

Марина ЄЛІСЄЄВА¹,

канд. техн. наук, старший викладач

ORCID: 0009-0002-7112-9904

Таїсія ТКАЧ²,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-9433-7514

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

²Український державний університет науки і технологій, ННІ
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», м. Дніпро

ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ ШЛЯХОМ МІНІМІЗАЦІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

Мета. Шляхом визначення поточної ситуації із викидами парникових газів в будівельній галузі визначити перелік країн Європейського Союзу, які є лідерами в питанні зниження вуглецевого сліду та зеленої трансформації будівельної індустрії для можливості адаптації їх успішніших практик до українських умов.

Методика. У роботі застосовано комплексний підхід, який включає в себе аналітичні, порівняльні та узагальнювальні методи дослідження. Проводився аналіз відкритого джерела Євростату щодо викидів парникових газів будівельної індустрії та домогосподарств країн Європейського Союзу. Для оцінки впливу на довкілля використано узагальнені показники енерговитрат та викидів CO₂.

Результати. На рівень енерговитратності будівельної індустрії найбільший вплив мають енергоефективність будівель під час експлуатації та технології виробництва будівельних матеріалів та виробів. Оцінити ці дві складові можна за викидами парникових газів будівельної індустрії та частково домогосподарств країн Європейського Союзу.

Найбільш перспективними країнами Європейського Союзу для дослідження їх досвіду в питанні зеленої трансформації будівельної індустрії доцільно вважати наступні: Норвегія, Швеція та Нідерланди. До цього списку варто додати і Польщу, яка також показує високі результати у питанні мінімізації викидів парникових газів та безпосередньо межує із Україною і має схожі культурні цінності.

За роки реалізації кліматичної політики Європейському Союзу вдалося значно зменшити викиди парникових газів в секторі енергетики. В Україні, даний сектор традиційно значно перевищує викиди всіх інших секторів.

Сектор промислового виробництва та споживання в Україні, однією із складових якого є будівельна промисловість, має 18 % від загального обсягу викидів парникових газів. Найбільші викиди в цьому секторі спричиняються виготовленням металопродукції, хімічної та мінеральної продукції. Серед мінеральної продукції лідирують виробництво цементу та вапна.

Наукова новизна. Поглиблення знань щодо стану викидів парникових газів в будівельній індустрії та домогосподарствах країн Європейського Союзу.

Практична значимість. Визначення переліку передових країн Європейського Союзу із подібним до України кліматом у вирішенні питання зеленої трансформації будівельної індустрії, що є важливим компонентом сталого будівництва. А також отримання даних порівняння викидів парникових газів в Європейському Союзі та Україні.

Ключові слова: *будівельна індустрія, зелена трансформація, викиди парникових газів, енергоефективність, країни Європейського Союзу, Європейський зелений курс.*

Вступ. В останні десятиліття людство все більше звертає увагу на питання збереження довкілля шляхом мінімізації відходів та викидів парникових газів, зменшення використання природних ресурсів, що підкріплюється прийняттям різноманітних нормативно-правових актів як в Європейському Союзі, так і в Україні. Одним із затребуваних в будь-якій промисловості видом видобутого ресурсу є паливно-енергетичні матеріали. За даними [1], загальне світове споживання енергії між 1990 та 2019 роками зросло приблизно в 1,64 рази або на 2,2 %. При цьому найбільше зростання енергоспоживання за цей період відбулося в країнах Азії, в першу чергу у Китаї. Воно збільшилося у 2,83 рази, з 2 113 до 5 983 мільйонів тон.

Як відомо [2; 3], саме будівельна галузь є однією із найбільш ресурсоемних галузей як України, так і країн Європейського Союзу. На її частку припадає споживання близько 40 % світової енергії, близько 20 % води, близько половини всіх видобутих матеріалів. Так, лише для зведення нових будівель щорічно використовується близько 40 % необробленого природного каменю, гравію та піску, 25 % від загального обсягу природної деревини. При цьому будівельний сектор ще є і утворювачем великої кількості будівельних відходів та парникових газів.

За весь життєвий цикл будівля, яка споживає біля 200 кВт·год/(м²·рік) енергії, потребує найбільше енергії саме під час її експлуатації для обігріву чи охолодження приміщень – біля 83 % та для виробництва будівельних матеріалів і виробів, з яких вона будується – 12 % [4]. Таким чином, для зниження енерговитратності будівельної індустрії необхідно вирішувати питання підвищення енергоефективності будівель та використання менш енергоємних технологій та обладнань при виробництві будівельних матеріалів та виробів.

Даний проблематиці присвячено ряд наукових робіт як вчених України, так і вчених світу, а саме: В.Р. Сердюка, М.А. Саницького, Г.Г. Фаренюка, М.В. Савицького, К.Б. Дікарева, М.М. Бабенко, Г.С. Патушняка, Rabia Charef, Jean-Claude Morel, Kambiz Rakhshan, Jozef Hraška, Chethana Illankoon, Sadith Chinthaka Vithanage та інші [2 – 10].

Для розуміння того, які країни Європейського Союзу є лідерами в питанні трансформації будівельної індустрії від традиційних технологій до нових низьковуглецевих технологій, від лінійної моделі виробництва до замкнутої моделі слід проаналізувати поточну ситуацію із викидами парникових газів, спричинених саме будівельною галуззю. Це допоможе в майбутньому досліджувати та імплементувати досвід найкращих практик Європейського Союзу в цьому питанні.

Основна частина. В низьковуглецевому будівництві розрізняють два типи викидів вуглецю: операційний вуглець (Operational Carbon) та вбудований вуглець (Embodied carbon). До операційного вуглецю відносяться викиди, які утворюються під час експлуатації будівлі. В першу чергу, вони пов'язані із створенням комфортних мікрокліматичних умов для перебування та/або проживання людини у приміщеннях такої будівлі шляхом витрат енергетичних ресурсів на опалення та охолодження будівель, їх освітлення та вентиляцію і т.п. Тобто всі ті параметри, які входять до терміну енергоефективність будівель.

До вбудованого вуглецю відносяться викиди, які утворюються життєвим циклом обраних будівельних матеріалів та будівельних технологій, які використовуються при зведенні будівель. В першу чергу, це видобуток сировини із якої виготовляють

будівельний матеріал, виріб або конструкцію, їх транспортування до підприємства та виробництва.

З 2021 року в Україні введено в дію ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [11], який у порівнянні із відповідним ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [12] підвищив норми опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських будівель в середньому на 15 – 20 %. Так, опір теплопередачі таких конструкцій для першої та другої кліматичних зон, відповідно, збільшено:

- для зовнішніх стін з 3,3 до 4 м²·К/Вт та з 2,8 до 3,5 м²·К/Вт;
- для покриття опалювальних дахів, мансард, дахових перекриттів неопалюваних дахів з 4,95 до 6 м²·К/Вт та з 4,5 до 5,5 м²·К/Вт;
- для світлопрозорих огорожувальних конструкцій з 0,75 до 0,90 м²·К/Вт та з 0,6 до 0,7 м²·К/Вт.

При цьому більшість європейських країн, які мають подібні кліматичні умови, як і Україна, ще в 70-х роках ХХ століття встановили нормативні вимоги опору теплопередачі зовнішніх стінових конструкцій на рівні 4,5 – 5,5 м²·К/Вт [13]. Тобто Україна приблизно на 50 років поступається європейським країнам у прийнятті необхідних законодавчих актів, які б спонукали забудовників до зведення енергоефективних будинків.

За даними [14], при проведенні енергоаудиту в 2020 році, станом на 01 січня 2021 року виявилось, що майже 44 % будівель мають найнижчий клас енергоефективності «G». При цьому найвищий клас енергоефективності «A» отримали лише 1,4 % будівель. Тому Міністерством розвитку громад та територій України вперше було розроблено та введено в дію наказ № 260 від 27 жовтня 2020 року, зареєстрований в Міністерстві юстиції України за № 1257/35540 від 18 грудня 2020 р «Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель» [15]. Згідно із цим документом мінімальні вимоги встановлюються не лише для новобудов, але і для існуючих будівель, в яких проводиться реконструкція або капітальний ремонт. Клас енергетичної ефективності таких будівель повинен бути не нижче класу «C».

Високі витрати паливно-енергетичних ресурсів при виготовленні будівельних матеріалів та виробів пов'язані із тим, що зазвичай для їх отримання необхідно проводити таку енергоємну технологічну операцію як випал чи плавлення з метою отримання будівельного продукту із необхідним мінералогічним складом та структурою, які забезпечать його високі фізико-технічні властивості. Так, температура при скловарінні складає 1500...1600 °С, при випалі цементного клінкеру – 1450 °С, керамічної цегли – 1000...1100 °С, керамограніту – 1300 °С та ін [16]. Крім того, для ефективного проведення технологічного процесу та прискорення фізико-хімічних реакцій між компонентами сировинної суміші необхідне їх попереднє високодисперсне подрібнення, що теж призводить до високих витрат електроенергії. Внаслідок цього будівельна індустрія має високу потребу в енергоресурсах, що безумовно є негативним аспектом при акценті на збереження довкілля.

За даними [3], в країнах Європейського Союзу частка будівельних відходів в загальному обсязі всіх відходів складає біля 30 – 35 %. В основному це частини конструкцій або виробів з бетону, цегли, скла, деревини, гіпсокартону, азбесту, металу, пластика та інших. В Україні ситуація є ще менш втішною. Оскільки із початком повномасштабної війни численні об'єкти як житлового фонду, так і цивільної та соціальної інфраструктури отримали значні пошкодження та руйнації, що безумовно викликало утворення великої кількості будівельних відходів. За даними [17], станом на 10 лютого 2023 року, у країні вже накопичилося близько 10 – 12 млн

тонн будівельних відходів, і щоденно їхній обсяг збільшується. Це створює нові пріоритети в будівельній галузі: розробка та впровадження високоефективних технологій перероблення та повторного використання будівельних відходів, переважно на підприємствах із виробництва будівельних матеріалів та виробів. А також необхідність використання інноваційних матеріалів та підходів до їх застосування, які б максимально сприяли ідеї безвідходності шляхом подовження їх терміну служби та можливості повторного використання того чи іншого будівельного продукту після закінчення його терміну експлуатації в будівлі чи споруді.

Своєрідною дорожньою картою для втілення вищезазначених ідей є European Green Deal – Європейський зелений курс [18], який був представлений Президентом Європейської комісії Урсулою фон дер Лєєн 11 грудня 2019 року в Європарламенті. Його основною ціллю є досягнення кліматичної нейтральності європейського континенту до 2050 року. Цей документ формулює стратегію зеленої модернізації економіки та економічного зростання для забезпечення гармонічного споживання ресурсів та життя людини «дружньої» до довкілля.

За даними Євростату [19], у період з 2013 по 2023 роки майже всі галузі економічної діяльності в Європейському Союзі скоротили викиди парникових газів. Так, у 2023 році підприємства різного профілю та домогосподарства в Європейському Союзі спричинили викиди парникових газів у розмірі 3,4 мільярда тон CO₂ еквіваленту, що приблизно на 17 % менше у порівнянні із 2013 роком. Під домогосподарствами, в даному випадку, маються на увазі різні види життєдіяльності громадян, які спричинюють викиди парникових газів, пов'язані, наприклад, з опаленням чи охолодженням будівель, пересуванням на приватних транспортних засобах і т.п. Таким чином, за викидами парникових газів в домогосподарствах опосередковано можна оцінити рівень енерговитратності будівель під час експлуатації.

Лідерами серед забруднювачів у 2013 році були наступні сфери:

1 місце – постачальники електроенергії, газу, пари та кондиціонованого повітря (далі – енергетика), 1,04 мільярдів тон CO₂ еквіваленту;

2 місце – добувна промисловість, 836 мільйонів тон CO₂ еквіваленту;

3 місце – домогосподарства, 800 мільйонів тон CO₂ еквіваленту.

В 2023 році загальна тенденція дещо змінилася:

1 місце – добувна промисловість, 694 мільйонів тон CO₂ еквіваленту;

2 місце – домогосподарства, 690 мільйонів тон CO₂ еквіваленту;

3 місце – енергетика, 595 мільйонів тон CO₂ еквіваленту.

Найкращих результатів, в цьому питанні, досягла сфера енергетики, яка з 1 мільярду тон CO₂ еквіваленту у 2013 році знизилася викиди парникових газів до 595 мільйонів тон CO₂ еквіваленту у 2023 році, тобто майже на 43 %.

Будівельна індустрія, на даний час, не є флагманом у цьому питанні, як можна побачити із рис. 1.

В даному секторі економіки викиди парникових газів залишаються майже на одному рівні близько 53 мільйонів тон CO₂ еквіваленту. Винятком є 2020 рік, коли цей показник становив 49 мільйонів тон CO₂ еквіваленту. Але це пов'язано із всесвітньою пандемією COVID-19 і зупинкою будівельних підприємств в цей період.

Домогосподарства в Європейському Союзі скоротили ці викиди між 2013 і 2023 роками, з 800 до 690 мільйонів тон CO₂ еквіваленту, тобто майже на 14 %.

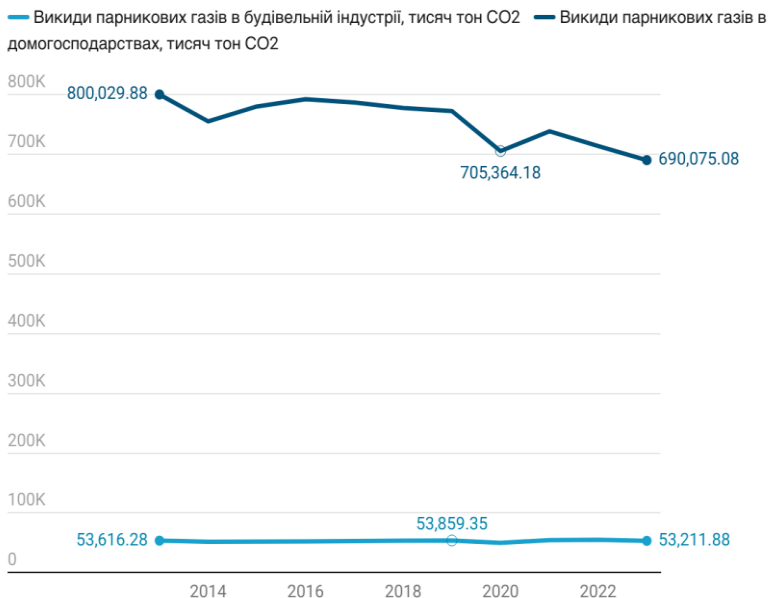


Рис. 1. Викиди парникових газів в тис. тон CO₂ еквіваленту в будівельній індустрії та домогосподарствах протягом 2013 – 2023 років

На рис. 2 та 3 представлено порівняльні діаграми викидів парникових газів в будівельній індустрії та домогосподарствах відповідно у 2013 та 2023 роках в розрізі країн Європейського Союзу.

Як відображено на рис. 2, невідомий топ-3 країн із найбільшим рівнем викидів парникових газів у будівельній індустрії у 2023 році очолюють Норвегія, Ісландія та Словаччина.

В Польщі рівень викидів парникових газів в будівельному секторі залишився на тому ж рівні 22 кг на душу населення, як в 2013 році, так і в 2023 році.

Як відображено на рис. 3, найбільший рівень викидів парникових газів у домогосподарствах у 2023 році, який становить біля 2000 – 2200 кг на душу населення, мали наступні країни: Люксембург, Бельгія, Ірландія, Німеччина та Кіпр. Найменшим цей показник виявився у Мальти, Болгарії, Швеції, Фінляндії та Норвегії біля 500 – 800 кг на душу населення. При цьому найбільш позитивну динаміку зменшення викидів парникових газів в цьому секторі протягом 2013 – 2023 років показали Фінляндія «-34,4 %»; Нідерланди «-33,9 %»; Данія «-33,3»; Норвегія «-32,5»; Швеція «-32,3»; Ірландія «-28,3» та Бельгія «-28,2».

В Польщі рівень викидів парникових газів в домогосподарствах знизився з 1486 до 1358 кг на душу населення, що складає різницю у 8,6 %.

Проте більш цілісна картина відображається при врахуванні валової доданої вартості від діяльності конкретної індустрії. Валова додана вартість вимірює внесок кожного виду виробничої діяльності в економіку в цілому, тому може використовуватися в якості показника для порівняння інтенсивності викидів у різних видах економічної діяльності. Таким чином, часові межі інтенсивності

Шляхи підвищення ефективності будівництва, вип. 56(1), 2025

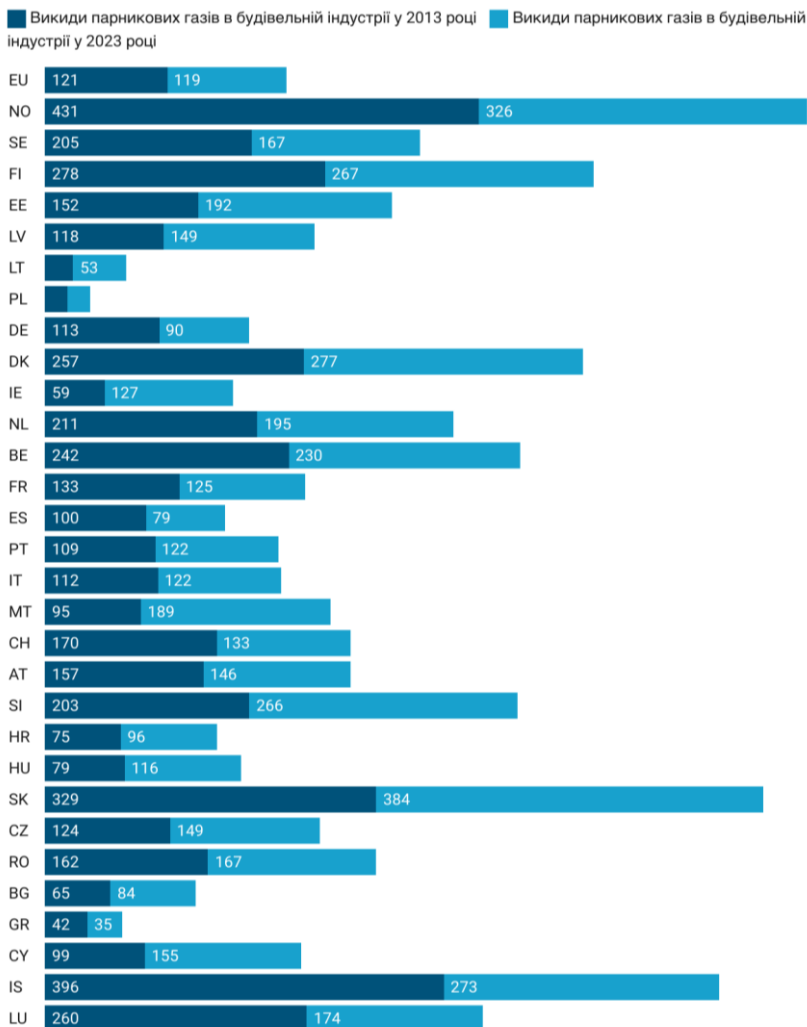


Рис. 2. Викиди парникових газів в будівельній індустрії у 2013 та 2023 роках в країнах Європейського Союзу у кг на душу населення, де:

EU – Європейський Союз; NO – Норвегія; SE – Швеція; FI – Фінляндія;
 EE – Естонія; LV – Латвія; LT – Литва; PL – Польща; DE – Німеччина;
 DK – Данія; IE – Ірландія; NL – Нідерланди; BE – Бельгія; FR – Франція;
 ES – Іспанія; PT – Португалія; IT – Італія; MT – Мальта; CH – Швейцарія;
 AT – Австрія; SI – Словенія; HR – Хорватія; HU – Угорщина;
 SK – Словаччина; CZ – Чехія; RO – Румунія; BG – Болгарія;
 GR – Греція; CY – Кіпр; IS – Ісландія; LU – Люксембург

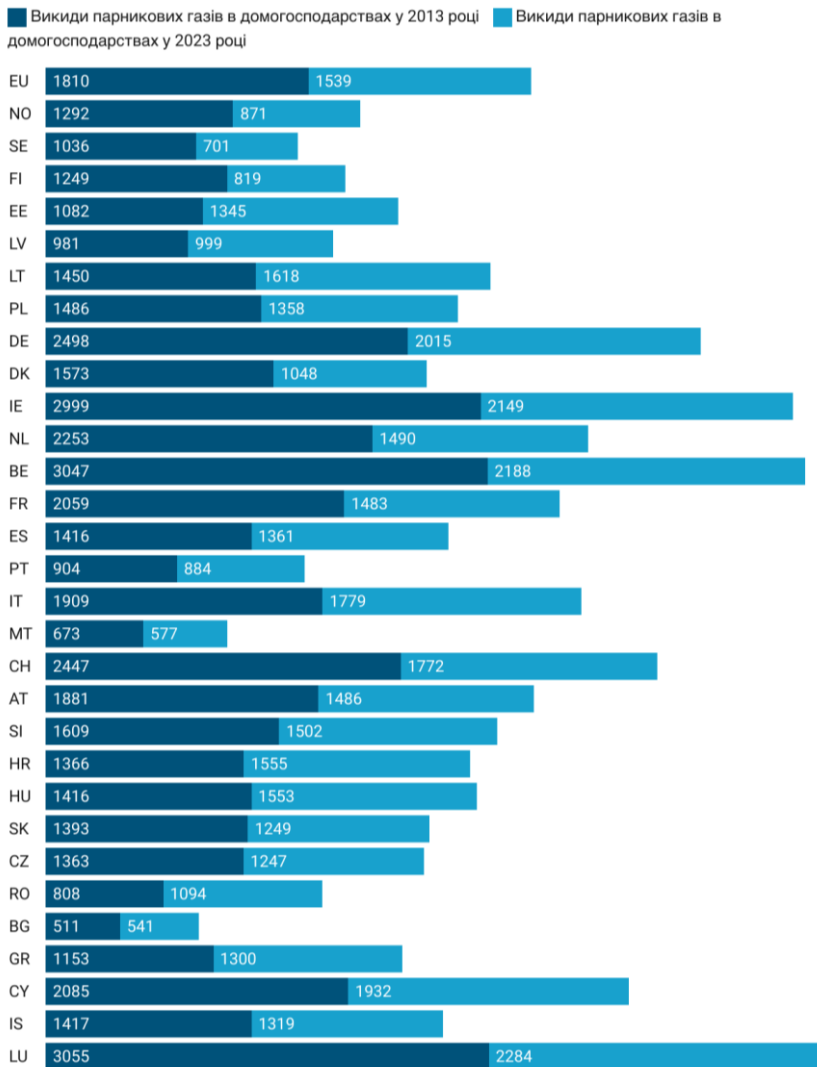


Рис. 3. Викиди парникових газів в домогосподарствах у 2013 та 2023 роках в країнах Європейського Союзу у кг на душу населення, де позначення ті самі, що і на рис. 2

викидів парникових газів показують, як змінився обсяг викидів парникових газів на одиницю валової доданої вартості (виміряний у євро). Зменшення інтенсивності викидів вказує на зниження викидів за такої ж кількості економічної доданої

вартості. Дані щодо зміни інтенсивності викидів парникових газів в будівельній індустрії із врахуванням валової доданої вартості протягом 2013 – 2023 років представлено на рис. 4. Оскільки домогосподарства не створюють валової доданої вартості, то для цього сектору він не враховується.

Як відображено на рис. 4, найкращих результатів в питанні зниження викидів парникових газів при збереженні та зростанні темпів роботи будівельної індустрії протягом 2013 – 2023 років досягли наступні країни Європейського Союзу: Ісландія «-60,3 %»; Нідерланди «-38,3 %»; Хорватія «-36,4 %»; Швеція « -32,3 %»; Норвегія «-31 %»; Румунія «-28,7 %»; Польща «-28,6 %».

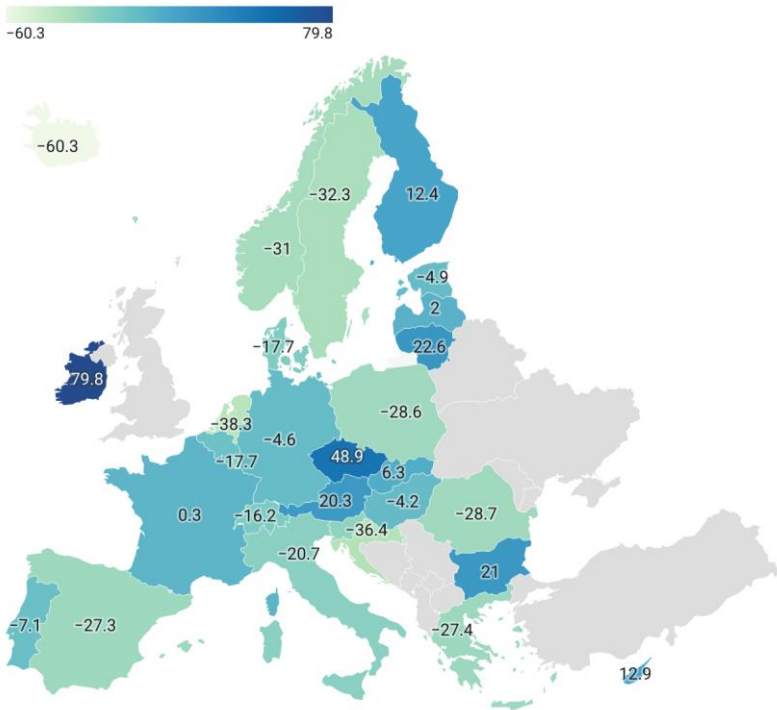


Рис. 4. Зміна інтенсивності викидів парникових газів в будівельній індустрії із врахуванням валової доданої вартості у % протягом 2013 – 2023 років на основі грамів на євро

При порівнянні показників мінімізації викидів парникових газів у розрізі країн Європейського Союзу протягом 2013 – 2023 років, як у будівельній індустрії, так і в домогосподарствах, отримуємо наступних топ-лідерів країн Європейського Союзу: Норвегія, Швеція та Нідерланди.

Відповідно до вимог статей 4 та 12 Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, ратифікованої Україною 29 жовтня 1996 року [20], країна щороку розробляє та подає Секретаріату цього органу Національний кадастр

антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за відповідні роки. Цей документ дозволяє проаналізувати стан викидів та поглинань парникових газів в нашій країні, оцінити доцільність та ефективність вжитих заходів, що в подальшому сприяє формуванню успішної кліматичної політики. Крім того, він дає змогу ознайомити міжнародну спільноту із станом викидів парникових газів в державі, так як документ готується англійською мовою, та в разі позитивних зрушень бути одним із аргументів до повноцінного членства України в альянсі Європейського Союзу.

Відповідно до даних Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990 – 2021 роки (далі – Кадастр), розміщеного на сайті Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [21], викиди парникових газів в Україні у 2021 році склали 341,5 мільйон тон CO₂ еквіваленту, що менше на 62,5 % порівняно із 1990 роком, але більше на 7,5 % порівняно із 2020 роком. Однак, враховуючи світову пандемію у 2020 році та катастрофічне падіння валової доданої вартості всіх галузей національної економіки України, що відобразилось у вигляді економічної кризи, ці цифри можна вважати співставними.

В Україні оцінка викидів парникових газів відбувається в п'яти секторах: енергетика; промислове виробництво та споживання сировини; сільське господарство; землекористування, зміни в землекористуванні та лісове господарство; відходи. Будівельна індустрія є однією із складових сектору промислового виробництва та споживання сировини, разом із металургійною, хімічною промисловістю та іншими. В Кадастрі відсутні данні окремо за будівельною промисловістю, що унеможливило пряме порівняння із відповідними даними Євростату в розрізі країн Європейського Союзу.

Найбільша частка викидів парникових газів в Україні припадає на сектор енергетики 209,7 мільйонів тон CO₂ еквіваленту, це близько 64 % від загального обсягу викидів. Найбільші викиди спричинюються внаслідок спалювання викопного палива для одержання електричної та теплової енергії. Слід зазначити, що на відміну від даних Євростату український Кадастр у сектор енергетики включає також транспортування та зберігання. Станом на 2021 рік, за даними Євростату [19], в усіх 27 країнах Європейського Союзу, які взяли участь у дослідженні, сумарні викиди парникових газів склали 3,65 мільярдів тон CO₂ еквіваленту, з яких частка сектору енергетики та сектору транспортування і зберігання склали 1,16 мільярдів тон CO₂ еквіваленту. Це близько 32 % від загального обсягу викидів, що вполовину менше ніж в Україні. Загалом, якщо порівнювати показники викидів за даним сектором, то їх частка в Україні складає близько 18 % викидів у Європейському Союзі.

Наступним в списку є сектор промислового виробництва та споживання сировини 58,4 мільйонів тон CO₂ еквіваленту, це близько 18 %. Найбільші викиди в цьому секторі спричинюються виготовленням металопродукції, хімічної та мінеральної продукції. Серед мінеральної продукції лідирують виробництво цементу та вапна, тобто саме продукція будівельної промисловості.

16 липня 2024 року було прийнято Закон України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення», який вступив у дію в серпні 2025 року. Відповідно до цього Закону [22], встановлюються правові та організаційні засади запобігання та зменшення промислового забруднення, а також проводиться моніторинг промислового забруднення і контроль дотримання умов інтегрованого довіллієвого дозволу. Це має сприяти зниженню викидів парникових газів,

збереженню довкілля безпечного для здоров'я та життя населення, а також дозволить забезпечити виконання норм Європейського зеленого курсу на засадах циркулярної економіки.

Висновки. Таким чином, на рівень енерговитратності будівельної індустрії найбільший вплив мають енергоефективність будівель під час експлуатації та технології виробництва будівельних матеріалів та виробів. Оцінити ці дві складові можна за викидами парникових газів будівельної індустрії та частково домогосподарств країн Європейського Союзу.

Найбільш перспективними країнами Європейського Союзу для дослідження їх досвіду в питанні трансформації будівельної індустрії із врахуванням подібних до України кліматичних умов, доцільно вважати наступні: Норвегія, Швеція та Нідерланди. До цього списку варто додати і Польщу, яка також показує високі результати у питанні мінімізації викидів парникових газів та безпосередньо межує із Україною і має схожі культурні цінності.

За роки реалізації кліматичної політики Європейському Союзу вдалося значно зменшити викиди парникових газів в секторі енергетики. В Україні, даний сектор традиційно значно перевищує викиди всіх інших секторів.

Отриманий аналіз викидів парникових газів в будівельній індустрії у Європейському Союзі, в майбутньому дозволить сфокусувати увагу на досвіді лідируючих країн Європейського Союзу у питанні зеленої трансформації будівельної індустрії.

Список літератури:

1. Pivniak, H., Aziukovskiy, O., Papaika, Yu., Lutsenko, I., & Neuberger, N. (2022). Problems of development of innovative power supply systems of Ukraine in the context of european integration. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 89-103. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-5/089>
2. Illankoon Ch., & Vithanage, S., Ch. (2023). Closing the loop in the construction industry: A systematic literature review on the development of circular economy. *Journal of Building Engineering*, 76, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107362>
3. Сердюк, В. (2023). Циркулярна економіка: українські реалії та перспективи впровадження в будівельні галузі. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 1, 156-164. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-1-156-164>
4. Саницький, М.А., Позняк, О.Р., & Марущак, У.Д. (2013). *Енергозберігаючі технології в будівництві: навчальний посібник*. Видавництво Львівської політехніки.
5. Farenjuk, G., & Farenjuk, Y. (2021). Definition of reference building in development of requirements to energy efficiency indicators. *Science & Construction*, 2, 3-10.
6. Бабенко, М. М., Савицький, М. В., Шехоркіна, С. Є., Кузьменко, О. М., Бондаренко, О. І., Бордун, М. В., Котов, М. А., Спиридоненков, В. А., & Єлісєєва, М. О. (2018). *Зелені будівлі для сталого розвитку житлового будівництва: монографія*. ФОП Удовиченко О. М.
7. Khurudzhi, Yev., Chashyn, D., Dikarev, K., & Kutsenko-Skokova, A. (2023). Implementing building information modeling in retrofitting of building projects and energy efficient construction. *Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3, 127-134. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.127.964>
8. Rabenseifer, R., Hraška, J., Borovská, E., Babenko, M., Hanuliak, P., & Vacek, Š. (2022). Sustainable Building Policies in Central Europe: Insights and Future Perspectives. *Energies*, 15, 1-16. <https://doi.org/10.3390/en15041356>

9. Ратушняк, Г., Бікс, Ю., & Лялюк, А. Організаційно-технологічні чинники впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 1, 203-210. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2022-2-203-210>
10. Charef, R., Morel, Je.-C., & Rakhshan, K. (2023). Barriers to Implementing the Circular Economy in the Construction Industry: A Critical Review. In *Ecological Transition and Circular Economy. Special Issue Reprint* (pp. 133-150). <https://doi.org/10.3390/su132312989>
11. Державні будівельні норми ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. – 27 с.
12. Державні будівельні норми ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – К.: Міністерство регіонального розвитку громад, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 37 с.
13. Рудченко, Д. (2021). Перспективи виробництва і застосування теплоізоляційного автоклавного газобетону. *Наука та будівництво*, 4, 58-64. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-15-2021-7>
14. Мінрегіон вперше в Україні встановив мінімальні вимоги до енергоефективності будівель. Урядовий портал. Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України 15 січня 2021 року. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/minregion-vpershe-v-ukrayini-vstanoviv-minimalni-vimogi-do-energoefektivnosti-budivel>
15. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель. Веб-портал Верховна Рада України. Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text>
16. Дворкін, Л., & Мироненко, А. (2019). *Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів: навчальний посібник*. НУБГП.
17. Перероблення будівельних відходів: виклики та можливості для України // Укрінформ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3826490-pereroblenna-budivelnih-vidhodiv-vikliki-ta-mozlivosti-dla-ukraini.html>
18. Європейський Зелений Курс. Вебсайт Представництва України при Європейському Союзі. 15 квітня 2021 року. URL: <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobotnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda>
19. Greenhouse gas emission accounts. Website Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Greenhouse_gas_emission_accounts#Greenhouse_gas_emissions_by_economic_activity
20. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. Веб-портал Верховна Рада України. Законодавство України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text
21. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990-2021 роки. Вебсайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/mizhnarodna-klimatychna-zvitnist/>
22. Закон України “Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення”. Вебпортал парламенту України. 17 липня 2024. URL: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/251750.html>

Maryna YELISIEIEVA, Taisiia TKACH

Green transformation of the construction industry by minimizing greenhouse gas emissions

Purpose. By assessing the current situation with greenhouse gas emissions in the construction industry, identify the European Union countries that are leaders in reducing the carbon emissions and green transformation of the construction industry in order to adapt their best practices to Ukrainian conditions.

The methods. The work uses a comprehensive approach that includes analytical, comparative, and generalised research methods. An analysis of Eurostat's open source data on greenhouse gas emissions from the construction industry and households in European Union countries was conducted. Generalised indicators of energy consumption and CO₂ emissions were used to assess the environmental impact.

Findings. The energy intensity of the construction industry is most strongly influenced by the energy efficiency of buildings during operation and the production technology of building materials and products. These two components can be assessed by greenhouse gas emissions from the construction industry and partially from households in the European Union.

The most promising of the countries of the European Union for studying their experience in the green transformation of the construction industry are the following: Norway, Sweden and the Netherlands. This list should also include Poland, which also shows good results in minimising greenhouse gas emissions, borders directly on Ukraine and has similar cultural values.

Over the years of implementing climate policy, the European Union has managed to significantly reduce greenhouse gas emissions in the energy sector. In Ukraine, this sector traditionally significantly exceeds the emissions of all other sectors.

The industrial production and consumption sector in Ukraine, of which the construction industry is one component, accounts for 18 % of total greenhouse gas emissions. The largest emissions in this sector come from the manufacture of metal products, chemicals and minerals. Among mineral products cement and lime production are leading.

The originality. Deepening of knowledge about the state of greenhouse gas emissions in the construction industry and households in the countries of the European Union.

Practical implementation. Establishing a list of leading Countries' European Union with a similar climate to Ukraine in addressing the issue of green transformation of the construction industry, which is an important component of sustainable construction. Also, to obtain data comparing greenhouse gas emissions in the European Union and Ukraine.

Keywords: *construction industry, green transformation, greenhouse gas emissions, energy efficiency, The Countries' European Union, European Green Deal*

Дане дослідження було проведено завдяки Міжнародному Вишеградському фонду в рамках Вишеградської стипендіальної програми на базі Університету Марії Кюрі-Скłodовської в Любліні.

This research was conducted with the support of the International Visegrad Fund under the Visegrad Scholarship Programme at the Maria Curie-Skłodowska University in Lublin.