

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

УДК 697.1

DOI 10.20535/1813-5420.2.2022.261277

В.І. Дешко^{1,2}, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-8218-3933

Н.А. Буяк¹, к.т.н., асистент, ORCID 0000-0003-0597-6945

І.Ю. Білоус¹, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0002-6640-103X

О.С. Наумчук¹, аспірант, ORCID 0000-0002-7059-8867

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Інститут технічної теплофізики НАН України

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ДО СУЧАСНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ

Згідно з планом скорочення викидів двоокису вуглецю в Україні, виникає необхідність заміщення традиційних джерел енергії і, відповідно, видів палива. У роботі виділено основні відмінності діючих нормативно – правових документів у сфері енергоефективності будівель, проаналізовано динаміку енергопотреби громадської будівлі за умов її термомодернізації до діючих в Україні та Європі нормативних показників, та регулювання графіку роботи опалення та вентиляції.. Оцінка енергопотреби базується на результатах розрахунків згідно діючого стандарту ДСТУ А.2.2 – 12:2015 та моделі будівлі у програмному середовищі DesignBuilder. Використання DesignBuilder допомагає оцінити екологічні характеристики нових і існуючих будівель, енергію та комфорт, HVAC, денне освітлення, вартість, оптимізацію дизайну, CFD, BREEAM/LEED кредити та звіти, які відповідають кільком національним будівельним нормам і стандартам сертифікації.

Досліджено вплив економічних показників України та Європи на загальну чутливість проекту з підвищення теплового захисту громадської будівлі з урахуванням історичного приросту цін на енергоносії у країнах, що розглядаються. Робота є базисом для подальшого аналізу та розвитку концепції будівель з майже нульовим споживанням енергії в Україні.

Ключові слова: енергопотреба, термомодернізація, утеплення, нормативні показники, економія, тарифи.

Вступ

Сфера будівництва в Україні була та залишається однією з найперспективніших галузей. За даними [1] протягом січня – вересня 2018 на території України введено в експлуатацію 16 565 житлових будівель, частка будівництва комерційних будівель становить 7% від житлового фонду. Разом з тим, відповідно [2] у 2019 році показник будівництва нежитлових будівель зріс на 27,4% (49,3 млрд грн). На фоні поступового зростання частки нового будівництва відбувається реформування ставлення до енергії у, практично, всіх галузях народного господарства.. Такі реформи стосуються, насамперед, інженерних, економічних, екологічних та соціальних сфер: у забезпеченні якісного постачання енергоносіїв, створення інфраструктури, у забезпеченні екологічно безпечною територією і, врешті, бути передовим забудовником. І саме останній пункт переліку визначає роль забудовника на ринку та диктує свої умови для покупців нерухомості. До 2010 року нове будівництво в Україні не мало вагомих обмежень у питанні використання енергоресурсів, [3] зобов'язав основних «гравців» ринку на внесення змін до нових проєктів забудови. Це був перший крок уряду до енергетичної незалежності та втілення глобальних цілей сталого розвитку у державі. Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель визначають необхідність будівництва, реконструкції та капітального ремонту будівель з рівнем енергоефективності – не нижче класу «С». Разом з тим, дані Державного агенства з енергоефективності та енергозбереження України [4] підтверджують недотримання таких вимог забудовниками. Паралельно з наказом Міністерства розвитку громад та територій України, що визначає згадані Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності

будівель, в Європі активно ведеться робота з законодавчими актами для нормування будівництва та експлуатації будівель з нульовим споживанням енергії [5].

Основним законодавчим інструментом Європейського Союзу для підвищення енергоефективності європейського житлового фонду є Директива з енергоефективності будівель [6], що являє собою вимогу будівництва будівель з майже нульовим споживанням енергії (NZEB - nearly zero – energy buildings) з 2021 року, громадські будівлі – з 2019 року. Згідно Директиви, уряд Австрії вніс зміни до законодавства і країна стала, фактично, прикладом для втілення вимог у нормативно – правову документацію інших держав – членів Європейського Союзу. [6] дає можливість країнам ЄС оцінити методологію розрахунків власних NZEB з урахуванням кліматичних умов, фактору первинної енергії та традицій будівництва перед узаконенням показників споживання енергії на рівні NZEB. Показники, зафіксовані на рівні NZEB, означають: дуже високий рівень енергоефективності будівлі разом з дуже низьким обсягом енергопотреб, кількісний показник первинної енергії в кВт·год/м² за рік залежить від призначення будівлі і може бути для громадських будівель на рівні 85 – 100 кВт·год/м² за рік, при чім не менше половини цього повинно забезпечуватися від поновлюваних джерел[30].

Розуміння того, що спільного NZEB для всіх країн не існує зумовило створення проекту ZEBRA2020 [7], що фокусе свою діяльність на відстеженні переходу ринку до будівель з майже нульовим споживанням енергії для подальшої рекомендації будівельним компаніям та уряду. [7] дає змогу оцінити якісний та кількісний аналіз будівельних норм у кожному регіоні та направлений на представлення результатів згідно чотирьох секторів:

- 1) Будівлі з нульовим споживанням енергії;
- 2) Будівлі з майже нульовим споживанням енергії;
- 3) Будівлі з енергоефективністю, що є вищою за мінімальні національні вимоги 2012 року;
- 4) Будівлі (відремонтовані, побудовані) згідно мінімальних національних вимог 2012 року.

Можливість такого відслідковування є потужною мотивацією для розвитку енергоефективного будівництва житлового, громадського, медичного та навчального сектору. Варто зазначити, що країни пострадянського простору уже успішно впровадили механізм побудови NZEB внесенням показника первинної енергії в кВт·год/м² за рік у законодавчі акти – Латвія [8], Литва [9], Чехія [10].

Індикатори впливу галузі енергоефективності на сферу будівництва ведуть за собою скорочення викидів двоокису вуглецю в атмосферу та забезпечують виведення нових технологій будівництва на світовий ринок. Насамперед, виникає необхідність створення/реконструкції якісного теплового захисту будівель та якісних інженерних систем як ключову оцінку комфортного мікроклімату [31], згодом – обов'язкове використання відновлювальних джерел енергії як забезпечення енергетичної незалежності та економії коштів, запобігання енергетичній бідності та зміні клімату загалом. Для оцінки можливих наслідків впровадження заходів з енергоефективності можна використовувати як перевірений ручний кількісний розрахунок, так і моделювання можливих змін у програмних середовищах прикладу DesignBuilder та Energy Plus.

Разом з тим, існує велика кількість програмних продуктів для оцінки тієї ж величини первинної енергії для вибраного регіону світу. Тут доречно згадати DesignBuilder, яка моделює процес зміни величини первинної енергії згідно заданих людиною параметрів – географічні координати, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, графік роботи системи опалення та/або вентиляції, використання відновлювальних джерел енергії і т.п.

В умовах наближеності України до країн Євросоюзу, затверджено державний стандарт України [11], що дозволяє розрахувати показник первинної енергії в кВт·год/м² за рік для будівлі. Тобто, для певного регіону України (включення кліматичних умов у розрахунок), для заданих геометричних та теплотехнічних показників, розраховується енергопотреба, що при подальших розрахунках приводить до показника первинної енергії. Даний стандарт дозволяє оцінити величину первинної енергії для всіх типів будівель окрім промислових.

Відповідно до директиви [6] країни Європи ефективно розробляють національні стандарти щодо будівель з майже нульовим споживанням енергії. Україна приєдналася до цієї директиви а визначення економічної доцільності конкретних кроків в цьому напрямку є актуальним і потребує додаткового обґрунтування та дослідження.

Мета та завдання

Метою роботи є економічна оцінка основних відмінностей українських та європейських вимог при підвищенні теплового захисту будівлі.

Відповідно до поставленої мети повинні бути вирішені наступні завдання:

1. Аналіз сучасних вимог для огорожувальних конструкцій будівлі України та ЄС, на прикладі Швеції.

2. Розробка моделі адміністративної будівлі в Design Builder з урахуванням джерела теплоти.

3. Розрахунок обраного об'єкту згідно ДСТУ А.2.2 – 12:2015 та у програмному середовищі DesignBuilder для існуючого стану будівлі, при коригуванні графіку роботи опалення, при

термомодернізації будівлі до рівня вимог України та Швеції з подальшим порівнянням отриманих основних параметрів.

4. Розрахунок та аналіз основних економічних показників для проекту підвищення теплового захисту будівлі до рівня вимог України та Швеції.

Матеріал та результати досліджень

Вихідні дані для розрахунку. Для розрахунку було обрано чотирьох поверхову громадську будівлю у м. Київ, загальна площа якої становить 2652,3 м². Зовнішні стіни будівлі представлені керамзитобетонними плитами, основні світлопрозорі конструкції – металопластиковими двокамерними склопакетами (393,96 м²) та склоблоками (30,63 м²) які складають основну частку втрат теплоти через одну зі стін. Дах будівлі (645,8 м²) плоский, конструкція являє собою залізобетонне перекриття з шаром руберойду, дах вимагає реконструкції. Перекриття над неопалювальним підвалом (645,8 м²) представлено залізобетонним перекриттям. Джерело енергії – котельня, що працює на природному газі. Розрахунок основних теплотехнічних параметрів та енергопотребі проводиться згідно [11] з паралельним створенням моделі будівлі заданого конструктиву у DesignBuilder (рисунок 1).

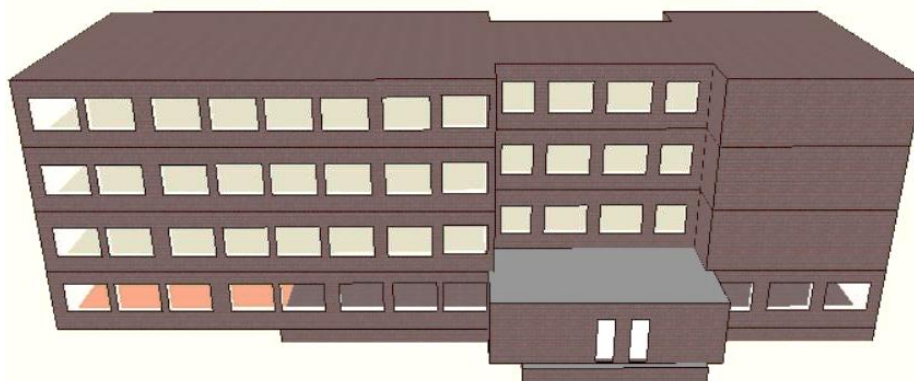


Рисунок 1 - Модель досліджуваної будівлі у середовищі DesignBuilder

Для покращення умов мікроклімату будівлі та для забезпечення виконання нормативних вимог України щодо оболонки будівлі згідно [12] було внесено пропозиції щодо її термомодернізації – утеплити зовнішні стіни, перекриття над неопалювальним підвалом та дах, провести заміну існуючих світлопрозорих конструкцій. Для виконання вимог [12] було обрано наступні матеріали для підвищення теплового захисту об'єкту розрахунку: зовнішні стіни – екструдований пінополістерол ($\delta = 0,06$ м, $\lambda = 0,029$ Вт/м·°C), дах – пінополістерол ($\delta = 0,12$ м, $\lambda = 0,022$ Вт/м·°C), перекриття над неопалювальним підвалом – мінеральна вата ($\delta = 0,15$ м, $\lambda = 0,039$ Вт/м·°C).

Для оцінки рівня відповідності вимог України щодо огорожувальних конструкцій будівлі Європейським нормативним документам у сфері енергоефективності було проведено аналіз існуючих документованих матеріалів країн Європейського Союзу. Для порівняння було обрано Швецію як країну, клімат якої на основній частині територій є наближеним до клімату України, а вимоги щодо огорожувальних конструкцій є найбільш жорсткими серед країн – членів ЄС [13]. Порівняння показників термічного опору огорожувальних конструкцій згідно вимог України та Швеції наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Показники нормативного термічного опору будівлі

Тип огорожувальної конструкції	Нормативний термічний опір огорожувальних конструкцій, R, м ² ·°C/Вт	
	Вимоги України [12]	Вимоги Швеції [13]
Зовнішні стіни	3,3	5,56
Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	3,75	6,67
Світлопрозорі конструкції	0,75	0,83
Двері зовнішні	0,6	0,83
Суміщене перекриття	5,35	7,69

Покращення теплової оболонки будівлі до вимог [13] забезпечувалось доутепленням екструдованим пінополістеролом ($\delta = 0,13$ м, $\lambda = 0,029$ Вт/м·°C), пінополістеролом ($\delta = 0,2$ м, $\lambda = 0,022$ Вт/м·°C), мінеральною ватою ($\delta = 0,2$ м, $\lambda = 0,039$ Вт/м·°C) для зовнішніх стін, даху та перекриття над неопалювальним горіщем відповідно. Отримані в процесі дослідження розрахунки термічного опору будівлі для описаних вище умов наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Розрахункові термічні опори огорожувальних конструкцій

Тип огорожувальної конструкції	Площа, м ²	Термічний опір огорожувальної конструкції, R, м ² ·°C/Вт			
		Існуючий стан	Після термомодернізації		
			Згідно вимог України [12]	Згідно вимог Швеції [13]	
1	2	3	4	5	
Зовнішні стіни	923,214	1,36	4,4	5,84	
Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	645,8	0,37	4,3	6,7	
Світлопрозорі конструкції	металопластикові	393,96	0,6	0,83	1
	склоблоки	30,63	0,4		
Двері зовнішні	металопластикові	9,528	0,6	0,6	1,05
	металеві	3,368	0,3	0,6	0,84
Дах	645,8	0,4	5,86	9,5	

Розрахунок енергопотреби в Design Builder для обраної моделі (кліматичні умови м. Київ) виконувався для наступних варіантів:

1) існуюча ситуація - діюча будівля, термічні опори огорожувальних конструкцій відповідають значенням стовпця 3 таблиці 2, робота системи опалення та вентиляції у постійному режимі;

2) теплова оболонка будівлі покращена до вимог України [12] (термічні опори огорожувальних конструкцій відповідають значенням стовпця 4 таблиці 2), робота системи опалення та вентиляції у постійному режимі;

3) теплова оболонка будівлі покращена до вимог України [12] (термічні опори огорожувальних конструкцій відповідають значенням стовпця 4 таблиці 2), робота опалення та вентиляції за переривчастим графіком;

4) теплова оболонка будівлі покращена до вимог Швеції [13] (термічні опори огорожувальних конструкцій відповідають значенням стовпця 5 таблиці 2), робота опалення та вентиляції за переривчастим графіком.

Регулювання графіку роботи системи опалення та вентиляції – один зі способів скорочення енергопотреби та енергоспоживання будівлею, що не потребує капітальних вкладень. У програмному середовищі DesignBuilder динаміка енергоспоживання при відрегульованому графіку роботи системи опалення та вентиляції досліджувалась, виходячи з робочого графіку будівлі, що розглядається (з понеділка по п'ятницю, з 8:00 до 18:00). Скорочення енергоспоживання будівлею при регулюванні графіку роботи системи опалення і вентиляції та покращенні теплового захисту її огорожувальних конструкцій до вимог України та Швеції зведено у рисунку 2.

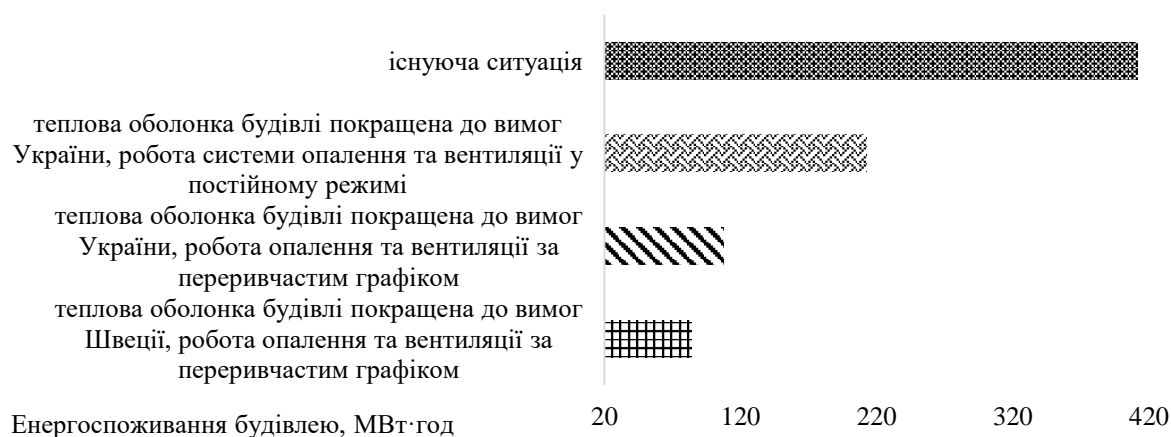


Рисунок 2 - Річне енергоспоживання будівлею при регулюванні графіку роботи системи опалення і вентиляції та покращенні теплового захисту її огорожувальних конструкцій до вимог України та Швеції

Послідовна реалізація вищеописаних варіантів впливу на енергоспоживання досліджуваної будівлі у Design Builder дає змогу оцінити величину та динаміку енергоспоживання для кожного з варіантів. Отримані результати свідчать про скорочення споживання енергії при покращенні теплової оболонки будівлі до вимог України та нерегульованому графіку роботи системи опалення та вентиляції (варіант 2) на 48 % відносно початкової величини (варіант 1), при переривчастому опаленні та вентиляції утепленої

до вимог України будівлі (варіант 3) величина спожитої енергії зменшилась на 74 % відносно поточного рівня, при утепленні будівлі до вимог Швеції та відрегульованому графіку роботи системи опалення та вентиляції (варіант 4) отримали величину енергоспоживання, меншу від існуючого рівня на майже 80%. Таким чином, спостерігаємо очікувану тенденцію відносного зменшення витрат на опалення та трансмісійних тепловтрат в оберненій пропорції до зростання термічного опору огорожень. Разом з тим, послідовне зростання опору не тільки зменшує потребу на опалення, але і нівелює абсолютну величину цього зменшення. Тому при досягненні опору теплопередачі рівня сучасних стандартів актуальним завданням забезпечення енергоефективності є управління режимами інженерних систем адекватно до умов комфортності і потреб експлуатації будівель. Для прикладу, питома величина споживання енергії (кВт·год/м²) до покращення теплової оболонки будівель згідно вимог України [12] та при постійній роботі системи опалення й вентиляції (існуюча ситуація) становить 65,99 кВт·год/м², після – 34,08 кВт·год/м². Регулювання роботи системи вентиляції та опалення паралельно з утепленням огорожувальних конструкцій до вимог України [12] та Швеції [12] знижує питомий показник до 17,21 кВт·год/м² й 17,48 кВт·год/м² відповідно.

Подобове відображення динаміки енергоспоживання кожного з вищезгаданих варіантів покращення теплового захисту будівлі зображено на рисунку 3.

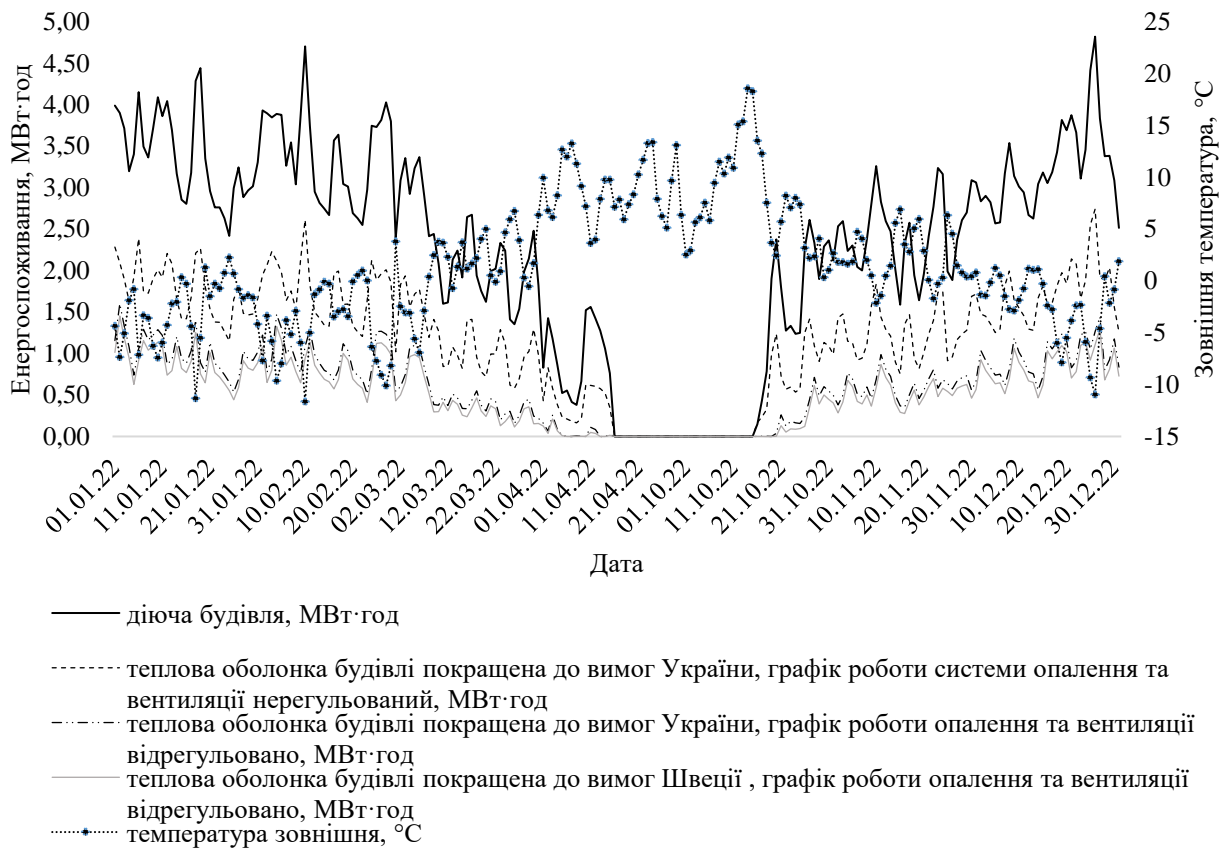


Рисунок 3 - Динаміка енергоспоживання при реалізації заходів покращення теплового захисту досліджуваної будівлі у програмному середовищі *Design Builder*

Порівняння подобових значень енергоспоживання на опалення показує, абсолютний ефект від збільшення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій більш суттєвий для холодного періоду за рахунок зменшення теплових втрат, які залежать від різниці температур внутрішнього та зовнішнього повітря. При зміні опору теплопередачі на рівні вище сучасних стандартів цей ефект більш рівномірний, тому що для перехідних періодів весни та осені в енергетичному балансі будівлі проявляється більш суттєвий вплив внутрішніх теплонадходжень, зокрема від сонця.

Варто зазначити, що головним поштовхом до покращення стану енергоефективності були та залишаються кошти, а точніше – величина їх економії при реалізації того чи іншого заходу. Тобто, жодна оцінка покращеного стану як конструктиву будівлі, так і умов мікроклімату не є вагомим для інвестора без представлення такого покращення у грошовому еквіваленті. А грошовий еквівалент, в свою чергу, є незмінно залежним від тарифів на енергоносії. Динаміка зміни тарифів у сторону збільшення є типовою

для всього світу, проте наскільки величина енергетичних тарифів України [14], [15], [16] є тотожною з енергетичними тарифами тієї ж Швеції [17], [18], показано на рисунку 4.

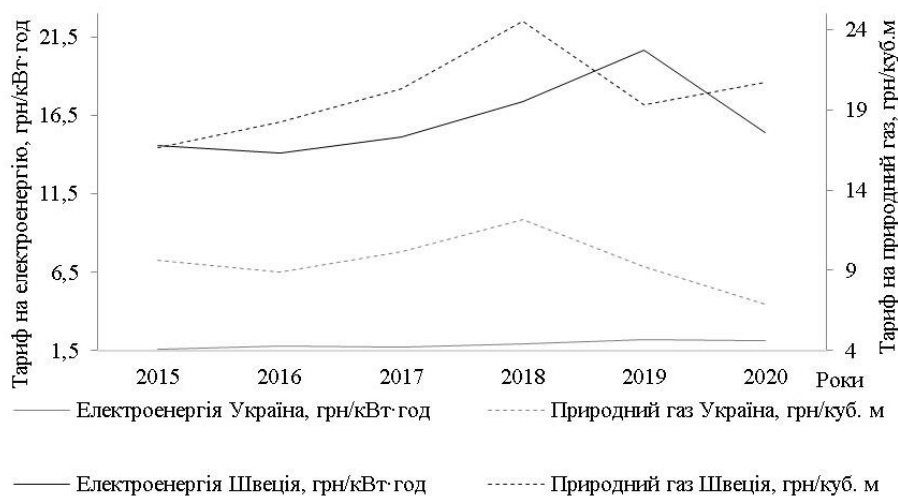


Рисунок 4 - Динаміка тарифів на енергетичні носії в Україні та Швеції

Як показує рисунок 4, темпи приросту тарифів в Україні та Швеції є подібними для природного газу, проте спостерігається суттєва різниця у кількісній величині тарифу. Не дивно, що за умов такої суттєвої вартості як на електричну енергію, так і на природний, існують згадані вище вимоги до зовнішньої оболонки будівлі.

Розглянемо випадок забезпечення розрахункової будівлі нормативними значеннями термічного опору зовнішньої оболонки для умов України та Швеції (таблиця 1). Розрахункові дані капітальних витрат та терміну окупності, як основних показників доцільності реалізації заходу енергоефективності, представимо, з урахуванням тарифів та цін на матеріали та виконання робіт, що діють у нашій державі [14] – [16] у таблиці 3. Варто зазначити типи модернізації для кожної огорожувальної конструкції:

- 1) Утеплення – зовнішні стіни (923,214 м²), суміщене перекриття (645,8 м²) перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами (645,8 м²);
- 2) Заміна – вікна (металопластикові – 393,96 м², склоблок – 30,63 м²), двері (9,528 м²).

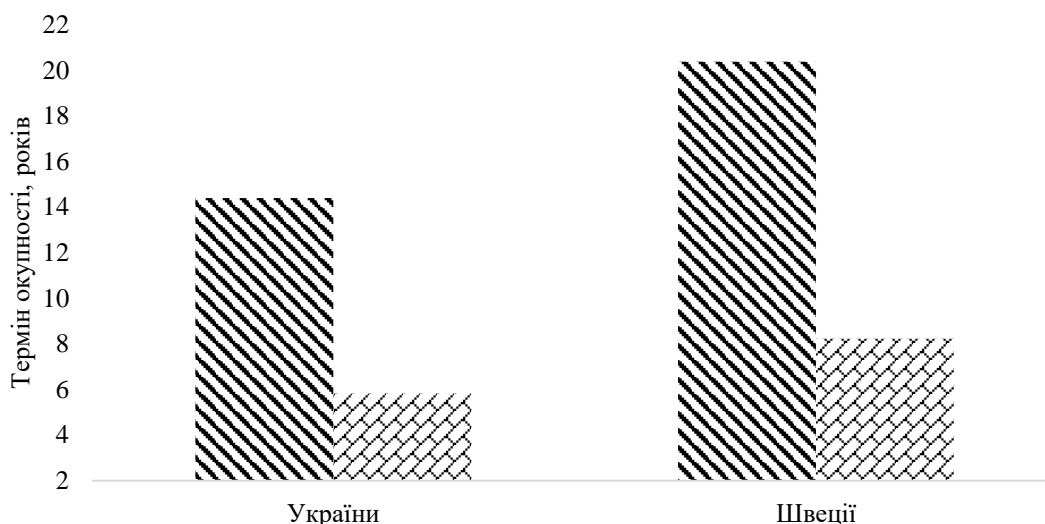
Таблиця 3. Розрахунок терміну окупності при покращенні теплового захисту будівлі до вимог України та Швеції при середньому значенні тарифу на природний газ у Україні

Тип огорожувальної конструкції	Капітальні витрати*, тис. грн		Економія теплової енергії**, МВт·год		Економія природного газу, тис. куб. м [8]		Простий термін окупності, років	
	Для вимог України [12]	Для вимог Швеції [13]	Для вимог України [12]	Для вимог Швеції [13]	Для вимог України [12]	Для вимог Швеції [13]	Для вимог України [12]	Для вимог Швеції [13]
Зовнішні стіни	502,043	963,651	304,266	327,514	32,556	35,044	14,4	20,38
Підлога	670,482	421,707						
Дах	523,020	713,331						
Вікна	1 592,073	2 904,751						
Двері	41,411	66,195						
Всього витрат, грн	3 329,031	5 069,636						

*Капітальні витрати розраховано згідно даних прейскуранту на будівельні матеріали та будівельні роботи [19] – [25]

**Економія природного газу розрахована згідно діаграми перерахунку енергетичних величин [26]

Для наглядного представлення залежності економічних показників від тарифів нижче проведемо порівняння терміну окупності при покращенні теплового захисту будівлі до вимог України та Швеції при середньому значенні тарифу на природний газ в Україні та у Швеції [17], [18]. Результати порівняння представимо на рисунку 5.



☛ З урахуванням тарифу на природний газ в Україні при модернізації згідно вимог

☛ З урахуванням тарифу на природний газ в Швеції при модернізації згідно вимог

Рисунок 5 - Порівняння термінів окупності при покращенні теплового захисту будівлі до вимог України та Швеції при середньому значенні тарифу на природний газ в Україні та Швеції

Хоча простий термін окупності і є основним індикатором впливу на рішення щодо доцільності реалізації того чи іншого проекту, необхідно також для довгострокових проектів враховувати динаміку зміни вартості на енергоносії. Обґрунтування доцільності застосування функції інтегральної вартості для комплексного вибору огороджувальних конструкцій будівлі [27] представлено формулою:

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

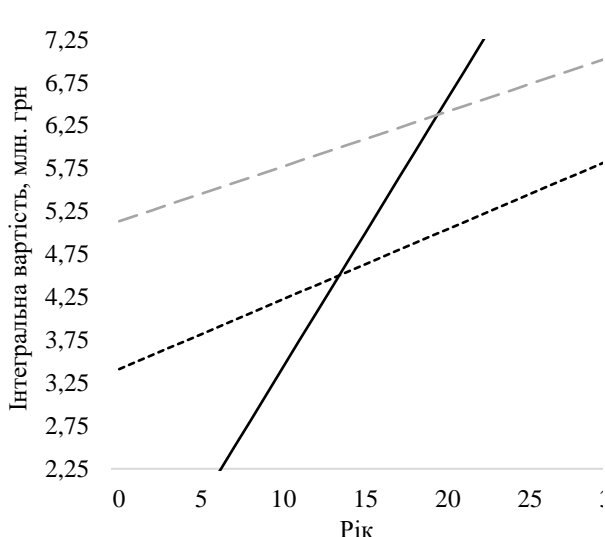
де $V_{\text{енерг}}$ – річні затрати за спожиті енергоносії, грн; $V_{\text{експл}}$ – інші затрати, грн; I_0 – капітальні затрати на придбання та встановлення теплогенеруючого обладнання, грн; $I_{\text{із}}$ – витрати, спрямовані на покращення теплового захисту будівлі, грн; $I_{\text{со}}$ – витрати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

В першому наближенні заміну джерела енергії, модернізацію систем опалення та вентиляції не розглядаємо. Представлення зміни інтегральної вартості виконуємо за умов підвищення теплового захисту будівлі при коригуванні графіку опалення та покращенні коефіцієнтів термічного опору до нормативних вимог України та Швеції з урахуванням середнього тарифу на природний газ для України, без урахування економічних показників (l , E). Зміну інтегральної вартості для вищевказаних умов представлено на рисунку 6. Результати розрахунку інтегральної вартості за тих же умов, але з урахуванням середнього тарифу на природний газ у Швеції, представлено на рисунку 7.

Ці результати демонструють економічну привабливість енергоефективних заходів, коли основні витрати стосуються утеплення будівлі. Показано доцільність у порівнянні з існуючим станом модернізації: до сучасних норм України, термін окупності 14,4 року, до вимог Швеції – 20,4 року. Цей показник ефективності сильно залежить від величини тарифу на природний газ. При збільшенні тарифу до рівня в Швеції термін окупності буде відповідно 5,82 і 8,23 років. Тобто тенденції підвищення ціни на природний газ роблять ці енергоефективні заходи більш привабливими в Україні. При цьому, утеплення будівлі від рівня діючих в Україні стандартів до рівня в Швеції є економічно недоцільним.

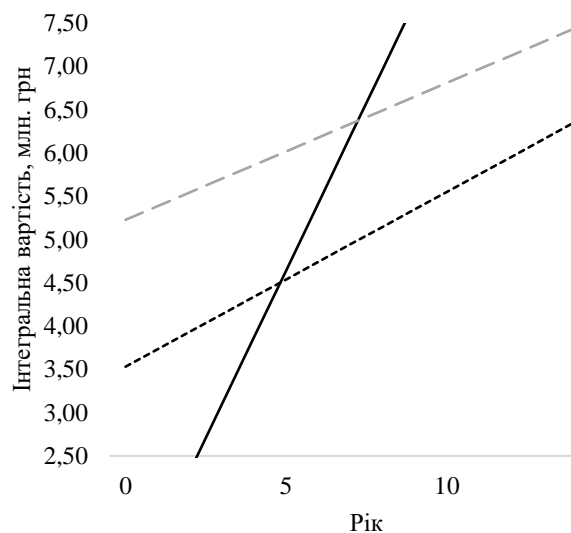
Разом з тим, іншим вагомим фактором впливу на економічну привабливість заходів з підвищення енергетичної ефективності будівель є показники економічної стабільності, це ставка дисконтування та зміна цін на енергоносії. Вони мають суттєву непередбачуваність для умов України і це надає великої невизначеності економічної оцінки проектів з великим життєвим циклом.

При урахуванні економічних показників (ставка дисконтування в Україні [28] та Швеції [29]) та при найоптимістичнішому сценарію приросту цін на енергоносії (Україна – 5%, Швеція – 3%), розрахунок інтегральної вартості за умов підвищення теплового захисту будівлі при коригуванні графіку опалення та покращенні коефіцієнтів термічного опору до нормативних вимог України та Швеції матиме вигляд, представлений на рисунку 8 та рисунку 9 (з урахуванням середнього тарифу на природний газ в Україні та Швеції відповідно).



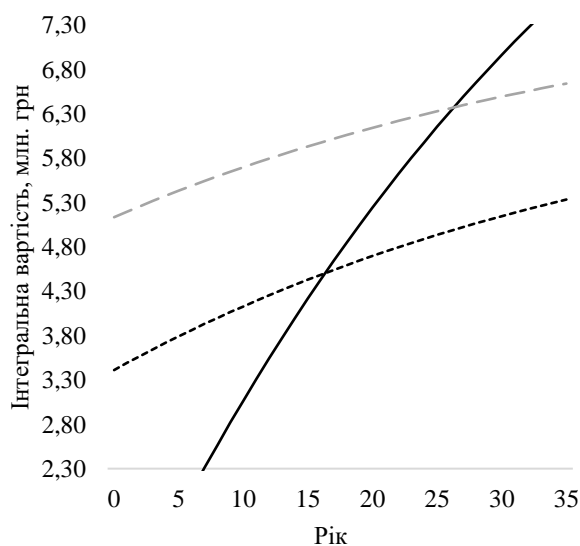
— Існуюча ситуація
 - - - - - Переривчасте опалення та вентиляція, утеплен до вимог України
 - - - - - Переривчасте опалення та вентиляція, утеплен до вимог Швеції

Рисунок 6. Інтегральна вартість для умов переривчастого опалення, підвищення теплового захисту будівлі до вимог України та Швеції (з урахуванням середнього тарифу на природний газ в Україні)



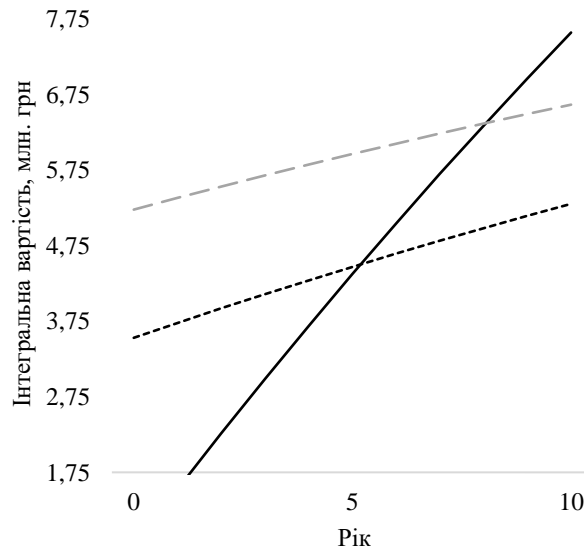
— Існуюча ситуація
 - - - - - Переривчасте опалення та вентиляція, утепл до вимог України
 - - - - - Переривчасте опалення та вентиляція, утепл до вимог Швеції

Рисунок 7. Інтегральна вартість для умов переривчастого опалення, підвищення теплового захисту будівлі до вимог України та Швеції (з урахуванням середнього тарифу на природний газ у Швеції)



— Існуюча ситуація
 - - - - - Переривчасте опалення та вентиляція, утеплення до вимог України
 - - - - - Переривчасте опалення та вентиляція, утеплення до вимог Швеції

Рисунок 8. Інтегральна дисконтована вартість для умов переривчастого опалення, підвищення теплового захисту будівлі до вимог України та Швеції (з урахуванням середнього тарифу на природний газ в Україні)



— Існуюча ситуація
 - - - - - Переривчасте опалення та вентиляція, утеплення до вимог України
 - - - - - Переривчасте опалення та вентиляція, утеплення до вимог Швеції

Рисунок 9. Інтегральна дисконтована вартість для умов переривчастого опалення, підвищення теплового захисту будівлі до вимог України та Швеції (з урахуванням середнього тарифу на природний газ у Швеції)

Як видно з рисунку 8, дисконтований термін окупності заходу з утеплення огорожувальних конструкцій до нормативного показника України – 15,75 років, до нормативного показника Швеції – 25,7 років. Прогноз інтегрованої дисконтованої вартості з урахуванням економічних показників Швеції більш позитивний, проте розрахунок такої вартості виконано з урахуванням середнього тарифу на природний газ у Швеції, що є вищим практично у 3 рази, ніж в Україні (рисунок 9).

Тобто, при існуючій ставці дисконтування у 5,5% у Швеції, дисконтований термін окупності підвищення теплового захисту будівлі до вимог України і Швеції становить відповідно близько 5,1 та 8 років. Даний показник можна вважати мотиваційним для реалізації підвищення теплового захисту розглянутої будівлі за умов збільшення тарифів на енергоносії в Україні.

Висновки

Проведено розрахунок громадської будівлі в місті Київ згідно діючого стандарту України та у програмному середовищі DesignBuilder з метою встановлення доцільності реалізації заходів енергоефективності за діючих у нашій державі та європейській країні тарифах при отриманих техніко – економічних показниках:

1) Підвищення теплового захисту огорожувальних конструкцій будівлі шляхом їх утеплення до вимог України та коригування графіку опалення і вентиляції - економія теплової енергії 74% від початкової величини, простий термін окупності близько 14,4 років, дисконтований термін окупності за діючого тарифу на природний газ України та Швеції – 15,75 та 5,1 років відповідно,;

2) Підвищення теплового захисту огорожувальних конструкцій будівлі шляхом їх утеплення до вимог Швеції та коригування графіку опалення і вентиляції - економія теплової енергії 80% від початкової величини, простий термін окупності близько 20,4 років, дисконтований термін окупності за діючого тарифу на природний газ України та Швеції – 25,7 та 8 років відповідно.

Отримані результати показують на необхідність балансування паритету відповідно до європейських показників між рівнем нормативних вимог до енергетичної ефективності будівель та цін на енергоносії. Продовження цих досліджень планується у напрямку економічних показників модернізації будівлі до рівня майже нульового споживання енергії (NZEB) при залученні відновлюваних джерел енергії.

Список використаної літератури

1. Будівельна галузь: стан та перспективи. URL: <http://budport.com.ua/news/12779-budivelnna-galuzstan-ta-perspektivi> (дата звернення: 19.02.2019).

2. Обсяг площі: у 2019 році нежитлове будівництво в Україні зросло на 30%. URL: <https://gmk.center.ua/posts/obsyag-ploshhi-u-2019-roci-nezhitlove-budivnictvo-v-ukraini-zroslo-na-30/> (дата звернення: 12.03.2020).

3. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель: наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 12.10.2020 №260. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text> (дата звернення: 4.01.2021).

4. Сертифікація енергетичної ефективності будівель. База даних сертифікатів. URL: <https://saee.gov.ua/uk/content/buildings-certification> (дата звернення: 1.12.2020).

5. European Commission.NZEB. URL: https://energy.ec.europa.eu/index_en (дата звернення: 18/06/2019)

6. Energy performance of buildings directive. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (дата звернення: 2018)

7. Nearly Zero – Energy Building Strategy 2020. URL: <https://zebra2020.eu/>.

8. Grozījumi Ministru kabineta 2013. gada 9. jūlija noteikumos Nr. 383 "Noteikumi par ēku energosertifikāciju". *Likumi.lv - Latvijas Republikas tiesību akti*. URL: <https://likumi.lv/ta/id/277915-grozijumi-ministru-kabineta-2013-gada-9-julija-noteikumos-nr-383-noteikumi-par-eku-energoserifikaciju> (дата звернення: 10.11.2015).

9. Jsakymas dėl fizinių asmenų, siekiančių tapti Lietuvos respublikoje ekspertais, turinčiais teisę atlikti pastatų energinio naudingumo sertifikavimą, mokymo programos patvirtinimo. URL: <https://e-seimas.lrs.lt>.

10. EPBD implementation in the Czech Republic. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. URL: <https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2019/05/CA-EPBD-IV-Czech-Republic-2018.pdf>.

11. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2015. 145 с.

12. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово – комунального господарства України, 2017. 34 с.

13. BFS 2011:6 with amendments up to BFS 2018:4. Boverket's mandatory provisions and general recommendations, BBR. URL: <https://www.boverket.se/en/start/publications/publications/2019/boverkets-building-regulations--mandatory-provisions-and-general-recommendations-bbr/>.

14. Оперативний моніторинг ринку електричної енергії. *Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг*. URL: <https://www.nerc.gov.ua/?id=56447> (дата звернення: 20.10.2021).
15. Динаміка цін на природний газ ресурсу НАК "Нафтогаз України" для промислових споживачів. *Національна компанія "Нафтогаз України"*. URL: <https://www.naftogaz.com/> (дата звернення: 17.12.2021).
16. Прейскурант на природний газ із ресурсів НАК «Нафтогаз України». URL: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/486E117B34CF13EEC2257BCE0041B995?OpenDocument> (дата звернення: 16.12.2021).
17. Electricity prices and electricity contracts. *Statistics Sweden*. URL: <https://www.scb.se/en/finding-statistics/statistics-by-subject-area/energy/price-trends-in-the-energy-sector/electricity-prices-and-electricity-contracts/> (дата звернення: 09.12.2021).
18. Gas prices and gas contracts. *Statistics Sweden*. URL: <https://www.scb.se/en/finding-statistics/statistics-by-subject-area/energy/price-trends-in-the-energy-sector/gas-prices-and-gas-contracts/> (дата звернення: 09.12.2021).
19. Екструдований пінополістирол. *Тривіта*. URL: <https://trivita.ua/ua/istpleks-35v-1200h600h60-jekstrudirovannuj-penopolistiroj> (дата звернення: 21.10.2021).
20. Утеплення фасадів в Києві. Вартість робіт. *Кабанчик. Сервіс замовлення послуг*. URL: <https://kiev.kabanchik.ua/ua/category/uteplenie-fasadov> (дата звернення: 21.10.2021).
21. Клей для теплоізоляції. *Інтернет - магазин "Конструктив"*. URL: <https://konstruktiv.kiev.ua/steklovata-profitep-150-plyus-150-610-1230-4-5m-kv/> (дата звернення: 21.10.2021).
22. Полімерна теплоізоляція PIR termPIR. *Інтернет - магазин "Наша стройка"*. URL: <https://nasha-stroyka.com.ua/stroitelstvo-i-remont/> (дата звернення: 21.10.2021).
23. Профіль Softline. *Veka*. URL: <https://veka.ua/production/special/profilnye-sistemy-veka/veka-softline/> (дата звернення: 20.10.2021).
24. Двері протипожежні металеві глухі. *ПожСоюз*. URL: <https://euroservis.com.ua/ua/dveri-protivopozharnye-metallicheskie-glukhie-dmp-ei60-1-2100kh900-prav.-samodovodyashchaya-petlya/> (дата звернення: 20.10.2021).
25. Вхідні двері. *Окна Калашникова*. URL: <http://okna-kalashnikova.com.ua/dveri/vhodnie/dver-vhodnaja-metalloplastikovaja-900h2050.html> (дата звернення: 02.10.2021).
26. Діаграма перерахунку енергетичних величин. *Асоціація інженерів енергетиків України*. URL: <https://aee-ua.business.site/> (дата звернення: 22.12.2021).
27. 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.
28. Облікова ставка Національного банку. *Національний банк України*. URL: <https://bank.gov.ua/ua/monetary/stages/archive-rish>.
29. Exchange rate and policy discount rate in Sweden. *Research Gate*. URL: https://www.researchgate.net/figure/Exchange-rate-and-policy-discount-rate-in-Sweden_fig4_46456927.
30. REHVA Journal 06/2019 - NZEB requirements in Nordic countries. *REHVA*. URL: <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/nzeb-requirements-in-nordic-countries>.
31. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ, 2012. 71 с. URL: http://www.mathcentre.com.ua/download/dstu_en_15251-2011.pdf.

Deshko Valerii^{1,2}, Dr. of Tech. Sc., prof., ORCID 0000-0002-8218-3933
Buyak Nadiya¹, Ph. D. of Tech. Sc., assistant, ORCID 0000-0003-0597-6945
Bilous Inna¹, Ph. D. of Tech. Sc., docent, ORCID 0000-0002-6640-103X
Naumchuk Olena¹, Ph. D. student, ORCID 0000-0002-7059-8867

¹National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

²Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

ECONOMIC ASSESSMENT OF INCREASING THERMAL PROTECTION OF MUNICIPAL BUILDINGS TO MODERN EUROPEAN REQUIREMENTS

According to the plan to reduce carbon dioxide emissions in Ukraine, there is a need to replace traditional energy sources and, accordingly, types of fuel. The paper highlights the main differences between the current regulatory documents in the field of energy efficiency of buildings, analyzes the dynamics of the energy demand of a public building during its thermal modernization to the normative indicators in force in Ukraine and Europe,

and the regulation of the heating and ventilation schedule. The energy consumption assessment is based on the results of calculations in accordance with the current standard DSTU A.2.2 - 12:2015 and the building model in the DesignBuilder software environment. Using DesignBuilder helps evaluate new and existing building environmental performance, energy and comfort, HVAC, daylighting, cost, design optimization, CFD, BREEAM/LEED credits and reports that meet multiple national building codes and certification standards.

The influence of the economic indicators of Ukraine and Europe on the overall sensitivity of the project to increase the thermal protection of a public building is studied, taking into account the historical increase in energy prices in the countries under consideration. The work is the basis for further analysis and development of the concept of buildings with almost zero energy consumption in Ukraine.

References

1. Budivel'na haluz': stan ta perspektyvy. [Online]. Available at: <http://budport.com.ua/news/12779-budivelnagaluz-stan-ta-perspektivi>. [Accessed: 19-Feb-2019].
2. Obsyah ploshchi: u 2019 rotsi nezhytlove budivnytstvo v Ukrayini zroslo na 30%. [Online]. Available at: <https://gmk.center.ua/posts/obsyag-ploshhi-u-2019-roci-nezhitlove-budivnictvo-v-ukraini-zroslo-na-30/>. [Accessed: 12-Mar-2020].
3. Pro zatverdzhennya Minimal'nykh vymoh do enerhetychnoyi efektyvnosti budivel': nakaz Ministerstva rozvytku hromad ta terytoriy Ukrayiny vid 12.10.2020 №260. [Online]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text>. [Accessed: 04-Jan-2021].
4. Sertyfikatsiya enerhetychnoyi efektyvnosti budivel'. Baza danykh sertyfikatov. [Online]. Available at: <https://sae.gov.ua/uk/content/buildings-certification>. [Accessed: 01-Dec-2020].
5. European Commission.NZEB. [Online]. Available at: https://energy.ec.europa.eu/index_en. [Accessed: 18-Jun-2019].
6. Energy performance of buildings directive. [Online]. Available at: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en. [Accessed: 2018].
7. Nearly Zero – Energy Building Strategy 2020. [Online]. Available at: <https://zebra2020.eu/>.
8. Grozījumi Ministru kabineta 2013. gada 9. jūlija noteikumos Nr. 383 "Noteikumi par ēku energosertifikāciju". *Likumi.lv - Latvijas Republikas tiesību akti*. [Online]. Available at: <https://likumi.lv/ta/id/277915-grozijumi-ministru-kabineta-2013-gada-9-julija-noteikumos-nr-383-noteikumi-par-eku-energosertifikaciju>. [Accessed: 10-Nov-2015].
9. Jsakymas dėl fizinių asmenų, siekiančių tapti lietuvos respublikoje ekspertais, turinčiais teisę atlikti pastatų energinio naudingumo sertifikavimą, mokymo programos patvirtinimo. [Online]. Available at: <https://e-seimas.lrs.lt>.
10. EPBD implementation in the Czech Republic. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [Online]. Available at: <https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2019/05/CA-EPBD-IV-Czech-Republic-2018.pdf>.
11. Minrehion Ukrayiny, 2015. *DSTU B A.2.2-12:2015. Enerhetychna efektyvnist' budivel'. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannya pry opalenni, okholodzhenni, ventylyatsiyi, osviltenni ta haryachomu vodopostachanni*. Kyiv.
12. Ministerstvo rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo – komunal'noho hospodarstva Ukrayiny, 2017. *DBN V.2.6-31:2016. Teplova izolyatsiya budivel'*. Kyiv.
13. Boverket. 2022. *Boverket's building regulations – mandatory provisions and general recommendations, BBR*. [online] Available at: <https://www.boverket.se/en/start/publications/publications/2019/boverkets-building-regulations--mandatory-provisions-and-general-recommendations-bbr/>.
14. Natsional'na komisiya, shcho zabezpechuye derzhavne rehulyuvannya u sferi enerhetyky ta komunal'nykh posluh. 2022. *Operatyvnyy monitorynh rynku elektrychnoyi enerhiyi*. [online] Available at: <https://www.nerc.gov.ua/?id=56447> [Accessed 20 October 2021].
15. Natsional'na kompaniya "Naftogaz Ukrayiny." 2022. *Dynamika tsiny na pryrodnyy hazovyy resurs NAK "Naftogaz Ukrayiny" dlya promyslovykh spozhyvachiv*. [online] Available at: <https://www.naftogaz.com> [Accessed 17 December 2021].
16. *Preyskurant na pryrodnyy haz iz resursiv NAK «Naftogaz Ukrayiny»*. [online] Available at: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/486E117B34CF13EEC2257BCE0041B995?OpenDocument> [Accessed 16 December 2021].
17. Statistics Sweden. *Electricity prices and electricity contracts*. [online] Available at: <https://www.scb.se/en/finding-statistics/statistics-by-subject-area/energy/price-trends-in-the-energy-sector/electricity-prices-and-electricity-contracts/> [Accessed 9 December 2021].
18. Statistics Sweden. *Gas prices and gas contracts*. [online] Available at: <https://www.scb.se/en/finding-statistics/statistics-by-subject-area/energy/price-trends-in-the-energy-sector/gas-prices-and-gas-contracts/> [Accessed 9 December 2021].

19. Tryvita. n.d. *Ekstrudovanny pinopolistyrol*. [online] Available at: <<https://trivita.ua/ua/istpleks-35v-1200h600h60-jekstrudirovannyj-penopolistirol>> [Accessed 21 October 2021].
20. Kabanchyk. Servis zamovlennya posluh. *Uteplennya fasadiv u Kyjevi. Vartist' robit*. [online] Available at: <<https://kiev.kabanchik.ua/ua/category/uteplenie-fasadov>> [Accessed 21 October 2021].
21. Internet - mahazyn "Konstruktyv". *Kley dlya teploizolyatsiyi*. [online] Available at: <<https://konstruktyv.kiev.ua/steklovata-profitep-150-plyus-150-610-1230-4-5m-kv/>> [Accessed 21 October 2021].
22. Internet - mahazyn "Nasha stroyka". *Polimerna teploizolyatsiya PIR termPIR*. [online] Available at: <<https://nasha-stroyka.com.ua/stroitelstvo-i-remont/>> [Accessed 21 October 2021].
23. Veka. *Profil' Softline*. [online] Available at: <<https://veka.ua/production/special/profilnye-sistemy-veka/veka-softline/>> [Accessed 20 October 2021].
24. PozhSoyuz. *Dveri protyopozharni metalevi hlukhi*. [online] Available at: <<https://euoservis.com.ua/ua/dveri-protivopozharnye-metallicheskie-glukhie-dmp-ei60-1-2100kh900-prav.-samodovodyashchaya-petlya/>> [Accessed 20 October 2021].
25. Okna Kalashnikova.. *Vkhidni dveri*. [online] Available at: <<http://okna-kalashnikova.com.ua/dveri/vhodnie/dver-vhodnaja-metalloplastikovaja-900h2050.html>> [Accessed 02 October 2021].
26. Asotsiatsiya inzheneriv enerhetykov Ukrayini. *Diagrama pererakhunku enerhetychnykh velychyn*. [online] Available at: <<https://aee-ua.business.site/>> [Accessed 22 December 2021].
27. Buyak, N., 2017. *Otsinka efektyvnosti enerhetychnoyi systemy budivli v umovakh teplovoho komfortu*. Ph.D. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.
28. Natsional'nyy bank Ukrayiny. *Oblikova stavka Natsional'noho banku*. [online] Available at: <<https://bank.gov.ua/ua/monetary/stages/archive-rish>>.
29. Research Gate. *Exchange rate and policy discount rate in Sweden*. [online] Available at: <https://www.researchgate.net/figure/Exchange-rate-and-policy-discount-rate-in-Sweden_fig4_46456927>.
30. REHVA. 2022. *REHVA Journal 06/2019 - NZEB requirements in Nordic countries*. [online] Available at: <<https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/nzeb-requirements-in-nordic-countries>>.
31. Ministerstvo rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo – komunal'noho hospodarstva Ukrayiny, 2012. *DSTU B EN 15251:2015. Rozrakhunkovi parametry mikroklimatu prymishchen' dlya proektuvannya ta otsinky enerhetychnykh kharakterystyk budivel' po vidnoshennyu do yakosti povitrya, teplovoho komfortu, osvitlennya ta akustyky*. Kyiv.

Надійшла 17.05.2022
Received 17.05.2022