

АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОФІСНИХ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНІ ДО РІВНЯ NZEB

В. І. Дешко, доктор технічних наук, професор

І. Ю. Білоус, кандидат технічних наук, доцент

Н. А. Буяк, кандидат технічних наук, старший викладач

О. С. Наумчук, аспірант

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»*

E-mail: lenanaumchuk13@gmail.com

Анотація. Проаналізовано шляхи модернізації офісної будівлі в м. Київ, що використовує природний газ для опалення, до рівня будівлі, що використовує енергію, вироблену відновлювальними джерелами (біомаса). Авторами проведено оцінку потенціалу біомаси в Україні, логістичних шляхів для забезпечення безперебійного постачання та вартості відновлювальних ресурсів. Оцінювання необхідних інвестицій переходу з джерела енергії на опалення, що працює на природному газі, на джерело енергії, що працює на біомасі (лушпиння соняшника) наведено зміною інтегральної вартості витрат на опалення для трьох варіантів теплового захисту будівлі: неутеплена (існуюча) будівля; будівля, рівень теплового захисту якої відповідає вимогам України; будівля, рівень теплового захисту якої відповідає вимогам Швеції. Зокрема, авторами визначено, що інтегральна вартість витрат на опалення при використанні котла на пелетах з лушпиння соняшника без покращення теплоізоляції огорожувальних конструкцій будівлі, що розглядається, є значно нижчою, ніж при використанні природного газу як енергоносія для виробництва теплової енергії, а початкова вартість утепленої будівлі до вимог України та вимог Швеції при використанні котла на природному газі є значно вища, ніж неутепленої будівлі з котлом на біомасі. Отримані результати свідчать про наявні перспективи масштабування будівель з майже нульовим споживанням енергії в Україні, зважаючи на потенціал розвитку біомаси та значно меншу вартість одиниці енергії біомаси, порівняно з природним газом.

Ключові слова: *енергоефективність, nZEB, енергонезалежна будівля, відновлювальні джерела енергії, біомаса*

Актуальність. У період сталої тенденції обмеження природних ресурсів для забезпечення комфортного життя та найбільшої енергетичної кризи в історії України використання альтернативних джерел енергії для забезпечення своїх потреб є як ніколи актуальним. Разом з тим, враховуючи масовані ракетні удари по

енергетичній структурі України, незалежність будинку від централізованих систем постачання енергії виглядає дуже вагомою перспективою. Враховуючи необхідність розвитку будівельного сектору та енергетики, забезпечення високоенергоефективних будівель для громадськості є однією з ключових цілей плану післявоєнного розвитку України. Проект Green Deal, план REPowerEU вимагають рішучих дій щодо впровадження технологій виробництва чистої енергії та масштабування висоенергоефективних будівель та будівель з майже нульовим споживанням енергії в Україні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відповідно до статті 2 Директиви про енергетичну ефективність будівель [1], будівля з майже нульовим енергоспоживанням (nearly zero-energy building) означає будівлю, яка має дуже високу енергетичну ефективність, а необхідна кількість енергії повинна покриватися в дуже значній мірі за рахунок енергії з відновлюваних джерел джерела, включаючи енергію з відновлюваних джерел, вироблену на місці або поблизу.

Інтеграція України до Європейського Союзу, зокрема у будівельному та енергетичному секторі, означає зобов'язання виконувати Україною встановлених у ЄС норм та політик, що було ратифіковано підписанням Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони [2] у 2014 році. Відповідно до плану заходів з виконання [2], Міністерство розвитку громад та територій України та Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження зобов'язали встановити вимоги до будівель з майже нульовим споживанням енергії в Україні до 23 липня 2020 року (стаття 338, додаток XXVII [1]). Нині, у зв'язку з порушенням термінів виконання Плану [2], створено Проєкт наказу Мінрегіону "Про затвердження Вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії", що покладає початок розвитку будівництва енергоефективних будівель, споживання енергії якими близьке до нуля. Підтвердженню рішучих кроків щодо масштабування будівель з майже нульовим споживанням енергії в Україні є схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення

кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та затвердження Національного плану збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії. Узагальнено, мета вищезгаданої Концепції направлена на зниження загального показника постачання первинної енергії та викидів двоокису вуглецю в атмосферу, що корелюється з однією з основних задач та цілей Директиви Європейського Союзу про енергетичну ефективність [3] та Глобальних цілей сталого світового розвитку.

З метою оцінки перспектив та можливостей реалізації будівель з майже нульовим споживанням енергії у частині забезпечення використання енергії з відновлювальних джерел, Проєкт наказу Мінрегіону "Про затвердження Вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії" у пункті 3 трактує поняття «енергії, виробленої з відновлюваних джерел», в тому числі, як енергію біомаси (окрім деревини). Це означає, що використання низьковуглецевого, невикопного палива для опалення та охолодження будівлі за умови високої енергетичної ефективності такої будівлі – реальний крок до «енергонезалежної будівлі», а масштабування подібних будівель – крок до енергонезалежного будівельного сектору.

Метою дослідження є аналіз шляхів модернізації офісних будівель в Україні до рівня енергонезалежної будівлі, що використовує енергію, вироблену з відновлювальних джерел.

Матеріали та методи дослідження. У процесі виконання роботи були використані порівняльний метод, метод синтезу та аналогії, моделювання споживання енергії та інтегральних витрат в системі будівля – джерело енергії.

Практична цінність роботи полягає у представленні можливостей для масштабування енергонезалежних та/або будівель з майже нульовим споживанням енергії у будівельному секторі з оцінюванням необхідних інвестицій та визначенням економічної привабливості.

Результати досліджень та їх обговорення. З початку повномасштабного російського вторгнення в Україні знищено близько 80 тисяч будівель (дані липня 2022 року) [4], в тому числі – громадських, освітніх та медичних закладів. З метою

відновлення України від наслідків війни та забезпечення сталого розвитку економіки, а також визначення основних завдань для відновлення економіки на найближчі роки, указом Президента України № 266/2022 від 21 квітня 2022 року затверджено Положення про Національну раду з відновлення України від наслідків війни [5]. Національна рада з відновлення України опікуватиметься питаннями, що стосуються, зокрема, енергетичної безпеки, відновлення та розбудови інфраструктури, будівництва та екологічної безпеки. Відповідно до проєкту Матеріалів робочої групи «Будівництво, містобудування, модернізація міст та регіонів України» Національної ради з відновлення України від наслідків війни [6] для посилення енергетичної незалежності через зниження енергоємності сектору житлових і громадських будівель у енергоефективний спосіб робочою групою поставлено три етапні цілі задля досягнення підвищення енергоефективності в секторі будівель на 35 %.

З метою забезпечення енергетичної безпеки та розвитку економіки, для підвищення енергоефективності в секторі будівель відповідно з [6] необхідно забезпечити заміщення 22 % природного газу відновлювальними джерелами енергії в системах індивідуального та автономного опалення будівель та встановити обов'язковості виконання вимог NZEB при новому будівництві всіх громадських будівель публічної власності до жовтня та грудня 2025 року відповідно.

Обмеженість управління виробничими потужностями щодо забезпечення природним газом виробників тепла та населення з одного боку, та необхідність забезпечення сталого економічного боку з іншого, використання заміщеного палива для обігрівання будівель, зокрема, стає як ніколи актуальним. Разом з тим, одним із завдань Плану заходів з реалізації у 2021 – 2023 роках Національного плану дій з енергоефективності на період до 2030 [7] року є «стимулювання запровадження новітніх технологій, що зменшують споживання енергії і викопного палива та призводять до скорочення викидів парникових», що може означати, в тому числі, зростаючу динаміку використання біопалива (що є відновлювальним джерелом енергії) для побутових та непобутових споживачів.

Можливості заміщення природного газу біомасою для опалення офісних будівель в Україні з підвищенням її енергетичної ефективності до рівня nZEB розглядаються на прикладі офісної будівлі в місті Київ. Вплив теплового захисту показано у роботі [8], проте питання заміни джерела енергії не розглядалось. Робота [8] представлена техніко – економічною оцінкою підвищення теплового захисту офісної будівлі від існуючого стану (неутеплена будівля з постійним графіком роботи системи опалення та вентиляції) до рівня вимог України та європейських вимог енергетичної ефективності будівель (на прикладі Швеції). Для забезпечення майже нульового споживання енергії будівлею, що розглядається в [8], в цій роботі розглянуто можливість спалювання біомаси для опалення будівлі кожного з вищевказаних варіантів та проведено аналіз заміщення природного газу біомасою.

За даними Біоенергетичної асоціації України [9], в 2020 році біомаса замістила близько 5,2 млрд куб. м природного газу. Голова правління Біоенергетичної асоціації України стверджує, що потенціал біомаси в Україні є досить вагомим, а найбільшим ресурсом в Україні називає залишки сільськогосподарського виробництва на зразок соломи, лушпиння соняшника та стебел рослин [9]. Дослідження біоенергетичного потенціалу України, здійснене Національним інститутом стратегічних досліджень свідчить про те, що Українська енергетика не використовує потенціал агросектору та переробної промисловості в достатній мірі [10]. Для прикладу, в 2020 році частка біомаси у виробництві теплової енергії становила близько 5 % [10], у той час, коли в Швеції для отримання теплової енергії частка біомаси в енергетичному балансі становила 60 %, Австрії – 31 %, Фінляндії – 27 %, Латвії – 15 %. Відповідно до цілей, поставлених Вектором економічного розвитку, частка біомаси у виробництві теплової енергії має бути збільшена до 2030 року до 30 % [11]. Україна, основну частку експорту якої складає продукція агропромислового та харчового сектору, має безліч можливостей для розвитку відновлювальних видів палива як з використанням власне продукції, так і її відходів при забезпеченні розширення площ під вирощування енергетичних культур та використанні відходів рослинництва для вироблення біоенергії [10].

Загалом, за оцінками Біоенергетичної асоціації України [9], потенціал використання біомаси різного виду в енергетиці (при вирощуванні енергетичних культур на 1 млн. га незадіяних сільськогосподарських земель) розподіляється наступним чином (таблиця 1).

1. Теоретичний потенціал використання біомаси різного виду в енергетиці

Біомаса	Теоретичний потенціал біомаси	
	млн. т н.е.	% у балансі потенціалу
<i>залишки сільськогосподарського виробництва</i>	9,02	43
<i>енергетичні культури</i>	7,45	36
<i>деревна біомаса</i>	2,58	12
<i>біодизель</i>	0,16	1
<i>біоетанол</i>	0,66	3
<i>біогаз</i>	1,05	5

Таким чином, потенціал біомаси для енергетики може становити до 20 млн. т н.е., раціональне використання якого визначається логістичними можливостями узгодження розташування джерел, переробки біомаси та її споживачів.

Відповідно до даних Укрстату, загальна площа офісних будівель, на початок будівництва протягом 2018 – 2021 років, складає 1 520 090 м². Огляд національного фонду будівель наводить величину питомого теплоспоживання офісними приміщеннями – 204 кВт·год/м² (середнє значення). Виходячи з цього, можна говорити, що деяка частка офісних будівель (без урахування даних будівельного фонду радянських часів та періоду 1991 – 2017 років) споживає 310 ГВт·год теплової енергії або 26,7 тис. т н.е. Враховуючи ці обставини, можна зробити висновок щодо достатнього енергетичного потенціалу для розгляду заміщення природного газу для виробництва теплової енергії біомасою для офісних будівель України.

Перспективу заміни природного газу біомасою сільськогосподарського виробництва для будівлі, що розглядається [8], оцінюємо з огляду на доступність біомаси, її фізико – технічні параметри та логістику (таблиця 2).

2. Порівняння доступності, фізико – технічних характеристик та розташування виробництва потужності різних видів палива

Вид палива	Області найбільшої врожайності (дані 2019 року)	Вартість одиниці палива на січень 2023р., грн/кг, [грн/м3]	Теплота згорання палива, МДж/кг, [МДж/м3]	Обласні центри виробничих потужностей паливних пелет
Природний газ	-	[43,22]	[34,528]	-
Солома зернових культур	Вінницька, Полтавська, Черкаська, Харківська	10,2	15	Житомир, Дніпро, Чернівці, Вінниця
Лушпиння соняшника	Рівненська, Черкаська,	4,8	19,2	Дніпро, Київ, Вінниця, Черкаси
Стебла рослин (соняшник)	Вінницька, Київська, Сумська	7,5	16	
Стебла рослин (кукурудза)	Полтавській, Черкаська, Кіровоградська	5,4	16,7	Дніпро, Вінниця
Солома ріпаку	Одеська, Миколаївська, Дніпропетровська, Херсонська, Житомирська	5,6	16	Житомир

Відповідно до даних таблиці 2, техніко – економічну оцінку заміщення природного газу біомасою проводитимемо для лушпиння соняшника у зв'язку з найвищою теплою згорання палива серед розглянутих, найбільш доступною вартістю одиниці продукції, близькістю до основних центрів потужності виробництва паливних пелет (а отже, менших витратах на логістику) та високою врожайністю культури в Київській області. Так, в результаті було розраховано витрату палива для енергоспоживання будівлі відповідно до кожного варіанту роботи інженерних систем та рівня її теплового захисту за [8].

Для проведення економічного аналізу заміни котла з такого, що працює на природному газі, на такий, що працює на біомасі та для порівняння річних витрат на забезпечення необхідної теплової потужності будівлі, варіант теплового захисту будівлі «існуюча ситуація» розглядаємо як без заміни існуючого котла, так і з заміною на котел на біомасі (таблиця 3).

3. Техніко – економічні показники котлів, що працюють на природному газі та біомасі у відповідності до варіантів теплового захисту будівлі

Тепловий захист будівлі/ енергоносіїв	Теплове навантаження, Q, МВт	ККД котла	Витрата палива, т/год, [м³/год]	Вартість, тис. грн			Вартість палива, тис. грн/т, [тис. грн/тис.м³]
				складу для палива	котла	системи очистки димових газів	
Існуюча ситуація/ природний газ	0,411	0,91	[47,16]	-	-	-	[43,22]
Існуюча ситуація/ пелети лушпиння соняшника	0,411	0,92	0,082	284,0	528,5	66,7	4,8
Теплова оболонка будівлі покращена до вимог України/ пелети лушпиння соняшника	0,107	0,91	0,020		280,0	65,0	4,8
Теплова оболонка будівлі покращена до вимог Швеції/ пелети лушпиння соняшника	0,084	0,92	0,016		192,3	65,0	4,8

Повний аналіз річних витрат на підтримку необхідної величини енергоспоживання при використанні того чи іншого енергоносія неможливий без проведеного аналізу динаміки тарифів на обраний теплоносіїв. Для офісної будівлі зміна тарифів на природний газ та пелети лушпиння соняшника досліджувалась як для не побутового споживача. Відповідно до динаміки тарифів на природний газ [12] та пелети [13], [14] було досліджено вартість одиниці енергії кожного з енергоносіїв для опалювальних періодів з 2017 по 2023 роки. Вартість кВт·год енергії протягом 2017 – 2023 років при використанні природного газу та пелет з лушпиння соняшника як енергоносія, наведено на рисунку 1.

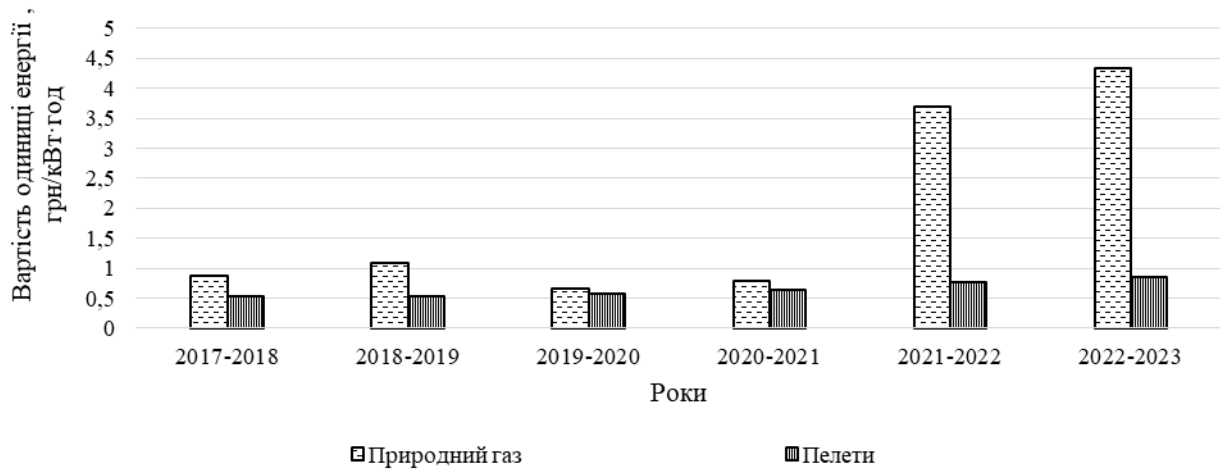


Рис. 1. Вартість одиниці енергії (кВт·год), отриманої при спалюванні природного газу та пелет з лушпиння соняшника

Як видно з рис. 1, починаючи з 2018 року, можливості переходу на відновлювальне джерело енергії, яким є біомаса, мало сенс з економічної точки зору у зв'язку зі значно меншою вартістю одиниці енергії, проте для повного розуміння рівня витрат на утримання джерела енергії на біомасі, необхідне проведення оцінки зміни в часі інтегральної вартості витрат на опалення [15], розрахованої за формулою:

$$B = \sum_{t=0}^n \frac{B_t^{\text{експл}}}{(1+E)^t} + \sum_{t=0}^n B_t^{\text{енерг}} \cdot \frac{(1+l \cdot t)}{(1+E)^t} + I_0 + I_{\text{із}} + I_{\text{со}},$$

де $B_t^{\text{енерг}}$ – річні затрати за спожиті енергоносії, грн; $B_t^{\text{експл}}$ – інші затрати, грн; I_0 – капітальні затрати на придбання теплогенеруючого обладнання, грн; $I_{\text{із}}$ – витрати, спрямовані на покращення теплового захисту будівлі, грн; $I_{\text{со}}$ – витрати на придбання приладів опалення, грн; l – коефіцієнт, що враховує приріст цін на енергоносії; n – час, для якого визначаються інтегральні дисконтовані витрати, роки; E – ставка дисконтування.

Для кожного з представлених варіантів теплового захисту та використаного для опалення енергоносія розраховано параметри, необхідні для знаходження інтегральної вартості (таблиця 4).

4. Річні витрати на забезпечення необхідного енергоспоживання для різних рівнів теплового захисту будівлі та різних енергоносіїв (вартість палива розрахована як середня вартість енергоносіїв у 2022 році)

Тепловий захист будівлі/енергоносіїв	Річні витрати, тис. грн			
	за спожиту енергію, Вен	на покращення теплового захисту будівлі Ііз	за придбане теплогенеруюче обладнання, Іо	на інші затрати, В експл
Існуюча ситуація/природний газ	8 783,8	-	-	45,6
Існуюча ситуація/пелети лушпиння соняшника	1 735,2	-	879,2	1 665,7
Теплова оболонка будівлі покращена до вимог України/пелети лушпиння соняшника	458,2	3 329,0	629,0	586,1
Теплова оболонка будівлі покращена до вимог Швеції/пелети лушпиння соняшника	356,4	5 069,6	541,3	376,1

У першому наближенні, зміну інтегральної вартості для кожного варіанту роботи інженерних систем будівлі та рівня її теплового захисту [8] з урахуванням даних таблиці 4 виконуємо без урахування економічних показників (І, Е). Зміну інтегральної вартості для вищевказаних умов представлено на рисунку 2.

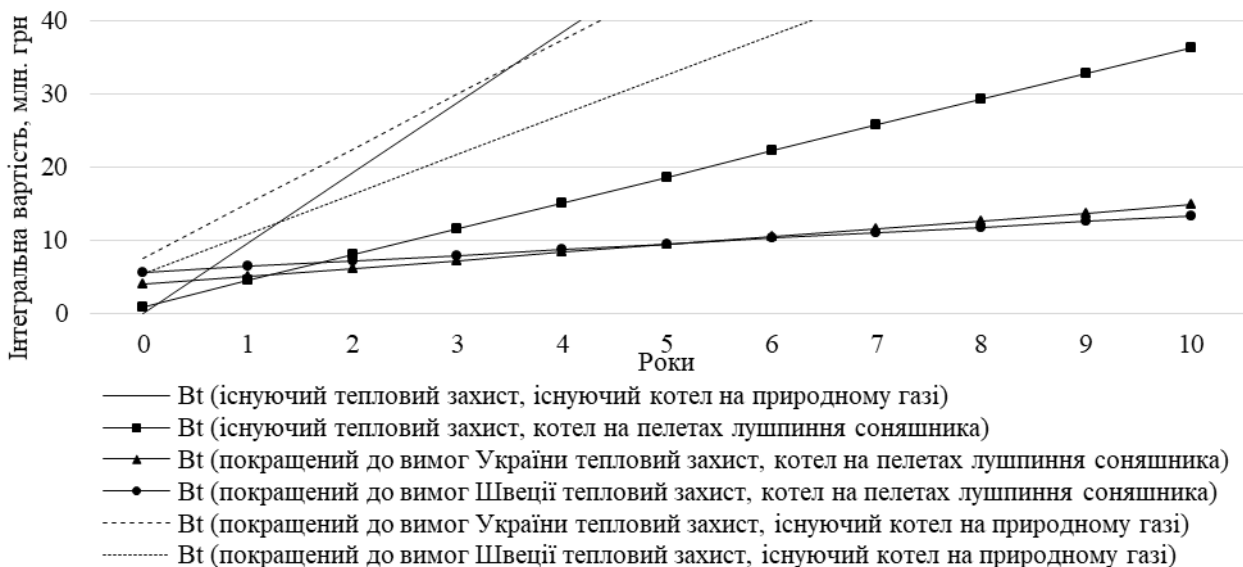


Рис. 2. Зміна інтегральної вартості для існуючого теплового захисту будівлі при використанні діючого котла, існуючого теплового захисту будівлі при заміні діючого котла на пелетний, покращення теплового захисту будівлі до вимог України та Швеції без заміни існуючого котла на природному газі та із заміною існуючого котла на пелетний

Як видно з рисунку 2, покращення теплового захисту будівлі до вимог Швеції та вимог України при використанні котла на природному газі для виробництва теплоти є ефективним з економічної точки зору, адже термін окупності утеплення без заміни джерела теплоти становлять відповідно 1,3 роки та 3,5 роки. Разом з тим, інтегральна вартість витрат на опалення при використанні котла на пелетах з лушпиння соняшника без покращення теплоізоляції огорожувальних конструкцій будівлі, що розглядається, є значно нижчою, ніж при використанні природного газу як енергоносія для виробництва теплової енергії. Зокрема, початкова вартість утепленої будівлі до вимог України та вимог Швеції при використанні котла на природному газі є значно вища, ніж неутепленої будівлі з котлом на біомасі. Точка перетину ліній «покращений до вимог України тепловий захист, котел на пелетах лушпиння соняшника» та «покращений до вимог Швеції тепловий захист, котел на пелетах лушпиння соняшника» могла б свідчити про достатню ефективність теплоізоляції згідно норм України в розрізі порівняння з європейськими нормами щодо енергетичної ефективності будівлі, проте вартість витрат на опалення при покращенні теплового захисту будівлі до вимог України після 5 років експлуатації будівлі є вищою, порівняно з рівнем теплового захисту будівлі, що вимагає Швеція. Варто також зазначити, що підвищення теплового захисту будівлі до рівня вимог Швеції дає змогу обрати котел меншої потужності, ніж при утепленні будівлі до вимог України – термін окупності покращення теплоізоляційної оболонки до вимог Швеції та котла на лушпинні соняшника становить близько 5 років порівняно з утепленням будівлі до вимог України та використанні котла на лушпинні соняшника. Зокрема, власне утеплення будівлі можна розглядати з точки зору її економічної привабливості і в тому числі, виходячи з терміну окупності утеплених до вимог України та Швеції будівель з котлом на біомасі, порівняно з неутепленою будівлею та котлом на біомасі – близько одного та двох років відповідно.

Висновки та перспективи. Проведено аналіз доцільності заміни джерела енергії на опалення високоенергоефективної громадської будівлі у місті Київ до рівня будівлі, що використовує енергію, вироблену відновлювальними джерелами.

Отримані результати свідчать про наявні перспективи масштабування будівель з майже нульовим споживанням енергії в Україні, зважаючи на потенціал розвитку біомаси та значно меншу вартість одиниці енергії біомаси, порівняно з природним газом. При високому рівні теплового захисту будівлі (вище вимог України) та при задоволенні потреб в енергії шляхом використання відновлювальних джерел (біомаса) отримаємо енергонезалежну будівлю. Приведені розрахунки враховують витрати для переходу з природного газу на пелети лушпиння соняшника, розглянутий варіант будівлі є одним із варіантів організації такого переходу за рахунок автономної котельні, де можна розмістити необхідне обладнання для забезпечення спалювання біомаси будь – якого виду. Враховуючи технічні характеристики сільськогосподарських відходів, що являють собою біомасу, проведено аналіз можливостей для заміщення природного газу біомасою.

Зважаючи на складну ситуацію на ринку природного газу в Україні, динаміку зміни вартості енергоносіїв з часом, питання підвищення енергоефективності будівлі, що розглядається, до рівня nZEB, враховуючи витрати енергії на гаряче водопостачання та охолодження, буде проведено у подальшому дослідженні.

Список використаних джерел

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast): European Union directive. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583922805643&uri=CELEX:02010L0031-20181224>.
2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони : Угода між Україною та Європейським Союзом про асоціацію від 21.03.2014 р. № 984_011. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011/ed20140321#Text.
3. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC : European Union directive of 25.10.2012. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>.
4. Від 24 лютого Росія знищила близько 80 тисяч будівель в Україні. *Lviv Media*. URL: <https://lviv.media/viyna/38765-vid-24-liutoho-rosiia-znyshchyla-blyzko-80-tysiach-budivel-v-ukraini/>.

5. Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни : Указ президента України від 21.04.2022 р. № №266/2022. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225>.

6. Проект Плану відновлення України. Національна рада з відновлення України від наслідків війни, 2022. 350 с. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/construction-urban-planning-modernization-of-cities-and-regions.pdf>.

7. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2021 р. № 1803-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-p#Text>.

8. Дешко В. І., Буяк Н. А., Білоус І. Ю., Наумчук О. С. Економічна оцінка підвищення теплового захисту громадських будівель до сучасних європейських вимог. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. № 2. С. 7–18. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/261277>.

9. Теплова альтернатива: біомаса поступово заміщує природний газ. Українська енергетика. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/naturalna-alternatyva-biomasapostupovo-zamishchuie-prirodnyi-haz>.

10. Біоенергетичний потенціал аграрного сектору і промисловості - джерело енергетичної стійкості України. Національний інститут стратегічних досліджень. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/bioenerhetychnyy-potentsial-aharnoho-sektoru-i-promyslovosti-dzherelo>.

11. Дорожня карта розвитку біоенергетики в Україні до 2050 року і План дій до 2025 року. UABIO. URL: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/Dorozhnyakarta-rozvytku-bioenergetyky-v-Ukrayini-do-2050-roku-i-Plan-dij-do-2025.pdf>.

12. Тарифні плани. Нафтогаз. Газопостачальна компанія. URL: <https://gas.ua/uk/business/tariffs>.

13. Пелети з лущиння соняшнику. Закупівлі – Clarity Project. URL: <https://clarity-project.info/tender/fc4c0c1a32274d43801becc9200a3695>.

14. Соняшникова гранула. Пелета паливна з лущиння соняшника. AgroFlyer-Доска об'явлених агробізнеса. URL: <https://agroflyer.com/ru/sonashnikova-granula-peleta-palivna-z-lushpinna-sonashnika-3407.html>.

15. Буяк Н. А. Оцінювання ефективності енергетичної системи будівлі в умовах теплового комфорту : дис. канд. техн. наук : 05.14.01. Київ, 2017. 214 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/21402/1/aref_Buiak.pdf.

References

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) : European Union directive. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583922805643&uri=CELEX:02010L0031-20181224>.

2. Uhoda pro asotsiatsiyu mizh Ukrayinoyu, z odniyeyi storony, ta Yevropeys'kym Soyuzom, Yevropeys'kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony : Uhoda mizh Ukrayinoyu ta Yevropeys'kym Soyuzom pro asotsiatsiyu № 984_011. 2014 [Association Agreement between Ukraine, on the one hand,

and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, on the other hand: Association Agreement between Ukraine and the European Union dated March 21, 2014, No. 984_011] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011/ed20140321#Text.

3. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC : European Union directive of 25.10.2012. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>.

4. Vid 24 lyutoho Rosiya znyshchyla blyz'ko 80 tysyach budivel' v Ukrayini [Since February 24, Russia has destroyed about 80,000 buildings in Ukraine]. Lviv Media. URL: <https://lviv.media/viyna/38765-vid-24-lyutoho-rosiia-znyshchyla-blyzko-80-tysiach-budivel-v-ukraini/>.

5. Pytannya Natsional'noyi rady z vidnovlennya Ukrayiny vid naslidkiv viyny [The issue of the National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War]: Ukaz prezidenta Ukrayiny № №266/2022. 2022. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225>.

6. Proekt Planu vidnovlennya Ukrayiny [Project of the Recovery Plan of Ukraine]. Natsional'na rada z vidnovlennya Ukrayiny vid naslidkiv viyny. 2022. 350 p. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/construction-urban-planning-modernization-of-cities-and-regions.pdf>

7. Pro Natsional'nyy plan diy z enerhoefektyvnosti na period do 2030 roku {[About the National Energy Efficiency Action Plan for the period up to 2030]: Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny № 1803-r. 2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-r#Text>.

8. Deshko V. I., Buyak N. A., Bilous I. Yu., Naumchuk O. S. (2022). Ekonomichna otsinka pidvyshchennya teplovoho zakhystu hromads'kykh budivel' do suchasnykh yevropeys'kykh vymoh [Economic assessment of improving the thermal protection of public buildings to modern European requirements]. Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiya, ekolohiya, 2, 7–18. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/261277>.

9. Teplova al'ternatyva: biomasa postupovo zamishchuye pryrodnyy haz. [Thermal alternative: biomass is gradually replacing natural gas]. Ukrayins'ka enerhetyka. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/naturalna-alternatyva-biomasa-postupovo-zamishchuie-pryrodnyi-haz>.

10. Bioenerhetychnyy potentsial ahrarynoho sektoru i promyslovosti - dzherelo enerhetychnoyi stiykosti Ukrayiny [Bioenergy potential of the agricultural sector and industry is a source of energy sustainability of Ukraine]. Natsional'nyy instytut stratehichnykh doslidzhen'. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentariiekspertiv/bioenerhetychnyy-potentsial-ahrarynoho-sektoru-i-promyslovosti-dzherelo>.

11. Dorozhnya karta rozvytku bioenerhetyky v Ukrayini do 2050 roku i Plan diy do 2025 roku [Roadmap for the development of bioenergy in Ukraine until 2050 and Action Plan until 2025]. UABIO. URL: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/Dorozhnya-karta-rozvytku-bioenergetyky-v-Ukrayini-do-2050-roku-i-Plan-dij-do-2025.pdf>.

12. Taryfni plany [Tariff plans]. Naftohaz. Hazopostachal'na kompaniya. URL: <https://gas.ua/uk/business/tariffs>.
13. Pelety z lushpynnya sonyashnyku [Sunflower husk pellets]. Zakupivli – Clarity Project. URL: <https://clarity-project.info/tender/fc4c0c1a32274d43801becc9200a3695>.
14. Sonyashnykova hranula. Peleta palyvna z lushpynnya sonyashnyka [Sunflower pellet. Pellet fuel from sunflower husks]. AgroFlyer-Doska ob'vyavlenyy ahrobyznosa. URL: <https://agroflyer.com/ru/sonashnikova-granula-peleta-palivna-z-lushpinna-sonashnika-3407.html>.
15. Buyak, N. A. (2017). Otsynuvannya efektyvnosti enerhetychnoyi systemy budivli v umovakh teplovoho komfortu [Evaluation of the efficiency of the building's energy system in conditions of thermal comfort]: dys. kand. tekhn. nauk: 05.14.01. Kyiv, 214. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/21402/1/aref_Buiak.pdf.

ANALYSIS OF DIRECTIONS TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF OFFICE BUILDINGS IN UKRAINE TO THE NZEB LEVEL

V. Deshko, I. Bilous, N. Buyak, O. Naumchuk

Abstract. *The article is an analysis of the feasibility of replacing the energy source with heating an office building in Kyiv to the level of a building using energy produced by renewable sources (biomass). The authors assessed the potential of biomass in Ukraine, the logistics routes to ensure uninterrupted supply and the cost of renewable resources. Estimation of necessary investments of transition from energy source to heating, running on natural gas, to energy source, running on biomass (sunflower husk), is given by changing the integral cost of heating costs for three options for thermal protection of the building: non-insulated (existing) building; building, the level of thermal protection of which meets the requirements of Ukraine; a building whose thermal protection level satisfies the requirements of Sweden. In particular, the authors determined that the integral cost of heating when using a boiler on pellets from sunflower husks without improving the thermal insulation of the enclosing structures of the building is significantly lower than when using natural gas as an energy carrier for the production of thermal energy, and the initial cost of an insulated building meets the requirements of Ukraine and the requirements of Sweden when using a natural gas boiler is significantly higher than an uninsulated building with a biomass boiler. The results obtained indicate that there are prospects for scaling buildings with almost zero energy consumption in Ukraine, given the development potential of biomass and the significantly lower unit cost of biomass energy compared to natural gas.*

Key words: *energy efficiency, nZEB, energy independent building, renewable energy sources, biomass*