



**Л. Д. Загвойська, М. І. Федорук**

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

## ІНТЕГРОВАНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВЛЯХ, ОТРИМАНА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ SIMAPRO8

Досліджено вплив заходів енергозбереження на навколишнє середовище, а відтак на здоров'я людей і стан екосистем, на прикладі проекту, реалізованого міжнародною організацією GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) для дошкільного навчального закладу (ДНЗ) у м. Миргород. Аргументовано застосування методу оцінювання життєвого циклу (ОЖЦ, англ. *Life Cycle Assessment*) для розрахунку показників впливу діяльності на довкілля. Встановлено актуальність визначення впливу заходів енергозбереження на навколишнє середовище та здоров'я людини. За допомогою програмного забезпечення SimaPro8 проведено порівняльний аналіз довкілля профілю різних заходів термомодернізації будівлі: утеплення зовнішніх стін і даху, заміна вікон. Отримано еколого-економічні показники ефективності на основі прогнозування життєвого циклу з урахуванням результатів впливу впровадження заходів енергозбереження у довготерміновій перспективі. Запропоновано застосування інтегрованих показників для підвищення ефективності відбору проектів енергозбереження в будівлях та уникнення інвестицій, шкідливих для навколишнього середовища, а отже, і для здоров'я людей. Подальше використання такого підходу запропоновано як для державних програм стимулювання енергозбереження в будівлях, так і для приватних інвесторів для запобігання екодеструктивному впливу цих заходів.

**Ключові слова:** вплив на навколишнє середовище; оцінювання життєвого циклу (ОЖЦ); інструмент оцінювання; інвестування в енергозбереження в будівлях; еколого-економічні показники; SimaPro.

**Вступ.** За даними Державної служби статистики України, останні сім років населення України стабільно споживає 30 % всіх енергоресурсів країни. Понад це, у 2013 р. вперше в історії України населення спожило енергії більше, ніж промисловість, яка історично була найбільшим споживачем. Це також повторилося й у 2015 р., коли обидва сектори спожили майже однакову частку енергії – 32 %, проте частка населення перевищила частку промисловості на 0,3 % (за даними Офіційного сайту Державної служби статистики України "Кінцеве енергоспоживання за 2007-2015 роки". URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>).

Потреба в інвестиціях на проведення термічної модернізації житла в нашій країні, а це 75 тис. багатопверхівок і 6,5 млн індивідуальних будинків, становить 48,5-86,9 млрд дол. (за даними Офіційного сайту Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України "Concept of Energy Efficiency Fund". URL: [http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/02/Concept\\_of\\_Energy\\_Efficiency\\_Fund.pdf](http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/02/Concept_of_Energy_Efficiency_Fund.pdf)). Проте, щоб залучити масові інвестиції в заходи енергозбереження, необхідно вдосконалити політику енергоефективності інструментами стимулювання, які базуються не лише на фінансовій вигоді. Рішення щодо фінансування

робіт з реконструкції будівель має враховувати різні чинники, зокрема потрібно брати до уваги покращення комфорту мешканців чи користувачів будівлі. Не менш важливим на сьогодні для стимулювання інвестицій є аналіз даних про зменшення негативного впливу самих заходів енергозбереження на навколишнє середовище і здоров'я мешканців, а також урахування потреби адаптації до глобальних викликів зміни клімату.

Про зростання попиту на світовому інвестиційному ринку на аналіз інвестиційних проектів з урахуванням їхнього впливу на навколишнє середовище свідчить розроблення інтегрованих показників світовим лідером з надання індексів Дю-Джонса (англ. *S&P Dow Jones Indices (S&P DJI)*) та придбаної ними компанією Trucost PLC. Компанія є лідером у сфері збирання вуглецевих і екологічних даних, а також аналізу ризиків, пов'язаних із впливом на навколишнє середовище.

Інтеграція екологічних, соціальних та економічних даних у процесі прийняття рішень ще ніколи не була такою важливою як сьогодні. Інтегрований аналіз даних допоможе інвесторам і політикам створити більш сталу глобальну економіку, уникнути ситуації, коли підвищення енергоефективності створить нові чи посилить уже наявні соціально-екологічні проблеми.

### Інформація про авторів:

**Загвойська Людмила Дмитрівна**, канд. екон. наук, доцент кафедри екологічної економіки.

Email: [lyudmyla.zahvoyska@nltu.edu.ua](mailto:lyudmyla.zahvoyska@nltu.edu.ua)

**Федорук Марія Іванівна**, аспірант кафедри екологічної економіки. Наук. керівник: канд. екон. наук Л. Д. Загвойська, доцент.

Email: [fedoruk.mariia@gmail.com](mailto:fedoruk.mariia@gmail.com)

**Цитування за ДСТУ:** Загвойська Л. Д., Федорук М. І. Інтегрована оцінка ефективності заходів енергозбереження в будівлях, отримана за допомогою програмного забезпечення SIMAPRO8. Науковий вісник НЛТУ України. Серія економічна. 2017. Вип. 27(7). С. 14–20.

**Citation APA:** Zahvoyska, L. D., & Fedoruk M. I. (2017). Environmental Impact Assessment of Energy Saving Measures in Buildings by SIMAPRO8 Software. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(7), 14–20. <https://doi.org/10.15421/40270702>

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питання оцінювання впливу заходів з енергозбереження на навколишнє середовище досліджували такі українські вчені, як Н. Д. Степанова, Т. І. Пилипенко, Г. С. Ратушняк, О. Г. Ратушняк (Stepanova & Pylypenko, 2013; Ratushniak & Ratushniak 2009). Міжнародна наукова спільнота теж приділяє цій тематиці значну увагу. Дослідження впливу заходів з енергозбереження на навколишнє середовище вивчають зокрема такі вчені, як F. Nemry, A. Uihlein, C.M. Colodel, C. Wetzel, A. Braune, B. Wittstock та ін. (Nemry et al., 2010).

Учені Н. Д. Степанова та Т.І. Пилипенко проаналізували енергетичний, економічний та екологічний аспекти застосування геліоустановок для теплопостачання. Техногенне навантаження на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу системи оцінено за допомогою програмного забезпечення SimaPro 7.2. Вони оцінили та проаналізували можливі варіанти комбінування геліоустановок з іншими джерелами теплової енергії (Stepanova & Pylypenko, 2013).

Науковці Г. С. Ратушняк та О. Г. Ратушняк (Ratushniak & Ratushniak, 2009) запропонували метод моніторингу проектів термомодернізації захисних будівельних конструкцій для підвищення їх енергоощадності. Запропонована методика еколого-економічного оцінювання інвестиційних проектів термомодернізації житлових будинків базується на технічних характеристиках матеріалів, частково враховує їхній шкідливий вплив на навколишнє середовище, але не відображає екологічних і соціальних впливів проекту енергозбереження повною мірою.

Водночас недостатньо розробленими залишаються теоретико-методичні основи визначення еколого-економічної ефективності впровадження заходів енергозбереження з урахуванням життєвого циклу. Вирішення цих питань дасть змогу підвищити якість відбору та зменшити ризик екологічно орієнтованого бізнес-проекту, а також уникнути ризикованих інвестицій. Теоретична важливість окреслених питань, їх практичне значення та недостатнє розроблення зумовили вибір теми цього дослідження.

Метод оцінювання життєвого циклу (LCA) інтенсивно розвивався протягом останніх двадцяти років. Можна навести багато прикладів, здебільшого іноземних, його застосування в питаннях, пов'язаних з енергетикою та будівництвом, зокрема, у працях Д. В. Степанова, Dylewski R. та Adamczyk J., Pombo O., Allacker K., Rivela B., Neilaa J. та ін. (Stepanov, 2011; Dylewski & Adamczyk, 2016; Pombo et al., 2016).

Степанов Д. В. проаналізував ефективність теплоізоляції трубопроводу з використанням традиційного економічного методу та методу оцінювання життєвого циклу. Автором дослідив навантаження на навколишнє середовище за допомогою програмного забезпечення SimaPro 7, а також оцінив фінансові результати заходу енергозбереження. На основі отриманих розрахунків визначено оптимальну товщину теплоізоляції трубопроводу (Stepanov, 2011).

Польські вчені Dylewski R. та Adamczyk J. запропонували аналіз екологічної ефективності витрат для проекту теплоізоляції зовнішніх вертикальних стін для двох різних типів будівель п'яти кліматичних зон Польщі. Автори теж базували свої дослідження на підході життєвого циклу (Dylewski & Adamczyk, 2016).

Учені Pombo O., Allacker K., Rivela B., Neilaa J. за допомогою поєднання двох методів – оцінювання життєвого циклу та оцінювання витрат у контексті життєвого циклу (англ. *Life Cycle Cost (LCC)*), визначили (у грошовому еквіваленті) витрати впливу заходів енергозбереження на навколишнє середовище, які виникають упродовж усього життєвого циклу. У дослідженні наведено результати багатокритеріального аналізу різних рішень термомодернізації будівель за допомогою методу оптимізації Парето (Pombo et al., 2016).

Деякі завдання щодо оцінювання впливу заходів енергозбереження на навколишнє середовище розглянуто у наведених працях, однак їхня актуальність, складність, кон'юнктурні та нормативно-правові відмінності зумовлюють доцільність здійснення подальших досліджень в Україні. Віддаючи належне зазначеним вище вченим і фахівцям, разом варто зазначити, що в Україні недостатньо опрацьовані теоретико-методичні засади ефективності інвестування в енергозбереження в будівлях, які концентруються також і на еколого-економічних показниках. Водночас проблему впливу заходів енергозбереження на навколишнє середовище взагалі спеціально не досліджували, особливо у контексті життєвого циклу.

**Мета дослідження** полягає в розробленні методичного підходу до побудови інтегрованої системи показників еколого-економічної ефективності (EEE) заходів енергозбереження в будівлях з урахуванням їх фінансових результатів та довкільних впливів. Досліджено та розвинено теоретико-методичні положення щодо оцінювання впливу заходів енергозбереження впродовж їхнього життєвого циклу і можливості використання цих оцінок для регулювання інвестиційної діяльності.

**Матеріали та методи дослідження.** На сьогодні існує великий спектр енергозберігальних заходів у будівлях із застосуванням різноманітних технік і матеріалів. Основною метою таких заходів є зменшення витрат на опалення будівель. Фінансову вигоду таких заходів уже доведено на основі даних реалізованих пілотних інвестиційних проектів. Проте масового притоку інвестицій у напрямі модернізації будівель для енергозбереження не спостерігається. З іншого боку, це дає шанс стимулювати саме ті заходи, які матимуть найменший негативний вплив на довкілля. Тобто, стимулюючи заходи енергозбереження в будівлях, необхідно враховувати результат їхнього впливу на навколишнє середовище, а отже, і на здоров'я людей. Тому розширений, інтегрований аналіз екологічних, соціальних та економічних даних у процесі прийняття рішень щодо термомодернізації будівель є важливим складником політики підвищення енергоефективності. Такий підхід допоможе вибрати з-поміж альтернативних інвестиційних проектів найбільш ефективний як для суспільства, так і для інвестора, що значно спростить процедуру прийняття управлінського рішення щодо фінансування проектів енергозбереження в будівлях.

Стандартного методу грошового оцінювання довкільних витрат не існує (також їх називають "зовнішні витрати" або "тіньові витрати"). Наявні штрафи, податкові нараховування та інші грошові витрати для відшкодування негативного впливу на навколишнє середовище в нашій країні є недостатньо високими (Zahvoyska & Fedoruk, 2017). На сьогодні не існує дієвих фінансових інструментів мотивування до збільшення інвестицій в

безпечні для природи та суспільства заходи енергозбереження. Тобто неможливо визначити витрати чи дохід інвестора при завданому впливі на навколишнє середовище. Тому використання грошових еквівалентів оцінювання довірливих витрат на сучасному етапі в Україні, на нашу думку, є недостатньо функціональним. Воно не дає змоги повною мірою оцінити ефективність заходів. Це може не тільки зробити результати невизначеними і суб'єктивними, але й унеможливує порівняння результатів аналізу для українських та закордонних інвесторів, спричиняє асиметричне інформування інвестора і споживача пропонованої послуги. Тому для аналізу ЕЕЕ проєктів енергозбереження необхідний інтегрований аналіз, який допоміг би кількісно виміряти довірливий вплив протягом повного циклу реалізації енергозберігальних заходів, а відтак, виконавши *ex-post* аналіз ефективності витрат (Cost-effectiveness analysis) (Tietenberg, 1996; Zahvoyska et al., 2006), визначити ефективність вкладання коштів у розрахунку на одиницю довірливого навантаження або тих витрат, яких вдасться уникнути завдяки термомодернізації.

Відомий у світі підхід до оцінювання життєвого циклу (ОЖЦ) є одним із інструментів оцінювання впливів товару, послуги чи процесу на довкілля. Проте він є набагато складніший порівняно зі схожими методами, такими як оцінка впливу на довкілля (англ. *Environmental Impact Assessment*), оцінка екологічних ризиків (англ. *Ecological Risk Assessment*) чи аналіз матеріальних потоків (англ. *Material Flow Analysis*). Основним методом будь-якого аналізу життєвого циклу є моделювання. Моделі довірливих механізмів створюються для того, щоб відобразити можливі впливи входів і виходів процесу чи продукту на навколишнє середовище (Zbicinski et al., 2006).

ОЖЦ є інструментом для отримання всебічної кількісної оцінки довірливих характеристик продукції та послуг, а саме впливів, які виникають упродовж повного життєвого циклу: від видобутку сировини і виробництва енергії, виготовлення продукції, транспортування і розподілу, використання, повторного використання, технічного обслуговування аж до остаточної утилізації спожитих товарів, зокрема, їх перероблення, якщо це можливо (Goedkoop et al., 2016). На основі отриманої оцінки довірливого навантаження – довірливого профілю продукції, процесу або діяльності – виявляють можливі впливи на навколишнє середовище.

ОЖЦ базується на міжнародних стандартах ISO 14040: *Principles and Framework* (Принципи і рамки) та ISO 14044: *Requirements and Guidelines* (Вимоги та правила). Згідно з цими стандартами, ОЖЦ відбувається в чотири етапи:

1. Визначення мети і предмету дослідження (англ. *Goal and scope*) – бенефіціари та їхні очікування;
2. Опис життєвого циклу (англ. *Life cycle inventory, LCI*) – формування моделі життєвого циклу (ЖЦ) з відображенням усіх довірливих входів і виходів;
3. Оцінювання впливу життєвого циклу (англ. *Life cycle impact assessment, LCIA*) – дослідження важливості всіх входів і виходів з точки зору можливого впливу.

Стандарт ISO 14040/44 розрізняє такі етапи в оцінюванні впливів:

- обов'язкові етапи: класифікація (англ. *classification*) і характеристика (англ. *characterization*);

- додаткові етапи: нормалізація (англ. *normalization*), ранжування (англ. *ranking*), групування (англ. *grouping*) і порівняння (англ. *weighting*).

4. Інтерпретація отриманих результатів (Goedkoop et al., 2016).

Відповідно до Європейського стандарту довірливих впливів, спричинених будівлями (CEN), існує сім категорій впливів: абіотичне виснаження – невикопні ресурси (ADP-non-fossil, kg Sbeq); абіотичне виснаження – викопні ресурси (ADP-fossil, MJ net caloric value); окислення (AP, kg SO<sub>2</sub>eq); евтрофікація (EP, kg (PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>-eq); глобальне потепління (GWP, kg CO<sub>2</sub>eq); руйнування озонного шару (ODP, kg CFC-11 eq); утворення фотохімічного озонного шару (POCP, kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>eq) (Pombo et al., 2016).

Категорії впливів дещо відрізняються для різних методів кількісного оцінювання. На сьогодні найчастіше на практиці використовують такі методи: ReCiPe Endpoint (E), Impact 2002, Eco-points, Eco-indicator, EPS system, MIPS concept та ін. (Zbicinski et al., 2006). Категоріями шкоди в багатьох методах є якість екосистем, здоров'я людини та виснаження природних ресурсів. Але вони можуть бути також і дуже специфічними відповідно до потреб аналізу (поглинання CO<sub>2</sub>, зміна ґрунту, викопне паливо і ін.) (Goedkoop et al., 2016).

На європейському рівні стандарти ОЖЦ уточнені і доповнені довідником ILCD Handbook (2010), що забезпечує більшу послідовність та об'єктивність оцінок довірливих впливів.

Крім різнопланових оцінок ЖЦ, які дають всебічну характеристику впливу, для аналізу також використовують оцінки, сфокусовані на певному впливі, скажімо, вуглецевий відбиток (GHG Protocol і ISO 14067) чи водний відбиток (ISO 14046).

ОЖЦ покладено в основу таких програмних продуктів, як SimaPro, Gabi, Ecoinvent, Umberto, OpenLCA, LCAPIX, BEES 4.0, TEAM, Athena Impact Estimator та ін. Лідерами серед комерційного програмного забезпечення ОЖЦ на сьогодні в Європі є SimaPro та Gabi (Sinha et al., 2016; Herrmann et al., 2015). Який саме програмний продукт застосувати для конкретного випадку, аналітик визначає на основі поставленої мети та об'єкта дослідження.

У нашому випадку необхідно оцінити довірливі впливи заходів енергозбереження для довірливого закладу протягом їхнього життєвого циклу. Для цього SimaPro пропонує широкий набір методів і баз даних, які вважають найбільш визнаними та обґрунтованими для аналізу такого напрямку.

**Емпіричне дослідження.** Наше емпіричне дослідження розпочали з визначення мети і предмету (англ. *Goal and Scope*). Метою цього аналізу є розрахунок показників впливу конкретного заходу на навколишнє середовище та здоров'я людей. Отримані показники будуть використані для оцінювання екологічної ефективності енергозберігального заходу. У поєднанні з показниками економічної ефективності це дасть змогу вибрати з-поміж усіх інвестиційних проєктів найбільш ефективний і актуальний як для суспільства, так і для інвестора.

Для порівняльного аналізу довірливого профілю різних заходів термомодернізації будівлі обрали утеплення зовнішніх стін і даху, а також заміну вікон, оскільки саме завдяки цим заходам досягнуто найбільшої еконо-

мії енергоресурсів. Функціональною одиницею обрано річне споживання теплової енергії протягом терміну дії модернізації (кВт×год). Згідно з державними будівельними нормами термін експлуатації термоізоляційних матеріалів має становити не менше 25 років (State Standard DSTU B V.2.6-189:2013, 2014).

Ще одним істотним завданням на першому етапі ОЖЦ є визначення меж досліджуваної системи, оскільки важливо відкинути впливи, неістотні для аналізу. Межами системи нашого дослідження є: виробництво матеріалів та обладнання, потрібних для здійснення енергозберігальних заходів, транспортування сировини, споживання теплової енергії (центральне теплопостачання), утилізація застосованих матеріалів після завершення терміну експлуатації (захоронення на міському сміттєзвалищі).

Наступним етапом дослідження, згідно з процедурою ОЖЦ, є опис життєвого циклу (англ. *Life Cycle Inventory*). Для виявлення та опису впливу ЖЦ потрібні такі дані: відомості про досліджуваний об'єкт, які повинен зібрати аналітик (*Foreground data*), і фонові дані про фізичні/хімічні залежності та процеси (*Background data*), які містяться в літературі та базі даних Ecoinvent v3, котра пропонується разом із програмою *SimaPro*.

Відомості про досліджуваний об'єкт: аналізована будівля розрахована на 104 особи. Її опалювальний об'єм становить 1521 м<sup>3</sup>. У будівлі налічується 32 вікна. Довжина споруди – 24 м, ширина – 12 м і висота – 8 м. Запровадження енергозберігальних рішень для аналізованого будинку типового проекту, який обрано об'єктом дослідження, дало змогу досягнути таких показників: заміна вікон на енергоефективніші дає змогу зменшити енерговитрати на опалення на 10 %; утеплення зовнішніх стін та даху дозволило зменшити енергоспоживання на 20 %; найбільшої економії теплової енергії (40 %) досягнуто завдяки реалізації комплексного підходу – утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій, встановлення енергоефективних вікон і заміна опалювальної системи. До здійснення заходів енергозбереження річне споживання газу становило 88 895 кВт/год, після термоізоляції – 71 104 кВт/год, а після заміни вікон – 79 999 кВт/год. У процесі розрахунку також врахували погодні умови (Energie Consult Report, 2016). У табл. 1 представлено опис матеріалів, потрібних для здійснення енергозберігальних заходів у досліджуваному дошкільному закладі. Для обігріву приміщення використовують центральну котельню, яка працює на газі.

На основі опису життєвого циклу заміни вікон, згідно з визначеними межами і внесеними даними, представленими у табл. 1, програма *SimaPro* генерує дерево процесу для визначення потенційних впливів (рис. 1).

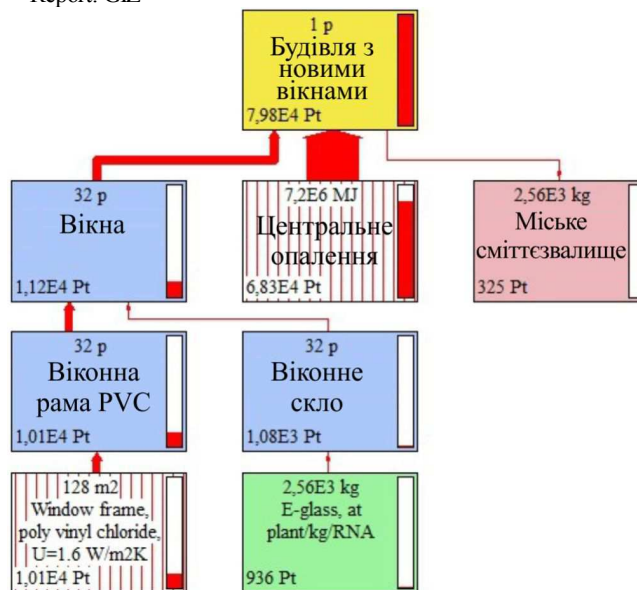
Дерево процесу складається з центрального елемента, позначеного жовтим кольором, вхідних і вихідних (відносно нього) елементів. Термометри – червоні або зелені вертикальні смужки у правій частині кожного блоку – показують навантаження на довкілля або його уникнення, яке утворює кожен елемент схеми. Як видно з рис. 1, після заміни вікон найбільші впливи на довкілля спричиняє виготовлення і захоронення елементів вікон, а саме скла і рами з полівінілхлориду. Транспортування на цьому рисунку не відображають, оскільки їхній вплив є значно меншим порівняно із впливами на інших етапах ЖЦ. Для того, щоб детальніше дослідити

впливи енергозберігальних заходів, а також порівняти їх між собою, переходимо до наступного етапу ОЖЦ.

**Табл. 1. Опис матеріалів, потрібних для здійснення заходів енергозбереження у дошкільному навчальному закладі (ДНЗ) у м. Миргород**

Назва заходу енергозбереження	Назва матеріалу, елемент виробу	Назва в базі даних SimaPro8	Кількість, кг
Термоізоляція стін і даху	Полістирол	Polystyrene, extruded {GLO}   market for   Alloc Def, S	1944
Заміна вікон	Полівініл хлорид, віконні рами	Window frame, poly vinyl chloride, U=1,6 W/m2K {RER}   production   Alloc Def, S	640
	Скло	E-glass, at plant/kg/RNA	2560

Примітка: доопрацював автор за даними Energie Consult (2016). Energy efficient refurbishment of preschool No. 5 in Myrhorod: Report. GIZ



**Рис. 1. Дерево процесу життєвого циклу заміни вікон досліджуваної будівлі, побудоване засобами програми *SimaPro8***

Оцінювання впливу є найважливішим етапом ОЖЦ (*Life cycle impact assessment, LCIA*). Його розглядають як осмислення та оцінювання сили і значущості потенційних впливів на довкілля.

Оцінювання життєвих циклів заходів енергозбереження для дитячого навчального закладу (ДНЗ) у Миргороді за допомогою програмного забезпечення *SimaPro8* проходило такі етапи, як класифікація (англ. *classification*), характеристика (англ. *characterization*) – обов'язкові етапи оцінювання впливу; нормалізація (англ. *normalization*), ранжування (англ. *ranking*), групування (англ. *grouping*) і порівняння (англ. *weighting*) (необов'язкові етапи оцінювання).

Першим кроком до групування даних є класифікація. Входи і виходи життєвого циклу збирають у певну кількість груп, які представляють усі категорії впливу. Наступним етапом є характеристика, під час нього визначають потенційний вплив для кожної категорії. Для цього застосовують коефіцієнти еквівалентності. Результати характеристики неможливо порівняти, оскільки вони представлені в різних одиницях виміру (CO<sub>2</sub> екв., SO<sub>2</sub> екв. і т.ін.). Для забезпечення зіставності отриманих результатів визначають істотність впливу для кожної категорії, виконавши нормалізацію – порівняння показ-

ника впливу за категорією з відповідним середньорічним навантаженням, яке чинить середньостатистичний європеець на навколишнє середовище.

Проте, для того, щоб отримати єдиний показник, який демонструє вплив процесу на довкілля, необхідно опрацювати дані. Для цього існує наступний етап порівняння, на якому для різних категорій впливів визначають вагові коефіцієнти для того, щоб можна було порівняти впливи між собою. Метою такого порівняльного аналізу є з'ясування, який із заходів спричиняє найменшу шкоду для довкілля (Zbicinski et al., 2006). Порівняння впливів (англ. *weighting*) є найбільш складним, суб'єктивним і суперечливим етапом оцінювання, оскільки базується не на постулатах природничих наук, а на суб'єктивних міркуваннях.

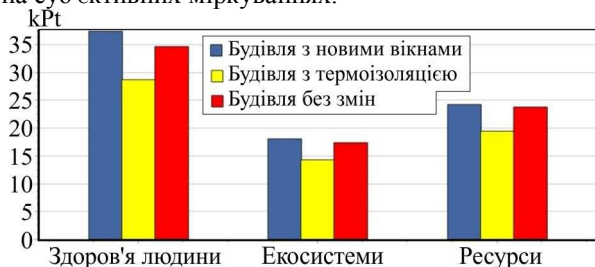


Рис. 2. Порівняння впливів заходів енергозбереження для досліджуваної будівлі протягом всього життєвого циклу за методикою ReCiPe Endpoint(E) за категоріями впливу

Для зіставлення впливів за замовчуванням використовують вагові коефіцієнти, які у нашому дослідженні визначено таким методом рішення групи експертів, як ReCiPe. Цей метод дає змогу ідентифікує сімнадцять категорій впливу і групує їх у три категорії потенційної шкоди: здоров'я людини, вплив на навколишнє середовище і споживання природних ресурсів. Результат відображається в екобалах (Pt). Значення одного екобала дорівнює  $10^3$  річного навантаження на навколишнє середовище на душу населення в Європі (Dylewski & Adamczyk, 2016). На рис. 2 представлено результати аналізу впливу заходів енергозбереження на етапі порівняння (англ. *weighting*) у тисячних екобала (kPt) для зручності відображення.

Як видно з рис. 2, найбільший вплив на довкілля та здоров'я людей протягом усього життєвого циклу (сюди відносять також етап споживання, тобто виготовлення теплоенергії) має заміна вікон, найменший вплив – термоізоляція будівлі. Зокрема, на здоров'я людини заміна вікон має вплив у розмірі 37,5 kPt, на екосистему – 18,1 kPt, на використання ресурсів – 24,2 kPt.

Оскільки функціональною одиницею обрано річне споживання теплової енергії протягом терміну дії модернізації (кВт×год), її вироблення також входить до життєвого циклу заходів, а саме до стадії експлуатації. Тобто використання центральної котельні та спалювання газу також враховують для визначення впливу на здоров'я людей, екосистеми та ресурсів (див. рис. 2). Отже, на результати дослідження впливають не лише матеріали (їх виготовлення, транспортування та утилізація), застосовані у процесі реалізації заходів енергозбереження, але й об'єм використовуваного для опалення газу.

Завершальним етапом ОЖЦ є інтерпретація отриманих результатів. Відповідно до стандартів ISO 14040/44, інтерпретація охоплює три види процедур: аналіз непевності (англ. *uncertainty analysis*), аналіз чут-

ливості результатів до зміни припущень і параметрів (англ. *sensitivity analysis*) та аналіз вкладу окремих процесів/речовин у загальний вплив (англ. *contribution analysis*). Цей етап може бути виконано в поєднанні з економічними показниками (Pombo et al., 2016). Для такого інтегрованого аналізу необхідно отримати еколого-економічні результати інвестування в заходи енергозбереження.

За допомогою SimaPro 8 отримали кількісну оцінку впливу заходів енергозбереження на навколишнє середовище та здоров'я людей. Знаючи вартість інвестицій в енергозберігальні заходи та економію енергоресурсів, можемо виконати ex-post аналіз ефективності витрат, використовуючи вартісні та кількісні оцінки. На основі цього можемо визначити найвигідніше енергозберігальне рішення. У табл. 2 представлено еколого-економічні показники заходів енергозбереження, розраховані для ДНЗ у Миргороді.

Табл. 2. Еколого-економічні показники ефективності заходів енергозбереження ДНЗ у м. Миргород

Назва заходу енергозбереження	Показник впливу на навколишнє середовище, kPt	Збереження енергоресурсів, %	Інвестиційні витрати, тис. €	Ефективність витрат, Квтгод/(рік×€)
Без змін	75,9	0	0	0
Заміна вікон	79,8	10	16,38	1,5
Утеплення будівлі	62,5	20	70,86	1,2

Як видно із табл. 2, найвигіднішим заходом енергозбереження за цими двома показниками буде утеплення будівлі. Адже вплив на навколишнє середовище є найменшим, а збереження ресурсів найбільшим. Проте ефективність витрат на утеплення будівлі є дещо меншою порівняно із заміною вікон, оскільки величина інвестицій тут значно більша.

Як уже зазначено, найбільшої економії теплової енергії (на 40 %) досягнуто за комплексного підходу. Проте, зрозуміло, що комплексна модернізація потребує також найбільших інвестицій порівняно із запровадженням окремих заходів з термомодернізації (утеплення стін, заміна вікон тощо). На практиці через брак коштів власники чи розпорядники будинків виконують часткову модернізацію (наприклад, лише утеплюють зовнішні стіни або замінюють вікна на енергоефективніші). При цьому виникає проблема вибору найвигіднішого рішення для інвестицій в енергозберігальні проекти (Kuznetsova & Zhukinska, 2015). Пропонуємо у процесі вибору кращого енергоефективного рішення виконати еколого-економічний аналіз, в основі якого лежить оцінювання впливу життєвого циклу на навколишнє середовище. Очевидною стає потреба подальшого розроблення та апробації теоретико-методичного підходу до багатокритеріального обґрунтування вибору проекту енергозбереження на основі системи інтегрованих показників еколого-економічної ефективності.

За допомогою такого аналізу можна буде обґрунтовано інвестувати саме ті заходи, під час здійснення яких вплив на навколишнє середовище і здоров'я людини є найменшим, а економія енергоресурсів та ефективність витрат – найбільшою.

**Висновки.** Для вимірювання екологічних і соціальних результатів проекту застосовано метод оцінювання життєвого циклу. За допомогою програмного забезпечення SimaPro8 визначено, який із заходів має наймен-

ший негативний вплив на довкілля, а також на здоров'я людей. На основі впливу отриманих екологічних профілів альтернативних проєктів і фінансових показників їх ефективності продемонстровано еколого-економічні результати проєкту. За допомогою цієї інформації потрібно провести подальший аналіз, для того, щоб вибрати з-поміж альтернативних інвестиційних проєктів найбільш ефективний і актуальний як для суспільства, так і для інвестора.

Наше дослідження демонструє актуальність показників впливу на природні ресурси, екосистеми та здоров'я людини. Метод ОЖЦ можна застосовувати не лише у процесі термомодернізації, але й екобудівництва. Адже у багатьох країнах воно розвивається, і на державному рівні створено нові норми для цих матеріалів.

Подальшого дослідження потребує запропонований підхід до обґрунтування вибору найвигіднішого проєкту на основі еколого-економічних показників. Науково обґрунтований спосіб аналізу визначення найефективнішого проєкту значно спростить процедуру прийняття управлінського рішення щодо інвестування в енергозбереження в будівлях, виявляючи найбезпечніші для довкілля, а отже, і для людини, заходи. А це, відповідно, допоможе імплементації Паризької угоди та реалізації політики уряду України щодо низьковуглецевого розвитку.

#### Перелік використаних джерел

- Dylewski, R., & Adamczyk, J. (2016). Study on ecological cost-effectiveness for the thermal insulation of building external vertical walls in Poland. *Journal of Cleaner Production*, 133, 467–478. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.155>
- Energie Consult. (2016). *Energy efficient refurbishment of preschool No. 5 in Myrhorod*: Report. GIZ, 240 p.
- Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., & Meijer, E. (2016). Introduction to LCA with SimaPro. PRé. Retrieved from: <https://www.presustainability.com/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>.
- Herrmann, I. T., & Moltesen, A. (2015). Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production*, 86, 163–169.
- Kuznetsova, O., & Zhukinska, I. (2015). Evaluation of the energy resource conservation for heating at carrying thermo modernization of a residential building. *Herald of KNUTD. Series: Technical*, 5(90), 81–90. Retrieved from: <http://er.knutd.com.ua/handle/123456789/601>.
- Nemry, F., Uihlein, A., Colodel, C. M., Wetzel, C., Braune, A., Wittstock, B. et al. (2010). Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union – potential and costs. *Energy Build.*, 42, 976–984. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.009>
- Pombo, O., Allacker, K., Rivela, B., & Neila, J. (2016). Sustainability assessment of energy saving measures: A multi-criteria approach for residential buildings retrofitting – A case study of the Spanish housing stock. *Energy and Buildings*, 116, 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.019>
- Ratushniak, G., & Ratushniak, O. (2009). *Upravlinnyia enerhozberihayuchymy proektamy termorenovatsiyi budivel* [Management of thermal renovation projects in buildings]. Vinnytsya: VNTU. [in Ukrainian].
- Sinha, R., Lennartsson, M., & Frostell, B. (2016). Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study. *Building and Environment*, 104, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.012>
- Standard. (2013). State Standard DSTU B V.2.6-189:2013. *Metodi vboru teploizolyatsynogo materialu dlya uteplennya budivel* [Methods of selecting insulation material for thermal insulation of buildings]. Kyiv: Minregion. [in Ukrainian].
- Stepanov, D. (2011). Porivnyalna otsinka ekonomichnoyi ta ekolohichnoyi efektyvnosti enerhozberihayuchykh zakhodiv [Comparative assessment of economic and environmental efficiency of energy saving measures]. *Modern technologies, materials and structures in construction. S. 1.*, 10(1), 155–157. Retrieved from: <http://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/163>. [in Ukrainian].
- Stepanova, N., & Pylypenko, T. (2013). Economic and ecological aspects of heat supply on the basis of solar power plants. *Herald of Khmelnytskyi national university. Series: Engineering*, 5, 65–68. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu\\_tekh\\_2013\\_5\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2013_5_14). [in Ukrainian].
- Tietenberg, T. (1996). Environmental and natural resource economics. *Harper Collins College Publisher*, 146 p.
- Zahvoyska, L., & Fedoruk, M. (2017). Ecological and Economic Assessment of the Effectiveness of an Investment Decision Using the Cost-Benefit Analysis: the Project of Replacing the Central Heating System with Individual Gas Heating. *The Problems of Economy. Series: Economics and Management of Enterprises*, 1, 70–78. Retrieved from: [http://www.problecon.com/pdf/2017/1\\_0/70\\_78.pdf](http://www.problecon.com/pdf/2017/1_0/70_78.pdf). [in Ukrainian].
- Zahvoyska, L., Maselko, T., & Yakuba, M. (2006). *Ekonomichnyy analiz investytsiynykh proektiv* [Economic analysis of investment projects]. Lviv: Afisha. [in Ukrainian].
- Zbicinski, I., Stavenuiter, J., Kozłowska, B., & van de Coevering, H. (2006). Product design and Life Cycle Assessment. *The Baltic University Press*, 4, 226 p.

Л. Д. Загвойская, М. И. Федорук

Национальный лесотехнический университет Украины, г. Львов, Украина

## ИНТЕГРИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В ЗДАНИЯХ, ПОЛУЧЕННАЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SIMAPRO8

Исследовано влияние мер по энергосбережению на окружающую среду, а затем на здоровье людей и состояние экосистем на примере проекта, реализованного международной организацией GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) для детского сада (ДС) в г. Миргород. Аргументировано применение метода оценки жизненного цикла (ОЖЦ, англ. *Life Cycle Assessment*) для расчета показателей воздействия на окружающую среду. Определена актуальность оценки влияния мер по энергосбережению на окружающую среду и здоровье человека. С помощью программного обеспечения SimaPro8 проведен сравнительный анализ окружающего профиля различных мероприятий термомодернизации здания: утепление внешних стен и крыши, замена окон. На основе прогнозирования жизненного цикла определены эколого-экономические показатели влияния реализованных мероприятий энергосбережения в долгосрочной перспективе. Предложено применение интегрированных показателей для повышения эффективности отбора проектов энергосбережения в зданиях и избежания инвестиций, рискованных для окружающей среды, а следовательно, и для здоровья людей. Дальнейшее использование такого подхода предложено как для государственных программ стимулирования энергосбережения в зданиях, так и для частных инвесторов для предотвращения экодеструктивного влияния этих мероприятий.

**Ключевые слова:** влияние на окружающую среду; оценивание жизненного цикла (ОЖЦ); инвестирование в энергосбережение в зданиях; эколого-экономические показатели; Sima Pro.

## **ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF ENERGY SAVING MEASURES IN BUILDINGS BY SIMAPRO8 SOFTWARE**

Energy efficiency of buildings is a global problem. The energy sector itself poses great challenges for most countries, especially with the present financial and environmental circumstances and the need to enhance economic development while meeting climate change goals. Investing in renovation of existing buildings provides excellent opportunities for an effective reduction of energy consumption and greenhouse gas emissions, delivering to the Sustainable Development Goals and reducing climate risk in line with the Paris Agreement. The authors propose the analysis of the environmental impacts of an investment of buildings energy saving measures. We based our case study of energy saving refurbishment of preschool N5 in Myrhorod using the life cycle assessment (LCA) technique. Researchers applied this comparative analysis to measure environmental impacts of the project in eco-points. The studies considered various components, such as heat sources, thermal insulation and materials of the new windows. Using the SimaPro 8 software, environmental impacts for the case study building without refurbishment, with thermo isolation and with new windows were calculated and compared. The research results show considerable and variable environmental impact of energy saving measures depending on materials and techniques that were used for refurbishment. These findings indicate the need for further methodological support for the development of integrated socio-environmental-economic indicators. Researchers suggest doing comparative LCA analysis of retrofitting solutions for assessing various options for energy saving investments applying multi-criteria methodology based on these indicators. This method could be useful for the state authorities, international funds, investors and energy/environmental auditors.

**Keywords:** environmental impacts; life cycle assessment (LCA); investment in energy saving in buildings; environmental-economic indicators; SimaPro.