіки: міжнародні орієнтири і перспективи впровадження. *Економіст*. 2010. № 12. 16–21. 2. Sullivan R. *Responsible investment*. Routledge, New York, 2017. 3. Федорук М. І., Загвойська Л. Д. Інтегрована оцінка ефективності заходів енергозбереження в будівлях, отримані за допомогою програмного забезпечення SimaPro8. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27(7). С. 14–20. 4. Dunkelberg E., Weiß J., *Ökologische Bewertung energetischer Sanierungsoptionen, Gebäude-Energiewende*. 2016. 5. Hikmat H., Saba F.N. Developing a green building assessment tool for developing countries – case of Jordan. *Build. Environ.* 44. 2009. Pp. 1053–1064.



6. Saaty T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. McGraw, New York, 1980. 7. Загвойська Л. Д., Шведюк Ю. В. Еколого-економічна оцінка ефективності альтернативних способів лісовідновлення в умовах рівнинної частини львівської області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Львів : НЛТУ України, 2011. Вип. 21.10. С. 77–84. 8. Doukas H., Nychtis C., Psarras J. Assessing energy-saving measures in buildings through an intelligent decision support model. *Build. Environ.* 44 (2009) 290–298. 9. Mikučionienė R., Martinaitis V., Keras E. Evaluation of energy efficiency measures sustainability by decision tree method. *Energy Build.* 76 (2014). doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.048>. 10. Petersen S., Svendsen S. Method for component-based economical optimisation for use in design of new low-energy buildings. *Renew. energy.* 38 (2012) 173–180. 11. Hobbs B. F., Meier P. Energy decisions and the environment: a guide to the use of multicriteria methods (Vol. 28), Springer Science & Business Media., New York, 2003. 12. Bribián I. Z., Capilla A. V., Usón A. A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Build. Environ.* 46 (2011) 1133–1140. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>. 13. Dylewski R., Adamczyk J. Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls. *Build. Environ.* 46 (2011) 2615–2623. doi:[10.1016/j.buildenv.2011.06.023](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.023). 14. Martinaitis V., Kazakevičius E., Vitkauskas A. A two-factor method for appraising building renovation and energy efficiency improvement projects. *Energy Policy.* 35 (2007) 192–201. 15. Chantrelle F. P., Lahmidi H., Keilholz W., El Mankibi M. & Michel P. Development of a multicriteria tool for optimizing the renovation of buildings. *Appl. Energy.* 88 (2011) 1386–1394. 16. Frontczak M., Andersen R. V., Wargocki P. Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing. *Building and Environment.* 50 (2012) 56–64. 17. Brown N. W., Malmqvist T., Bai W., Molinari M. Sustainability assessment of renovation packages for increased energy efficiency for multi-family buildings in Sweden. *Building and Environment.* 61, 140–148. 18. Zundel S., Stieß I. Beyond profitability of energy-saving measures – attitudes towards energy saving. *J. Consum. Policy.* 34 (2011) 91–105. 19. Liddell C., Morris C. Fuel poverty and human health: a review of recent evidence. *Energy Policy.* 38 (2010) 2987–2997.

REFERENCES :

1. Kharichkov S., Andrieieva N. Zeleni investytsii yak katalizator perekhodu do novoho kursu rozvytku ekonomiky: mizhnarodni oriientyry i perspektyvy vprovadzhennia. *Ekonomist.* 2010. № 12. 16–21. 2. Sullivan R. Responsible investment. Routledge, New York, 2017. 3. Fedoruk M. I., Zahvoiska L. D. Intehrovana otsinka efektyvnosti zakhodiv enerhozberezhennia v budivliakh, otrymani za dopomohoiu prohramnoho zabezpechennia SimaPro8. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy.* 2017. Vyp. 27(7). S. 14–20. 4. Dunkelberg E., Weiß J.

Ökologische Bewertung energetischer Sanie-rungsoptionen, Gebäude-Energiewende. 2016. **5.** Hikmat H., Saba F.N. Developing a green building assessment tool for developing countries – case of Jordan. *Build. Environ.* 44. 2009. P. 1053–1064. **6.** Saaty T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation, McGraw, New York, 1980. **7.** Zahvoiska L. D., Shvediuk Yu. V. Ekolooho-ekonomichna otsinka efektyvnosti alternatyvnykh sposobiv lisovidnovlennia v umovakh rivnynoi chastyny lvivskoi oblasti. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2011. Lviv : NLTU Ukrainy, 2011. Vyp. 21.10. S. 77–84. **8.** Doukas H., Nychtis C., Psarras J. Assessing energy-saving measures in buildings through an intelligent decision support model. *Build. Environ.* 44 (2009) 290–298. **9.** Mikučionienė R., Martinaitis V., Keras E. Evaluation of energy efficiency measures sustainability by decision tree method. *Energy Build.* 76 (2014). doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.048>. **10.** Petersen S., Svendsen S. Method for component-based economical optimisation for use in design of new low-energy buildings. *Renew. energy.* 38 (2012) 173–180. **11.** Hobbs B. F., Meier P. Energy decisions and the environment: a guide to the use of multicriteria methods (Vol. 28)., Springer Science & Business Media., New York, 2003. **12.** Bribián I. Z., Capilla A. V., Usón A. A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Build. Environ.* 46 (2011) 1133–1140. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>. **13.** Dylewski R., Adamczyk J. Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls. *Build. Environ.* 46 (2011) 2615–2623. doi:10.1016/j.buildenv.2011.06.023. **14.** Martinaitis V., Kazakevičius E., Vitkauskas A. A two-factor method for appraising building renovation and energy efficiency improvement projects. *Energy Policy.* 35 (2007) 192–201. **15.** Chantrelle F. P., Lahmidi H., Keilholz W., El Mankibi M. & Michel P. Development of a multicriteria tool for optimizing the renovation of buildings. *Appl. Energy.* 88 (2011) 1386–1394. **16.** Frontczak M., Andersen R. V., Wargocki P. Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing. *Building and Environment.* 50 (2012) 56–64. **17.** Brown N. W., Malmqvist T., Bai W., Molinari M. Sustainability assessment of renovation packages for increased energy efficiency for multi-family buildings in Sweden. *Building and Environment.* 61, 140–148. **18.** Zundel S., Stieß I. Beyond profitability of energy-saving measures – attitudes towards energy saving. *J. Consum. Policy.* 34 (2011) 91–105. **19.** Liddell C., Morris C. Fuel poverty and human health: a review of recent evidence. *Energy Policy.* 38 (2010) 2987–2997.

Рецензент: к.е.н, доцент Ковшун Н. Е. (НУБГП)



Fedoruk M. I. (Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk)

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF INVESTMENT EFFICIENCY IN ENERGY SAVING: AN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS APPROACH

Multi-criteria analysis approaches of investment efficiency in energy saving measures in buildings have been improved by taking into account economic, social, ecological and technical criteria. Developed hierarchy of criteria combines quantitative and qualitative indicators in the investment decision making process. This model has a modular implementation, which makes it possible to adapt the model considering limits of information provision, time budget and funds of a particular investment project. Application of the proposed multicriteria assessment allows choosing among the possible alternatives energy saving measures, which, in addition to obtaining financial benefits, will reduce the negative flow of the environment and will not have negative impacts on human health. Developed methodological approaches to assessing the environmental and economic efficiency of investment can be applied in conducting tenders, as well as, in investment decision making process or financial incentives for projects.

***Keywords:* energy saving, multi-criteria analysis, efficiency of energy saving investments, ecological-economic efficiency indicators, analytic hierarchy process approach.**

Федорук М. И. (Прикарпатский национальный университет имени Василия Стефаника, Ивано-Франковск)

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Усовершенствованы методические подходы многокритериального оценивания эффективности инвестирования в мероприятия энергосбережения в зданиях путем учета экономического, социального, экологического и технического критериев. Предложенная нами иерархия критериев, которая была реализована методом анализа иерархий, сочетает количественные и качественные показатели в процессе принятия инвестиционных решений. Эта модель имеет

модульную реализацию, что делает адаптацию модели к ограничениям информационного обеспечения, бюджета времени и средств конкретного инвестиционного проекта. Использование предложенного многокритериального оценивания позволяет среди возможных альтернатив выбрать меры энергосбережения, внедрение которых, кроме получения финансовой выгоды, уменьшит негативное влияние на окружающую среду и не повлечет негативного влияния на здоровье людей. Усовершенствованные методические подходы к оценке эколого-экономической эффективности инвестирования могут быть применены при проведении тендеров, принятии решений о целесообразности выделения средств на реализацию или финансовое стимулирование проектов.

Ключевые слова: энергосбережение, многокритериальная оценка, эффективность инвестирования в энергосбережение, эколого-экономические показатели эффективности, метод анализа иерархий.
