



Регіоналізація в європейському
економічному просторі

Марія ФЕДОРУК,
Людмила ЗАГВОЙСЬКА

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ
ІНВЕСТИЦІЙ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
В ЖИТЛОВИХ І ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЛЯХ
МІСТ МЕТОДОМ СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ**

Резюме

Із застосуванням методу системної динаміки запропоновано й апробовано гіпотези про функціонування механізму стимулювання енергозбереження в будівлях та інструменти його екологізації. Як основні емпіричні дані для аналізу і моделювання використано результати опитування вітчизняних та зарубіжних експертів. Побудовано імітаційні моделі, які дали змогу обґрунтувати доцільність використання багатокритеріальної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів і апробувати запропоновані рекомендації щодо екологізації процесу енергозбереження шляхом інтегрування екологічних та соціальних оцінок у правила прийняття інвестиційних рішень. З допомогою методів системної динаміки виявлено небажані наслідки і точки спротиву, які можуть стати причиною неуспіху запропонованого втручання. Вказано, що розроблені моделі можуть бути застосовані для проектування й тестування політики екологізації інвестицій в енергозбереження.

© Марія Федорук, Людмила Загвойська, 2018.

Федорук Марія, MSc, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Україна.
Загвойська Людмила, канд. екон. наук, доцент кафедри екологічної економіки, НЛТУ України,
м. Львів, Україна.

Ключові слова

Екологічність заходів термомодернізації, імітаційне моделювання, інвестиції в енергозбереження, механізм стимулювання, системна динаміка.

Класифікація за JEL: Q57.

Постановка проблеми

Виміряти успіх або неуспіх енергетичної політики держави можна за величиною інвестицій в енергозбереження. Згідно з розрахунками експертів, для оновлення лише багатоквартирного житлового фонду України (близько 19 млн. помешкань) необхідні інвестиції в обсязі 95 млрд. євро (GIZ, 2010). Згідно з Програмою підтримки енергоефективності в Україні – EE4U, протягом наступних п'яти років (2018–2022 рр.) на впровадження енергоефективних заходів у житловому секторі України має бути спрямовано 8,5 млрд. грн. (268 млн. євро, згідно з угодою). Із цих коштів 6,5 млрд. грн. – очікуваний внесок України, 1,5 млрд. грн. – Євросоюзу і 0,5 млрд. грн. – уряду Німеччини. Проте навіть при підтримці держави та міжнародних фондів інвестиції в енергозберігаючі заходи (ЕЗЗ) є недостатніми. Тому довгостроковою метою має бути залучення приватного сектору таким чином, щоб ринок енергозбереження став самодостатнім.

Будь-яка зміна усталених механізмів передбачає складні, взаємопов'язані процеси, що характеризуються багаторазовими і зворотними взаємодіями, нелінійною динамікою та віддаленими у часі й просторі причинно-наслідковими зв'язками. Тому структурний аналіз досліджуваної соціально-економічної системи допоможе забезпечити даними для вивчення, обговорення, а отже – і глибокого розуміння шляхів удосконалення механізму інвестування в енергозбереження, що дасть змогу визначити точки впливу високого рівня для ефективного втручання в аналізовані процеси.

Існує декілька інструментів, які можуть допомогти візуалізувати взаємозв'язок компонентів систем, а саме: рамкові системи вищого рівня (англ. *high-level system frameworks*), карти взаємозв'язків дійових осіб (англ. *maps of actor networks*), діаграми підсистем (англ. *subsystem diagrams*), карти пото-

ків (англ. *stock and flow maps*) (Holtz et al., 2015). Для проведення аналізу потрібно було підібрати метод, який не лише допоможе визначити основні важелі впливу, а й сприятиме виявленню небажаних наслідків і точок спротиву, які можуть стати причиною неуспіху запропонованого втручання. Тому для того, щоб зрозуміти, які зміни необхідні для вдосконалення механізму інвестування в енергозбереження в будівлях в Україні та як саме ці втручання вплинуть на систему загалом, ми використали метод системної динаміки (СД).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значну увагу питанням енергозбереження та проблемам фінансування ЕЗЗ приділяють такі вчені: Г. Волков, В. Копець, А. Петрова, Р. Тормосов, В. Чевганова та ін. (Волков, 2014; Копець, 2009; Тормосов, 2010; Чевганова & Петрова, 2014).

Із позиції державного регулювання проблему впровадження заходів з енергозбереження досліджують такі науковці, як С. Денисюк, О. Суходоля, Т. Таукешева (Денисюк, 2013; Таукешева, 2015; Суходоля, 2015). На рівні підприємств житлово-комунального господарства інвестування в енергозбереження розглядають Н. Гетало і В. Тітяєв (Тітяєв & Гетало, 2012). Специфіку державної політики енергоефективності в Україні з позиції населення аналізує Н. Сментина (Сментина, 2016).

Поряд із цим недостатньо висвітленим залишається комплексний структурний аналіз механізму стимулювання ЕЗЗ як еколого-економічної системи для врахування екологічних впливів цих заходів. Тому в цій статті ми досліджуємо взаємозв'язок елементів системи, а також визначаємо основні важелі впливу та виявляємо небажані наслідки і точки спротиву для глибокого розуміння шляхів екологізації механізму інвестування в енергозбереження.

Методи та матеріали дослідження

Системна динаміка – це методологія, розроблена на основі імітаційного моделювання, для аналізу нелінійної поведінки складних систем шляхом дослідження взаємодії їхніх елементів. Метод був розроблений у середині 1950-х рр. професором Джеєм Форрестером з Массачусетського технологічного інституту (J. Forrester, 1971). Мабуть, найвідомішим прикладом застосування системної динаміки є дослідження, опубліковане у праці «Limits to Growth» (D. H. Meadows, Meadows, Randers & Behrens, 1972).

За допомогою цього методу будь-яка складна проблема чи система (наприклад, екосистема, політична система чи механічна система) може бути подана у вигляді причинно-наслідкової діаграми (Sterman, 2000). Структурна взаємодія динамічних змінних дає змогу утворювати петлі зворотного зв'язку – підсилюючого або балансуючого, тобто виявляти та оцінювати ефекти ендogenous зворотного зв'язку між змінними елементами системи. Крім того, СД дає змогу включати нелінійні взаємозв'язки між елементами системи (Фарина, 2014; J. W. Forrester, 1992).

Причинно-наслідкова діаграма (ПНД) є відображенням досліджуваної системи з усіма її складовими й їхньою взаємодією. Відтворюючи структуру, аналітик отримує можливість дослідити поведінку системи протягом певного періоду часу (Donella H. Meadows, 2008). ПНД допомагають візуалізувати структуру і поведінку системи та аналізувати її з використанням якісних даних. ПНД застосовують у різноманітних сферах, у тому числі в екологічній економіці (Van den Belt et. al., 2010; Videira et. al., 2014) і біоекономіці (Bennich, Belyazid, Korainisky & Diemer, 2018). Ці моделі відображають гіпотези щодо структури системи. Спочатку їх використовували для демонстрації формальних імітаційних моделей або як перехідний етап між формуванням концепції та розробкою кількісної моделі (Lane, 2008). Однак ПНД можна також застосовувати як самостійний аналітичний інструмент. Адже, крім візуалізації структури системи на основі гіпотез, підхід дає змогу окреслити проблемні місця, сформулювати теми для подальшого дослідження, виявити сфери ризику й невизначеності (Stave & Korainisky, 2015).

Для проведення кількісного аналізу складних систем застосовують потокові діаграми (ПД) (Bennich et al., 2018). У цих діаграмах використовують три типи змінних: запаси (накопичувачі), потоки та динамічні змінні – для відображення акумуляційних і миттєвих причинно-наслідкових зв'язків. Крім того, є можливість використання параметрів, значення яких не змінюється під впливом інших елементів системи чи часу. Такі моделі, як правило, будують та реалізують засобами комп'ютерного програмного забезпечення (Sterman, 2000).

На сьогодні існує велике різноманіття програмного забезпечення, яке можна використати для побудови імітаційної моделі: Vensim, STELLA, AnyLogic та ін. Однією з найбільш універсальних програм є AnyLogic, яка поєднує на єдиній платформі декілька підходів дискретного (моделювання подій) і неперервного імітаційного моделювання: системну динаміку, блок-схеми процесів, багатоагентне моделювання та ін. (Соколовська & Клепікова, 2015).

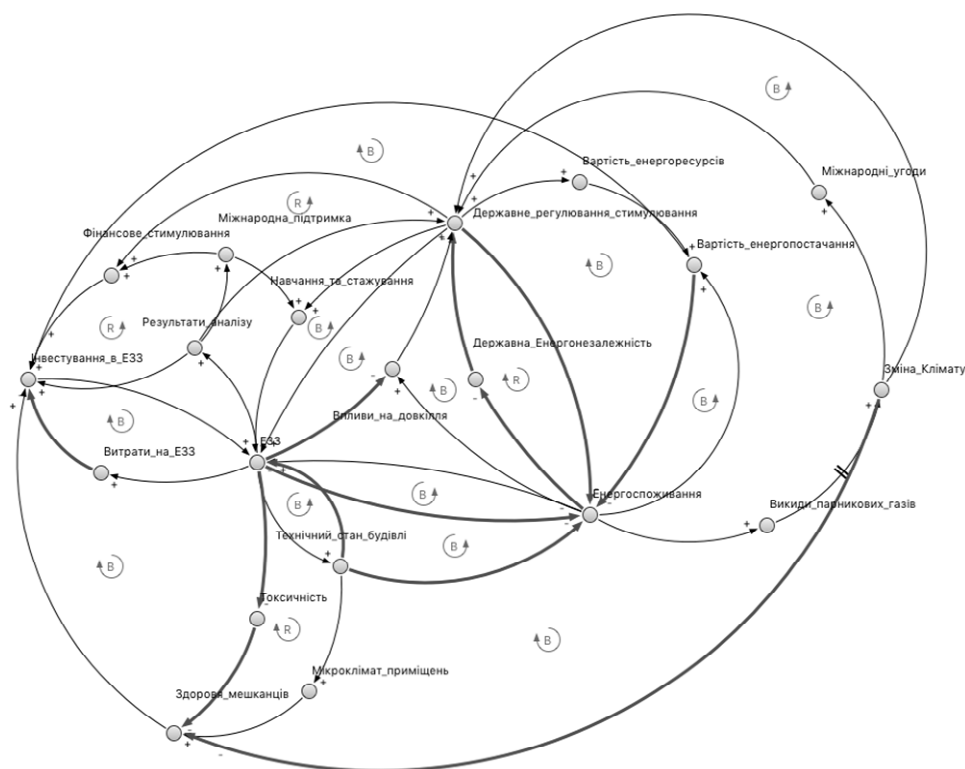
Як основні емпіричні дані для побудови ПНД були використані опитування експертів, а саме: «Перешкоди та стимули впровадження ЕЗЗ у країнах Європи», «SWOT-аналіз політики енергозбереження в житлових і громадських будівлях» (Федорук, 2016).

Емпіричне дослідження та результати

Імітаційна модель процесу екологізації інвестування в енергозбереження в житлових і громадських будівлях міст з урахуванням оцінки їхньої еколого-економічної ефективності була розроблена із застосуванням методу СД на основі ПНД (рис. 1) за допомогою програмного забезпечення AnyLogic.

Рисунок 1

Причинно-наслідкова діаграма процесу екологізації інвестування в енергозбереження в житлових і громадських будівлях (розроблено автором)



Побудована імітаційна модель (рис. 1) складається з 20 динамічних змінних, які впливають одна на одну через позитивні та негативні зворотні зв'язки, які відповідно утворюють балансуєчі (B) й підсилюєчі петлі (R) зворотного зв'язку. Причинно-наслідковий зв'язок, позначений символом «+», відображає позитивний (підсилюючий) вплив одного елемента системи на інший згідно з напрямком стрілки. Такий зворотний зв'язок може привести до неконтрольованого експоненційного зростання і, зрештою, до переходу до нового стану системи. Натомість причинно-наслідковий зв'язок, позначений символом «-», відображає негативний, балансуєчий вплив однієї складової системи на іншу згідно з напрямком стрілки. У підсумку він приводить систему до початкового стану.

Відповідно до результатів нашого попереднього дослідження «Перешкоди та стимули впровадження енергозберігаючих заходів у країнах Європи», застосування показників еколого-економічної ефективності в інструментах оцінювання та стимулювання впровадження ЕЗЗ у житлових і громадських будівлях є одним із запропонованих напрямів удосконалення механізму екологізації енергозбереження. Наприклад, слід надавати відшкодування інвестиційних витрат тільки для тих проектів, які були визнані ефективними згідно з екологічним, економічним, соціальним та технічним критеріями за результатами багатокритеріального аналізу (Загвойська і Федорук, 2017а; Загвойська і Федорук, 2017б). На основі відповідей експертів було сформульовано також другу пропозицію щодо зміни механізму стимулювання заходів енергозбереження, а саме: необхідно інтегрувати показники соціо-еколого-економічної ефективності (за результатами оцінювання всього життєвого циклу ЕЗЗ) в інструменти державного регулювання й посилити контроль якості реалізації цих заходів.

Третьою запропонованою експертами зміною в механізмі екологізації заходів енергозбереження є забезпечення навчання та поширення знань про впливи матеріалів і технологій, які використовують для термомодернізації, доступне для всіх ключових учасників досліджуваного процесу. На думку експертів, четверта важлива зміна у процесі екологізації енергозбереження – це вдосконалення системи енергетичного обліку, норм енергоспоживання та викидів парникових газів. Вплив цих втручань у систему було перевірено за допомогою запитань «якщо – то» з використанням ПНД (рис. 1). Результати моделювання відображено у табл. 1.

У табл. 1 наведено короткий опис бажаних результатів і заходи для усунення потенційних небажаних наслідків, запропоновано додаткові важелі впливу, відображено невизначеності та подано запитання, які залишаються для подальшого дослідження. Підсумковий аналіз обмежено пропозиціями і чинниками, отриманими в результаті моделювання.

Таблиця 1

Підсумковий огляд запропонованих заходів екологізації інвестицій в енергозбереження в житлових і громадських будівлях

Запитання для тестування рекомендаційних заходів	Бажаний результат	Потенційні небажані наслідки	Додаткові важелі впливу	Невизначеності та приклади пов'язаних запитань
Рекомендація 1: інтегрувати показники соціоеколого-економічної ефективності в інструменти оцінювання і стимулювання ЕЗЗ				
1. Що дасть інтегрування показників соціоеколого-економічної ефективності в інструменти стимулювання енергозбереження в житлових і громадських будівлях?	<ul style="list-style-type: none"> • збільшення інвестицій в ЕЗЗ з найбільшою вигодою для інвестора, суспільства та довкілля 	<ul style="list-style-type: none"> • економія витрат енергії може викликати зростання його обсягів. За умов економічної й політичної нестабільності та відсутності довіри до органів влади різкого зростання інвестицій не відбудеться 	<ul style="list-style-type: none"> • цінове регулювання (підвищення цін на ПЕР зумовить зростання обсягу інвестицій); • державне стимулювання; • міжнародна фінансова й інформаційна підтримка 	<p>Як відреагує інвестор на збільшення вартості ПЕР?</p> <p>Якою має бути фінансова підтримка інвестування з боку держави?</p> <p>Чи цей захід буде стимулювати розвиток ринку енергосервісів і комерційних інвестицій?</p>
Рекомендація 2: інтегрувати показники соціоеколого-економічної ефективності в інструменти державного регулювання і контролю якості реалізації ЕЗЗ				
2. Що дасть інтегрування показників соціоеколого-економічної ефективності в інструменти державного регулювання та контролю якості реалізації ЕЗЗ?	<ul style="list-style-type: none"> • підвищиться якість ЕЗЗ; • зменшаться негативні впливи на довкілля та здоров'я людей; • посиляться енергозбереження; • продовжиться термін експлуатації будівель 	<ul style="list-style-type: none"> • збільшиться вартість ЕЗЗ і, як результат, зменшаться обсяги інвестування 	<ul style="list-style-type: none"> • технічний стан будівлі (чим гірший стан будівлі, тим вищі витрати на ЕЗЗ); • сертифікація робіт енергосервісних компаній 	<p>Як вплине екомаркування будівельних матеріалів та ЕЗЗ, виконане на основі оцінки життєвого циклу?</p> <p>Як вплине сертифікація робіт енергосервісних компаній?</p>

Запитання для тестування рекомендаційних заходів	Бажаний результат	Потенційні небажані наслідки	Додаткові важелі впливу	Невизначеності та приклади пов'язаних запитань
Рекомендація 3: забезпечити навчання та інформування стейкхолдерів				
3. Що дасть навчання та інформування стейкхолдерів?	<ul style="list-style-type: none"> • покращиться якість і збільшиться кількість впроваджених ЕЗЗ; • зменшиться вплив на довкілля та здоров'я людей; • продовжиться термін експлуатації будівлі 	<ul style="list-style-type: none"> • якщо навчання і поширена інформація будуть неякісними, то результат буде протилежний до бажаного 	<ul style="list-style-type: none"> • міжнародна допомога (тренінги, обмін досвідом); • державне стимулювання (інформаційні кампанії для населення та навчання виконавців робіт) 	Як підвищити якість навчання і поширеної інформації?
Рекомендація 4: удосконалити систему енергетичного обліку, норм енергоспоживання та викидів парникових газів				
4. Що дасть удосконалення системи енергетичного обліку, норм енергоспоживання і викидів парникових газів?	<ul style="list-style-type: none"> • зменшення ризиків; • збільшення обсягів інвестування; • покращення ефективності системи енергоменеджменту; • зменшення енергоспоживання та викидів парникових газів 	<ul style="list-style-type: none"> • неправильне встановлення норм може спричинити зростання енергоспоживання 	<ul style="list-style-type: none"> • державне регулювання (встановлення норм і контроль за їх виконанням); • оцінка технічного стану будівлі (від неї залежать норми енергоспоживання); • вартість енергоспоживання (баланс енергоспоживання у разі неправильного встановлення норм) 	Чи допоможе онлайн-база даних про будівлі з відображенням обсягів споживання та сертифіката будівлі збільшити обсяги і підвищити ефективність приватних інвестицій?

Джерело: розроблено автором.

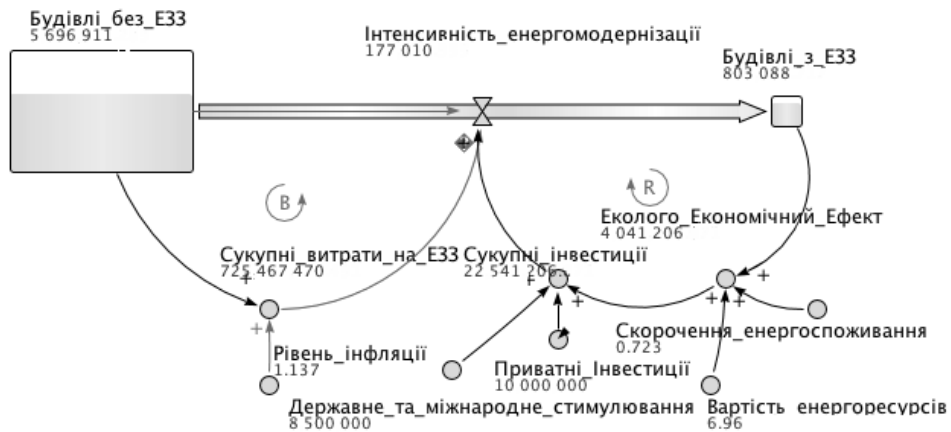
Як видно з результатів дослідження, існують численні важелі впливу та можливі шляхи, якими політика енергозбереження може посприяти стимулюванню екологізації ЕЗЗ з найбільшою вигодою для інвестора, суспільства і довкілля. Існує великий потенціал для розробки ефективних та послідовних пакетів пропозицій для впровадження ЕЗЗ. З іншого боку, процес одночасного здійснення численних змін потребує системного підходу до визначення пріоритетів.

Щоб підтвердити достовірність побудованої ПНД, ми застосували ще один інструмент системної динаміки, а саме потокову діаграму (Bennich et al., 2018). Запропонована потокова діаграма базується на припущенні, що основним показником дієвості механізму стимулювання енергозбереження в будівлях є кількість будівель, в яких впроваджено ЕЗЗ упродовж року. Відповідно було визначено ще 11 елементів, які важливі для адекватності моделі. Багато інших аспектів спрощено і не відображено, але вони є у причинно-наслідковій моделі.

Розроблена ПД складається з двох накопичувачів (будівлі без ЕЗЗ та будівлі з ЕЗЗ), потоку (кількість будівель, в яких впроваджено ЕЗЗ упродовж року) й восьми параметрів (динамічних і констант). За рахунок взаємодії всіх цих елементів утворюються два причинно-наслідкових зворотних зв'язки: балансуєчий та підсилюючий (рис. 2). Для апробації моделі були використані дані Міністерства регіонального розвитку будівництва і житлово-комунального господарства України (Мінрегіон, 2016).

Рисунок 2

Потокова діаграма процесу інвестування в енергозбереження на прикладі приватних будівель (розроблено автором)

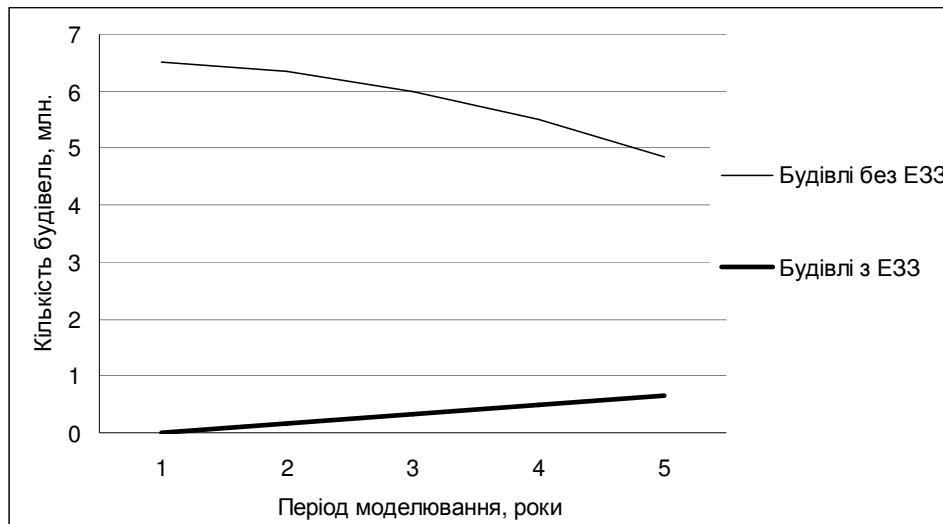


Згідно з припущенням, на якому базується модель, найбільший прямиий вплив на кількість будівель, в яких впроваджено ЕЗЗ, мають такі змінні, як обсяг приватних інвестицій, державне та міжнародне стимулювання, еколого-економічний ефект від скорочення енергоспоживання і вартість заходів енергозбереження.

Результати тестування побудованої ПД (рис. 3) підтверджують коректність основних гіпотез щодо функціонування механізму стимулювання ЕЗЗ. Змодельовані за допомогою ПНД (рис. 1) тенденції розвитку процесів відповідають економічним реаліям.

Рисунок 3

**Результати тестування моделі процесу інвестування
в енергозбереження на прикладі приватних будівель**



Висновки з проведеного дослідження

На сьогодні ми перебуваємо на початковому етапі процесу формування системи стимулювання та контролю якості енергомодернізації, що дає можливість удосконалити механізм екологізації інвестування в енергозбереження в будівлях так, щоб отримати максимальну економічну вигоду з мінімальними впливами на довкілля.

Засобами системної динаміки було змодельовано механізм стимулювання інвестицій в енергозбереження в житлових і громадських будівлях з урахуванням оцінки їхньої еколого-економічної ефективності. Побудовані моделі підтвердили необхідність використання багатокритеріальної оцінки ЕЗЗ та дали змогу перевірити запропоновані рекомендації щодо їх екологізації впровадження.

З метою збільшення позитивного впливу на навколишнє середовище і здоров'я людей від здійсненої енергомодернізації запропоновано інтегрувати показники соціоеколого-економічної ефективності в інструменти стимулювання енергозбереження в житлових та громадських будівлях. Зокрема, слід надавати від державних, муніципальних чи міжнародних фондів відшкодування інвестиційних витрат тільки на ті проекти, які були визначені оптимальними згідно з екологічним, економічним, соціальним та технічним критеріями за допомогою багатокритеріального аналізу оцінювання ефективності ЕЕЗ. Крім того, необхідним є інтегрування показників соціоеколого-економічної ефективності в інструменти державного регулювання та контролю якості реалізації ЕЗЗ. Визначено основні напрями стимулювання енергозбереження, що передбачають: забезпечення безперервного навчання і поширення знань для всіх ключових учасників галузі; підвищення обізнаності громадськості щодо зменшення негативних впливів на навколишнє середовище завдяки скороченню енергоспоживання. Для покращення ефективності системи енергоменеджменту та зменшення енергоспоживання і викидів парникових газів рекомендовано вдосконалення системи енергетичного обліку, норм енергоспоживання та викидів парникових газів.

Застосування запропонованих рекомендацій дасть змогу стимулювати інвестування в дружню для довкілля термомодернізацію, наблизивши нас до вирішення основних проблем, які постають перед світовою спільнотою: досягнення цілей сталого розвитку і зменшення кліматичної нестабільності.

Список використаної літератури

1. Волков, В. П. (2014). Проблеми енергозбереження в житловому фонді. Економічний вісник ДВНЗ Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди, 83–90.
2. Суходоля, О. М. (2015). Стратегічне управління в енергетичній сфері: проблеми та пріоритети вдосконалення. Стратегічні пріоритети, 1, 104–112.
3. Денисюк, С. П. (2013). Особливості реалізації політики енергоефективності – пріоритети України. Енергетика, 7, 7–20.
4. Коpecь, Г. Р. (2009). Застосування механізмів фінансового посередництва при впровадженні проектів з енергозбереження та енергоефективності, 95–97.
5. Мінрегіон. Концепція Фонду енергоефективності (2016).
6. Сментина, Н. В. (2016). Державне регулювання енергоефективності в Україні: можливості для населення. Науковий вісник Одеського національного економічного університету. Науки: економіка, політологія, історія, 9, 135–146.
7. Соколовська, З. М. & Клепікова, О. А. (2015). Прикладні моделі системної динаміки. Одеса: Астропринт.
8. Таукешева, Т. Д. (2015). Механізми реалізації державної політики у сфері енергоефективності та енергозбереження.
9. Тітяєв, В. І. & Гетало, Н. С. (2012). Механізм активізації інвестиційної привабливості енергозбереження у житлово-комунальній сфері. Комунальне господарство міст УДК, 106, 111–123.
10. Тормосов, Р. Ю. (2010). Комплексний аналіз джерел фінансування муніципальних енергетичних інвестиційних проектів у сфері виробництва, транспортування та постачання теплової енергії. Ефективна економіка, 11. Salvestatud <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=397>.
11. Фарина, О. І. (2014). Моделювання монетарного сектору України методами системної динаміки. Економічний вісник університету. Збірник наукових праць, № 23/(1), 156–163.
12. Федорук, М. І. (2016). Доповнення Комплексної стратегії розвитку Львова 2012–2025 рр. та Програми сталого енергетичного розвитку м. Львова до 2020 року. Львів.

13. Чевганова, В. Я. & Петрова, А. О. (2014). Фінансування проектів з енергозбереження шляхом використання схем лізингових операцій: вітчизняний та закордонний досвід. *Ефективна економіка*, 11. Salvestatud <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3545>.
14. Bennich, T., Belyazid, S., Kopainsky, B. & Diemer, A. (2018). The bio-based economy: Dynamics governing transition pathways in the Swedish forestry sector. *Sustainability (Switzerland)*, 10 (4). <https://doi.org/10.3390/su10040976>.
15. Forrester, J. (1971). Counterintuitive behavior of social systems. *Technology Review*, 73 (3), 52–68.
16. Forrester, J. W. (1992). Policies, decisions and information sources for modeling. *European Journal of Operational Research*, 59 (1), 42–63.
17. GIZ (2010). Державна підтримка заходів із підвищення енергетичної ефективності у будівлях. Київ.
18. Holtz, G., Alkemade, F., De Haan, F., Kцhler, J., Trutnevte, E., Luthe, T., Ruutu, S. (2015). Prospects of modelling societal transitions: Position paper of an emerging community. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 17, 41–58. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.05.006>.
19. Lane, D. C. (2008). The emergence and use of diagramming in system dynamics: A critical account. *Syst. Res. Behav. Sci.*, 25 (3–23).
20. Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems. A Primer*. London: Earthscan.
21. Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. & Behrens, W. W. (1972). *The limits to growth*. New York: Universe books.
22. Stave, K. A. & Kopainsky, B. (2015). A system dynamics approach for examining mechanisms and pathways of food supply vulnerability. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 5 (3), 321–336.
23. Sterman, J. D. (2000). *Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Management (Kd 6). New York: McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1108/13673270210417646>.
24. Van den Belt, M., Kenyan, J. R., Krueger, E., Maynard, A., Roy, M. G., Raphael, I. (2010). Public sector administration of ecological economics systems using mediated modeling. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1185, 196–210.
25. Videira, N., Schneider, F., Sekulova, F. & Kallis, G. (2014). Improving understanding on degrowth pathways: An exploratory study using collaborative causal models. *Futures*, 55 (58–77).