



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЕВОГО
БУДІВНИЦТВА

Білик А. С.

АНАЛІЗ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ КОМЕРЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

УЦСБ - КНУБА - КИЇВ - 2022

Білик А. С.

**АНАЛІЗ
ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ
КОМЕРЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Київ
УЦСБ
КНУБА
ТОВ «7БЦ»
2022

УДК 69.059 (69.07, 624.014)

ББК 38.54я73

М54

М54 Білик А.С. Екологічний та економічний аналіз життєвого циклу каркасів будівель: монографія. – К.: УЦСБ, КНУБА, 7БЦ, 2022. – 263 с.

М54 Bilyk A.S. Ecological and economic life cycle analysis of building frames: монографія. – К.: USCC, KNUCA, 7BC, 2022. – 263 с.

ISBN 978-617-549-160-7

Еколого-економічні проблеми виходять зараз на передній план питань сталого існування людської цивілізації. В ракурсі сучасних наукових досліджень Земля все більше відкривається як система із багатьох взаємопов'язаних елементів, де кожна локальна дія в тій чи іншій мірі відгукується у глобальному сенсі. Даний посібник висвітлює принципи проектування будівельних несучих конструкцій через призму комплексного підходу до них як до продукту, що включений в ланцюжки обігу життєвого циклу матерії та енергії. Будівництво відповідальне за значну частину впливу світової економіки на довкілля. У книзі розроблена і описана методика аналізу життєвого циклу несучих каркасів будівель комерційного призначення, показано екологічні і економічні переваги металевих конструкцій як матеріалу при будівництві та реконструкції. Запропоновано показники для вибору раціональних і оптимальних рішень та наведено приклади їх визначення на різних рівнях будівельних систем.

Environmental and economic problems are now coming to the forefront of the sustainable existence of human civilization. From the perspective of modern scientific research, the Earth is increasingly seeing up as a system of many interconnected elements, where each local action is more or less echoed in a global sense. This monograph highlights the principles of design of building load-bearing structures through the prism of an integrated approach to them as a product included in the chains of the life cycle of matter and energy. Construction is one of the most diversified, developed sectors of the world economy, responsible for much of the environmental impact. The book develops and describes the method of life cycle analysis of load-bearing frames of commercial buildings, shows the environmental and economic benefits of metal structures as a material for construction and for refurbishment. Indicators for the choice of rational and optimal solutions are proposed and examples of their definition at different levels of building systems are given.

Для студентів будівельних вузів, науковців та аспірантів, економістів та менеджерів.

Рецензенти: О.А. Тугай, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри організації та управління будівництвом КНУБА

М.С. Барабаш, доктор технічних наук, професор, директор ТОВ «ЛІРА САПР»

О.В. Савицький, експерт Української Кліматичної Мережі

з кліматичної та енергетичної політики, член Правління ГО «Екодія»

Рукопис монографії рекомендований до видання радою будівельного факультету Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол №3 від 9 листопада 2022 року

ISBN 978-617-549-160-7

© А.С. Білик, 2022

На обкладинці книги використано світліну споруди Oculus у Нью-Йорку (США), проект С. Калатрава. У загальній композиції, сталеві ребра конструкції, обшиті білим металом, тягнуться вгору та виходять у монументальний рух, що символізує руку дитини, яка випускає голуба Миру.

Передмова

Ця книга була написана у 2019-2021 роках і готувалася до видання у березні 2022 року. Широкомасштабне вторгнення росії у лютому 2022 року в Україну змінило ці плани, як і кардинально вплинуло на суспільно-економічну ситуацію в Україні. Багато міст зазнали значних руйнувань, частина території була окупована загарбниками. Автор пішов добровольцем у Збройні Сили України. Станом на листопад 2022 року, в Україні йде активне протистояння збройній агресії росії. Є всі передумови для звільнення тимчасово окупованих територій, але і усвідомлення, що до цього моменту попереду тривалий час боротьби. Прогнозувати економіку у таких умовах фактично неможливо. Відтоді і економічні параметри, які розглядаються у прикладах книги, втратили значною мірою свою актуальність. Проте викладені у книзі аналітичні інструменти, розроблена методика, принципи і підходи – є універсальними для застосування незалежно від висхідних даних, як до об'єктів будівельного середовища, інфраструктури, внутрішнього оснащення тощо, так і в принципі до будь-яких об'єктів, де можливо виділити ресурсообіг і процеси життєвого циклу та можливо обрахувати дані щодо одиничних викидів. На її основі можливо сформулювати універсальну модель життєвого циклу штучних систем.

Через збройну агресію росії змінилися і змінюються не тільки Україна і Європа, а й увесь демократичний світ, бо це виклик засадам, на яких він побудований. Це не тільки війна росії супроти України, це протистояння моделі екстенсивного розвитку супроти інтенсивного; моделі виснаження ресурсів супроти моделі сталого розвитку. І у результаті, ще більш стрімкими та рішучими кроками ЄС відмовляється від газу і нафти, як джерел енергоносіїв, що приховують у собі не тільки екологічні, а й економічні, військово-політичні небезпеки. Так, ЄС прийняв історичне рішення відмовитися достроково від газу і нафти, так як залежність від імпорту енергоносіїв є загрозою національній безпеці. Санкції, які були запроваджені до росії через її військову агресію, в тому числі спрямовані на зменшення частки викопного палива у енергетиці та промисловості у країнах ЄС. Вже у перші пакети санкцій ЄС увійшло ембарго на імпорт вугілля із росії, і часткове нафтове ембарго, програма відмови від газу. Литва першою з країн ЄС повністю відмовилась від російського газу, Естонія і Латвія припинять імпорт російського газу до кінця 2022 року, а Нідерланди відмовляться від закупівлі газу та вугілля. Німеччина – один із ключових споживачів російських вуглеводнів із 1 серпня відмовилась від російського вугілля, а з 31 грудня – від нафти. Для прискорення «зеленої» перебудови Єврокомісія запропонувала у тому числі зробити сонячні батареї обов'язковими для всіх офісних та громадських будівель уже із 2025 року, а із 2029 – і для нових житлових будинків. Витрати зрештою мають окупитися, і не лише політично через скорочення залежності від росії, а й фінансово. За розрахунками Єврокомісії, 27 країн ЄС до 2030 року щорічно економитимуть 80 млрд євро на імпорті газу, 12 млрд – нафти та майже 2 млрд – вугілля. Проте лише повна відмова ЄС від російських нафти й газу матимуть реальний ефект і здатні зупинити російську агресію. І це потрібно впровадити якнайшвидше.

Будівельна індустрія, сталевиробництво – зазнали величезних втрат в Україні. Так, наприклад, металургійні потужності у Маріуполі було майже повністю знищено. Але і фронт робіт із відбудови до перемоги – значний. Перебудова України, становлення військової демократії, держави-фортеці – вимагають нових, ощадних і благосних підходів до господарювання. Оновлена Україна, яка має постати після перемоги, має бути побудована на принципах економічності життєвого циклу та національної безпеки. Враховуючи критичний брак ресурсів в умовах воєнного та післявоєнного часу, методики економічного комплексного проектування і аналізу життєвого циклу – мають стати основоположними при виборі рішень. Показані у даній книзі розрахунки LCA та LCCA можуть бути використані для всіх елементів будівель, підходять не тільки до будівель приватного сектору економіки, а і до державного. Відродження будівельної індустрії, на усьому ланцюжку створення цінностей, дає шанс замість зруйнованих підприємств відбудувати принципово нові за технологічним оснащенням, із високими рівнями ресурсо- та енергоощадності, цілісно враховувати складові сталого розвитку. Це також дає надію на новий світ, позбавлений залежності від викопного палива, заснований на принципах сталого розвитку. У 2022 році забруднення навколишнього середовища у світі досягло найвищого рівня порівняно із минулими роками, а по суті третя світова війна, розпочата росією в Україні, лише погіршила екологічну ситуацію, як у нашій країні, так і в усьому світі.

Попри вкрай складну ситуацію, Українському Центру сталого будівництва вдалося видати дану публікацію. Нехай вона послугує однією зі складових фундаменту для відбудови нової, сильної та екологічно дружньої економіки України, яка стане локомотивом Європи у досягненні цілей Зеленого Курсу та повної декарбонізації до 2050 року.

ЗМІСТ

1. ГЛОБАЛЬНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ БУДІВЕЛЬ

- 1.1. Причини та наслідки глобального потепління на планеті.....6
- 1.2. Україна як учасник процесів із попередження змін клімату 14
- 1.3. Будівельна галузь і глобальне потепління20
- 1.4. Сталий розвиток у будівництві.....24
- 1.5. Оцінка життєвого циклу як ефективний засіб запобігання змінам клімату32

2. НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНСТРУМЕНТИ ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ В БУДІВНИЦТВІ

- 2.1. Огляд вітчизняних нормативних основ для методики аналізу елементів життєвого циклу.....45
- 2.2. Сертифікація і класифікація будівель за факторами життєвого циклу 48
- 2.3. Ключові положення нових вітчизняних норм щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд54
- 2.4. Наявне програмне забезпечення для аналізу життєвого циклу будівель67

3. ТИПОЛОГІЯ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ КОМЕРЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ І ОСОБЛИВОСТІ ЇХНЬОГО ПРОЕКТУВАННЯ

- 3.1. Аналіз ринку комерційної нерухомості в Україні79
- 3.2. Стратегії та сучасні інструменти реалізації проектів у будівництві83
- 3.3. Місце і роль каркасу в системі будівлі 100
- 3.4. Види і складові каркасів будівель комерційного призначення 105

4. МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РІШЕНЬ ТА РОЗРАХУНКІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

- 4.1. Існуючі моделі оцінки рішень та критеріїв життєвого циклу 119
- 4.2. Огляд баз даних екологічних параметрів будівельної продукції і процесів..... 126
- 4.3. Екологічна модель оцінки життєвого циклу 130
- 4.4. Економічна модель життєвого циклу 142

5. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ТА ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

- 5.1. Розрахунки екологічної оцінки рішень LCA для нового будівництва 155
- 5.2. Розрахунки економічної оцінки рішень LCC для нового будівництва 174
- 5.3. Застосування економічної та екологічної оцінки рішень в реконструкції 180

6. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ І РОЗВИТКУ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ БУДІВЕЛЬ

- 6.1. Шляхи підвищення економічності та екологічності сталі в будівництві 189
- 6.2. Можливості застосування регуляторних інструментів для підвищення екологічності та економічності будівель208
- 6.3. Перспективи застосування надзагальних критеріїв життєвого циклу220
- 6.4. Післямова230

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ240

Перед нами постає вибір: створити всесвітнє товариство і піклуватися про Землю і про тих, хто нас оточує, або піддатися ризику знищення самих себе і всього розмаїття життя. Наші цінності, інститути та способи життя потребують істотних змін. Ми повинні збагнути, що поза задоволенням нагальних потреб, розвиток людства, передусім, передбачає духовне зростання. Ми маємо достатньо знань і технологій для забезпечення усіх потреб людини, а також для скорочення впливу на довкілля. Зародження глобального громадянського суспільства створює нові можливості для побудови демократичного і гуманного світу. Наші екологічні, економічні, політичні, соціальні та духовні проблеми взаємопов'язані, і разом ми можемо знайти всебічні шляхи їх розв'язання.

Хартія Землі, ЮНЕСКО

1. ГЛОБАЛЬНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ БУДІВЕЛЬ

1.1. ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ НА ПЛАНЕТИ

Світ, у якому ми живемо – багатофакторний і глобалізований. Наразі він змінюється стрімкіше, ніж будь-які наші прогнози його змін. Земля як планета – складна система із саморегуляцією і невизначеною динамікою зворотних зв'язків [1.3, 1.2, 1.19, 1.30]. Людська діяльність невідворотно змінила зовнішній вигляд планети і за останні сторіччя стала одним із найбільш вагомих чинників формування подій на ній, покладаючи початок нової геологічної ери – Антропоцену. Розвиток технологій та їх масове застосування людиною наразі прямо чи опосередковано формує середовище існування всіх екосистем Землі.

Глобальне потепління (англ. Global warming) є одним із наслідків такого впливу. Це процес прогресивного поступового підвищення середньої температури поверхні Землі, який призводить до змін клімату. Глобальне потепління пов'язується із парниковим ефектом, коли викиди у повітря часток і газів – сажі (black carbon), водяної пари, двоокису вуглецю, озону, метану та інших – зменшують відбиття отриманої від Сонця енергії та призводять до нагрівання планети (рис. 1.1).

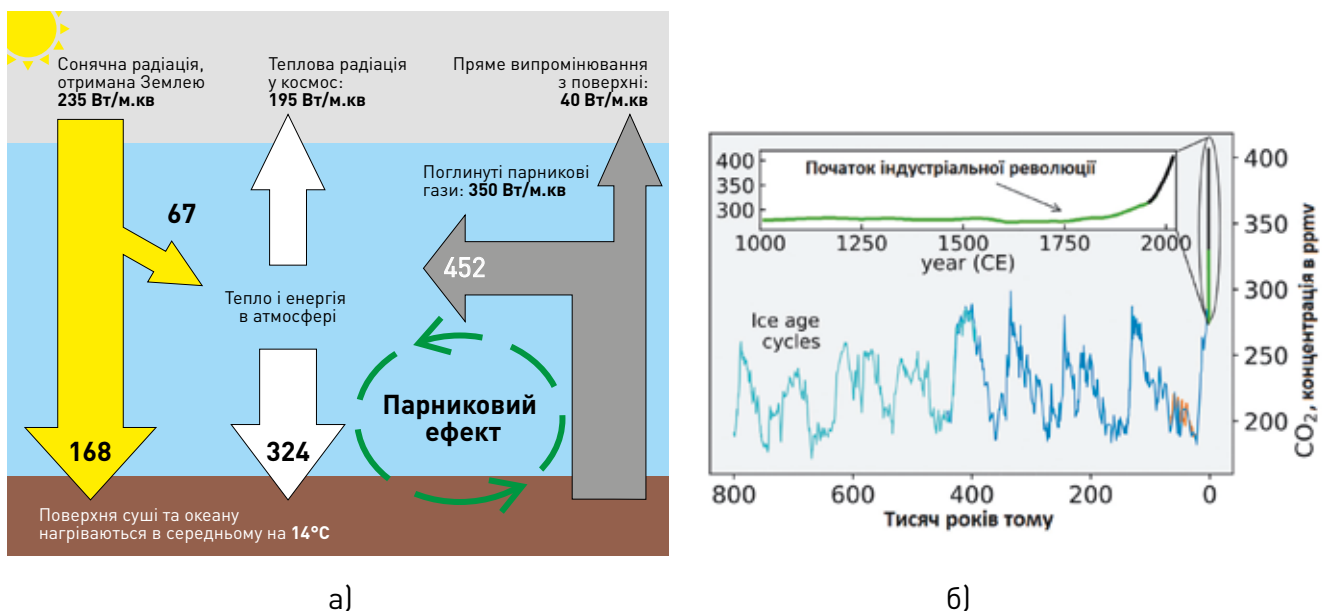


Рис. 1.1. Енергетичні потоки між космосом, атмосферою та земною поверхнею та дія парникового ефекту:
а) обмін енергією виражається у ватах на квадратний метр (Вт/м²);
б) концентрація CO₂ за останні 800 000 років

Починаючи з 1979 року площа арктичного морського льоду на планеті кожного десятиріччя скорочується на 3,5%–4,1%. Льодовики частково зникли у найбільших гірських системах, таких як Альпи, Гімалаї та Скелясті гори. Підвищення рівня світового океану обумовлено в першу

чергу додатковою водою, що виникає через танення льодовиків, а також збільшенням об'єму морської води внаслідок теплового розширення. Наразі рівень моря зростає найшвидшими темпами за останні 2 тисячі років, в середньому на 3,4 мм на рік. Ці темпи можуть зрости через танення великих льодовиків Гренландії та західної Антарктики. Отже, зміна клімату (англ. climate change) – це найголовніший виклик для людства сьогодні, спільно із голодом, браком питної води, міжнародними військовими загрозами і бідністю, а також загальний і тісно пов'язаний з ними [1.42].

Внаслідок глобального потепління Україна може втратити і значні території через підняття рівня Азовського і Чорного морів. До 2100 року, за попередніми розрахунками, слід очікувати на затоплення території площею не менше ніж 650 тисяч га, а з урахуванням вітрових нагонів – до 1 мільйона га [1.39].

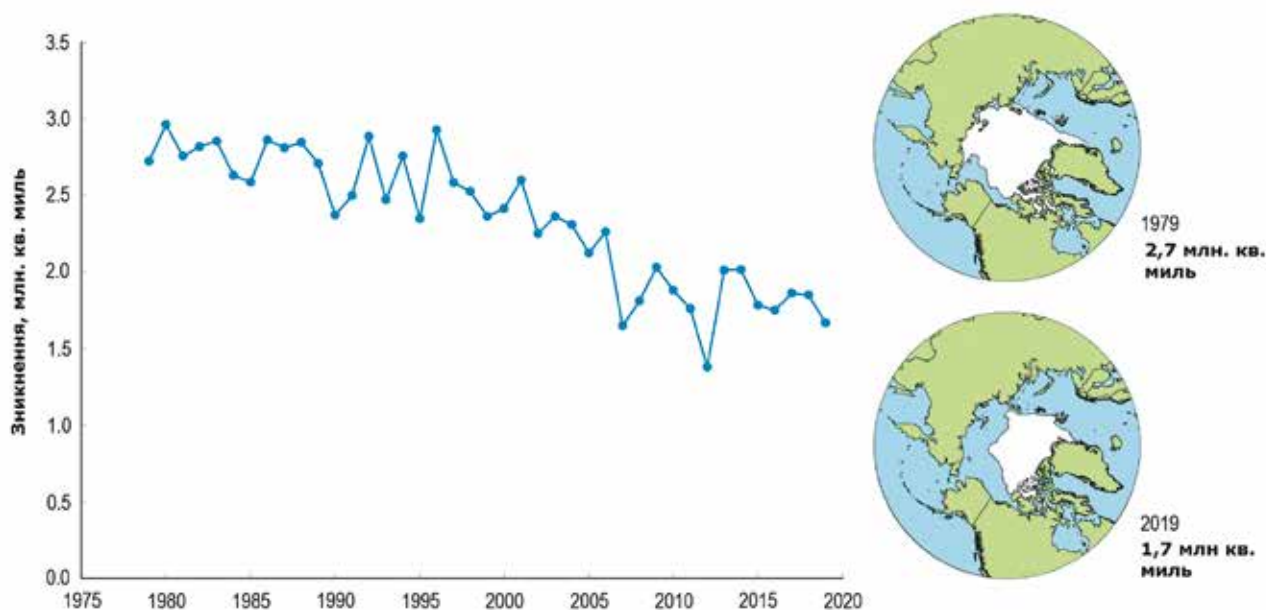


Рис. 1.2. Зникнення морського льодового покриву у Арктиці, середнє значення у вересні

Ключовими антропогенними причинами глобального потепління є викиди парникових газів від спалення природного газу, вугілля та нафти, забруднення атмосфери сажею, неефективне землекористування, індустріалізоване тваринництво, вирубка і спалення лісів. В меншій мірі на потепління впливають природні причини, як-от сонячна активність, самозаймання лісів, вулканічні викиди та короткоживучі парникові гази тощо. Переважно до забруднення атмосфери на всій планеті призводить незбалансоване господарювання людини, що супроводжується зростанням населення. Проблему загострюють надмірне споживання, глобалізація і нестабільність світової економіки. Згідно із даними Всесвітньої метеорологічної організації, лівова частка викидів парникових газів та 85% ефекту потепління припадає на викиди вуглекислого газу. В результаті численних наукових досліджень підтверджено, що зростання концентрації вуглекислого газу у атмосфері пов'язано насамперед із поширенням людства та його діяльності у період науково-технічної революції (рис. 1.16), 1.2). Інші фактори впливу, хоча й мають місце, але зіставні з наслідками діяльності людини [1.88].

Основним спостережуваним показником глобального потепління є **зростання середньої температури на планеті**. Міжурядова група експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК) у 2018

році повідомила, що для того, щоб утримати до кінця століття приріст глобальної середньої температури на рівні нижчому за $1,5^{\circ}\text{C}$, необхідно до 2030 року скоротити викиди двоокису вуглецю на 45%.

Глобальне потепління призводить до наступних основних наслідків:

- зміна клімату і розбалансованість Землі як системи – коливання максимумів і мінімумів температур, непередбаченість погоди, кількості і розподілу атмосферних опадів;
- підняття рівню океану, порушення течій, затоплення територій, паводки;
- зменшення кількості придатної землі, знеліснення і опустелювання територій;
- збільшення частоти та інтенсивності природних стихійних лих і аномалій – пожеж, буревіїв, заморозків тощо;
- зростання кількості техногенних аварій та катастроф;
- зменшення запасів прісної води і збільшення її використання;
- зниження продуктивності сільського господарства, падіння врожайності, зменшення валового внутрішнього продукту (ВВП) і його приросту;
- соціально-економічні проблеми, вимушена міграція населення, голод та збройні конфлікти;
- поширення нових інфекційних захворювань та розширення ареалів наявних, епідемії;
- зменшення біорізноманіття, дестабілізація екосистем, зникнення видів на Землі.



Рис. 1.3. Порівняння середньої температури на поверхні планети супроти сонячної активності показує зростання антропогенного впливу людини [1.80]



а)



б)

Рис. 1.4,

а) зміни глобальної середньої температури над сушею та океаном за період 1880–2015 рр. відносно середньої температури за 1951–1980 рр. Чорною лінією позначена середня річна температура, червоною – згладжена середня за 5 років [1.47];

б) світова динаміка зникнення видів, зокрема від наслідків змін клімату [1.27]

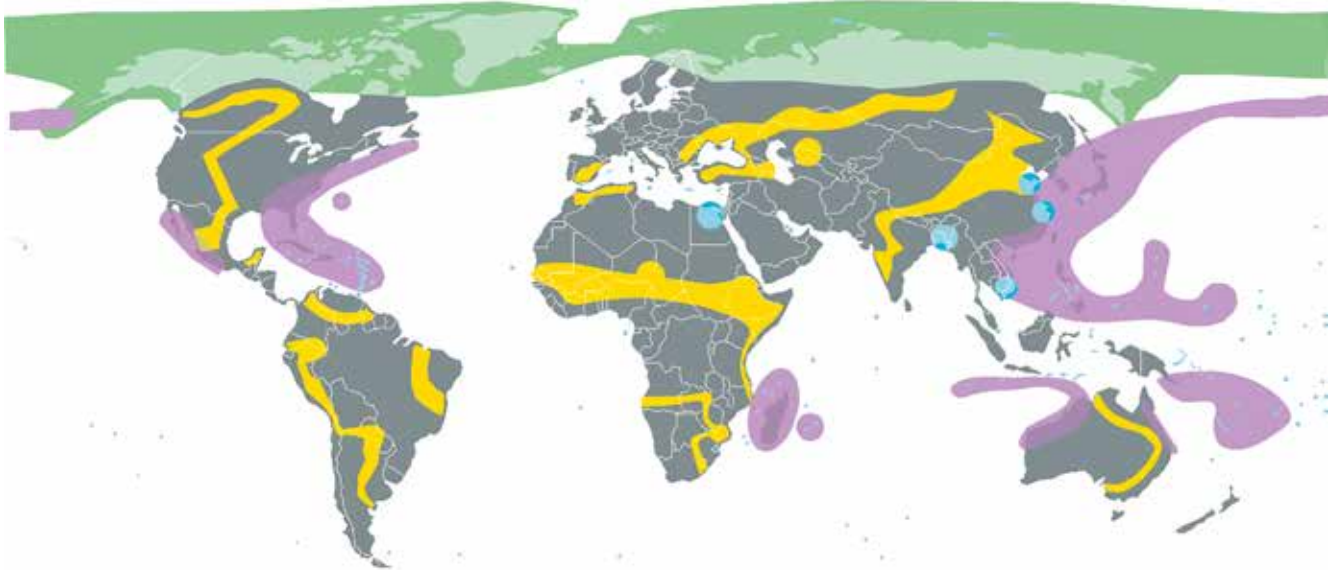


Рис. 1.5. Місця, де можуть трапитись природні катастрофи, викликані або підсилені глобальним потеплінням:

рожевим – позначені урагани; **жовтим** – утворення пустель або посухи;

блакитним – повені у дельтах річок і затоплення островів [1.67]

Сьогодні найбільш руйнівним ефектом глобального потепління є зміна характеру опадів, підсилення ураганів та повеней. Наразі у світі витрачається понад 340 мільярдів доларів США на рік на подолання наслідків затоплень, і ця цифра очікувано лише зростатиме. Активність Гольфстріму та інших атлантичних течій, які зачіпають північно-західне узбережжя Африки, Західної Європи, Баренцове море і Північний Льодовитий океан, знизилася до мінімуму. Через це, вважають вчені, клімат в Європі і Америці може стати холоднішим. І якщо глобальне потепління продовжиться, то система Гольфстріму до кінця сторіччя ослабне ще на 34-45%, що може викликати його повну

зупинку. Зрештою потепління може призвести до порушення так званої термохалінної циркуляції – системи «кровообігу океану», яка є критичною для виживання морських екосистем [1.79].

2021 рік став найбільш спекотним в історії організованих метеоспостережень людства, при тому що цей рік, як і теж рекордні 2020 та 2019 – роки мінімальної активності Сонця [1.57]. Рівень концентрації вуглекислого газу в атмосфері у 2020 році досяг найвищої позначки, яка існувала лише 3-5 мільйонів років тому, коли і температура була значно більшою, і рівень морів був на 10-20 метрів вищим [1.50].

Літня температура в деяких північних областях Арктики і Сибіру виросла на понад 6°C відносно історичних показників. Попри пандемію і сповільнення розвитку окремих секторів економіки, рівень CO₂ продовжив рости у 2020, збільшившись на 2,3 ± 0,4 ppm [1.60]. Понад 60% льодовиків Гренландії та на Алясці танули влітку 2019 і 2020 років набагато швидше, ніж очікувалось. Це вкотре свідчить про неповноту моделей прогнозування і необхідність прийняття нагальних заходів для зменшення потепління планети [1.20].

У 2020 році кількість світових пожеж зросла на 13% у порівнянні з попереднім роком, і сама їхня інтенсивність значно збільшилась. Періоди, коли ліси горять найбільше, стали довшими на 20%, ніж у 1970-х роках. У лісах Амазонії пожеж стало на 52% більше, ніж у минулому десятилітті, що пов'язано як із наслідками змін клімату, так і з умисними підпалами та самозахопленням земель [1.71].

Знімки з супутників вказують на швидке збільшення кількості льодовикових озер по всьому світу. Вона зросла на 53% за 1990-2018 роки, а їхня площа збільшилась на 51%. Озера, які утворюються внаслідок танення льодовиків, є важливим джерелом прісної води для багатьох бідних країн, особливо в горах Азії та частині Південної Америки. Водночас вони завдають набагато більше шкоди, адже загрожують повеннями великих масштабів. Нині більш за все льодовикових озер утворюється у Скандинавії, Ісландії та Росії. Танення льодовиків, як і пожежі, пришвидшує глобальне потепління і створює умови, за яких руйнівні зміни клімату будуть невідворотними.

Макрометеорологічні піки, стихійні лиха та інші екстремальні явища, викликані глобальним потеплінням, зі свого боку призводять до зростання ймовірності відмов технічних систем, які все більше ускладнюються, множаться і набувають життєво важливих для суспільства функцій. Це додатковий ризик від змін клімату та посилення стихійних лих (рис. 1.5). На малих островах та дельтах річок затоплення внаслідок підвищення рівня моря буде загрозувати життєво важливим об'єктам інфраструктури та людським поселенням. При збереженні наявних тенденцій до 2080 року врожайність у країнах, що розвиваються, внаслідок змін клімату може скоротитися в середньому на 10-25%.

Інший наслідок забруднення атмосфери викидами від спалення викопного палива полягає у зниженні якості повітря. Наразі 9 з 10 людей у світі дихають забрудненим повітрям, 7 мільйонів помирають щороку від хвороб, що пов'язані з наслідками дії забруднювальних речовин. Понад 90% таких смертей припадає на країни з низькими доходами населення. В Україні, за оцінками ВООЗ, від забруднення повітря щороку помирає 54 тисячі людей [1.4].

Кліматичні біженці – особи, що покинули затоплені або спустошені території, тобто непридатні для господарювання або проживання, – є ще одним фактором, який свідчить про невідкладність дій щодо зменшення наслідків глобального потепління. Зокрема, тільки за період з 2008 по 2018 рік 21,5 мільйонів людей були змушені покинути свої домівки, і до 2050 року кількість кліматичних мігрантів може вирости приблизно до 1 мільярду чоловік [1.63]. Прогнозовано, що подібні процеси лише ширитимуться, призводячи до зменшення ВВП у багатьох країнах, збільшуючи соціально-політичне напруження і непродуктивні витрати світової економіки. Згідно

з прогнозами, підвищення до 2040 року середньої температури на 1,5°C буде коштувати світовій економіці фантастичні 54 трильйони доларів США [1.37].

Глобальне потепління 21 століття може викликати «ефект доміно» і призвести до руйнування екосистем та біосфери в цілому. Але забруднення атмосфери впливає нищівним чином на життя і здоров'я людини вже зараз [1.73]. Вчені та експерти в області охорони здоров'я відзначають, що внаслідок забруднення повітря та змін клімату наразі відбувається перерозподіл соціального та медичного навантаження.

Пандемія COVID-19 у 2020-2021 роках з однієї сторони трохи уповільнила зростання викидів у деяких секторах економіки, зокрема в сфері транспорту. З іншого боку, деякі галузі, навіпаки, розвинулись, і зросла кількість сміття. А головне – були здійснені вимушені і переважно несистемні кроки. На жаль, спостережувані скорочення викидів забруднювальних речовин не є наслідком усвідомленості людства і послідовних структурних змін світової економіки, отже мають нетривалий ефект. Тож і цей період є «вікном можливостей», або «областю джокерів» – тобто це безпрецедентний шанс для того, щоб:

- відійти від невірноваженого зростання за будь-яку ціну і перейти до сталого розвитку;
- забезпечити довготривалий баланс між народами, враховуючи наші спільні планетарні межі;
- інвестувати у відновлювані джерела енергії замість викопного палива;
- спрямувати зусилля держав на збереження природи та відновлення лісів;
- розвивати стійкі рослинні харчові системи та екологічне землеробство;
- переходити до більш локальної, кругової та низьковуглецевої економіки [1.82, 1.9].

Зміна курсу на зелений – це не політична забаганка, а гостра потреба, поки на цій планеті ще можливо жити. **Кругова, або циркулярна, економіка замкненого циклу** (англ. closed-loop economy, circular economy) – модель економічного розвитку, що заснована на відновленні та раціональному споживанні ресурсів, альтернатива традиційній, лінійній, економіці. Вона характеризується створенням нових альтернативних економічних підходів, завданням яких є мінімізація негативного людського впливу на довкілля [1.61]. Встановлено, що для попередження катастрофічних змін клімату до 2030 року світова економіка має бути круговою як мінімум на 17% [1.46].

Вченими визначені ключові заходи для зменшення глобального потепління і попередження його наслідків, які також можуть стати запорукою сталого розвитку нашої цивілізації:

- екологічна свідомість, усвідомлене і ощадне споживання;
- локальні, диверсифіковані економіки замкненого життєвого циклу;
- збільшення енергоефективності усіх процесів; зменшення викидів парникових газів та енергії під час виробництва та використання певних товарів та послуг;
- перехід до поновлюваних джерел енергії, відхід від викопних енергоносіїв;
- відновлення лісів, збільшення заповідних площ, охорона океанів, глобальне резервування природних територій;
- зміна структури господарювання і пріоритетів в агросекторі, відхід від тваринництва;
- соціальна та екологічна відповідальність бізнесу, її законодавче врегулювання.

Для зменшення глобального потепління як загального виклику для людства наприкінці ХХ сторіччя, у світі розробляються системні заходи і пропозиції з його вирішення, приймаються ініціативи й угоди на міждержавному рівні. Зокрема, у 1992 році було прийнято Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату. Згодом, у 1997 році, був ухвалений **Киотський протокол, який зобов'язує розвинені країни скорочувати викиди парникових газів. Проте фактично була реалізована тільки невелика частина декларованих у протоколі кроків, і лише окремими державами.** Згодом був затверджений так званий другий етап – «Киото-2», із терміном від 2013 до 2020 року. Зобов'язання

в рамках «Кіото-2» взяли Євросоюз, Австралія, Казахстан, Україна, Білорусь, Норвегія, Швейцарія, Ісландія, Ліхтенштейн і Монако. Відмовилися брати участь у другому етапі Росія, Японія, Нова Зеландія і Канада [1.48]. Мала кількість держав-учасниць ранніх кліматичних ініціатив пояснюється насамперед тим, що на початковому етапі для більшості гравців скорочення викидів в короткій перспективі означало скорочення промислового виробництва, а довгострокові інвестиції в екологізацію технологій не були очевидно прибутковими. Час і розрахунки показали, що сьгоднішні витрати на рятувальні і компенсуючі заходи є непропорційно більшими, ніж будь-які упереджувальні, що не були вжиті; а часткові, локальні рішення – завжди програшні, і необхідні прогностичні та системні дії [1.3, 1.36]. **Вартість світових заходів зі зменшення забруднення атмосфери та послаблення парникового ефекту значно менша, ніж втрати при бездіяльності** [1.75].

У грудні 2015 року була підписана і набрала чинності 4 листопада 2016 року одна з найважливіших сучасних міжнародних домовленостей – Паризька кліматична угода [1.31]. Вона зобов'язує всі країни докласти зусиль для стримування росту глобальної середньої температури на планеті до 2100 року на рівні значно нижче за 2°C, щоб досягти показника у 1,5°C. Зметою стримування зростання середньої температури на планеті нижче 2°C в порівнянні з доіндустріальним рівнем 196 держав на Конференції сторін Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату у Парижі домовилися про скорочення викидів парникових газів за рахунок довгострокових планів дій кожної країни, виражених у формі національно-визначених внесків (NDC). Паризька кліматична угода передбачає, що зобов'язання зі скорочення шкідливих викидів у атмосферу беруть на себе всі держави, незалежно від ступеня їхнього економічного розвитку. Стаття 4 Паризької кліматичної угоди зазначає, що «Сторони мають на меті якомога скоріше здійснити швидке скорочення парникових газів, щоб **досягти балансу між антропогенними викидами та їхньою абсорбцією поглиначами парникових газів у другій половині цього століття**» [1.78].

Щоб змінити попередні тенденції викидів та заохотити керівництво інших країн-емітентів докладати подібних зусиль, ЄС поставив перед собою ціль скоротити викиди CO₂ на 55% до 2030 року [1.59].

В кінці 2019 року був також розроблений і ратифікований Європейський зелений курс [1.32]. Найважливішими компонентами **Європейського зеленого курсу** є:

- кліматичний нейтралітет до 2050 року;
- захист життя людини та тварин шляхом зменшення викидів забруднювальних речовин;
- лідерство в галузі чистої продукції та технологій.

В цій політичній програмі зокрема заплановано зосереджувати подальші зусилля з декарбонізації у таких ресурсомістких секторах, як текстиль, будівництво, електроніка та пластмаси. План дій щодо кругової економіки також включатиме заходи, що заохочуватимуть підприємства пропонувати та дозволяти споживачам вибирати продукти, що використовуються багаторазово, довговічні та легко ремонтуються, тобто зменшити заплановане застарівання. Надійна інформація, яку можна порівняти та перевірити, також грає важливу роль у наданні можливості покупцям приймати більш стійкі рішення.

Європейська комісія сформулювала чітке бачення того, як досягти кліматичної нейтральності до 2050 року [1.18]. ЄС вже розпочав модернізацію та трансформацію економіки з метою досягнення кліматичної нейтральності. У період з 1990 по 2018 рік країни ЄС сукупно скоротили викиди парникових газів на 23%, тоді як економіка зросла на 61%.

Досягнення кліматично нейтральної та кругової економіки вимагає повної мобілізації промисловості. Для перетворення промислового сектору та всіх ланцюжків створення вартості, потрібно близько 25 років. Тому щоб декарбонізуватися до 2050 року, рішення та дії потрібно приймати протягом наступних п'яти років.

З 1970 по 2017 рік щорічний загальний видобуток матеріалів у світі потроївся і продовжує зростати, створюючи великий глобальний ризик. Близько половини загального обсягу викидів парникових газів і понад 90% втрат біорізноманіття походить від видобутку ресурсів та переробки матеріалів, палива та продуктів харчування. В ЄС промисловість почала зміни, але все ще відповідає за 20% викидів парникових газів, а лише 12% використовуваних матеріалів надходять із вторинної переробки. Енергоємні галузі, як-от металургія, хімічна промисловість та виробництво цементу, є необхідними для європейської економіки як частина кількох ключових ланцюгів створення вартості. Декарбонізація та модернізація промисловості є надзвичайно важливими. Розроблений план дій ЄС із впровадження кругової економіки охоплює усі сектори економіки. Зусилля Єврокомісії будуть зосереджуватися на ресурсомістких секторах, таких як текстиль, будівництво, електроніка та пластмаси. План дій також включатиме вимоги щодо біорозкладання, утилізації або повторного використання всієї упаковки та заходи, що заохочуватимуть підприємства пропонувати та дозволяти споживачам вибирати продукти, які застосовуються багаторазово, довговічні та ремонтпридатні [1.74].

У 2020 році з усіх корисних копалин, викопних палив, металів і біомаси, які щорічно використовуються у світі, лише 8,6% поверталися у виробничі цикли. Всього два роки тому показник був 9,1%, тобто тенденція є негативною. Ми виробляємо більше, ніж переробляємо. Тож тільки завдяки об'єднанню зусиль в рамках програм побудови кругової економіки може з'явитися шанс утримати рівень глобального потепління, що не перевищить планку в 2°C. Розробка планів переходу до кругової економіки дозволяє прокласти шлях до системних трансформацій, необхідних для коригування курсу глобальної економіки. Ці зміни йдуть далеко за рамки нинішньої політики і національних кліматичних зобов'язань, оскільки для побудови сталої цивілізації світова економіка має бути круговою хоча б на 17% [1.46].

Наразі вже більш ніж 100 країн світу, включно з Японією, ЄС, Великобританією та Південною Кореєю, заявили про намір досягти кліматичної нейтральності до 2050 року і **повністю припинити викиди парникових газів** [1.81, 1.49]. Окрім глобальних дій, розвиваються локальні міждержавні ініціативи, як-от ініціатива C40, яка об'єднує міста, що поставили собі за мету зменшення викидів вуглекислого газу до нуля. За оцінками C40, дії, які вже були вжиті містами об'єднання у 2015 році, кумулятивно забезпечили скорочення викидів на 645 мільйонів тонн CO₂ [1.76].

У 2020 році понад 260 міст у світі поставили собі нові цілі у галузі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) або прийняли нову політику. Станом на кінець 2020 року понад 830 міст у 72 країнах затвердили цілі у галузі відновлюваних джерел енергії. Понад 600 з них зобов'язалися перейти на 100% ВДЕ [1.84].

Щоб інтегрувати різні заходи, політики, зобов'язання та цілі відповідно до Регламенту 2018/1999 від 21.12.2018 року (Energy Union Governance Regulation), держави-члени ЄС розробляють національні плани з енергетики та клімату (НПЕК), на період до 2030 р. [1.11]. Завдяки впровадженню НПЕК ЄС прагне оптимізувати та об'єднати наявні вимоги до планування в галузі енергетики та клімату, уникнути дублювання з іншими угодами, покращити синхронізацію процесів розробки та забезпечити достатній рівень розуміння можливостей потенційних синергій та взаємодій між різними сферами політики.

Підраховано, що впровадження заходів з усунення викидів парникових газів та попередження змін клімату забезпечить у ЄС появу понад 700 тисяч нових робочих місць до 2030 року, зменшить викиди на 296 мільйонів тонн CO₂ і принесе 1,8 трільйонів євро економічної вигоди.

Отже, зміни клімату через антропогенні викиди парникових газів становлять актуальну глобальну проблему, що нагально стоїть перед людством і визначає подальшу долю його існування на планеті. Найбільш ефективним шляхом зменшення впливу нашої економічної

діяльності на клімат є зміна структури господарювання на стійкі моделі усвідомленого використання ресурсів у замкнених ланцюжках їх обігу, що закріплюється міжнародними угодами і локальними рішеннями країн.

1.2. УКРАЇНА ЯК УЧАСНИК ПРОЦЕСІВ ІЗ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗМІН КЛІМАТУ

Вуглецеємність ВВП України лише для викидів CO₂ від спалювання викопних видів палива наразі в 1,9 разів перевищує світовий показник та у 3,3 рази – середній показник 28 країн ЄС. Протягом 1990-2015 років вуглецеємність ВВП знижувалась, проте темпи цього зниження за поточної економічної політики є недостатніми [1.40]. Варто відзначити також, що 1990 рік не є показовим для ринкової економіки незалежної України, оскільки є частиною перехідного періоду від планової економіки УРСР. **Перманентна економічна рецесія в Україні, пов'язана із зовнішніми та внутрішніми чинниками, не може бути довгий час запорукою для зниження викидів парникових газів. До того ж порівняння з 1990 роком не є коректним, оскільки цей період дуже далекий від реалій сучасності. Потрібна розробка важелів, які надійно і системно діятимуть задля зменшення викидів парникових газів у всіх сферах народного господарства вже зараз, і працюватимуть надалі при економічному сталому зростанні.**

Найвагомішим парниковим газом за обсягами викидів є CO₂. Його частка протягом 1990-2015 років становила 65-75%. Частка метану, який в 20-25 разів гірший за впливом на клімат ніж CO₂ – коливалася в межах 21-33%, а N₂O – в межах 6-8% (рис. 1.7).

Найбільшими джерелами викидів CH₄ (61%) є старі вугільні шахти, а також процеси видобутку, транспортування, зберігання, розподілу та споживання нафти і природного газу. Викиди у сільському господарстві становлять 21%, у секторі поводження з відходами – 18% від всіх викидів метану.

Домінуючим джерелом викидів закису азоту (37,21 мільйонів тонн CO₂-еквіваленту у 2015 році) в Україні є сільське господарство, на яке припадає понад 85%.

Українська економіка наразі є найбільш енергоємною у світі [1.65] і робить свій внесок у вплив на зміни клімату, як на своїй території, так і на планеті в цілому.

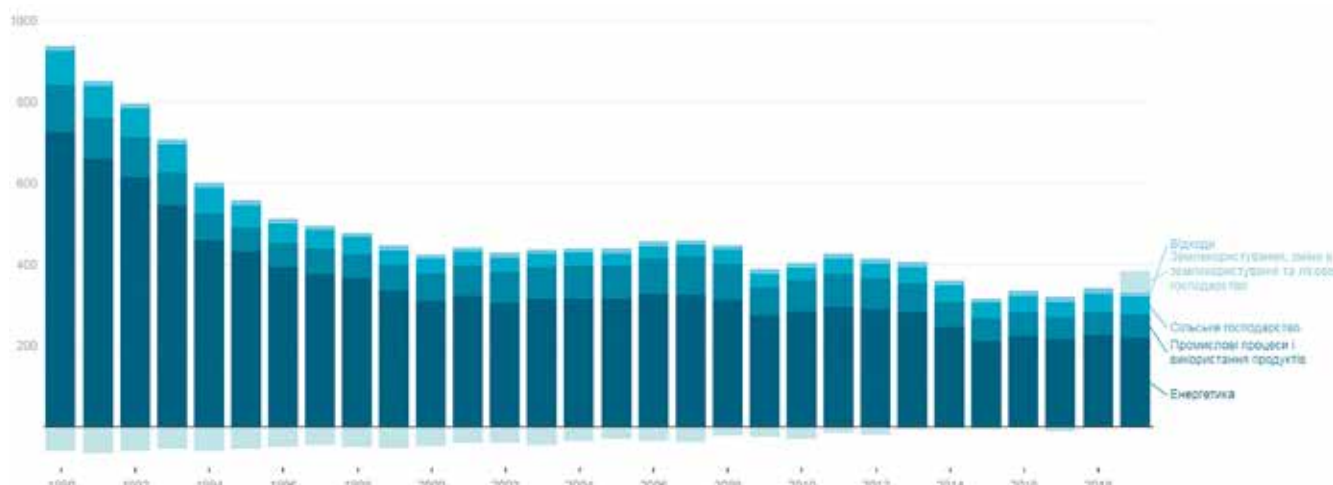


Рис. 1.7. Викиди парникових газів у 1990-2019 рр., млн т [1.14]

Протягом останніх десятиліть кліматичні умови на території України вже зазнали суттєвих змін, зумовлюючи підвищення ризиків для здоров'я населення, природних екосистем та цілих секторів економіки, як-от сільське господарство. З початку XXI сторіччя в Україні спостерігається інтенсивне підвищення приземної температури повітря (рис. 1.8). Як наслідок – в Україні посилюються посухи, змінюється водність річок та озер, з'явилися нехарактерні для України екстремальні погодні явища. При подальшому підвищенні середньої глобальної температури частішими на нашій території будуть екстремально високі температури, екстремально низькі – рідше, але загальна амплітуда температурних коливань може зрости. Хвилі тепла будуть тривалішими та частішими.

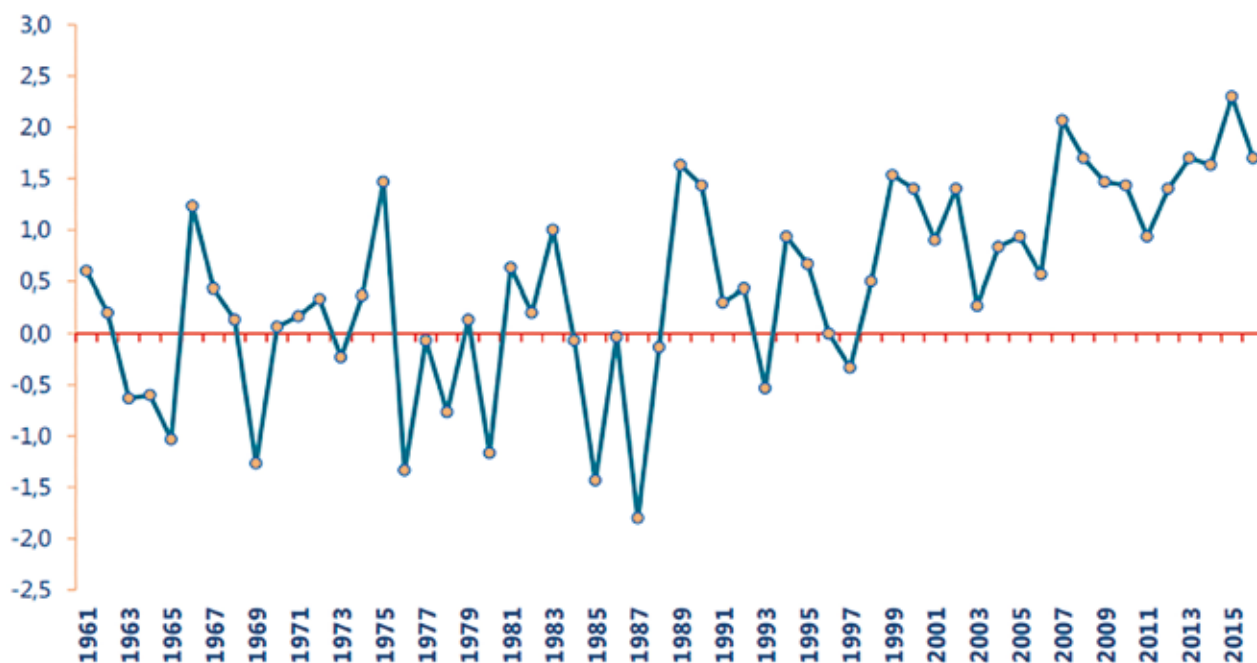


Рис. 1.8. Підвищення середньорічної температури повітря в Україні відносно кліматичної норми (базовий період – 1961-1990 рр.). Норма у 1961-1990 рр.: +7,8°C; середня у 1991-2016 рр.: +8,8°C; середня у 2007-2016 рр.: +9,4°C [1.14]

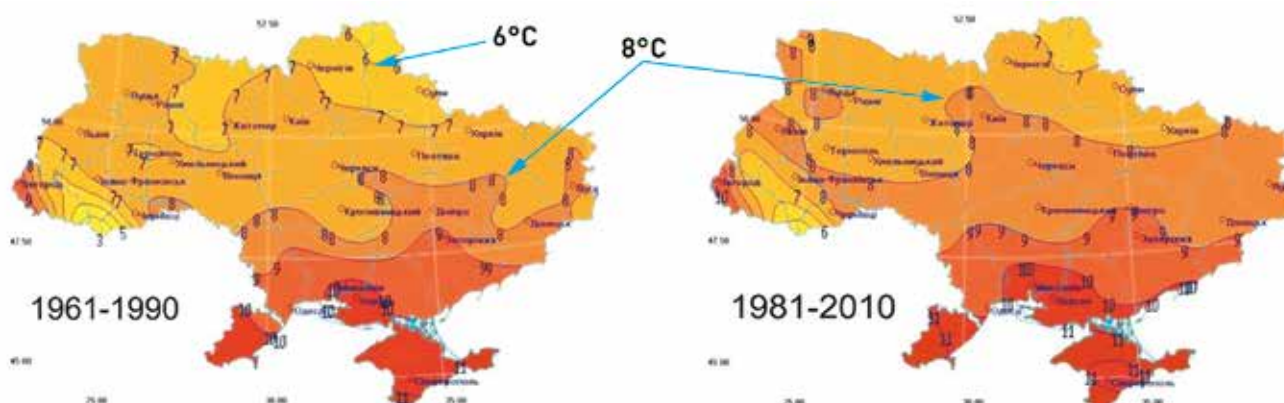


Рис. 1.9. В період 1981-2010 рр. середня річна приземна температура в Україні зросла на 1°C

Екологічні питання в Україні, пов'язані із забрудненням атмосфери, стоять не менш нагально. Це пов'язано як із внутрішніми чинниками, так і з зовнішніми. Через застарілі або відсутні технології очищення димових газів та неефективний екологічний контроль, токсичні викиди пилу, діоксиду сірки та оксидів азоту в Україні надзвичайно високі. Це зменшує тривалість життя та збільшує смертність від хронічних недуг дихальних шляхів та серцево-судинної системи мешканців уражених територій. Понад 7% смертей в Україні пов'язані із забрудненням повітря. У перерахунку на 100 тисяч жителів в Україні через брудне повітря помирає майже вдвічі більше людей, ніж у Польщі, і втричі – ніж у Німеччині [1.86]. Загалом Україна наразі знаходиться серед найбрудніших країн Європи та входить в десятку країн з найвищими показниками смертності від хвороб, обумовлених забрудненням довкілля.



Рис. 1.10. Передчасна смертність населення у ЄС через забрудненість повітря станом на 2019 рік. Україна має найбільший показник в Європі [1.54]

Згідно із даних аналітичного звіту, опублікованого міжнародними дослідниками Centre for Research on Energy and Clean Air в лютому 2020 року, Україна посідає 4 місце в світі за рівнем економічних збитків від забруднення повітря, поступаючись лише Китаю, Болгарії та Угорщині. Згідно з оцінкою експертів центру, у 2018 році Україна втратила 5,8% ВВП через захворюваність та смертність, що викликані токсичним забрудненням атмосфери [1.83] (рис.1.11).

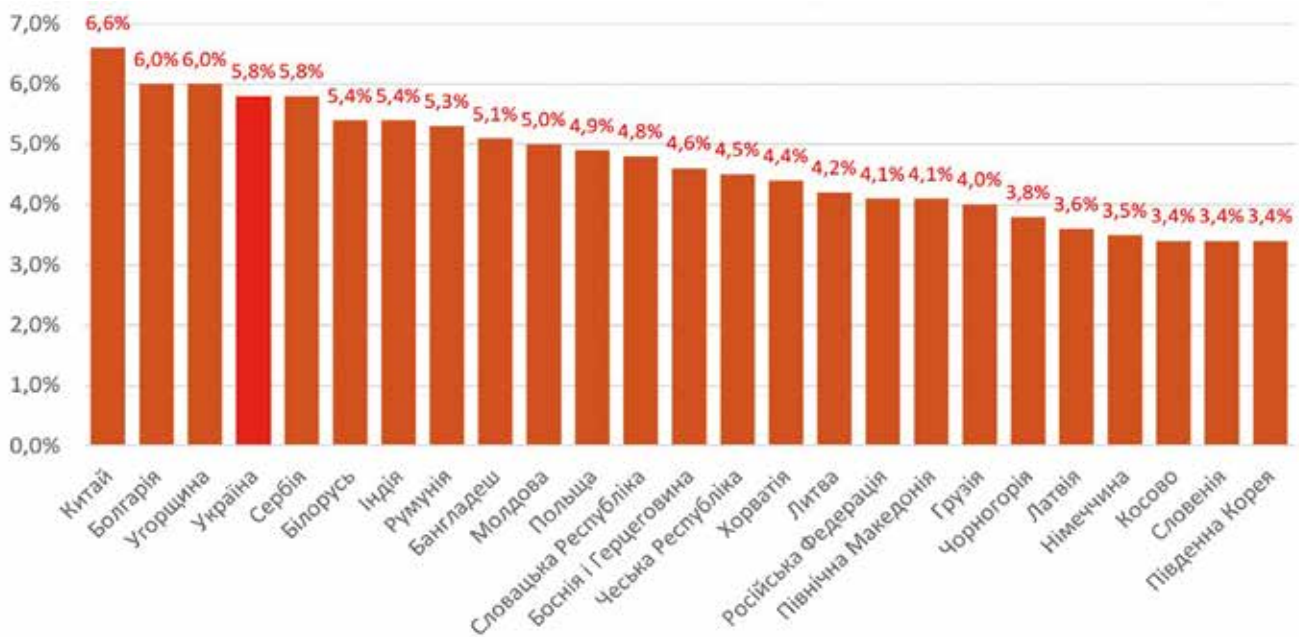


Рис. 1.11. Економічні збитки країн у % ВВП через забруднення повітря у 2018 році

Зовнішні екологічні чинники в Україні пов'язані з ефектами глобального потепління, що явно відображається у зростанні температури і кількості її екстремумів, аномальних зливах, ураганах, хвилях тепла, повенях та посухах. Для прикладу, у квітні 2020 року аномально суха бездощова погода і підпали сухої трави спричинили масові пожежі, що підійшли впритул (500 м) до укриття зруйнованого четвертого енергоблоку Чорнобильської АЕС. В той же місяць на Київщині вперше відбулася піщана буря, зовсім нехарактерна для цього регіону, яка вкупі з задимленістю зумовила те, що Київ очолив рейтинг міст із найбруднішим повітрям у світі.

Внаслідок глобального потепління на нашу країну може очікувати також значне підтоплення і затоплення територій південних областей і Криму, зменшення врожайності через посухи, стихійні лиха, деградація земель і екосистем, зменшення стоку річок тощо [1.56]. В той же час підраховано, що 1 га бореального (північного) лісу надає українцям екосистемних послуг на суму від 2 463 100 до 6 415 500 дол. на рік [1.44].

Серед необхідних кроків для забезпечення балансу між економічною, соціальною та екологічною складовими розвитку для нашої держави експерти називають:

- відхід від домінування ресурсо- та енергоємних галузей і технологій, від сировинної орієнтації експорту та надмірної концентрації виробництва у промислових регіонах,
- пріоритизація захисту природних багатств України (відновлювані та невідновлювані природні ресурси – ліси, надра, земля, водні ресурси),
- забезпечення ефективного державного регулювання в сфері охорони довкілля та природних ресурсів [1.51].

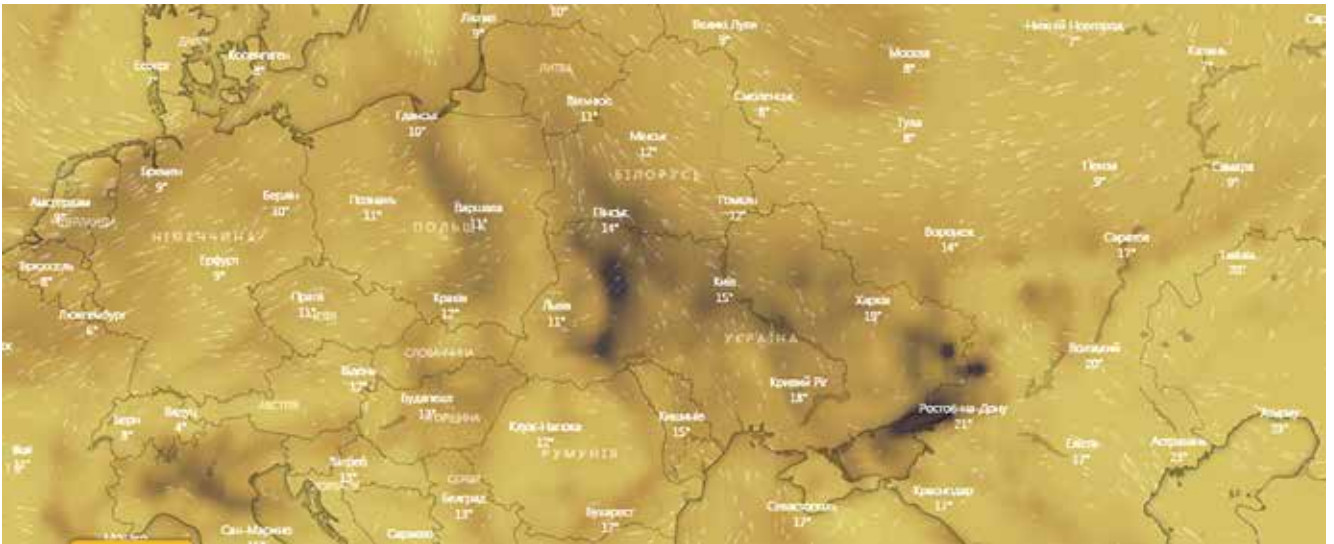


Рис.1.12. Характеристична карта концентрації CO₂ над територією України і прилеглих країн травень 2020 року за даними windy.com

Ратифікувавши **Паризьку угоду** у 2016 році, Україна показала політичну волю зробити свій внесок у глобальні зусилля в боротьбі зі змінами клімату. Для втілення нової національної кліматичної політики Кабінет Міністрів України розпорядженням від 7 грудня 2016 року № 932-р схвалив **Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року** [1.8]. Вона визначає завдання за такими напрямками:

- підвищення інституційної спроможності щодо формування і забезпечення реалізації державної політики у сфері зміни клімату;
- запобігання зміні клімату через скорочення антропогенних викидів і збільшення абсорбції парникових газів та забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку держави;
- адаптація до зміни клімату, підвищення опірності та зниження ризиків, пов'язаних зі зміною клімату.

6 грудня 2017 року Кабінет Міністрів України своїм розпорядженням № 878-р затвердив **План заходів щодо виконання Концепції** [1.13], який передбачає конкретні дії, зокрема:

- запровадження систем моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів;
- розробку та затвердження Державної науково-технічної програми у сфері зміни клімату;
- розробку та прийняття відповідних актів вторинного законодавства;
- удосконалення фіскальних і ринкових інструментів скорочення викидів парникових газів тощо.

У 2021 році органи влади різних рівнів в 33 країнах світу, зокрема Європейський парламент та ряд урядів країн-членів Європейського Союзу, Велика Британія та Ватикан оголосили **надзвичайний кліматичний стан** [1.62]. Вочевидь такий стан має оголосити і Україна.

Угода про асоціацію між Європейським Союзом та Україною від 2014 року передбачає, зокрема, комплекс заходів щодо скорочення викидів парникових газів і впровадження заходів із енергоефективності, співробітництво у розробці та впровадженні політики щодо зміни клімату. Угода про асоціацію містить конкретні вимоги до України щодо розробки плану дій для довгострокового пом'якшення наслідків та адаптації до зміни клімату, а також щодо розробки та

впровадження заходів зі скорочення викидів парникових газів [1.55]. Відповідно до Угоди про Асоціацію з ЄС, найбільша кількість директив, які треба апроксимувати в Україні, стосується охорони довкілля – 29 директив. Втім, станом на 2019 рік, більше половини завдань імплементації природоохоронної частини Угоди про асоціацію з ЄС напрямку «навколишнє середовище» не прийняті, або прийняті з суттєвим порушенням строків [1.53].

Україна також є договірною стороною Енергетичного Співтовариства [1.66], і тому має сформулювати власний **Національний план з енергетики та клімату**, що підтримуватиме та зміцнюватиме Україну на шляху до досягнення додаткових економічних, політичних, кліматичних та енергетичних цілей.

Зміцнення членства в Енергетичному Співтоваристві та декарбонізація економіки України з метою підвищення її стійкості, а також стратегічного зближення з ЄС, забезпечить виконання Угоди про асоціацію з ЄС. Зокрема, в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства Україна взяла на себе зобов'язання щодо імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради № 2009/28/ЄС про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел, та збільшення частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, в кінцевому споживанні у 2020 році до 11%. Ця мета не була досягнута, адже частка ВДЕ в кінцевому споживанні енергії склала лише 7%.

Окрім того, очікується, що ЄС та інші розвинені екологічно-відповідальні країни все більше вимагатимуть серйозних зусиль у кліматичних питаннях в обмін на привілейований доступ до свого ринку, кредитного фінансування, а також різноманітні механізми підтримки. Це означає, що кліматичні амбіції України визначають її доступ до фінансування та/або ринку ЄС, а політика, що узгоджується з цілями ЄС, буде поглиблювати співпрацю. З огляду на те, що ЄС впроваджує відстеження кліматичного сліду свого імпорту, Україна може позиціонувати себе як надійний партнер і частина Європи з конкурентоспроможними добре освіченими кадрами та гарною інфраструктурою за умови, що її енергетична, транспортна та промислова інфраструктури також підпадатимуть під дію жорсткої політики щодо скорочення викидів [1.43].

Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, розроблена Міністерством екології та природних ресурсів у 2018 році, визначає узгоджене зацікавленими сторонами національне бачення щодо відокремлення подальшого економічного зростання та соціального розвитку держави від збільшення викидів парникових газів. Вона є інструментом державного управління і формування кліматично відповідальної поведінки бізнесу та громадян, а на міжнародному рівні підтримує глобальну мету стабілізації концентрацій газів відповідно до сценарію утримання приросту глобальної середньої температури в межах менше 2°C від доіндустріального рівня.

Основними завданнями Стратегія визначає:

1. Перехід до енергосистеми, що передбачає розширене використання відновлюваних джерел енергії, розробку нових технологій для виробництва чистої електричної та теплової енергії, підвищення енергоефективності й енергозбереження в усіх секторах економіки та на об'єктах житлово-комунальної інфраструктури, стимулювання використання більш екологічно чистих видів транспорту.
2. Збільшення обсягів поглинання й утримання вуглецю шляхом застосування кращих практик ведення сільського та лісового господарства, адаптованих до зміни клімату.
3. Скорочення викидів парникових газів, як-от метан та закис азоту (N₂O), пов'язаних переважно з виробництвом викопного палива, сільським господарством і відходами [1.14].

Запровадження в Україні широкого набору політик і заходів низьковуглецевого розвитку матиме позитивні соціально-економічні наслідки та сприятиме додатковому приросту ВВП і реальних доходів домашніх господарств. **Енергетична стратегія України до 2035 року** [1.7] також передбачає у якості однієї із головних цілей зменшення енергоємності ВВП України вдвічі.

Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації» [1.12] передбачає запровадження ефективної системи державного моніторингу і контролю викидів забруднювальних речовин; визначення якості атмосферного повітря та оцінку впливу його забруднення на здоров'я та життєдіяльність населення. А також розробку проекту закону «Щодо стратегії низьковуглецевого розвитку України на період до 2050 року», концепції державної науково-технічної програми у сфері зміни клімату, національного плану з енергетики та зміни клімату на період до 2030 року, введення Єдиного реєстру з моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів та низку інших заходів.

Отже, Україна є активною учасницею процесів із протидії глобальному потеплінню. В останні роки у нашій державі ратифіковано низку міжнародних угод, розроблено і прийнято власні постанови та стратегії, спрямовані на зниження викидів парникових газів та боротьбу з забрудненням атмосфери. Вони спрямовані переважно на системи виробництва, постачання і споживання енергії. Водночас суттєвим джерелом парникових викидів в нашій державі, як і у світі – залишається будівельна галузь.

1.3. БУДІВЕЛЬНА ГАЛУЗЬ І ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ

Будівництво – одна з основоположних і загальнопоширених активностей людства, спрямована на створення і удосконалення середовища існування. Частка **будівельної галузі** у структурі світового ВВП складає наразі близько 13%. Будівництво залучає до своїх процесів величезну частину різнопланових ресурсів і охоплює приблизно 7% зайнятого населення світу, без урахування суміжних і обслуговуючих галузей [1.64]. Очікується, що до 2022 року світовий ринок будівельних робіт зросте до понад 12,7 трільйонів доларів США [1.72]. Глобальні дослідження [1.70] передбачають до 2030 року середній приріст світового будівництва на 3,9% річних, що перевищує темпи світового ВВП більш ніж на 1%, зокрема за рахунок розвинених країн, що оговтуються від економічної нестабільності, та країн, що розвиваються, продовжуючи індустріалізуватися. Згідно з прогнозами [1.70], світовий обсяг будівництва до 2030 року зросте на 85%, а лідерство у цьому секторі утримають Китай, США та Індія, які охоплюють 57% всього світового зростання [1.89]. Наразі будівництво будинків є найбільшим сегментом на будівельному ринку з часткою ринку майже 49%. За оцінками міжнародних експертів, обсяг світового будівельного сектора до 2030 року досягне рівня 17,5 трільйонів доларів США.

Водночас, незважаючи на значну історію розвитку та інтеграцію сучасних технологій, будівельна галузь у порівнянні з іншими має найнижчу продуктивність праці (рис. 1.13). Досліджено, що за період із 1945 по 2016 роки зростання продуктивності праці в будівництві склало всього 6%, тоді як у видобутку копалин цей показник склав 42%, у сфері торгівлі – 699%, у виробництві – 760%, а у агропереробному комплексі сягнув 1512%.

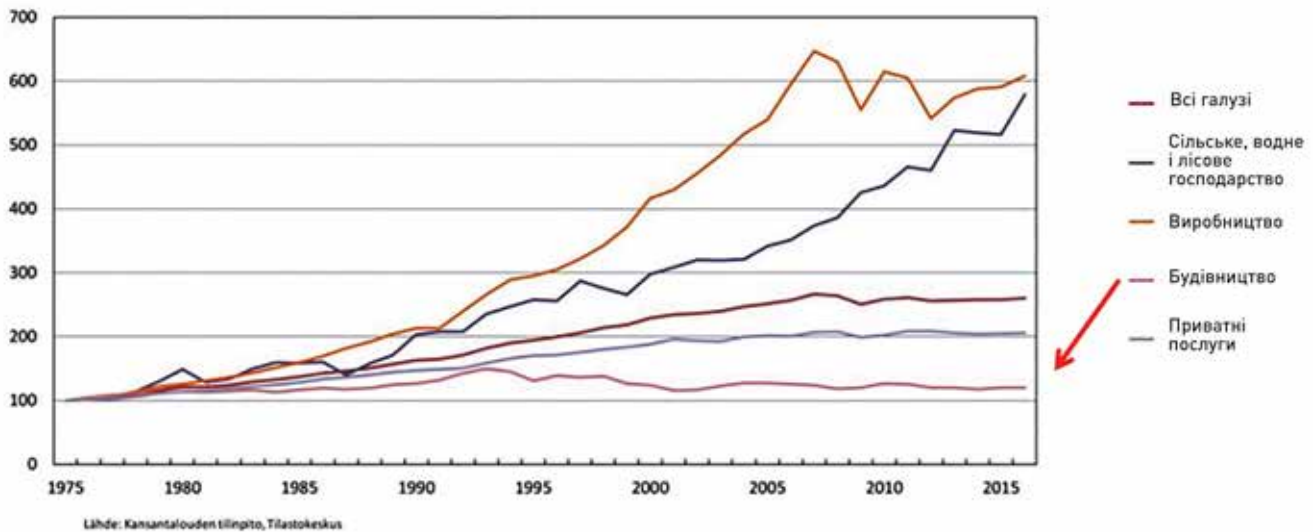


Рис. 1.13. Продуктивність праці у будівництві порівняно з іншими галузями [1.77]

Значною мірою низька продуктивність праці пов'язана із багатоконпонентністю будівництва як індустріального процесу, традиційністю та інерціальністю галузі, а також вагомим впливом людського фактору, що в сумі призводить до втрат на всіх етапах реалізації проектів (рис. 1.14). Втрати світового будівельного сектору через його неефективність становлять 25-30% і співмірні із 10% щорічного ВВП США.

Глобальний ринок будівництва

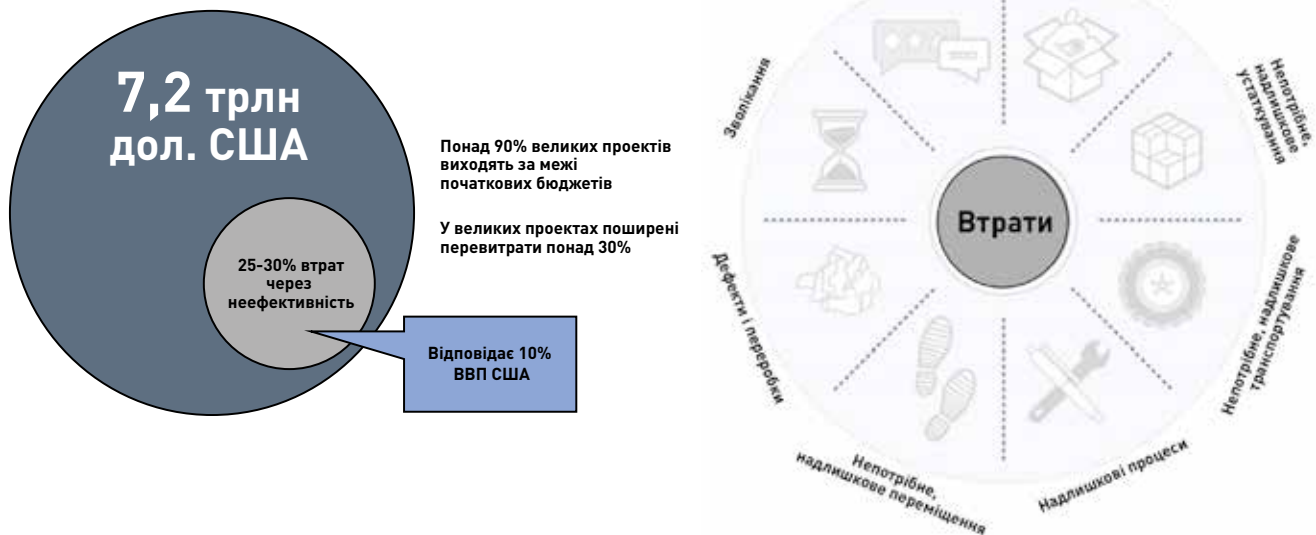


Рис. 1.14. Втрати у світовому будівництві та їхні основні [1.58]

Сучасні компанії і державні ініціативи працюють у напрямку збільшення продуктивності праці в будівництві шляхом автоматизації процесів створення цінності для споживача, оптимізації ланцюжків обігу матерії та енергії та покращення характеристик їх елементів. Це також

включає навчання персоналу, перегляд норм і договірних засад, поліпшення контролю на майданчику, технологічні інновації і раціоналізацію проектування.

Спорудження і використання будівель як об'єктів народного господарства несе відповідальність за близько 35% загального споживання первинної енергії в світі, 17% прісної води, 25% видобутку деревини та 39% всіх викидів CO₂ в їх повному життєвому циклі [1.33]. При цьому частка власне **будівельної галузі** у викидах парникових газів складає 11%, а ще 28% пов'язані із експлуатацією будівель. Ключові викиди при будівництві – понад 90% – є приєднаними до основних і супутніх будівельних матеріалів, і тільки 10% – пов'язані з процесами спорудження (рис. 1.14). За даними сучасних досліджень, виробництво будівельних матеріалів відповідає за понад 11% світових викидів парникових газів [1.90]. Таке співвідношення підкреслює необхідність розгляду будівель як комплексних об'єктів, із урахуванням приєданого вуглецю до матеріалів, з яких вони споруджуються.

У глобальному масштабі світовий будівельний сектор продовжує нарощувати викиди парникових газів, тоді як їх нагально необхідно скорочувати. Викиди CO₂ від будівель та споруд зростають майже на 1% на рік, за останні 5 років додатково було вивільнено понад 76 гігатонн CO₂. Збільшення чисельності світового населення, урбанізація і міграція призводять наразі до зростання темпів спорудження нових будівель, що випереджає ефекти від впровадження новітніх іощадних технологій в будівельному секторі, яке до того ж відбувається у світі нерівномірно [1.33].

Вибір будівельних матеріалів для будівництва та реконструкції також має важливе значення як для життєвого циклу та реалізації основних функцій будівлі, так і для довкілля загалом.

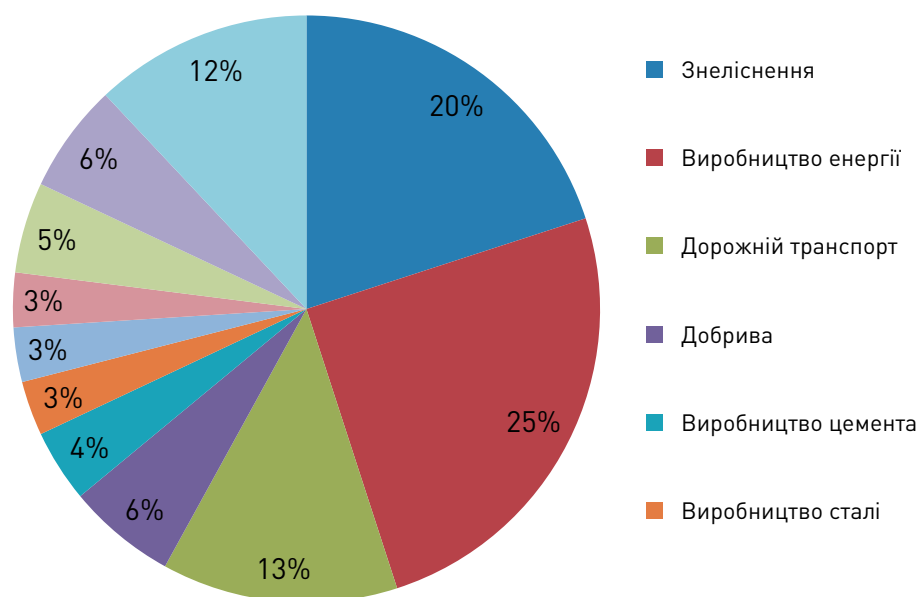


Рис. 1.15. Викиди різними галузями промисловості за даними greenspec.co.uk

Зі збільшенням використання неметалічних мінералів в будівництві і створенні інфраструктури збільшився обсяг «матеріального сліду» людства. Отже, в країнах, що розвиваються, він виріс з 5 тонн у 2000 році до 9 тонн у 2017 році [1.87].

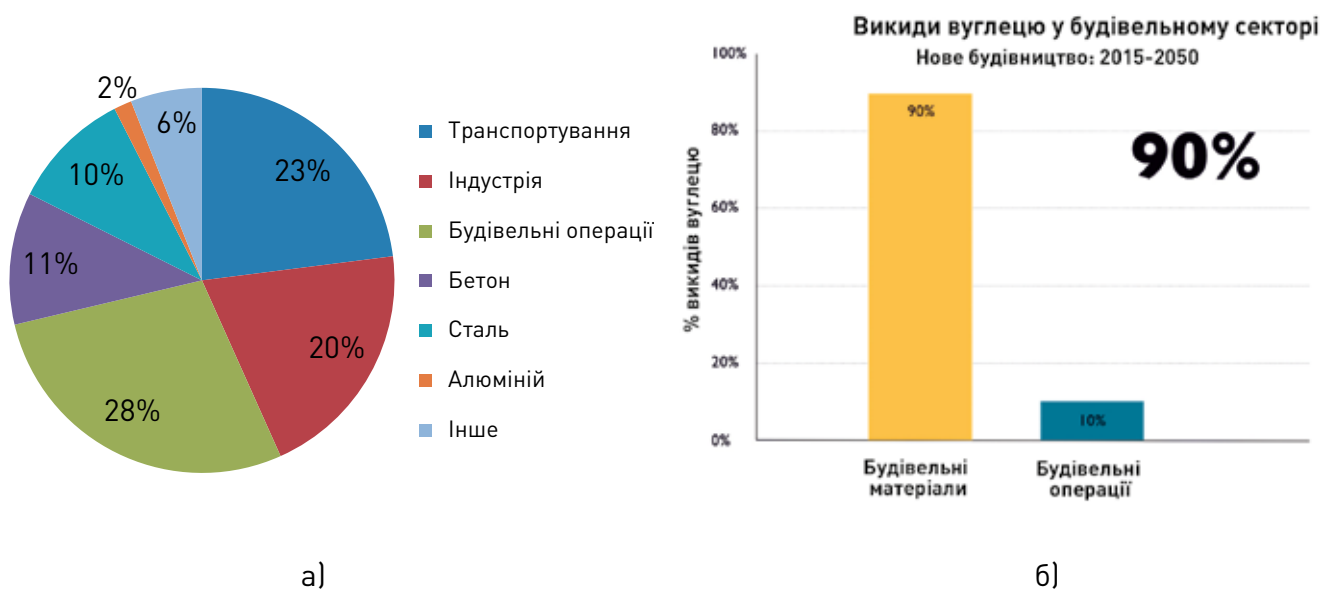


Рис. 1.16:

а) частка викидів у будівельній галузі; **б)** прогностичні дані щодо співвідношення викидів парникових газів у будівництві на 2015-2050 роки [1.60]

В Україні частка будівельної галузі в структурі ВВП складає біля 2,5% [1.10]. Такий показник демонструє потенціал подальшого зростання, оскільки середня частка будівництва у ВВП сусідніх європейських країн становить близько 6%. Для прикладу, у Великій Британії вона складає 6,1%, у Франції – 7,8%, у Польщі – 9% [1.41]. За оцінками економістів, одна гривня, вкладена у будівельну галузь, збільшує ВВП у середньому на 11 гривень, а один будівельник дає роботу ще 5-7 працівникам інших галузей [1.38].

У той же час, продуктивність будівництва в Україні через ряд чинників лишається вкрай низькою. За даними Світового банку, середня вартість будівництва в Україні приблизно на 20% вища, ніж, наприклад, у Німеччині, хоча витрати на оплату праці в Україні набагато нижчі [1.45].

Отже, в сукупності будівельна галузь займає одне з перших місць по викидам парникових газів. Будівництво – це двигун економіки, тому її розвиток, зростання кількості населення і збільшення його купівельної спроможності призводить до збільшення забруднення атмосфери вуглекислим газом та іншими парниковими газами, що негативно впливає на здоров'я населення та навколишнє середовище. Комплексний підхід до зниження екологічного навантаження будівель на довкілля є пріоритетним для сталого розвитку цивілізації.

Виробництво та використання конструкційних матеріалів – бетону, сталі та деревини – можна оптимізувати різними способами для зменшення впливу. Бетон має значний вуглецевий відбиток через особливості процесу виготовлення одного з найважливіших інгредієнтів – портландцементу. За деякими оцінками, виробництво портландцементу відповідає за 5% загальних глобальних викидів CO₂. За даними Всесвітньої асоціації сталі, на первинне виробництво сталі припадає близько 6,6% антропогенних викидів CO₂ у світі, але вона може бути перероблена і використана повторно. До того ж в галузі виробництва сталі з 1990 року спостерігається осучаснення і оптимізація технологій, що разом з використанням чистішої електроенергії призвело до зниження вуглецевого сліду на 36% [1.89].

В даній праці надалі розглядаються насамперед сталеві і залізобетонні конструкції, як найбільш застосовні для комерційного будівництва в Україні.

1.4. СТАЛИЙ РОЗВИТОК У БУДІВНИЦТВІ

Як наслідок моделювання можливості діяльності людства із найменшими впливами на екосистеми з'явилася світова концепція сталого розвитку (англ. Sustainable development), яка визнає необхідність встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства та захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їхню потребу в безпечному і здоровому довіллі. Це систематично керований розвиток, який впливає із природних законів обігу енергії та матерії у середовищі нашого існування. Основою його керованості є системний підхід та сучасні інформаційні технології, що дозволяють дуже швидко моделювати різні варіанти напрямків розвитку, з високою точністю прогнозувати їхні результати та вибрати оптимальний. Концепція сталого розвитку ґрунтується на п'яти головних принципах [1.23]:

1. Людство дійсно може надати економічному розвитку сталого і довготривалого характеру, для того щоб він відповідав потребам людей, що живуть зараз, не втрачаючи при цьому можливості майбутнім поколінням задовольняти свої потреби.
2. Обмеження, які існують в галузі експлуатації природних ресурсів, відносні. Вони пов'язані з сучасним рівнем техніки і соціальної організації, а також із здатністю біосфери до самовідновлення.
3. Необхідно задовольнити елементарні потреби всіх людей і всім надати можливість реалізувати свої надії на благополучніше життя. Без цього сталий і довготривалий розвиток просто неможливий. Одна з головних причин виникнення екологічних та інших катастроф – злидні, які досі є звичайним явищем у світі.
4. Необхідно узгодити стиль життя тих, хто користується надмірними засобами (грошовими і матеріальними), з екологічними можливостями планети, зокрема відносно використання енергії.
5. Розміри і темпи зростання населення повинні бути погоджені з глобальним виробничим потенціалом екосистем Землі, що зазнають антропогенного впливу та змінюються.

Теорія сталого розвитку є альтернативою домінуючій парадигмі лінійного економічного зростання, яка ігнорує екологічну небезпеку від розвитку за екстенсивною моделлю [1.28]. Сталий розвиток пов'язують із об'єднанням трьох основних аспектів: економічного, соціального та екологічного (рис. 1.17). Тільки усвідомлення відповідальності за навколишнє середовище сукупно із соціальним прогресом та економічним зростанням може дозволити досягти збалансованого розвитку цивілізації.

Екологічна складова має забезпечувати цілісність біологічних і фізичних природних систем на планеті та за її межами. Вибір будь-яких рішень, зокрема у будівництві, має здійснюватися на основі ієрархії корисності, виходячи із загальних рівнів цінностей – для Всесвіту, космосу, планети, природи, екосистеми, нації, держави, суспільства і тільки потім власних цілей [1.15]. Економічна складова передбачає оптимальне використання обмежених ресурсів і використання екологічних природо-, енерго- і матеріалозберігаючих технологій, включно з видобутком і переробкою сировини, створенням екологічно прийнятної продукції, мінімізацією, переробкою і знищенням відходів. Соціальна складова означає насамперед безпечне, відповідальне і усвідомлене суспільство, що надає загальний доступ до благ та можливостей для саморозвитку.

Цілі сталого розвитку (ЦСР, відомі також як Глобальні цілі) – ключові напрямки розвитку країн, що були ухвалені на Саміті ООН зі сталого розвитку на період від 2015 до 2030 року і нараховують 17 Глобальних цілей, яким відповідають 169 завдань [1.52]. Відповідна резолюція ООН була прийнята 25 вересня 2015 року та набула чинності 1 січня 2016 року. Вона проголошує новий план дій, що орієнтований на виведення світу на траєкторію сталого та життєстійкого розвитку.



Рис. 1.17. Базис стратегічних цілей сталого розвитку

До Глобальних цілей включені ті що прямо стосуються будівельного сектору: сталий розвиток міст та спільнот, пом'якшення наслідків зміни клімату, відповідальне споживання та виробництво, промисловість, інновації та інфраструктура, гідна праця та економічне зростання, а також ті, що стосуються опосередковано – захист екосистем суші, чиста та доступна енергія та інші.

Зокрема, Європейська комісія вирішила підтримувати проривні технології екологічно чистої сталі, що ведуть до процесу виробництва сталі з нульовими викидами вуглецю. Також комісія досліджуватиме, чи може бути використана частина фінансування, що припиняється в рамках ліквідації Європейського співтовариства вугілля та сталі. Більш широко, Інноваційний фонд системи торгівлі викидами ЄС допоможе розгорнути такі масштабні інноваційні проекти [1.68].

Будівництво, використання та оновлення будівель потребують значної кількості енергії та мінеральних ресурсів (наприклад, піску, гравію, цементу). На будівлі також припадає 40% споживаної енергії. Сьогодні рівень щорічного оновлення будівельного фонду коливається в межах від 0,4 до 1,2% у державах-членах ЄС. Цей показник потрібно принаймні подвоїти, щоб досягти цілей ЄС щодо підвищення енергоефективності та захисту клімату. Щоб вирішити подвійну проблему енергоефективності та доступності, ЄС та держави-члени повинні взяти участь у «хвилі реконструкції» державних та приватних будівель. Реконструкція в більшості випадків дає більш сталий варіант перетворення, аніж знесення і зведення нових будівель [1.1]. Участь у «хвилі реконструкції» повинна забезпечити відповідність проектування нових та реконструйованих будівель потребам кругової економіки. А також має призвести до цифровізації будівельного фонду, впровадження сучасних систем та сприятиме захисту від змін клімату. Одним із механізмів стимулювання реконструкції може бути пільгове оподаткування [1.85].

У якості ілюстрації локальних недержавних програм Британська асоціація будівельних металоконструкцій (BCSA) та Tata Steel спільно завершили проект вартістю 1 мільйон доларів США, щоб розробити настанову з проектування та будівництва сталих будівель з низьким рівнем вуглецю у Великій Британії. У дослідженнях для кожного типу будівель розглядали приєднані викиди до матеріалів та викиди при експлуатації, а також відповідність системі сертифікації BREEAM (див. розділ 2). Розроблена в результаті настанова Target Zero охоплює багато складних рішень, але також підкреслює кілька простих заходів, які можуть бути дуже ефек-

тивними, не вимагають великих грошових витрат, але потребують певної продуманості під час проектування: стосовно вибору матеріалів, орієнтації будівлі та вікон, оптимізації природного і штучного освітлення.



Рис. 1.18. Центр «Christ the King» для школи Learning secondary (м.Ноуслі, Мерсісайд, ВБ) із сталевим каркасом

Як приклад можна навести Christ the King Centre для школи Learning secondary, що знаходиться у м.Ноуслі, Мерсісайд, ВБ (рис.1.18). У будівлі площею 9,637 м² із сталевим каркасом та сіткою колон 9×9 м за рахунок продуманих рішень на етапі проектування вдалося досягти зниження викидів вуглецю на 25% при збільшенні капітальних витрат лише на 0,14%. Скорочення експлуатаційних викидів вуглецю на цьому об'єкті можуть перевищувати 100% за рахунок пакету заходів з енергоефективності а також вітрогенераторів, застосуванню ВДЕ, зокрема біомаси, сонячних панелей і колекторів. Це збільшить капітальні витрати всього на 12%. Важливо відмітити, що при порівнянні на етапі проектування, сталевий каркас із збірними плитами перекриття, як виявилось, має нижчий на 11% вуглецевий слід порівняно із базовим монолітним варіантом і на 3% менший, ніж композитний варіант.



Рис. 1.19. Офісна будівля із сталевим каркасом «One Kingdom Street» (м.Лондон, ВБ)

Інший характерний приклад – офісна будівля із сталевим каркасом One Kingdom Street у Лондоні. Вона має площу 24 490 м² із відкритим плануванням, сталевий каркас із сіткою колон 12× 10,5 м, та перекриття із перфорованих балок та плит по профнастилу. При проектуванні було встановлено, що значних скорочень приєднаного вуглецю можна досягти відносно легко та дешево, використовуючи заходи енергоефективності, низько- та безвуглецеві технології. Наприклад, досягти цілі зменшити викиди вуглецю на 25% можна тільки за допомогою підвищення енергоефективності при збільшенні капітальних витрат лише на 0,28%, а зменшення викидів на 44% може бути досягнуто використанням технологій з низьким та нульовим рівнем вуглецю при збільшенні капітальних витрат всього на 1,6%. При аналізі на передпроектній стадії виявлено, що залізобетонний варіант каркасу офісної будівлі мав би на 11,9% більше вмісту приєднаного вуглецю і був би на 72% важчим, ніж сталевий, який і був зрештою застосований.

Як показують сучасні дослідження [1.26], сталі рішення із застосуванням сталевих конструкцій є як екологічно, так і економічно вигідними. Було розглянуто порівняння для двох типових сучасних офісних будівель – триповерхового бізнес-парку та восьмиповерхового офісу у центрі міста.

Дослідження виявило, що загальна вартість будівництва для сталевих варіантів в середньому на 5% нижча, ніж для бетонних варіантів. Через нижчі витрати на підлогу та каркас, менші фундаменти, легкі дахи, меншу висоту поверховості зменшені витрати на облицювання та зменшені попередні витрати. Варіанти з використанням сталі були на 9% дешевшими, ніж варіанти із бетону, коли розглядалися лише каркас та верхні поверхи. Тривалість будівництва сталевих каркасів на 13% менша у порівнянні з варіантами бетонних каркасів для триповерхового офісу та на 11% менша для восьмиповерхового офісу в центрі міста. Варіант з перфорованими сталевими балками для офісу в центрі міста також мав на 18-30% нижчий загальний вміст вуглецю, ніж при варіанті постнапружених залізобетонних монолітних балок.

В Україні триває процес інтеграції Цілей сталого розвитку у державні документи стратегічного планування [1.17]. Зокрема у сфері пом'якшення наслідків зміни клімату розроблена **Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року**, яка містить опис політик і заходів зі скорочення викидів вуглекислого газу [1.14]. Стратегія до 2050 року у частині «Скорочення інших викидів парникових газів, ніж CO₂» також передбачає напрями діяльності для зниження викидів метану та закису азоту: вдосконалення поводження з відходами – зменшення їхніх обсягів і запобігання утворенню, проведення соціальних рекламних кампаній щодо зменшення утворення побутових відходів, удосконалення методів поводження з відходами; стимулювання повторного використання та вторинної переробки, а також удосконалення поводження зі стічними водами.

Інноваційно-інвестиційна модель сталого розвитку має стати основою розширеного суспільного відтворення, у якому зростання обсягів виробленої продукції та підвищення її конкурентоспроможності досягається не шляхом збільшення витрат ресурсів, а переважно завдяки інтенсивним факторам виробництва, активному використанню нових знань та їхніх матеріалізованих результатів. Крім того, негативні тенденції, які сформувались у виробничій сфері (старіння основних фондів, технологічного оснащення, втрата найбільш кваліфікованої частини кадрів тощо), ускладнюють процес виходу національної економіки із системної кризи. Тому рішучий перехід на інноваційну модель розвитку є єдиним шляхом виходу з кризи. Україні потрібні високі темпи зростання ВВП для подолання бідності та зубожіння населення, але при цьому має формуватися нова модель розвитку – «зелене» відродження, «зелене» зростання і розвиток, що ґрунтується на інвестуванні у відновлювані джерела енергії, екологічно безпечне виробництво, заходи з енергозбереження та технології, що передбачають гармонію і уважне ставлення до природи [1.14].

Економічна складова сталого розвитку для будівництва насамперед означає індустріальність, модульність, уніфікацію матеріалів, елементів та конструкцій, їхню високу надійність та довговічність. Швидкість будівництва, придатність до ремонтів та реконструкцій прямо впливає на повернення інвестицій. Живучість, стійкість до впливів, відносна легкість, мобільність і експортний потенціал дає переваги будівельному матеріалу. Важливі характеристики збережуваності і оборотності дають можливості для замкненого обігу з мінімальними відходами. Властивості суцільності та непроникності середовища при відносно малій товщині, що має метал, дозволяють використовувати його для ємностей і створюють додаткову вартість.

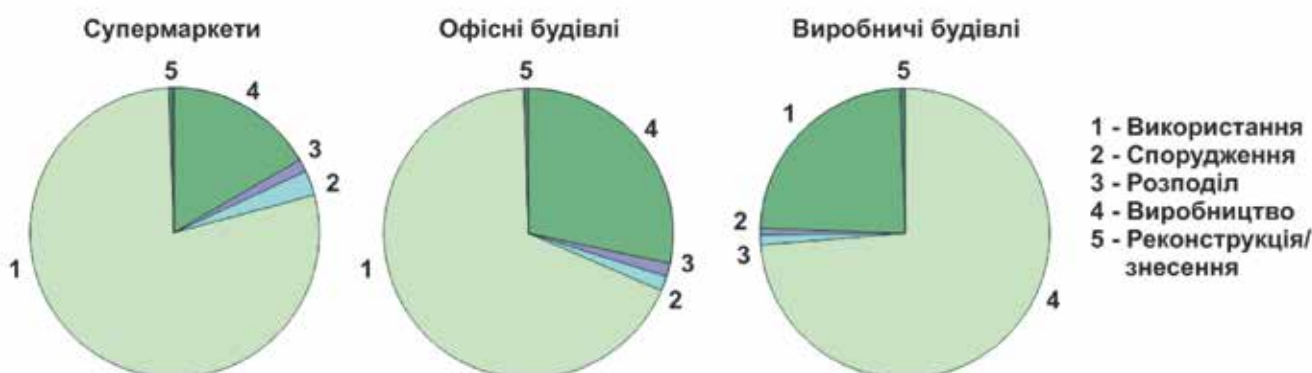
Соціальна складова сталого розвитку для будівництва означає створення високооплачуваних робочих місць, гідних і безпечних умов праці. Позасезонність, кваліфікованість і наукоємність проектів, висока продуктивність праці, а також диверсифікація, доступність і поширеність ринку металевих конструкцій надає їм переваги для соціального сталого розвитку. Також слід зважати на кінцевий продукт – будівлю. Більше якісного простору завдяки можливості улаштування довгих прольотів, довільність форм, здатність вирішення надскладних задач, виразність та прозорість роботи конструкцій дозволяють створювати за однакових умов будівлі із більшою доданою вартістю.

Зрештою, **екологічна складова сталого розвитку у будівництві означає використання сировини, що видобута та піддана повній переробці з мінімальним впливом на довкілля і підлягає повторному використанню.** Довговічні і ремонтпридатні, компактні швидкі рішення, адаптивні до реновацій створюють менше навантаження на довкілля, менше викидів та витрат енергії. Мобільність будівлі дає змогу переміщувати її на нове місце в кінці терміну експлуатації, а сучасна зелена сертифікація та сумісність із альтернативною енергетикою дають змогу інтегрально оцінювати будівлі щодо їх внеску у сталий розвиток.

Комерційні будівлі становлять вагому долю світової нерухомості і є сегментом, що активно розвивається. Відтак вони відповідальні за значну частку приєднаних викидів парникових газів у будівельній галузі. Саме комерційні будівлі були обрані у даній роботі як об'єкт дослідження.



а)



б)

Рис.1.20:

а) Структура приєднаного вуглецю у різних типах комерційних будівель: супермаркет, офіс, виробнича будівля; **б)** фази життєвого циклу і середні відсотки приєднаного вуглецю типової комерційної будівлі/ВБ

Матеріали, з яких споруджується будівля, містять біля 20% від загального приєданого вуглецю у циклі будівництва. Оскільки експлуатаційні витрати будівлі значною мірою залежать від її енергоспоживання та інженерних систем, режимів їх використання, що змінюються в процесі життя будівлі, у даній роботі увага зосереджена на тих параметрах, які можна проконтролювати у початковому проекті.

Різні будівельні матеріали, в залежності від свого виготовлення, застосування і використання, містять різні показники впливу на глобальне потепління, зниження якого є однією зі складових сталого розвитку (табл. 1.1).

Табл.1.1.

Основні конструкційні матеріали та їхні переваги для сталого розвитку

Складова сталого розвитку	Конструкційний матеріал і його переваги		
	Сталь	Бетон	Деревина
Економічна	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Індустріальність, модульність, уніфікація ▪ Висока надійність та довговічність, швидкість зведення, придатність до реконструкції ▪ Живучість, стійкість до впливів, відсутність шкідників ▪ Відносна легкість, експортний потенціал ▪ Збережувальність і оборотність ▪ Суцільність та непроникність середовища 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Відносна дешевизна і доступність сировини ▪ Можливість етапності інвестицій ▪ Достатня захищеність від зовнішнього середовища ▪ Індустріальність, модульність, уніфікація збірних елементів 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Відносно рівномірна доступність, локальність ▪ Доступність первинного постачання, поширеність ринку ▪ Висока хімічна стійкість ▪ Можливість місцевої обробки
Соціальна	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Позасезонність, кваліфікованість і наукоємність проектів ▪ Висока продуктивність праці, диверсифікація, доступність і поширеність ринку ▪ Прольотність, довільність форм, вирішення складних задач ▪ Виразність, прозорість роботи конструкцій 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Велика кількість монолітних форм ▪ Доступність опанування кваліфікації ▪ Місцева робоча сила ▪ Масивність, застосування у розподілі навантажень і контакті середовищ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Доступність опанування кваліфікації ▪ Архітектурна виразність, акустичні властивості ▪ Теплий матеріал ▪ Покращений мікроклімат у будівлі ▪ Простота виготовлення конструкцій ▪ Мала відносна вага
Екологічна	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Значні приєдані викиди при виробництві компенсуються можливістю повної переробки і повторного використання у життєвому циклі ▪ Довговічні, ремонтпридатні, компактні швидкі рішення, адаптивні до реновацій ▪ Мінімум викидів та витрат енергії у циклі використання ▪ Мобільність 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Значні приєдані викиди при виробництві та транспортуванні, практична неможливість повторного використання ▪ Відносна терпимість щодо відхилень від проекту і безпечність відходів 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Природний матеріал ▪ Відновлюваність та ресурсна доступність ▪ Екологічна безпека протягом всього циклу життя конструкції ▪ Природна самоутилізація ▪ Вирубка лісу з наступною ерозією ґрунтів або короткі строки експлуатації будівель можуть вивільняти багато приєданого вуглецю

Встановлено, що несучі каркаси, залежно від типу будівлі, містять до 80% приєданого вуглецю від усіх матеріалів і систем будівлі. Отже, дана робота націлена в першу чергу на дослідження впливу змін типів і матеріалів несучих систем на викиди парникових газів [1.34]. У таблиці 1.2 наведено порівняння приєданих викидів вуглецю для різних типів комерційних будівель та конструкційних матеріалів.

Вуглець, приєднаний до різних типів будівель при варіантах конструкційних матеріалів

Тип будівлі	Приєднаний вуглець, кг CO ₂ екв./м ²					
	Сталевий варіант		Залізобетонний варіант		Варіант із деревини	
	Вся будівля	Тільки каркас	Вся будівля	Тільки каркас	Вся будівля	Тільки каркас
Багатоповерхові офісні будівлі	452	219	506	266	-	-
Багатоповерхові багатофункціональні будівлі	395	218	467	259	-	-
Склади	234	32	-	-	266	59
Заміський супермаркет	376	58	-	-	384	66

Саме комплексні, насамперед економічні, переваги і залученість до аналізу та врахування при прийнятті рішень елементів сталого розвитку, визначили зміни співвідношення у використанні конструкційних будівельних матеріалів на користь сталевих каркасів протягом останніх десятиріч в провідних країнах, зокрема у Великій Британії (рис. 1.21). Водночас слід зазначити зростання долі дерев'яних (а по суті – металодерев'яних) конструкцій. Точна оцінка вуглецевого сліду дерев'яних конструкцій значно залежить від способу заготівлі деревини і стану лісу після заготівлі, зокрема щодо виділення метану (більш потужного парникового газу, ніж вуглекислий газ). Також виникає питання, чи вирощуються та замінюються дерева так, щоб ми могли справді прийняти вуглецеву нейтральність лісового господарства. Сталість дерев'яних і металодерев'яних каркасів повинна досягатися екологічними малоенергоємними засобами і процесами обробки та подовженими строками експлуатації, що повинні в декілька разів перевищувати час, необхідний на природне відновлення витрачених обсягів деревини в лісовому господарстві.

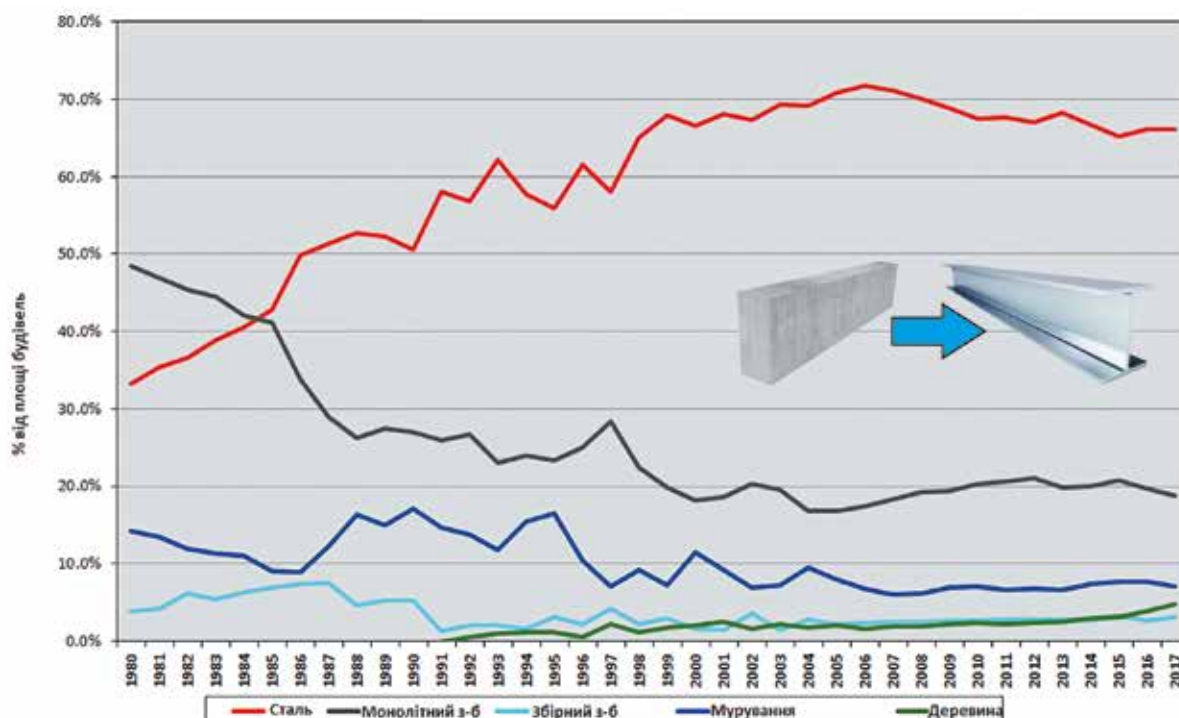


Рис. 1.21. Статистика застосування різних конструкційних будівельних матеріалів для багатоповерхових каркасів у Великій Британії

Як один із сучасних прикладів можна навести будівлю Дитячого музею Луїзіани в Новому Орлеані (США), де використання інструментів оцінки життєвого циклу показали переваги заміни цементу та використання сталі і деревини замість бетону та дозволили отримати рейтинг LEED Gold [1.24] (рис. 1.22, див. також розділ 2).

В даній публікації зроблений фокус на основних матеріалах конструкційного призначення, що використовуються в Україні – **бетоні та сталі**.



Рис. 1.22. Аналіз життєвого циклу будівлі Дитячого музею Луїзіани, США показав недоліки цементу і переваги використання сталі та деревини замість бетону, що і було застосовано у будівлі (проект бюро Mithun), 2019 р.

В цьому ракурсі ілюстративним є аналіз висотної будівлі Leadenhall (рис. 1.23), який був здійснений британським урядом на стадії проектування. Аналіз показав, що **бетон** дає більше загальних викидів вуглекислого газу, ніж **сталевий каркас**. Проведене дослідження дозволило скоректувати конструктивну форму в сторону мінімізації приєднаних викидів вуглецю і підтвердило екологічну ефективність сталі як конструкційного матеріалу.

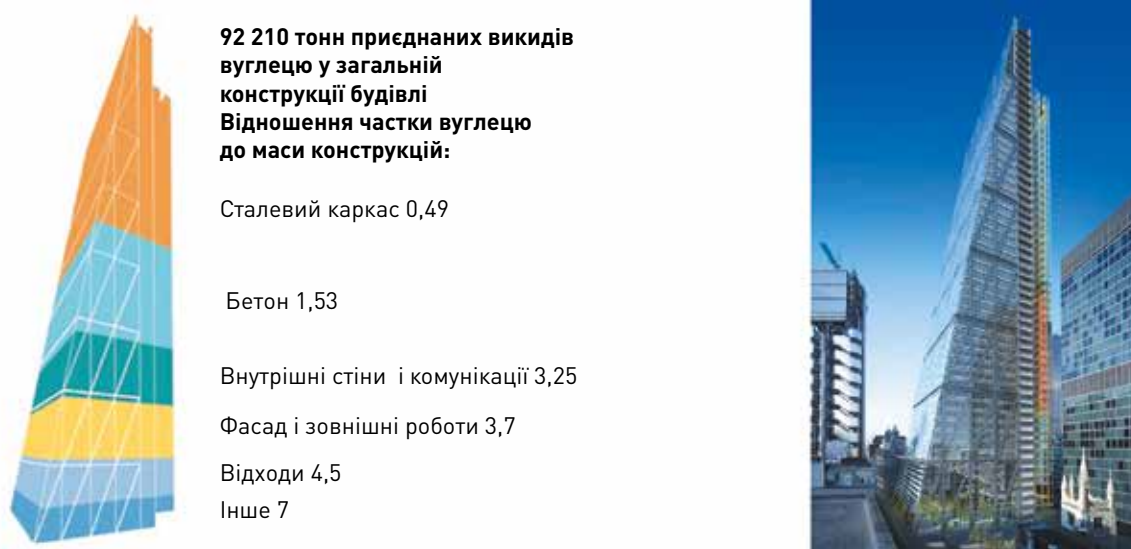


Рис. 1.23. Відносна структура приєднаних викидів вуглецю до маси в системі будівлі «Leadenhall» висотою 225м, Арх. R.Rogers (м.Лондон, ВБ), 2014 р.

Стійке будівництво є поєднанням технологій і складовою усвідомленого споживання. Кожен будівельний матеріал має застосування у тих межах і потребах, в яких його визначає доцільність проекту і його детальний аналіз через призму сталого розвитку. Такий аналіз має бути проведений для всього циклу життя продукції – від видобутку сировини до повної утилізації в кінці використання з урахуванням необхідних супутніх ресурсів та витрат.

1.5. ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ ЗАПОБІГАННЯ ЗМІНАМ КЛІМАТУ

Будь-який процес зі зміни довкілля не повинен нічим шкодити йому, зокрема у екологічному аспекті. Вимоги екологічності та охорони навколишнього середовища повинні бути дотримані як щодо нових створюваних форм, так і щодо об'єктів довкілля, що вже існують, а також при самому процесі зведення будівлі як продукту та її подальшої експлуатації (рис. 1.24).

Кожна будівля як система проходить ланцюжок **сировина – матеріал – виріб – елемент – конструкція – будівля** та згодом піддається реновації або заміщенню з наступним розбиранням і утилізацією (рис. 1.25). Тому до екологічності відносяться принципи мінімізації залучення ресурсів і викидів на всіх етапах життєвого циклу.

Аналіз життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA) – один із найбільш розвинених інструментальних засобів індустріальної екології. Він складається з об'єктивної кількісної оцінки потоків матеріалів і енергії та впливів на довкілля, що пов'язуються з певним процесом, продукцією або індустріальною діяльністю. Назва LCA вказує, що аналіз має включати повний життєвий цикл діяльності, починаючи з видобування і обробки сировини до виробництва, транспортування, розповсюдження, використання, утримання (обслуговування та ремонту) і переробки вторинної сировини або прикінцевого розташування (захоронення) відходів. Однак у конкретних випадках аналіз зосереджується тільки на деяких з цих стадій [1.16].

Практична мета LCA – гарантувати, що відповідні впливи альтернативних процесів, продуктів і видів діяльності на навколишнє середовище повністю досліджуються (аналізуються та оцінюються), так само як оцінюються і здійснюються можливості мінімізувати несприятливі впливи.

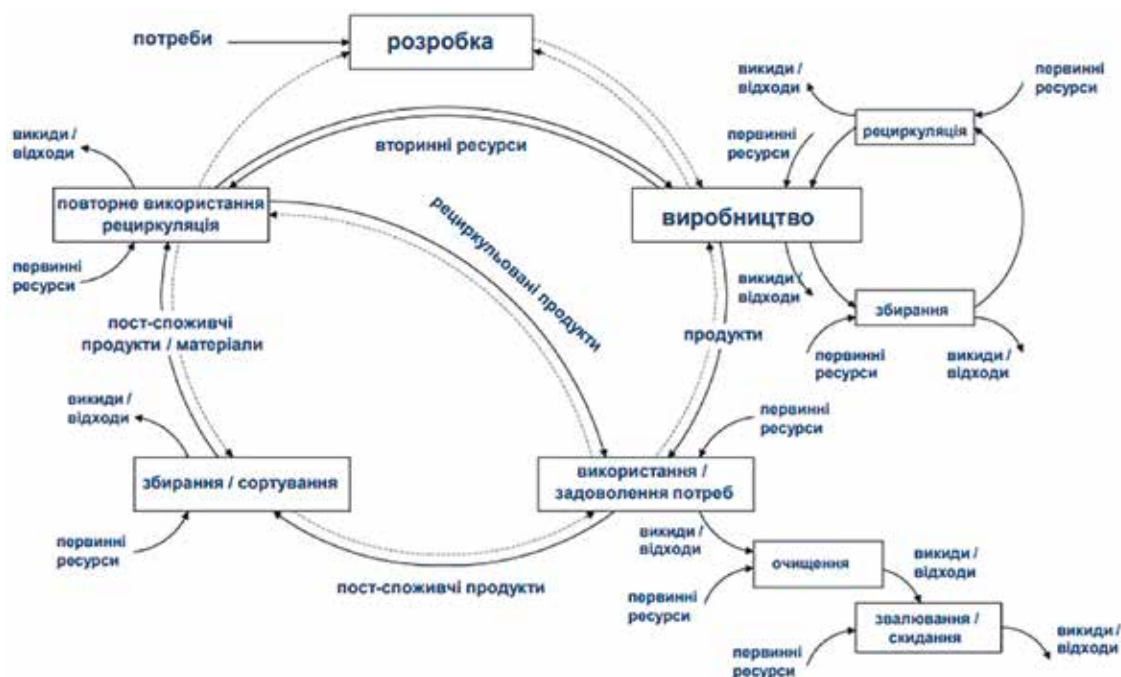


Рис. 1.24. Підсистеми життєвого циклу продукту

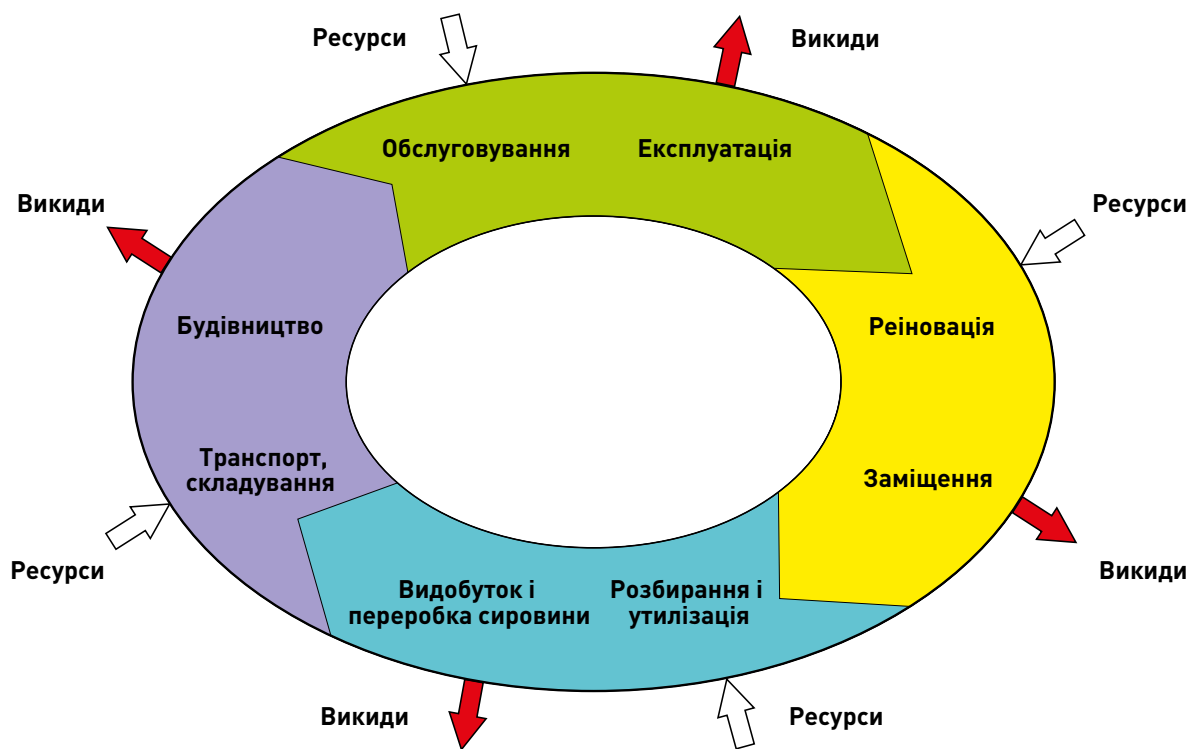


Рис. 1.25. Узагальнений життєвий цикл будівлі

Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization, ISO) встановлює стандарти якості для продукції і комерційної діяльності на міжнародному рівні. Вони охоплюють серії ISO 9000 (quality management), ISO 14000 (environmental management), ISO 22000 (food safety management), ISO 26000 (social responsibility), ISO 31000 (risk management) та ISO 50001 (energy management). Серія ISO 14000 (environmental management) має за мету на міжнародному рівні встановлювати екологічні стандарти для продуктів і послуг, насамперед для тих, що використовуються в міжнародній торгівлі. Ця серія містить низку документів, які стосуються оцінки екологічності і параметрів життєвого циклу у проекті.

Значна кількість норм із серії ISO 14000 вже введені в дію в Україні, переважно з 01.07.2014 року. Слід звернути увагу, що в Україні впроваджені не всі стандарти, а деякі знаходяться у стадії розробки або перегляду.

Табл. 1.3.

Документи серії ISO 14000, що стосуються оцінки екологічності та параметрів життєвого циклу будівель станом на 1 квартал 2020 року

Стандарт	Статус / Примітка
ДСТУ ISO 14001:2015 Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14004:2016 Системи екологічного управління. Загальні настанови щодо запровадження (ISO 14004:2016, IDT)	Чинний в Україні
ISO 14007:2019 Environmental management – Guidelines for determining environmental costs and benefits	Не чинний в Україні
ДСТУ ISO 14006:2013 Системи екологічного управління. Настанови щодо запровадження екологічного проектування	Чинний в Україні

Стандарт	Статус / Примітка
ДСТУ ISO 14010-97 Керівні вказівки по здійсненню екологічного аудиту. Загальні принципи.	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14015:2005 Екологічне управління. Екологічне оцінювання ділянок та організацій (ISO 14015:2001, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14020:2003 Екологічні маркування та декларації. Загальні принципи	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14021:2016 Екологічні маркування та декларації. Екологічні самодекларації (екологічне маркування типу II) (ISO 14021:2016, IDT)	Чинний в Україні
ISO 14022 Environmental labeling – Environmental labels and declarations – Self-declaration environmental claims – Symbols 1996	Відмінений
ISO 14023 Environmental labels and declarations – Self-declaration environmental claims – testing and verification	Переглядається
ДСТУ ISO 14024:2018 Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та процедури (ISO 14024:2018, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14025:2008 Екологічні маркування та декларації. Екологічні декларації типу III. Принципи та процедури	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14026:2018 Екологічні маркування та декларації. Принципи, вимоги та настанови стосовно обмінювання інформацією щодо впливу діяльності людини на довкілля (ISO 14026:2017, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO/TS 14027:2018 Екологічні маркування та декларації. Розроблення правил щодо категорії продукції (ISO/TS 14027:2017, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14031:2016 Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови (ISO 14031:2013, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO/TR 14032:2004 Екологічне керування. Приклади оцінювання екологічної характеристики	Чинний в Україні
ДСТУ ISO/TS 14033:2016 Екологічне управління. Кількісна екологічна інформація. Настанови та приклади (ISO/TS 14033:2012, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14034:2017 Екологічне управління. Перевіряння екологічних технологій (ПЕТ) (ISO 14034:2016, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14040:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO 14040:2006, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14041:2004 Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Визначення цілі і сфери застосування інвентаризації	Чинний в Україні
ISO 14042:2000 Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment	Вилучено
ISO 14043:2000 Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation	Вилучено
ДСТУ ISO 14044:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Вимоги та настанови (ISO 14044:2006, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14045:2016 Екологічне управління. Оцінювання екологічної ефективності продуктивних систем. Принципи, вимоги та настанови (ISO 14045:2012, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14046:2018 Екологічне управління. Водний слід. Принципи, вимоги та настанови (ISO 14046:2014, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO/TR 14047:2016 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Приклади застосування ISO 14044 до ситуацій оцінювання впливу життєвого циклу (ISO/TR 14047:2012, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ-П ISO/TS 14048:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Формат документування даних (ISO/TS 14048:2002, IDT), не чинний, ISO/TS 14048:2002 Environmental management – Life cycle assessment – Data documentation format	Відмінений в Україні, оригінал діє
ДСТУ ISO/TR 14049:2016 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Ілюстративні приклади застосування ISO 14044 для визначення цілі, сфери застосування та інвентаризаційного аналізування (ISO/TR 14049:2012, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14050:2016 Екологічне управління. Словник термінів (ISO 14050:2009, IDT)	Чинний в Україні

Стандарт	Статус / Примітка
ДСТУ ISO 14060 Посібник з обліку екологічних аспектів у стандартах на продукцію ISO 14060 Guide for the inclusion of environment aspects in product standards	Немає відомостей про опублікування, оригінал діє
ISO/TR 14061:1998 Information to assist forestry organizations in the use of Environmental Management System standards ISO 14001 and ISO 14004	Не чинний в Україні
ДСТУ ISO/TR 14062:2006 Екологічне керування. Враховування екологічних аспектів під час проектування та розроблення продукції	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14063:2008 Екологічне управління. Обмінювання екологічною інформацією. Настанови та приклади	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14064-2:2015 Парникові гази. Частина 2. Вимоги та настанови щодо кількісного визначення, моніторингу і звітності про зменшення викидів або збільшення видалення парникових газів на рівні проекту	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14064-3:2015 Парникові гази. Частина 3. Вимоги та настанови з валідації та верифікації тверджень щодо парникових газів	Чинний в Україні
ДСТУ ISO 14065:2015 Парникові гази. Вимоги до органів з валідації та верифікації тверджень щодо парникових газів для їх застосування у разі акредитації чи інших форм визнання	Чинний в Україні
ISO 14066:2011 Greenhouse gases – Competence requirements for greenhouse gas validation teams and verification teams	Не чинний в Україні
ДСТУ ISO 14067:2020 (ISO 14067:2018, MOD) Парникові гази. Вуглецевий слід продукту. Вимоги та настанови для кількісного визначення	Чинний в Україні
ISO/WD 14068 Greenhouse gas management and related activities – Carbon neutrality	Розробляється
ISO/TR 14069:2013 Greenhouse gases – Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations – Guidance for the application of ISO 14064-1	Не чинний в Україні
ДСТУ ISO/TS 14071:2018 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Процес критичного аналізування та компетентність рецензента: додаткові вимоги та настанови до ISO 14044:2006 (ISO/TS 14071:2014, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO/TS 14072:2018 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Вимоги та настанови щодо оцінювання життєвого циклу організації (ISO/TS 14072:2014, IDT)	Чинний в Україні
ДСТУ ISO/TR 14073:2018 Екологічне управління. Водний слід. Ілюстративні приклади застосування ISO 14046 (ISO/TR 14073:2017, IDT)	Чинний в Україні
ISO/AWI TS 14074 Environmental management – Life cycle assessment – Principles, requirements and guidelines for normalization, weighting and interpretation	Розробляється
ISO 14080:2018 Greenhouse gas management and related activities – Framework and principles for methodologies on climate actions	Не чинний в Україні
ISO/AWI 14082 Radiative Forcing Management– Guidance for the quantification and reporting of radiative forcing-based climate footprints and mitigation efforts	Розробляється
ISO/AWI 14083 Greenhouse gas management and related activities – Quantification and reporting of greenhouse gas emissions of transport operations	Розробляється
ISO 14090:2019 Adaptation to climate change – Principles, requirements and guidelines	Не чинний в Україні
ISO/DIS 14091 Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment	Розробляється
ISO/PRF TS 14092 Adaptation to climate change – Requirements and guidance on adaptation planning for local governments and communities	Розробляється
ISO/DIS 14097 Framework including principles and requirements for assessing and reporting investments and financing activities related to climate change	Розробляється
ISO/AWI 14100 Green Finance: Assessment of Green Financial Projects	Розробляється

Деякі компанії в Україні вже перейшли на стандарти ISO14001 та 14024. Разом з серією ISO 14000 слід зазначити і стандарти інших серій, які стосуються оцінки життєвого циклу об'єктів будівництва та імплементовані в Україні:

- ДСТУ ISO 15686-1:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 1. Основні принципи та методологія (ISO 15686-1:2011, IDT).
- ДСТУ ISO 15686-2:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 2. Методи прогнозування терміну служби (ISO 15686-2:2012, IDT).
- ДСТУ ISO 15686-3:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 3. Аудит і перевіряння експлуатаційних показників (ISO 15686-3:2002, IDT).
- ДСТУ ISO 15686-4:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 4. Планування терміну служби з використанням будівельного інформаційного моделювання (ISO 15686-4:2014, IDT).
- ДСТУ ISO 15686-5:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 5. Оцінювання вартості життєвого циклу (ISO 15686-5:2017, IDT).
- ДСТУ ISO 15686-7:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 7. Оцінювання характеристик для зворотного зв'язку стосовно даних про термін служби, отриманих на практиці (ISO 15686-7:2017, IDT).
- ДСТУ ISO 15686-8:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 8. Нормативний термін служби та обчислення терміну служби (ISO 15686-8:2008, IDT).
- ДСТУ ISO/TS 15686-9:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 9. Настанова з оцінювання даних про термін служби (ISO/TS 15686-9:2008, IDT).
- ДСТУ ISO 15686-10:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 10. Періодичність оцінювання функціональних характеристик (ISO 15686-10:2010, IDT).
- ДСТУ ISO 19011:2003 Наставови щодо здійснення аудитів систем управління якістю і (або) екологічного управління (ISO 19011:2002, IDT).
- ДСТУ ISO 19650-1:2020 Організація та оцифрування інформації (ISO 19650-1:2018, IDT).

Деякі стандарти ISO, що стосуються сталого розвитку та екологічної оцінки будівель і потребують імплементації в Україні:

- ISO 15392:2019 Sustainability in buildings and civil engineering works – General principles.
- ISO/TR 15686-11:2014 Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 11: Terminology.
- ISO 16745-1:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works – Carbon metric of an existing building during use stage – Part 1: Calculation, reporting and communication.
- ISO 16745-2:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works – Carbon metric of an existing building during use stage – Part 2: Verification.
- ISO 20887:2020 Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance.
- ISO 21929-1:2011 Sustainability in building construction – Sustainability indicators – Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings.
- ISO/TS 21929-2:2015 Sustainability in building construction – Sustainability indicators – Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering works.
- ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works – Core rules for environmental product declarations of construction products and services.
- ISO 21931-1:2010 Sustainability in building construction – Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works – Part 1: Buildings.

- ISO/TR 21932:2013 Sustainability in buildings and civil engineering works – A review of terminology.
- Слід зазначити також і деякі важливі стандарти, які все ще знаходяться на етапі розробки:
- ISO/FDIS 21678 Sustainability in buildings and civil engineering works – Indicators and benchmarks – Principles, requirements and guidelines.
- ISO/WD 21928-2 Sustainability in buildings and civil engineering works – Sustainability indicators – Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering works.
- ISO/CD 22057 Enabling use of Environmental Product Declarations (EPD) at construction works level using building information modelling (BIM).

Безумовно, що для застосування в реальних секторах економіки, всі вищенаведені документи мають бути вільно представлені для загального громадського доступу, чого зараз (станом на 2021 рік) немає. Держава-господарник повинна заробляти не на продажі перекладених стандартів, а на податках і вигоді при їх застосуванні учасниками ринку.

Швидше прийняття міжнародних норм із оцінки екологічності і життєвого циклу дозволить привести як всю економіку, так і будівельну галузь зокрема, до провідних світових стандартів.

Наведені стандарти, навіть лише та частина, що імплементована в Україні, вже дають змогу повноцінно визначати оцінку життєвого циклу об'єктів будівництва. Зокрема, **ДСТУ ISO 14050:2016 Екологічне управління. Словник термінів** містить наступні базисні визначення (наведені у ракурсі будівель):

Життєвий цикл об'єкту будівництва (англ. building life cycle) – послідовні та взаємопов'язані стадії системи життєвого циклу об'єкта будівництва від видобутку природних ресурсів, використання сировини до їх кінцевого повернення у навколишнє середовище.

Оцінювання життєвого циклу об'єкта будівництва (англ. life cycle assessment, LCA) – збирання інформації, зіставлення і оцінка вхідних і вихідних потоків матеріалів та енергії, а також можливих впливів на навколишнє середовище протягом всього життєвого циклу об'єкта будівництва.

Оцінювання впливу життєвого циклу об'єкта будівництва (англ. building life cycle impact assessment, LCIA) – це фаза оцінки життєвого циклу, що спрямована на визначення величини і оцінку значущості можливих впливів на навколишнє середовище протягом життєвого циклу об'єкта будівництва.

Екологічна інженерія згідно з ISO 14000 охоплює, окрім оцінки життєвого циклу, також екодизайн і зелену хімію. В ширшому ракурсі аналіз життєвого циклу є частиною ствердження екологічної свідомості, що сприяє реалізації цілей індустриальної екології та сталого розвитку (рис. 1.26).

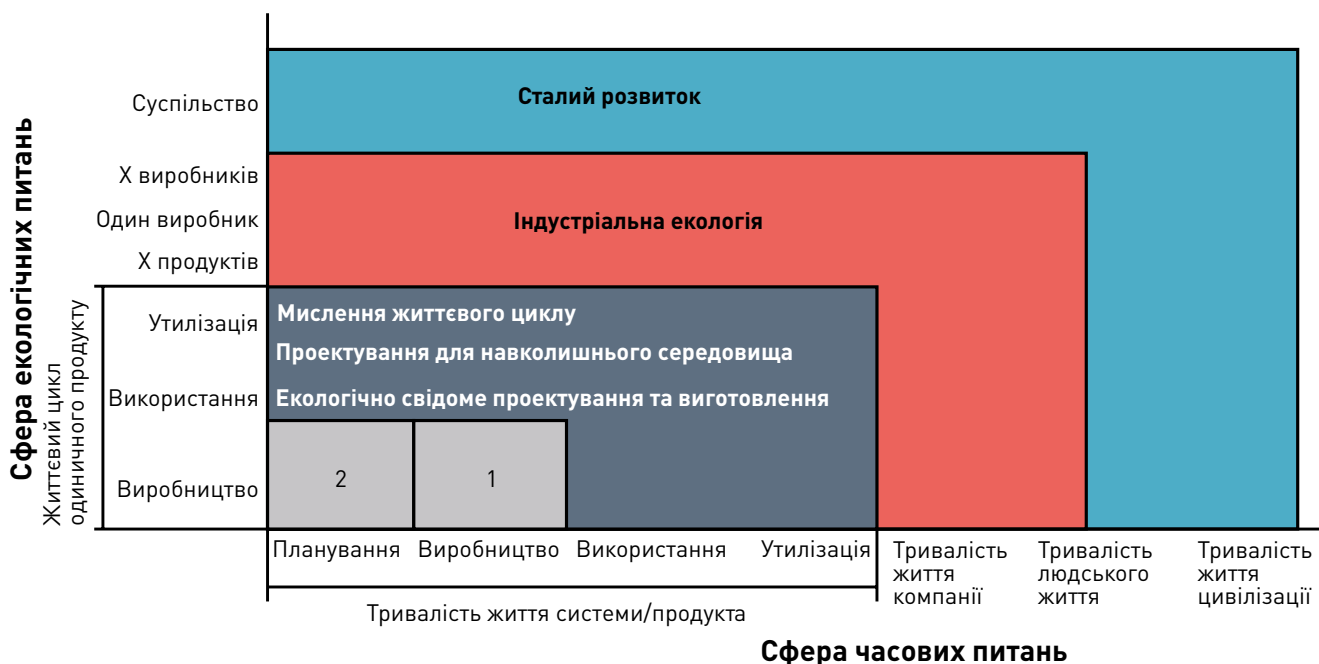


Рис. 1.26. Реалізація зусиль з екологічної діяльності та цілей сталого розвитку у виробництві на різних рівнях: **1) екологічна інженерія; 2) запобігання забрудненню** [1.35]

Документ ДСТУ ISO 14040 [1.5] визначає кілька фаз оцінки життєвого циклу (LCA, ОЖЦ):

Фаза I. Визначання мети і сфери застосування (англ. goal and scope definition). Фаза I охоплює наступні пункти:

Мета дослідження однозначно визначає очікуване застосування, причини проведення дослідження та очікувану аудиторію.

Сфера застосування визначає функції продукційної системи або декількох, функціональну одиницю, що досліджується, межі продукційної системи, процедури розподілення, типи впливу та методологію LCA й інтерпретації, вимоги до даних, зокрема якості первинних даних, припущення й обмеження, а також тип критичного огляду, тип і формат звіту (рис. 1.27).

Функціональна одиниця – кількісна характеристика функціонування продукційної системи, на яку посилаються дослідження LCA. Із функціональною одиницею пов'язані усі викиди і відходи системи. Функціональна одиниця – це кількість одиниць продукції, для якої здійснюється збирання даних і обчислювальні процедури. Наприклад, для продукційної системи «Протипожежний захист металоконструкції» функціональною одиницею може бути «покриття і захист 1 м² поверхні на гарантований термін (із зазначенням необхідних умов експлуатації)».

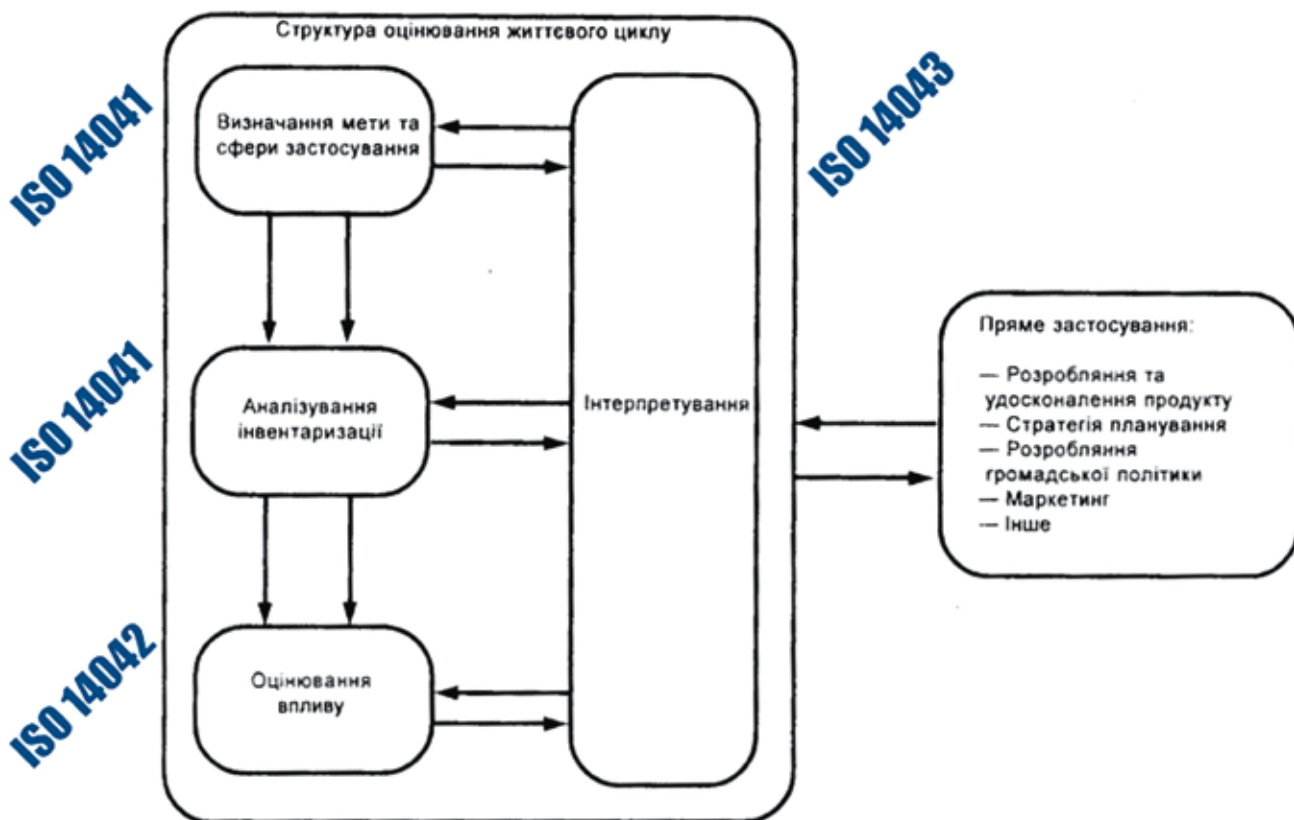


Рис. 1.27. Методологія LCA згідно з ISO 14040

Межі системи окреслюють одиничні процеси, що повинні бути включені в LCA (рис. 1.28). Вони визначають: подальше застосування дослідження; зроблені припущення; критерії відмежування; обмеження щодо даних і витрат, межі майбутньої цільової аудиторії. Межі аналізованої системи є практичними обмеженнями, наприклад, час і гроші. Система передбачає певну сукупність дій, що разом виконують деяку визначену функцію. Система починається видобуванням з довілля всієї необхідної сировини і завершується результатами (англ. outputs), у тому числі відходами і емісіями, що повертаються до навколишнього середовища. У середині найбільших систем можуть бути визначені три головні групи дій: 1) дії з виробництва, використання, транспортування і розповсюдження продукції; 2) дії з виробництва додаткових матеріалів, наприклад, пакування; 3) виробництво енергії, що потрібна для забезпечення роботи системи. Чітко визначена мета може удосконалити результати наступних кроків, коли повний процес розділяється на підсистеми, що складаються із одиничних процесів – тобто найменших складових продукційної системи, для якої збирають дані під час LCA.

Вимоги до якості даних повинні стосуватись часових даних; географічних даних; технологічних даних; точності, повноти та репрезентативності даних; узгодженості та відтворюваності методів, що використовуються в LCA; джерел даних, їх репрезентативності та невизначеності інформації [1.6].

Фаза II. Аналізування інвентаризації життєвого циклу (англ. life cycle inventory, LCI, ІЖЦ).
Інвентаризаційний аналіз – найкраще розроблений на сьогодні етап. Він дотримується лінії традиційного технічного й економічного аналізу нових процесів і продуктів: створюються баланси матеріалів і енергії, що включають сировину, реактиви, продукти, субпродукти, а також тверді та рідкі відходи і газоподібні викиди. Мета інвентаризаційного аналізу полягає у визначенні на основі баз

даних вимог до необхідної кількості енергії і необроблених матеріалів (сировини), пов'язаних емісій в атмосферне повітря, скидів у воду, твердих відходів та інших екологічних впливів, що зазнаються протягом життєвого циклу продукції, процесу або діяльності. Інвентаризація може бути проведена для забезпечення прийняття оптимального рішення за допомогою надання можливості компаніям або організаціям:

- розробити вимоги до ресурсів системи для забезпечення їхнього послідовного контролю;
- визначити компоненти процесу, привабливі для зниження використання ресурсів та енергії;
- визначити засоби розробки нових продуктів або процесів, які зменшать використання ресурсів або емісії забруднювальних речовин;
- порівняти альтернативні матеріали, продукти, процеси, або види діяльності в організації;
- порівняти інформацію про інвентаризацію інших виробників.



Рис. 1.28. Застосування LCA для будівлі, входи та виходи як для системи

Фаза III. Оцінювання впливу життєвого циклу (англ. life cycle impact assessment, LCIA, ОВЖЦ). Ця фаза націлена на визначення та оцінювання величини та значущості потенційних екологічних впливів продукційної системи. У загальному вигляді процедура LCIA включає три обов'язкові етапи:

- 1) категоризування (вибирання категорій впливу);
- 2) класифікація (розподілення даних інвентаризації між категоріями впливу);
- 3) характеризування (оцінювання результатів);

і три необов'язкові етапи:

- 4) нормалізування (віднесення усіх впливів до єдиної шкали вимірювання);
- 5) групування пов'язаних переліків впливів;
- 6) сортування або зважування впливів згідно з їхньою відносною важливістю.

Інколи також окремо виділяють етап аналізу якості даних, але відповідні процедури мають бути присутні на всіх етапах.

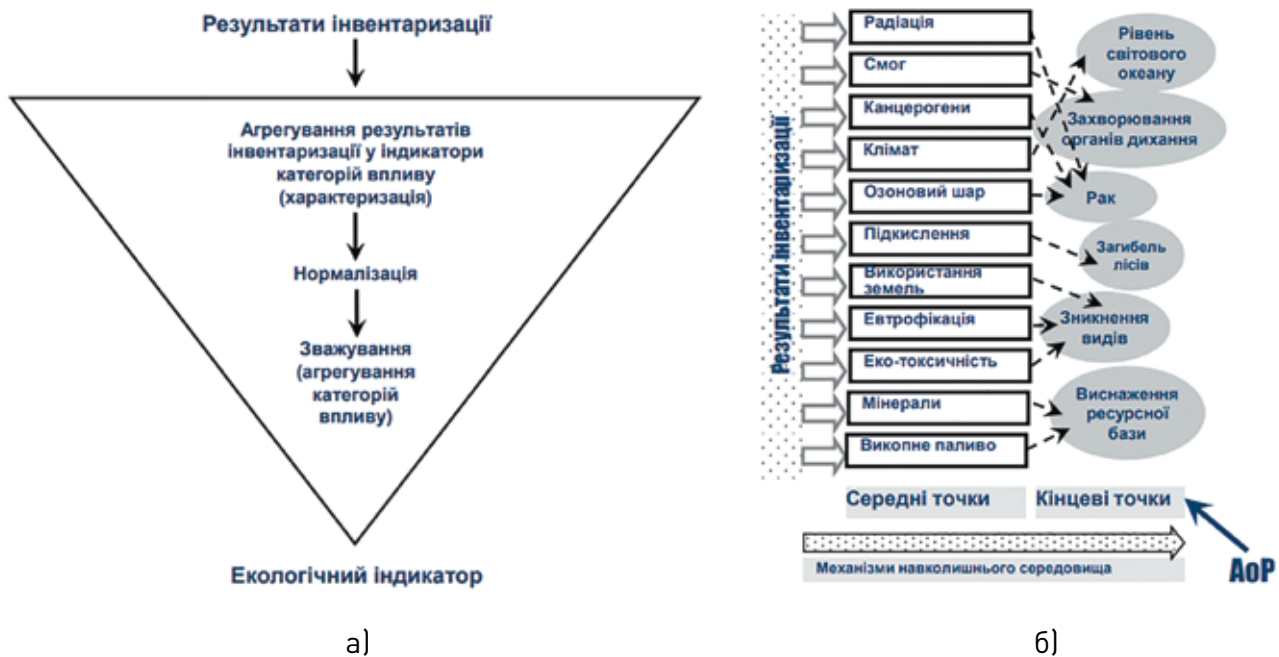


Рис. 1.29.

а) укрупнені етапи Фази III LCA «Оцінювання впливу життєвого циклу»;
б) кінцеві та середні точки при моделюванні результатів інвентаризації

Етап 1 фази III «Категоризація» – це вибір категорій впливу, пов’язаних з метою та сферою застосування. Категорії впливу повинні відповідати потенційним впливам і ефектам на сфери захисту LCA [1.21], тобто на деякі об’єкти, які можуть бути захищені за допомогою виконання і використання LCA: природні ресурси, природне середовище, здоров’я людини, штучне середовище.

На етапі 2 фази III «Класифікація» – дані інвентаризації приписують категоріям відповідно до їхнього впливу. Наприклад, викиди двоокису вуглецю впливають на парниковий ефект, а тому входять, зокрема, до категорії впливу «Зміна клімату». Якщо речовина входить до декількох категорій, необхідно врахувати її у кожній з них.

Етап 3 фази III «Характеризування». На цьому етапі кожна речовина приписується до потенційного впливу певної категорії. Потенційний вплив речовини визначається відносно домінуючого коефіцієнту цієї категорії, наприклад, для потенціалу глобального потепління (ПГП/GWP). Найчастіше це приведений 1 кг викидів двоокису карбону (CO₂-еквівалент). Також застосовують інші показники (рис. 1.29).

Методи **LCIA** відрізняються наступними показниками:

- підходами: проблемно-орієнтовані чи орієнтовані на визначення завданої шкоди;
- глибиною характеризування: середня точка або кінцева точка (див. рис. 1.29);
- методами визначення величин нормалізування та їхнім розмахом (наприклад, країна, Європа або світ в цілому);
- наявністю чи відсутністю процедур групування і ранжування;
- методами зважування: панельний, цільовий чи монетизування;
- рівнем агрегування результатів: без агрегування, з отриманням індикаторів категорій; отриманням єдиного показника тощо.

Фаза IV. Інтерпретування життєвого циклу (англ. life cycle interpretation). Призначена для роз'яснення результатів інших фаз з використанням аналізу чутливості й аналізу невизначеності, і на виході повинна мати форму висновків і рекомендацій для осіб, що приймають рішення, узгоджені з метою і сферою застосування дослідження. Інтерпретування також може призвести до повторення окремих етапів аналізу і перегляду мети та сфери застосування даних, що зменшить невизначеність.



Рис. 1.30. Структура керування життєвим циклом

Окрім ISO 14040, баланс викидів парникових газів визначає серія імплементованих в Україні ISO 14064 Вуглецевий слід підприємства. Також існує ISO 26000 Керівництво з соціальної відповідальності, що заохочує компанії враховувати інтереси суспільства, беручи на себе відповідальність за вплив діяльності компанії на споживачів, стейкхолдерів, працівників, громаду та навколишнє середовище в усіх аспектах своєї діяльності.

Аналіз життєвого циклу є складовою більш загального поняття повного аналізу життєвого циклу будівлі (англ. whole building life cycle assessment, WBLCA). Окремо також визначають поняття керування життєвим циклом (англ. life cycle management, LCM). Це керування продукційною системою з метою мінімізації екологічних і соціально-економічних навантажень, пов'язаних з продуктом або асортиментом продукції протягом його повногожиттєвого циклу та ланцюга створення вартості (рис. 1.30).

Проектування життєвого циклу – це екологічно обґрунтоване конструювання виробів, засноване на цілому життєвому циклі, починаючи з експлуатації та переробки сировини, попереднього виробництва компонентів, виробництва та розподілу продукту, і до кінця строку використання та повернення матеріалів у промислові цикли [1.29].

Основною вимогою для будівель і споруд є те, що вони повинні бути запроектовані, побудовані і знесені таким чином, щоби використання природних ресурсів було раціональним і зба-

лансованим. Для методологічного забезпечення такого підходу в Україні, Український Центр Сталевого Будівництва (УЦСБ), Національний атестаційно-навчальний Центр (НАНЦ) та Технічний комітет (ТК) 301 Мінрегіону розробили «Настанову щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд» (див. детальніше розділ 2 даної книги).

Отже, існує достатнє підґрунтя для впровадження аналізу життєвого циклу у будівельній галузі та розробки продукто-орієнтованих методик визначення її впливу на довкілля.

В наступних розділах розглядається нормативне забезпечення, методологічні основи, предметна класифікація і складові розрахунків життєвого циклу.

*Дивися поглядом новим –
Усі в одній ми силі злиті,
Поєднані на вічний строк.
Свідомості таємний дим
Заплутує наш кожний крок,
Тож ти не можеш рвати квіти,
Не зачіпаючи зірок.*

Francis Thompson «The Mistress Of Vision» (1897)

2. НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНСТРУМЕНТИ ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ В БУДІВНИЦТВІ

2.1. ОГЛЯД ВІТЧИЗНЯНИХ НОРМАТИВНИХ ОСНОВ ДЛЯ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Розглянемо вітчизняну нормативну базу, що стосується методології **аналізу елементів життєвого циклу будівель** і є актуальною станом на першу половину 2021 року. Зокрема ще у 2015 році уряд України затвердив плани імплементації актів законодавства ЄС у сфері охорони довкілля. Проте, попри низку закріплених зобов'язань в національному законодавстві і ряд міжнародних зобов'язань, в Україні **до сьогоднішнього дня відсутня ефективна оцінка впливу на довкілля**. Також не забезпечений належний доступ громадськості до інформації у сфері здійснення такої оцінки. До того ж відсутні ефективні процедури консультацій з громадськістю, що мають передбачати врахування пропозицій та законних вимог громадськості чи обґрунтоване відхилення незаконних.

Імплементована в Україні Директива 85/337/ЕЕС «Про оцінку впливу окремих державних і приватних проектів на навколишнє середовище» [2.10] вимагає, щоби:

- проекти, які можуть здійснювати значний негативний вплив на довкілля, передбачали попередню оцінку цього впливу з відповідним публічним звітом та громадським обговоренням проекту;
- процедура оцінки впливу на довкілля (ОВД) передбачала виявлення, опис та оцінку безпосереднього й опосередкованого впливу таких проектів на людей, фауну та флору, ґрунт, воду, повітря, клімат і ландшафт, матеріальні цінності та культурну спадщину, а також враховувала взаємодію між цими чинниками;
- розробник проекту, що підлягає оцінці впливу на довкілля, надавав інформацію щодо опису проекту, опису заходів для уникнення, зменшення і виправлення негативного впливу, а також надав резюме основних альтернатив нетехнічного характеру, беручи до уваги вплив на навколишнє середовище;
- було враховано думки органів влади, з огляду на їхню спеціальну відповідальність у сфері охорони довкілля;
- було забезпечено доступ до інформації для громадськості, а також визначення умов щодо інформування та консультування з громадськістю.

З прийняттям урядом Розпорядження № 847-р [2.33], яким затверджено «План заходів з імплементації Угоди про асоціацію з ЄС», обсяг зобов'язань України щодо екологічності дещо розширився – йдеться про вимоги до екодизайну приладів, енергетичного маркування, сприяння енергозбереженню, зокрема шляхом формування політики щодо енергоефективності транспорту тощо. Урядом також розроблені і схвалені плани імплементації директив ЄС у сфері енергоефективності.

Середньостроковий план діяльності Мінрегіону України на 2020-2022 роки відзначає, що домогосподарства є одними з основних суб'єктів забруднення атмосфери, що негативно впливає на здоров'я населення та навколишнє середовище, проте не містить заходів щодо комплексної оцінки викидів парникових газів чи їх моніторингу в будівельній галузі [2.34].

На початку березня 2021 року Кабінет Міністрів України затвердив Національну економічну стратегію на наступне десятиліття [2.32]. У цьому документі уряд вперше офіційно визначив довгострокову кліматичну мету країни: «...*економічне зростання з урахуванням Цілей сталого розвитку та необхідності досягнення кліматичної нейтральності до 2060-го року*». Кліматичної нейтральності можна досягти тоді, коли викиди парникових газів в атмосферу в результаті людської діяльності врівноважуються тотожною кількістю цих газів, вилучених з атмосфери різними методами [2.35].

Один з основних ДБН В.1.2-14 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ» [2.5] регламентує, що встановлена надійність має бути забезпечена на всіх етапах **життєвого циклу об'єкта**, розкриваючи наступну його етапність:

1. вишукування і проектування;
2. виготовлення, транспортування та зберігання будівельних виробів;
3. освоєння будівельного майданчика та зведення об'єкта, приймання об'єкта в експлуатацію;
4. використання об'єкта за призначенням протягом встановленого терміну експлуатації, оцінка технічного стану, поточні та капітальні ремонти;
5. реконструкція й подальше використання у нових умовах;
6. ліквідація/демонтаж об'єкта.

Ця важлива методологічна структура має в подальшому поширюватись не тільки на надійність об'єктів, але і на методологію оцінки складових життєвого циклу.

Державні норми щодо наукового супроводу будівництва також містять термін **«ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ»** у сенсі поширення дії норм на весь період експлуатації будівлі, але тлумачення і методологія оцінки його складових не розкривається [2.3]. Низка документів визначає оцінки витрат, пов'язаних із **експлуатацією енергетичних систем будівель**. Так, ДБН В.1.2-11 [2.4] регламентує встановлення економічно обґрунтованого строку експлуатації будівель, проте методика його розрахунку не наводиться. Також у ДБН наголошено, що для оптимального вибору мають бути враховані в тому числі **фактори форми будівельного об'єкту та динамічні теплові характеристики конструктивної схеми**, проте екологічні і економічні фактори та принципи оптимального вибору матеріалів до опису не входять. Норматив [2.8] розглядає методику визначення енергетичних витрат для різних функціональних підсистем будівлі. У нормативі [2.9], що гармонізований із європейськими нормами, наводиться математичний апарат для економічної оцінки енергетичних систем будівель з урахуванням часових факторів, проте лише на частині їхнього життєвого циклу, що стосується функціонування безпосередньо за призначенням у системі будівлі.

Розділ «Енергоефективність» у складі проектної документації об'єктів за ДСТУ Б А.2.2-8 [2.7] наразі не передбачає регламентоване внесення відомостей про енергетичну, економічну і екологічну ефективність **конструктивної схеми будівлі** щодо її життєвого циклу, проте наголошує, що вимоги можуть встановлюватися замовником у «Завданні на проектування» згідно із додатком «Д» до ДБН А.2.2-3.

Гармонізовані з європейським законодавством нормативи [2.8, 2.9] містять методики розрахунку енергоспоживання, застосовні для оцінки економічної рентабельності варіантів енергозбереження у будівлях та оцінки економічної ефективності загального проекту будівлі. Але наведені у нормативах методики містять оцінку тільки під час експлуатації будівель (опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні) і не визначають енерговитрати та викиди під час інших етапів життєвого циклу, зокрема під час виробництва матеріалів каркасу. Норматив [2.6] визначає термінологію життєвого циклу в ракурсі енергетичної ефективності будівлі як «властивості будівлі, її конструктивних елементів та інженерного обладнання

забезпечувати протягом очікуваного життєвого циклу будівлі побутові потреби людини та оптимальні мікрокліматичні умови для її перебування та/або проживання у приміщеннях такої будівлі при нормативно допустимому (оптимальному) рівні витрат енергетичних ресурсів на опалення, освітлення, вентиляцію, кондиціонування повітря, гаряче водопостачання з урахуванням місцевих кліматичних умов», але не розкриває складові життєвого циклу, окрім визначених експлуатаційних компонентів.

Будівельні норми [2.1] визначають наступні основні завдання оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС):

- розгляд і оцінку екологічних, соціальних і техногенних факторів;
- санітарно-епідемічної ситуації;
- імовірних конкурентних альтернатив (у тому числі технологічних і територіальних) планованої діяльності та обґрунтування переваг обраної альтернативи
- визначення комплексу заходів щодо попередження або обмеження небезпечних впливів.

Цей ДБН також визначає **навколишнє середовище** як «сукупність природних, соціальних (включаючи середовище життєдіяльності людини) і техногенних умов існування людського суспільства» та регламентує ресурсозберігаючі, компенсаційні та інші заходи від впливу будівлі і процесу її спорудження на довкілля. Додаток «Ж» до ДБН А.2.2-1 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд» [2.1] довідково наводить методика оцінки ризику впливу діяльності, зокрема будівельної, на здоров'я населення – але з точки зору локальних ефектів забруднення повітря канцерогенними і неканцерогенними факторами. Також у довідковому додатку «И» визначається оцінка соціальних ризиків і відповідні посилання. Проте у [2.1] не наводиться конкретних методик щодо визначення обсягів і впливу викидів на етапі виготовлення конструкцій, зокрема парникових газів, і не містяться елементи життєвого циклу.

Методика визначення енергетичної ефективності будівель, прийнята 11.07.2018 року [2.14], встановлює більш поглиблену класифікацію будівель за енергетичною ефективністю в залежності від функціонального призначення з урахуванням поверховості. У ДБН В.2.6-31 встановлені класи енергоефективності будинків за експлуатаційними показниками.

Методика розрахунку питомих викидів двоокису вуглецю при виробництві електричної енергії на теплових електростанціях та при її споживанні, затверджена Національним агентством екологічних інвестицій України, від 21.03.2011 [2.30] визначає тільки парникові викиди двоокису вуглецю для теплових електростанцій і непридатна для будівельного сектору.

Отже, за останні роки наша держава зробила суттєвий поступ у напрямку підвищення енергоефективності експлуатації будівель, їх огорожувальної оболонки і ощадності інженерних систем. Проте у вітчизняних нормативних документах **не наведено цілісної інтегральної методики оцінки всіх компонентів життєвого циклу будівлі**, урахування властивостей різних конструкційних матеріалів каркасу при будівництві, їхніх екологічних параметрів і впливу на глобальне потепління. В результаті огляду встановлено, що **у всіх вітчизняних системах оцінки будівель конструктивні особливості будівлі не беруться до уваги.**

Отже, доцільною виявляється розробка такої методики з урахуванням провідного світового досвіду і внесення її до нормативної бази України, а також відповідних змін до ДБН А.2.2-3, ДБН А.2.2-1 [2.1, 2.2], а також в інші нормативно-правові акти.

2.2. СЕРТИФІКАЦІЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ БУДІВЕЛЬ ЗА ФАКТОРАМИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Каркаси будівель, виконані із застосуванням сталевих конструкцій, дозволяють створювати рішення, що найбільш відповідають високим експлуатаційним, функціональним та енергоєфективним критеріям (див. рис. нижче).

У економічно розвинутих країнах сукупності критеріїв екологічності та комфортності комерційної нерухомості ствердились як системи сертифікації будівель. Сертифікації мають переважно добровільний характер, але вже давно стали факторами вибору матеріалів і рішень для будівель, критеріями оцінки і формування продажної вартості нерухомості та складовою прийняття рішення щодо інвестування. Такі будівлі задають нові принципи та вигляд сучасних офісів (Рис.2.1).



Рис. 2.1. Офісна 12-поверхова будівля площею 20 400 м² зі сталевим каркасом (м.Лідс, ВБ), що отримала рейтинг «Чудово» згідно BREEAM у 2017 році. Конструкції важать біля 2000 тонн, а завдяки великим прольотам створено більшу гнучкість планувань для орендарів

Найбільшого поширення у провідних країнах набули системи сертифікації **BREEAM**, **LEED** та **DGNB**. Вони мають рейтингову систему, де кожен критерій для оцінки має певну вагу. В системі DGNB, наприклад, відносна вага вказує на важливість кожного критерію в головній групі критеріїв, і кожна головна група також має свою вагу. У DGNB є 6 основних груп з фіксованою вагою, проте кожен критерій має окрему вагу залежно від призначення будівлі. У BREEAM ваги критеріїв також змінюються залежно від розташування об'єкту. Окрім цього, 10 основних груп у BREEAM не мають певної ваги.

Система оцінювання LEED має 6 основних груп і здебільшого схожа на BREEAM тим, що критерії мають різну вагу в залежності від їхньої важливості. Однак основні групи не мають власної ваги окремо, все визначають тільки кількість та вага існуючих критеріїв у кожній групі.

В DGNB вплив кожної основної групи критеріїв є фіксованим. Змінними є лише критерії в самих групах, а у LEED та BREEAM зміни критеріїв визначають вплив кожної основної групи критеріїв на результат. Також у LEED і BREEAM деякі критерії є обов'язковими і визначають мінімальний бал, що забезпечує існування деяких фундаментальних елементів у проекті. У DGNB, натомість, немає обов'язкових критеріїв: мінімальний бал визначається в кожній основній групі. Інша відмінність у описаних рейтингових системах – це різні рівні рейтингу (Табл.2.1, Рис.2.2.).

Рівні рейтингів систем сертифікацій будівель BREEAM, LEED та DGNB

BREAM		LEED		DGNB	
Рейтинг	%	Рейтинг	Отримано пунктів	Рейтинг	%
Вражаюче	≥85	Платиновий	80+	Платиновий	65...80+
Чудово	≥70	Золотий	60...79	Золотий	50...65
Дуже добре	≥55	Срібний	50...59	Срібний	35...50
Добре	≥45	Сертифіковано	40...49	Бронзовий	до 35
Підходить	≥30				
Поза класифікацією	<30				

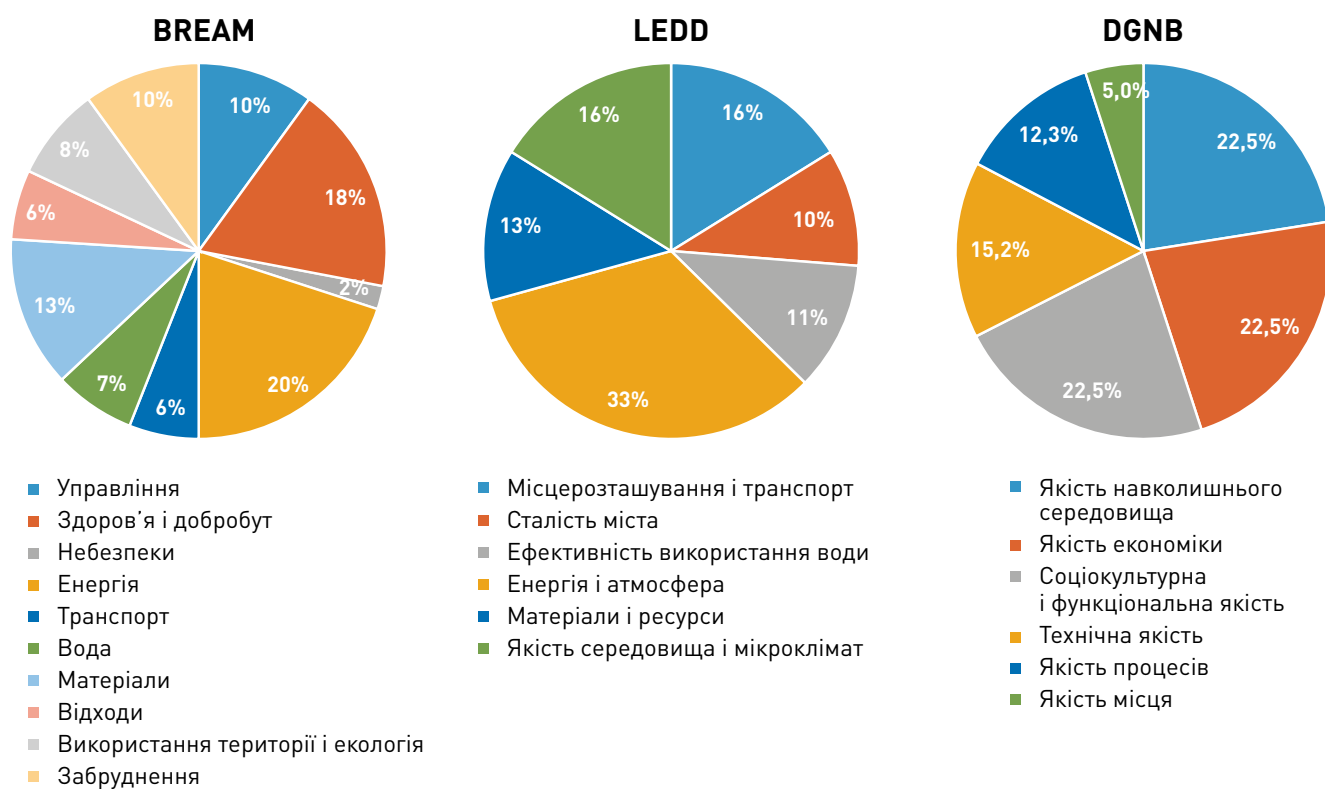


Рис. 2.2. Критерії в кожній системі сертифікації

Відповідно до Рис.2.2. та Табл.2.1, у системі LEED найсуворіші вимоги щодо мінімальної кількості балів для сертифікації проекту порівняно із DGNB та BREEAM. Однак DGNB має додаткову вимогу для отримання рейтингу, що визначає мінімальний показник (відсоток набраних балів) в будь-якій з основних груп, для досягнення єдиного стандарту якості будівель. Наприклад, для отримання «платини» у перших п'яти розділах показник ефективності має бути не менше, ніж 65%. Система BREEAM використовує найбільше рівнів для сертифікації, і найвищий рейтинг в ній отримати складніше, ніж в інших системах.

Критерії в кожній системі сертифікації описані у табл. 2.2.

Система DGNB. Основою для розрахунку оцінки життєвого циклу будівлі в системі DGNB є стандарт DIN EN 15978 [2.24] Табл. 2.2.

Критерії в системі DGNB у відповідності із DIN EN 15978 [2.24]

Фази життєвого циклу	Фаза виробництва			Фаза зведення		Фаза використання							Закінчення життєвого циклу					
	Видобуток сировини	Транспортування	Виробництво	Транспортування	Зведення	Експлуатація	Обслуговування	Ремонт	Заміщення	Модернізація	Споживання енергії при експлуатації	Споживання води при експлуатації	Заміщення/демонтаж	Транспортування	Переробка відходів	Утилізація	Потенціал повторного використання і рециклінгу	
Рейтинг																		
Модулі у відповідності із DIN EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
Декларовані модулі	●	●	●				●		●		●	●			●	●	●	

В системі **DGNB** використовується німецька база даних «Ökobaudat» (див. розділ 4), яка містить дані по викидах для багатьох продуктів та процесів відповідно до DIN EN 15804 [2.23] або ISO 14025 [2.13], у вигляді показників оцінки життєвого циклу. База даних оновлюється кожні декілька років, але старі версії також зберігаються. При цьому не дозволяється використовувати набори даних з різних версій «Ökobaudat» одночасно (див. параграф нижче і розділ 4).

Основними групами критеріїв в DGNB є вплив на навколишнє середовище, економічні показники, соціокультурні та функціональні властивості, технічні властивості, якість процесу будівництва та місцезнаходження будівлі.

Система «LEED». У системі LEED основна увага приділена енергоспоживанню, відстаням транспортування матеріалів починаючи від видобутку сировини, та якості внутрішнього простору. У LEED можливо вибрати мінімум три з наступних категорій екологічного впливу для аналізу їхнього зменшення:

- потенціал глобального потепління, кг CO₂-еквіваленту;
- руйнування озонового шару, в кг CFC-11;
- підкислення земельних та водних джерел, в молях Н⁺ або кг SO₂;
- евтрофікація, в кг азоту або кг фосфату;
- утворення тропосферного озону, в кг O₃-еквіваленту чи в кг прекурсорів (етену, NOx);
- виснаження невідновлюваних джерел енергії, в МДж [2.35].

Термін служби будівлі повинен бути однаковим і становити не менше 60 років, щоби повністю враховувати технічне обслуговування та заміну компонентів. Це потрібно враховувати порівнюючи показники. Необхідно використовувати одні й ті ж програмні засоби для оцінки життєвого циклу та однакові набори даних для оцінювання як базової лінії в галузі, так і запропонованої будівлі. Набори даних повинні відповідати стандарту ISO 14044 [2.15].

Система BREEAM. В системі сертифікації BREEAM використовуються інструменти оцінки життєвого циклу (LCA) в процесі проектування для вимірювання впливу життєвого циклу будівельних елементів на довкілля. Викиди парникових газів (кг CO₂-еквіваленту) для кожного елемента розраховують на основі 60-річного терміну експлуатації будівлі. Якщо конкретні дані для продукту чи елемента відсутні, допускається використовувати дані, які можна отримати в онлайн-базах.



Рис. 2.3. Будівля European Patent Office (м.Рейсвейк, Нідерланди), побудована за стандартами BREEAM із урахуванням життєвого циклу. Завдяки застосуванню фотопанелей на фасаді, сталевому каркасу і внутрішнього озеленення, отримала премію Best Tall Building Awards у 2018 році. Проект – Ateliers Jean Nouvel (м.Париж, Франція); Dam & Partners Architecten (м.Амстердам, Нідерланди) [2.39]

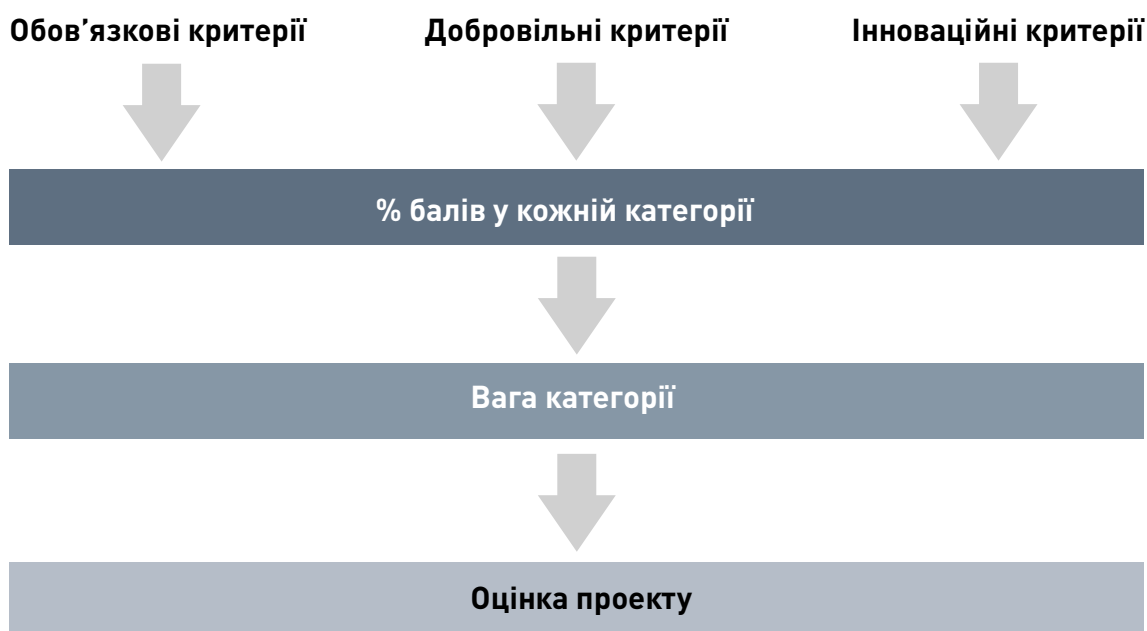


Рис. 2.4. Типи і види критеріїв у системі сертифікації BREEAM у схемі оцінки проекту будівлі

Розглянемо коротко інші поширені системи сертифікації будівель.

Система Buy Clean California. У 2017 році у Каліфорнії (США) був затверджений закон «Buy Clean California» – державна програма зі зменшення викидів парникових газів при формуванні штучного середовища. «Buy Clean» – це державна програма, спрямована на заходи зі скорочення забруднень, що спричиняють зміни клімату, яка реалізується через закупівлі. Це означає, що під час укладання договорів на придбання будівельних матеріалів для інфраструктурних проектів повинні бути враховані показники їхніх приєднаних викидів. Замовник програми – USGBC-LA (US Green Building Council, Los Angeles) – допомагає виробникам сталі, скла та мінеральної вати через програму «Стимулювання чистоти». Кінцевою метою є заохочення виробників до отримання екологічних декларацій – EPD (Environmental Product Declaration, див. детальніше розділ 4) і озеленення власного ланцюга поставок та виробничих процесів.

Система E+C- – започаткована у США добровільна сертифікація, присвячена оцінці підвищення двох показників – енергія та вуглець: E+ C-. Сертифікація призначена тільки для будівель та їхніх частин у новому будівництві і базується на двох основних тезах:

1. Узагальнене позитивне значення енергії. Це означає, що будівля протягом свого життєвого циклу виробить більше енергії, ніж витратить.
2. Створення будівель з низьким сумарним вмістом приєднаного вуглецю протягом усього життєвого циклу – від проектування до знесення.



Рис. 2.5. Оновлена після реконструкції 95-метрова офісна будівля Dreischeibenhaus з каркасом із сталі відповідає золотому стандарту енергоефективності LEED і вважається найпрестижнішим офісним центром Дюссельдорфа. Проектотримав нагороду MIPIM в номінації Refurbishment (HPP Architects, 2015)

Система «Living Building Challenge». Zero Carbon Certification зосереджена на інструментах для будівель з високою енергоефективністю, які проектуються та експлуатуються з якомога повнішим урахуванням приєднаних викидів вуглецю. Будівлі повинні досягти цільового рівня енергоефективності протягом однорічної експлуатації, 100% енергоспоживання будівлі має забезпечуватися з відновлюваних джерел. Нові проекти повинні демонструвати не менше 10% зниження приєднаного вуглецю у порівнянні з еквівалентними усередненими значеннями викидів для будь-яких нових конструкцій та матеріалів, а загальна кількість приєднаних викидів вуглецю в проекті не повинна перевищувати 500 кг CO₂-еквіваленту/м².

Система Zero Carbon Standard – перша в Канаді програма для будівель, в якій викиди вуглецю є ключовим показником ефективності зеленого будівництва. Вона є великим доповненням до стандарту LEED, а в її основі лежить спроба отримати нульовий вуглецевий баланс в будівельних роботах. Будівлі, що досягають нульового вуглецевого балансу та відповідають іншим вимогам для існуючих будівель в системі, отримують сертифікат Zero Carbon Building-Performance. Дана сертифікація присуджується на підставі аналізу однорічного періоду роботи будівлі, а в подальшому ефективність повинна перевірятись щорічно. Звіт про приєднаний вуглець визначається обраним програмним забезпеченням розрахунку LCA, елементами будівлі, що включені в розрахунок, та загальним global warming potential (GWP, в кг CO₂-еквіваленту) будівлі.

Відомі ще й інші системи сертифікації, зокрема **Estidama (OAE), Verde (Іспанія), Active House (Данія), CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency, Японія), Green Globes (США), Green Star (Австралія), HQE (Haute Qualité Environnementale,**

Франція), LBC (Living Building Challenge, США), NABERS (National Australian Built Environment Rating System, Австралія), Nordic Swan (Північна Європа), WELL (США) тощо, не розглядаються тут через скороченість обсягу та іншу мету даної роботи [2.37, 2.40].

Короткий огляд основних систем сертифікації показує, насамперед, що екологічні показники стають все більш вагомим фактором складових цінності будівель, а отже, потребує уваги та розроблення методик оцінки відповідності в умовах України.

Будівлі, що пройшли сертифікацію та отримали кваліфікаційний рівень, прийнято називати «зеленими». Зелені будівлі споживають менше енергії, води та природних ресурсів, створюють менше відходів і є більш екологічними у порівнянні зі звичайними [2.31].

Тільки на початок 2015 року у світі було вже сертифіковано понад 210 000 будівель, а обсяг ринку зелених будівель досяг 135 мільярдів доларів США. Наразі станом на 2021 рік тільки за системою сертифікації BREEAM вже сертифіковано понад 650 000 будівель, і динаміка річного приросту кількості сертифікованих будівель (зокрема за системами LEED та BREEAM) зростає. Лівову частку у кількості сертифікованих будівель займає комерційний офісний сегмент, оскільки має підвищені вимоги до ергономічності та експлуатаційних показників нерухомості (як приклад, можна навести будівлю із Рис.2.6).

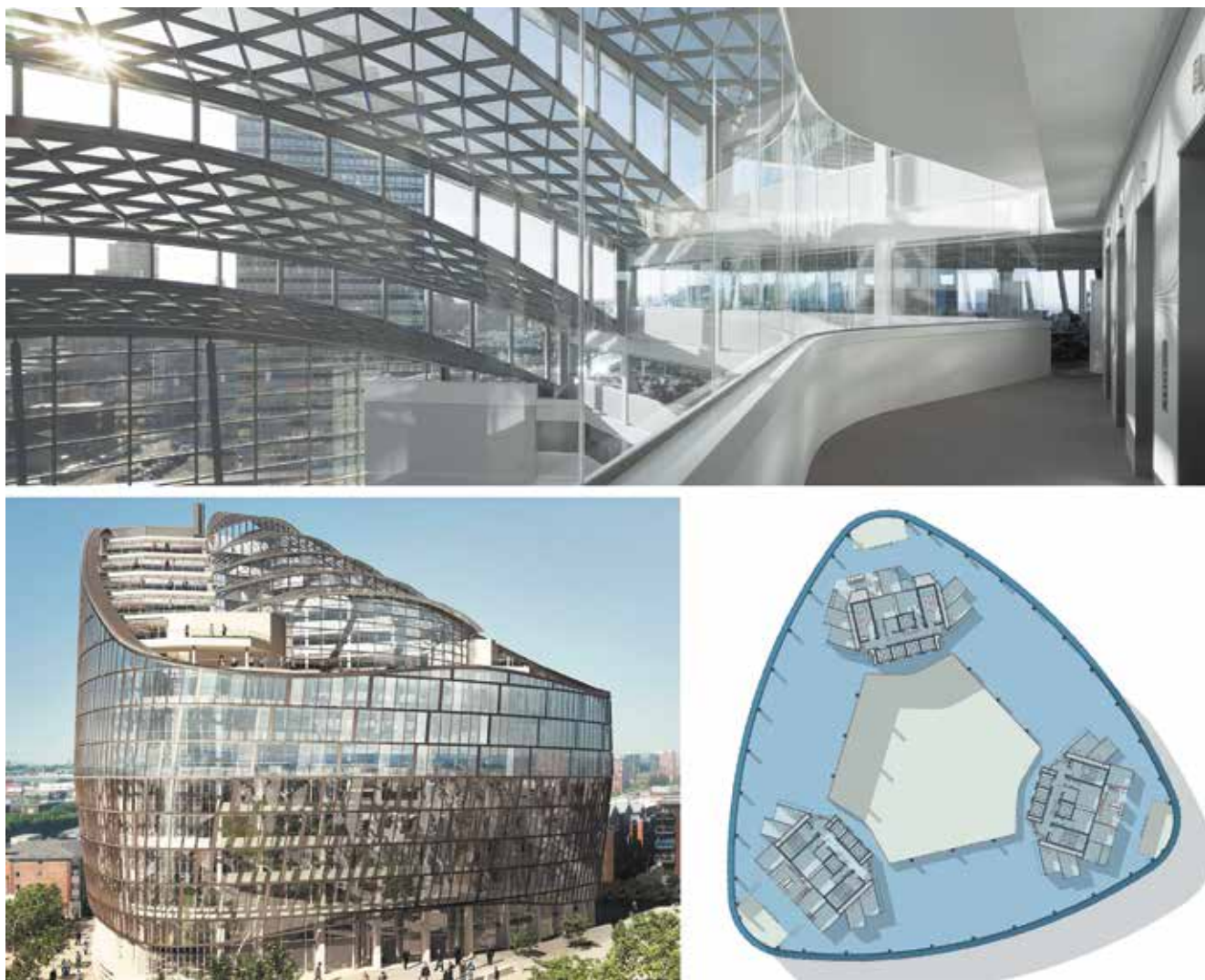


Рис. 2.6. Будівля One Angel Square (м.Манчестер, ВБ) заввишки 72,5 м з трьома монолітними ядрами жорсткості і сталевим каркасом є однією з найбільш екологічних висотних будівель в Європі і має рейтинг BREEAM «Чудово» – 95,16%

2.3. КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ НОВИХ ВІТЧИЗНЯНИХ НОРМ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБАЛАНСОВАНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СПОРУД

У 2020-2021 році Технічним комітетом стандартизації «Металобудівництво» (ТК 301) та Асоціацією УЦСБ (Український центр сталевих будівництва) було розроблено і у 2021 затверджено **національний ДСТУ** «Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд» [2.12]. **Значна частина даної Наставови була розроблена із використанням положень, розроблених під час написання цієї книги.**

Запровадження технічного регулювання в будівництві передбачає поступове приведення української нормативно-правової бази у відповідність до європейських вимог, зокрема поступовий перехід від попередньої версії галузевого технічного регламенту, розробленого з урахуванням Директиви Ради Європи 89/106/ЄЕС, до більш сучасного, що передбачає застосування адаптованої до законодавства України версії Регламенту (ЄС) № 305/2011 в якості Закону України. **Сьома основна вимога Регламенту №305/2011 – це раціональне використання природних ресурсів.** Виконання цієї вимоги потребує комплексу взаємоузгоджених дій від всіх учасників інвестиційного проекту по створенню і забезпеченню експлуатації будівель і споруд. Результатом стане оптимізація використання ресурсів, зокрема, шляхом забезпечення їхнього повторного використання з урахуванням суспільних вимог щодо екологічних обмежень, підвищення рівня надійності і довговічності. Також враховуватимуться функціональне призначення компонентів, комплектів, відокремлених частин і об'єктів в цілому; забезпечення оптимізації інженерних рішень при визначенні технічної можливості їх реалізації та економічної доцільності на принципах кругової економіки. Вимога 7 обумовлена вичерпністю природних ресурсів, зокрема таких, що на сьогодні широко представлені на ринку, а також агресивністю забруднення довкілля промисловими відходами. Серед тих, що стало застосовуються, можна відзначити адаптивний принцип організації простору у будівлях, який подовжує розрахунковий термін експлуатації без проведення реконструкції (а відтак дає скорочення потреб у будівельних роботах з використанням природних ресурсів)ю Також розповсюдженим є використання конструкцій, утилізація або повторне застосування яких передбачає гарантоване повернення інвестору частини коштів, витрачених при будівництві, наприклад, у випадку металевих каркасів. Необхідність розроблення заходів із раціонального використання природних ресурсів зазвичай передбачається замовником у завданні на проектування. Розроблені заходи знаходять своє відображення у документації на стадії «Проект» та підлягають обов'язковій окремій оцінці при проведенні експертизи.

«Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд» [2.12] компенсує відсутність національних нормативних документів, що розкривають особливості раціонального використання матеріалів при спорудженні та експлуатації будівель і споруд. Також вона дозволяє фахівцям професійно формувати заходи щодо забезпечення нової основної вимоги Регламенту №305/2011 [2.11] при визначенні параметрів архітектурно-будівельних систем та містобудівних умов, проектуванні та зведенні об'єктів; задати особливості формування вимог до експлуатації об'єкта і його ліквідації. Стандарт покликаний запобігти застосуванню нераціональних рішень при формуванні містобудівних аспектів об'єкту, його проектуванні та будівництві, а також визначити комплексність дії закладених підходів протягом усього життєвого циклу.

Настанова спрямована на досягнення більш збалансованого використання природних ресурсів при новому будівництві, капітальному ремонті, реконструкції, а також проектах чи об'єктуванні ліквідації споруд. Реалізація положень стандарту покликана сприяти економії природних ресурсів в галузі будівництва, збереженню навколишнього середовища та подовженню життєвого циклу будівель і споруд. Нижче стисло наведено основні положення Наставови, що сприяють екологізації будівництва в Україні.

У Настанові вперше введено поділ архітектурно-будівельних систем (АБС) на три класи:

Клас 1. Оптимальна архітектурно-будівельна система. Використовується для вирішення концепцій сталого будівництва споруд, розрахованих на довгий (більш ніж 100 років) строк експлуатації з можливістю заміни архітектурно-планувальних рішень (перегородок) і огорожувальних конструкцій протягом життєвого циклу. Порівняно з варіантами повторного будівництва на місці розібраних будівель нових споруд з урахуванням витрат на утилізацію розібраної будівлі дана концепція має дати не менше ніж 30% економії. При цьому зберігається в надійному стані найбільш цінна частина будівлі, а моменти перепланувань і пристосувань до нових потреб і функцій доцільно не прив'язувати до етапів життєвого циклу об'єкту.

Клас 2. Раціональна архітектурно-будівельна система. Використовується для вирішення концепції сталого будівництва споруд, розрахованих на середній (30–60 років) строк експлуатації з можливістю заміни частини архітектурно-планувальних рішень (перегородок) протягом життєвого циклу. Цей строк, за умови реконструкції, може бути розширений до 100 років. За межами життєвого циклу 60 років і більше така реконструкція буде більш технологічно складною і кошовною. Тому ці системи є раціональними в своєму часовому діапазоні. При збільшенні життєвого циклу вони будуть суттєво (на 15–20%) поступатися економічності систем класу 1.

Клас 3. Критична архітектурно-будівельна система. Складається з недиференційованих за категоріями відповідальності компонентів і має скорочений нормативний строк служби та/або обмежені можливості зміни архітектурно-планувальних рішень (низьку адаптивність); будь-яке втручання в систему має високі ризики її руйнування. Критичні АБС, як правило, запроектовані без замкненості їхніх елементів у життєвому циклі.

Переважаюча частина повнозбірних АБС (клас 3) складається з недиференційованих компонентів, тобто однаково важливих, і не поділяються на типи 1, 2 та 3 (відповідно до категорії відповідальності А, Б, В). Умовно їх прирівнюють до конструкцій категорії відповідальності Б, що допускається ДБН В.1.2.-14. На момент будівництва такі споруди можуть вважатися технологічними або забезпечувати мінімальну собівартість (мінімальну вартість скороченого (10–20 років) нормативного строку служби). До таких систем відносяться великопанельні залізобетонні АБС, а також АБС з полегшених панельних (щитових) конструкцій. Такі системи не придатні для змін та їхня невідповідність змінним функціональним вимогам стає очевидною за 10–20 років. Тому далеко від проектного терміну експлуатації будівлі такі системи стають критичними і такими, що **суперечать вимогам сталого розвитку**.

Повнозбірна архітектурно-будівельна система – має недиференційовані за категоріями відповідальності конструкції, однаково важливі для забезпечення стійкості споруди, що обмежує можливості змін планувальних рішень та заміни огорожувальних конструкцій протягом життєвого циклу. Критичність повнозбірних АБС (клас 3), в яких всі компоненти є недиференційованими, має такі ознаки:

- неможливість пристосування до змінного призначення (наприклад, перепланування перших поверхів під різноманітні громадські функції, а також квартири);
- спроба пристосування до змінних функцій певних частин таких будівель різко підвищує загрози аварійних станів, знижує надійність конструкцій;
- будь-які реконструкції або капітальні ремонти стають небезпечними або досить високовартісними, технологічно складними, такими, що вимагають на момент ведення робіт призупинення експлуатації об'єкту.

До АБС класу 3 (критичний) можуть бути також віднесені будівлі, що зведено в безкаркасних (стінових) конструкціях і які через різні причини знаходяться в аварійному або незадовільному стані. Зазначені системи характеризуються низькою ремонтпридатністю. Найбільш доцільним для будівель, які перевищили проектні строки використання, особливо для тих, що

перебувають в аварійному або передаварійному стані, є демонтаж і перероблення на будівельну продукцію повторного використання. Таке перероблення не завжди є доцільним за ціною і може не дати будівельних виробів достатньо високої якості. Тому продукти повторного використання мають комбінуватися з додаванням нових якісних матеріалів або з необхідними конструктивними елементами типу 1 і 2 (металеві каркаси тощо).

Поділ архітектурно-будівельних систем на класи залежить від визначених замовником архітектурно та техніко-економічно обґрунтованих життєвих циклів відповідних будівель або споруд та їх конструктивних підсистем.

Залежно від ступеня стабільності та/або змінності компонентів архітектурно-будівельної системи **конструктивні підсистеми та їхні елементи рекомендовано поділяти на несучу частину (каркас) (тип 1), огорожувальні конструкції оболонки (тип 2) і перегородки (тип 3)**. Для кожного з зазначених компонентів конструктивної системи рекомендовано свої підходи і методи щодо раціонального використання природних ресурсів. **Сталий розвиток будівлі забезпечується стабільністю каркасу (несучої основи), передбаченою проектом адаптивністю (змінністю) огорожувальних конструкцій та змінністю перегородок, незалежно від несучої основи.**

Довгостроковий життєвий цикл зазначених будівель передбачає переважну або виключну роль конструкцій типу 1 для забезпечення міцності та стійкості, надійності споруди, її довговічності, ремонтпридатності та живучості.

Повне розширене завершення життєвого циклу споруди може вимагати нестандартних проектів реконструкції, капітального ремонту чи реставрації, що будуть враховувати архітектурну цінність споруди і наявні на той період технології будівництва.

Також вперше для вітчизняних норм у Настанові введено важливі поняття:

кругова економіка – економічна система, що спрямована на зменшення утворення відходів і викидів вуглецю, а також зменшення застосування природних ресурсів внаслідок повторного використання відходів;

рециклінг – перероблення матеріалів або виробів із застосуванням спеціального промислового процесу з метою їх повторного використання.

Настанова наголошує, що ефективним механізмом реалізації основної вимоги збалансованого використання природних ресурсів є застосування BIM-технології протягом життєвого циклу об'єкту (п. 5.2). У Настанові вказується (п. 6.1.2), що сталість будівлі (споруди або комплексу) [2.19-2.22, 2.25, 2.26, 2.28] забезпечує здатність об'єкта зберігати необхідний рівень екологічних, соціальних та економічних показників для теперішніх і майбутніх поколінь. Сталий розвиток забезпечується, зокрема, правильним оцінюванням можливих соціальних і функціональних змін, що можуть вплинути на споруду і проектування конструктивних елементів з урахуванням їхньої важливості і часу експлуатації.

Життєвий цикл будівлі (споруди) включає необхідний строк служби за нормативами і завданням замовника, оцінку життєвого циклу, оцінку впливів в процесі життєвого циклу, оцінку результатів інвентаризаційного аналізу, еталонний термін служби компонентів. Життєвий цикл, що запропонований проектом або з урахуванням завдання замовника (зокрема колективного замовника – суспільства) для певних споруд, може бути розширено шляхом оцінювання технічного стану, ремонту та реконструкції. Життєвий цикл, уточнений за результатами оцінки впливів, рекомендовано прогнозувати на основі сценарного моделювання і сценарних оцінок [2.19-2.22]. Сценарії оцінки виконуються відповідно до встановлених сценаріїв, що відтворюють життєвий цикл будівельного об'єкта. Сценарії відповідають технічним і функціональним вимогам, встановленим функціональним еквівалентом, відповідають вимогам замовника, обов'язковим вимогам і специфікації проекту. Оцінка терміну служби об'єкта або будівельної конструкції визначається

правилами та рекомендаціями, наведеними в ДСТУ ISO 15686 та іншими, наведеними у Настанові, а також у розділі 1 даної книги.

У п. 6.1.6 Настанови зазначено, що будівлі або споруди, які мають обмежений за призначенням і архітектурною цінністю нормативний строк служби, доцільно проектувати з урахуванням життєвого циклу та витрат на їхню експлуатацію, утримання і демонтаж. Їхній життєвий цикл може бути розширений в результаті оцінювання технічного стану та інших техніко-економічних обґрунтувань, зокрема ефективності перероблення конструктивних компонентів та матеріалів, з яких вони вироблялися.

Важливо, що в **п. 6.6 Настанови наводяться критерії раціонального використання природних ресурсів при реконструкції АБС. Вказано, що три складові сталого розвитку** – екологічна, соціальна та економічна (див. розділ 3 даної книги) – є необхідними елементами системного підходу для визначення стійкості використання і розвитку АБС. Однак оцінка може здійснюватися і для показників окремих складових сталого розвитку.

Для об'єднання оцінок екологічних, соціальних та економічних показників необхідно, щоб при визначенні оцінки було використано єдиний функціональний еквівалент. Зіставлення оцінок показників об'єктів або будівельних конструкцій (АБС) на стадії проектування або, за необхідності, застосування цих оцінок слід здійснювати на основі функціональних еквівалентів. Вибір загальної еталонної одиниці для всіх об'єктів, що зіставляються, залежить від конкретних вимог до технічних, функціональних, екологічних, соціальних та економічних особливостей або їх сукупності, що є загальними для всіх цих об'єктів і пов'язані з відповідними функціональними еквівалентами.

Економічний критерій вибору форми будівлі повинен бути всеосяжним і враховувати всі компоненти її життєвого циклу, покладаючись на принцип мінімізації його повної вартості. При цьому розрізняють вартість власне життєвого циклу будівлі (life cycle costing) і вартість повного життя будівлі (whole life cycle costing), згідно із структурою, що наведена у розділі 4 даної книги.

Основним (інтегральним) критерієм вибору ефективної АБС (а у певних завданнях – критерієм оптимальності АБС) при новому будівництві або реконструкції будівлі/споруди може служити критерій вартості життєвого циклу, що визначається згідно з ДСТУ ISO 15686-5 для будівлі або частини будівельної конструкції в процесі їх життєвого циклу за умови виконання технічних і функціональних вимог. Порівнюючи вартості життєвого циклу різних АБС потрібно враховувати еквівалентні показники витрат на зведення, експлуатацію, перепланування, технічне обслуговування, ремонти, реконструкції і суми повернень за повторне використання та рециклінг матеріалів, вартість перероблення будівлі або споруди в разі заміни на нову. Робочі методики порівняльного аналізу розробляються для конкретних будівель і АБС з урахуванням пріоритетів, прогнозів і екологічних стандартів, що використовуватимуться.

Раціональне використання природних ресурсів протягом життєвого циклу будівлі (та, відповідно, вартість життєвого циклу) залежить від локальних критеріїв, що характеризують окремі аспекти та напрямки їх реалізації:

- показники ремонтпридатності споруди і, зокрема, її конструктивної основи – вартість додаткових вкладень у відновлення будівлі при капітальних ремонтах і адаптації (пристосуванні) до функціональних змін;
- показники можливості повторного використання перегородок і ненесучих стін при переплануваннях – кількість циклів, відсоток таких конструкцій у АБС будівлі;
- відсоток змінних матеріалів, що підлягають переробленню і рециклінгу в разі демонтажу частин будівлі або будівлі в цілому;
- відсоток використання матеріалів, що не є дефіцитними, мають достатні поклади в природі та не вимагають великих енерговитрат при виробництві;
- відсоток матеріалів, що не підлягають рециклінгу і переробленню, але утилізація яких не є екологічною проблемою для довкілля.

«Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд» також описує загальні методи зниження фінансових витрат власника на утримання спорудження протягом життєвого циклу:

- обґрунтування ефективного (оптимального) життєвого циклу будівлі (споруди) і зниження ймовірності відмов протягом життєвого циклу;
- забезпечення ремонтпридатності споруди та її елементів, спроможність відновлювати нормальний їхній стан при виникненні відмов;
- забезпечення технічного обслуговування і моніторингу стану будівлі;
- реалізація сукупності технічних і адміністративних дій в період терміну служби об'єкта, спрямованих на забезпечення відповідного стану будівлі або будівельної конструкції для виконання ними встановлених функцій.

Велика увага у Настанові приділена адаптивності проектних рішень. Зазначено, що основну вимогу Регламенту №305/2011 щодо збалансованого використання природних ресурсів доцільно враховувати на етапі проектування споруди шляхом створення умов для підвищення ефективності проектних рішень, зокрема, щодо забезпечення раціональної експлуатації споруди протягом економічно доцільного терміну, можливості повторного використання або перероблення матеріалів шляхом утилізації після знесення споруди та запобігання екологічним проблемам. При розгляді можливості використання під час будівництва матеріалів в проектних рішеннях рекомендовано враховувати весь цикл їхнього життя – від виробництва до демонтажу, повторного використання або перероблення. Екосистеми під час підготовчих робіт, під час і після будівництва мають бути збережені або перенесені з відновленням у повному обсязі.

У Настанові рекомендовано враховувати раціональні можливості забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні шляхом застосування матеріалів, компонентів і комплектів, що забезпечують:

- реалізацію архітектурних, дизайнерських та конструктивних рішень без використання додаткових технологічних процесів або з їхньою мінімальною кількістю;
- отримання підтвердження оцінки відповідності щодо суттєвих характеристик, передбачених нормативними актами в разі використання їх за призначенням;
- обмеження утворення їхніх залишків на будівельному майданчику;
- зменшення відходів промисловості при виробництві матеріалів та від іншої будівельної діяльності;
- скорочення кількості та номенклатури нових матеріалів, що використовуються;
- врахування специфіки виду будівельних робіт (нове будівництво, реконструкція, капітальний ремонт, деконструкція, знесення).

При формуванні проектних рішень, реалізація яких передбачає можливість утворення або використання твердих відходів, рекомендовано керуватись основними принципами державної політики у сфері поводження з відходами, визначеними національним законодавством [2.16].

При проектуванні для оцінки екологічної ефективності будівлі доцільно застосовувати різні показники, основним із яких є потенціал глобального потепління. **Суттєвим, можна сказати революційним для України, – є введення у Настанові «Характеристичного показника потенціалу глобального потепління» – Global warming potential (GWP) – для оцінки будівлі згідно зі світовою практикою.** Дієва методика його оцінки наведена за спрощеною формулою (див. розгорнуто розділ 4):

$$GWP_c = \sum_{i=1}^n GWP_{cat,i} \times Q_s$$

У Настанові вказано, що оцінка життєвого циклу будівлі може здійснюватися на 4 різних рівнях аналізу:

1. Несучий остов будівлі.
2. Несучий остов і огорожувальні конструкції будівлі.
3. Несучий остов, огорожувальні конструкції і внутрішні перегородки, допоміжні конструкції у будівлі.
4. Несучий остов, огорожувальні конструкції і внутрішні перегородки, допоміжні конструкції у будівлі, а також внутрішньобудинкові інженерні системи.

На рівні 1 може розглядатися тільки надземна або підземна і надземна частини будівлі. Також на різних рівнях можуть бути додатково включені підготовчі роботи. Рівні 3 і 4 можуть охоплювати елементи АБС за межами будівлі, що забезпечують її функціонал.

В окремій таблиці 7.1 в Настанові наведені характеристичні укрупнені показники потенціалу глобального потепління основних будівельних конструкційних матеріалів для попередньої оцінки екологічного впливу несучих систем (витяг з міжнародної бази даних «Okobaudat», див. розділи 4, 5).

У Настанові містяться приклади оцінки екологічного впливу для несучої системи (тут не наводяться, оскільки більш розширені приклади є у розділі 5 даної книги). Також вказано, що оцінку можливих рішень рекомендовано проводити шляхом аналізу узагальнених витрат, що включають в себе потоки і запаси (фонди) матеріальних ресурсів, енергії і відходів за окремими напрямками, включно з:

- кількістю необхідних матеріалів в натуральних показниках та їхньою вартістю на час будівництва і тенденціями зміни на етапі експлуатації;
- використанням можливостей місцевої та/або регіональної ресурсної і промислової бази;
- трудомісткістю заводською і будівельною (оптимізація трудовитрат при зведенні об'єкта з використанням попереднього укрупнювального складання комплектів і збільшенням рівня завантаження наявних машин і механізмів);
- необхідністю залучення нестандартних та/або унікальних інструментів, механізмів, обладнання;
- пріоритетністю збірно-розбірних методів з'єднання компонентів і комплектів під час будівництва і експлуатації об'єкту;
- технологічністю проведення моніторингу технічного стану, ремонтно-відновлювальних заходів, технічної модернізації під час експлуатації та ліквідації об'єкту;
- необхідністю і можливістю вивезення залишків і відходів на звалища та місця захоронення.

Ієрархія заходів зі зменшення генерації залишків може включати аналіз можливості їхнього проведення у такій послідовності:

- запобігання утворенню залишків;
- підготовка до прямого повторного чи альтернативного використання;
- рециклінг;
- відновлення і перероблення залишків;
- захоронення (знищення) залишків.

При проведенні аналізу можливості утворення залишків матеріалів і компонентів рекомендується враховувати очікувану їхню кількість, а також можливість повторного використання та вторинного перероблення.

Привабливість окремих проектних рішень в Настанові рекомендовано визначати з урахуванням наступної пріоритетності факторів використання матеріалів і компонентів:

1. утворення мінімальної кількості залишків і можливість їхнього повного повторного використання при виконанні технологічних процесів, передбачених під час виконання наступних етапів робіт на об'єкті;

2. утворення залишків в обсягах, що потребують проведення додаткових технологічних операцій для забезпечення можливості їхнього використання за новим призначенням на будівництві об'єкта;
3. утворення залишків, що не підлягають використанню на об'єкті, але можуть бути утилізовані шляхом перероблення на будівельному майданчику підрядником або іншими суб'єктами господарської діяльності без фінансового обтяження будівництва;
4. утворення залишків, що підлягають вивезенню на сміттєзвалище;
5. приведені витрати на матеріали та компоненти;
6. вартість життєвого циклу матеріалів та компонентів.

При формуванні проектних рішень рекомендовано надавати переваги варіантам, що сприяють зменшенню наявних відходів місцевої промисловості та будівельної діяльності. Залучення матеріалів і компонентів, технології їхнього використання в проектні рішення рекомендовано проводити з обмеженням можливості утворення залишків і відходів, що підлягають регулюванню в зв'язку з можливістю створення небезпеки для довкілля та користувачів. При використанні матеріалів в проектних рішеннях рекомендовано аналізувати можливість збереження їхніх властивостей протягом всього циклу життя, враховуючи можливість проведення, за необхідності, повторного використання або перероблення. При цьому необхідно враховувати забезпеченість параметрів суттєвих характеристик на етапах первинного і вторинного використання, можливість зміни призначення і погіршення властивостей за рахунок старіння. Переважно слід використовувати будівельні матеріали та вироби, що мають екологічне маркування, мінімальну вартість життєвого циклу, мінімальну приєднану енергію та потенціал глобального потепління.

В Настанові рекомендовано визначити скорочення кількості та номенклатури нових матеріалів, що використовуються при будівництві об'єкта, мінімальну вартість життєвого циклу, мінімальну приєднану енергію та потенціал глобального потепління як критерії раціонального використання природних ресурсів. При визначенні привабливості варіантів проектних рішень за загальними показниками та в частинах варіантів проектів, що мають відмінності в прийнятих рішеннях, рекомендовано враховувати їхні показники за наступними напрямками:

- кількість нових матеріалів, що використовуються в кожному проектному варіанті;
- загальна номенклатура матеріалів і компонентів в кожному проектному варіанті;
- питома відмінність номенклатури матеріалів і компонентів варіантів проектних рішень, що порівнюються;
- питома відмінність кількості постачальників матеріалів і компонентів варіантів проектних рішень, що порівнюються;
- питома доля використання ресурсу матеріалів і компонентів за життєвий цикл об'єкта (в частині проектних рішень, що відрізняються у варіантах);
- питома витрати на підтримання суттєвих характеристик матеріалів відповідно до основних вимог технічного регламенту протягом життєвого циклу (в частині проектних рішень, що відрізняються у варіантах);
- питома відмінність витрат на утилізацію матеріалів і компонентів під час ліквідації об'єкту циклу (в частині проектних рішень, що відрізняються у варіантах);
- питома відмінність можливості реалізації та необхідності підготовки залишків матеріалів і компонентів після будівництва та відходів після ліквідації об'єкта для повторного використання;
- питома частина матеріалів і компонентів, що залишаються для використання після зміни техніко-економічних показників об'єкта (в разі проведення реконструкції);
- питома частина матеріалів і компонентів, що мають мінімальну вартість життєвого циклу, мінімальну приєднану енергію та потенціал глобального потепління.

Слід підкреслити, що у **п. 7.1.6 Настанови** рекомендується приділяти особливу увагу раціональному використанню природних ресурсів під час проведення реконструкції, деконструкції і знесенні об'єкта.

Формування варіантів проектних рішень з реконструкції або капітального ремонту об'єкта доцільно проводити з урахуванням впливу наступних факторів, що впливають на раціональне використання ресурсів:

- необхідність зміни основних техніко-економічних показників об'єкту;
- необхідність зміни призначення об'єкта (його частин);
- наявність первинної проектної документації і паспортів проведення інвентаризації та визначення технічного стану об'єкту;
- наявність результатів моніторингу стану об'єкту під час його експлуатації;
- наявність результатів інженерно-геологічних вишукувань ділянки забудови на час зведення об'єкту і в процесі його експлуатації;
- виявлення змін пружно-деформаційного і гідрогеологічного стану основи;
- наявність оцінки технічного стану об'єкту на відповідність основним вимогам технічного регламенту;
- ступінь фізичного зносу матеріалів основних і головних конструктивних елементів і частин об'єкту;
- наявність і рівень забезпеченості ресурсами інженерних мереж об'єкта;
- наявність індивідуальних потреб щодо врахування специфіки зміни призначення.

При зміні техніко-економічних показників об'єкта в Настанові рекомендовано надавати пріоритетність рішенням, що дозволяють проводити реконструкцію з максимальним використанням наявних конструкцій об'єкту та конструкцій і елементів вторинного використання. За наявності матеріалів, що утворюються під час розбирання конструкцій, рекомендовано розглянути варіанти їхнього повторного використання під час реконструкції та передбачити, за необхідності, перероблення або підготовку. Відповідно до очікуваної надійності та стабільності отримання нормативного рівня суттєвих характеристик матеріалів, рекомендовано їхнє повторне використання проводити з врахуванням категорії відповідальності конструкцій в об'єкті після реконструкції.

Також у Настанові (п. 7.2.1) рекомендовано враховувати можливість оптимізації використання природних ресурсів шляхом залучення під час формування технічних рішень проектів повторного використання (ППВ).

За наявності необхідної інформації, доцільно також врахувати різні аспекти можливого використання конструкцій об'єкту, матеріалів і частин компонентів після знесення на засадах кругової економіки, тобто оцінки зведення та експлуатації на умовах оптимізації використання ресурсів на всіх етапах життєвого циклу за наявності задовільного обслуговування, рівня надання послуг, при одночасному зниженні екологічних проблем.

Врахування впливу фактору часу експлуатації об'єкта на властивості матеріалів і компонентів рекомендовано використовувати для врахування можливої зміни стану конструктивних та інженерних систем шляхом фізичного зносу, а також оцінки можливості подовження життєвого циклу об'єкту за допомогою мінімальних додаткових ресурсів.

Аналізуючи довговічність матеріалів і компонентів, що перевищує розрахунковий строк експлуатації об'єкта, доцільно розглядати наступні фактори впливу:

- можливість проведення заходів з відновлення технічного стану споруди до рівня, що дозволяє подальшу експлуатацію за призначенням або зі зміною призначення протягом додатково призначеного терміну;

- наявність планувальних параметрів і розрахункових рівнів навантаження основних конструкцій з розрахунку на можливе проведення перепланування за новим призначенням без суттєвого втручання в несучі конструкції;
- доцільність збільшення параметрів місць проходження і розміщення інженерних комунікацій для забезпечення можливості модернізації інженерних систем і врахування загальних тенденцій змін енергозабезпечення об'єктів (місце в каналах розводу комунікацій, підвищення розрахункового навантаження на конструктивні елементи);
- можливість прийняття об'єктом на етапі експлуатації додаткових навантажень, обумовлених глобальними кліматичними змінами та природними катаклізмами;
- можливість врахування тенденцій змін суспільних вимог до споруд в частині містобудівних параметрів (поверховість, функціональність, комплексність, гнучкість пристосування);
- можливість пристосування споруди до мінливих потреб з плином часу при одночасному зменшенні необхідності її знесення та реконструкції;
- можливість включення архітектурних елементів та матеріалів в дизайн споруди під час реконструкції або зміни призначення. Оцінка доцільності збереження спадщини при проведенні ремонту або відновлення споруди шляхом використання її наявних частин під час деконструкції.

Важливим є п. 7.4 Настанови «Врахування раціональних конструктивних, технічних, організаційно-технологічних рішень при проектуванні». В ньому вказано, що при формуванні проектних рішень рекомендовано зважати на вплив прийнятих конструктивних, технічних, організаційно-технологічних рішень на оптимальність використання ресурсів шляхом проведення аналізу варіантів рішень в наступних напрямках:

- визначення можливості зменшення джерел ресурсів, що застосовуються в проекті;
- формування відбору необхідних матеріалів з урахуванням можливості залучення переробленого матеріалу і потенційного терміну експлуатації;
- визначення можливості повторного використання матеріалів за умови, що відбувалася попередня деконструкція наявних споруд або їхніх частин, та зменшення через це кількості джерел матеріалів;
- врахування можливості поширення забруднювальних речовин з відновленого матеріалу;
- врахування можливості скорочення використання нових матеріалів, мінімізації матеріальних втрат на будівельному майданчику, відновлення і повторного використання надлишкових матеріалів на будівельному майданчику, а також обмеження будівельних залишків;
- запровадження комплектів та компонентів заводської готовності;
- використання стандартних матеріалів і модульних розмірів в проектних рішеннях;
- забезпечення мінімізації обсягів розроблення і рівня порушення природного стану основи споруди;
- забезпечення мінімізації використання невідновлюваних ресурсів, води, викидів токсичних речовин;
- визначення правил та умов обслуговування споруди на етапі експлуатації, що забезпечать дотримання основних вимог технічного регламенту протягом розрахункового строку експлуатації;
- врахування можливості використання вторинних конструкцій там, де це можливо;
- закладення принципової можливості реконструкції, технологічних можливостей із підсилення і переміщення каркасу на нове місце, що дозволяє збільшити швидкість реновації і демонтажу, а також відповідає цілям сталого розвитку та економії ресурсів.

При формуванні проектних рішень, що передбачають запровадження перероблення відходів та їхнього вторинного використання, рекомендовано забезпечувати контроль щодо можливості порушення третьої основної вимоги технічного регламенту, що може призвести до нанесення шкоди здоров'ю споживачів шляхом отруєння або ураження життєво важливих ор-

ганів. Запобігання таким негативним явищам базується на контролі екологічних параметрів компонентів протягом життєвого циклу споруди.

Значна частина Настанови (**розділ 8**) присвячена **вимогам щодо поводження з будівельними відходами**. Доцільно передбачати впровадження найкращих доступних технологій утилізації будівельних відходів, зокрема після відповідної підготовки: повторне використання компонентів (виробів, конструкцій), отриманих в результаті деконструкції будівель і споруд, а також використання металу, бетону, бою цегли, щебеню, піску тощо.

Фундаментальним є затвердження у Настанові вимоги щодо мінімального ступеня перероблення всіх будівельних матеріалів на рівні не менше ніж 70%.

До відходів, які важко усунути, зокрема, відносяться відходи залізобетонних конструкцій, шифер та інші матеріали, що складно переробити або які містять небезпечні компоненти, що можуть вивільнитися у навколишнє середовище або спричинити значні наслідки у вигляді відлучення землекористування, парникових викидів чи великих витрат енергії або вартості життєвого циклу, якщо їхній ступінь перероблення менше ніж 70%. Таких конструкцій слід уникати при проектуванні та будівництві будівель і споруд класів наслідків СС2 та СС3.



Рис. 2.7. Новий, найбільший на планеті термінал Midfield в м.Абу-Дабі, ОАЕ площею 700 000 м² має каркас вагою понад 269 000 тонн сталі з високим вмістом брухту, а понад 20% всіх матеріалів у проекті мають регіональне походження. Всі розробки, зокрема і розрахунки конструкцій, велися тільки на основі однієї платформи BIM, щоб всі зацікавлені сторони могли обмінюватися інформацією і співпрацювати [2.37]

Зберігання металевих конструкцій або їхніх окремих елементів, отриманих при деконструкції будівель і придатних для повторного використання в будівництві, рекомендовано здійснювати згідно з ДСТУ Б В.2.6-75. Збережуваність будівельних відходів (виробів і матеріалів), що

використовують як вторинні матеріальні ресурси, рекомендовано забезпечувати на всіх етапах підготовки та проведення робіт при будівництві, ремонті, реконструкції, деконструкції, знесенні об'єктів, а також при виробництві будівельних матеріалів та виробів. Будівельні відходи, використання яких на об'єкті утворення передбачено проектною документацією, рекомендовано доводити до стану, придатного для застосування в умовах будівельного майданчика або на спеціалізованих виробничих підприємствах.

Конструкції, які доцільно використати повторно, рекомендовано оберегти від пошкоджень при деконструкції. Лом від деконструкції кам'яних будівель, що придатний для подальшого використання, рекомендовано відсортовувати з метою відділення від нього дерев'яних і металевих складових. Будівельні відходи, до складу яких входять бетон, цегла, щебінь, рекомендовано використовувати для підсилення доріг, під час виготовлення будівельних матеріалів для улаштування основ під дороги та фундаментні плити, для благоустрою територій тощо. Будівельні відходи після деконструкції, до складу яких входить, переважно, залізобетон, рекомендовано сортувати за допомогою спеціальної техніки.

Металеві конструкції, що використовуються повторно, мають бути очищені від забруднень і залишків покриттів, їхня придатність до повторного використання має бути оцінена відповідно до їхнього технічного стану та конструктивних вимог нового призначення. Металеві конструкції, що підлягають реутилізації, повинні бути відсортовані за типом (зі сталі та чавуну, з алюмінієвих сплавів, з інших металів) і відправлені у відповідні центри перероблення. Захоронення металевих конструкцій забороняється, а інших будівельних відходів – забороняється за наявності в Україні технологій їхнього перероблення та використання.

Табл.2.3.

Типова форма співставлення варіантів проектних рішень будівель щодо використання матеріалів і компонентів. Чарунки форми заповнюються для конкретного проекту в залежності від кількості варіантів, що розглядаються на передпроектній стадії.

№	Характеристика варіанту проектного рішення	Варіант 1 (базовий)	Варіант 2	Варіант 3
1	Кількість нових матеріалів (одиниць)			
2	Загальна номенклатура матеріалів і компонентів (одиниць)			
3	Питома відмінність номенклатури матеріалів і компонентів відносно базового варіанту, %			
4	Питома відмінність кількості постачальників матеріалів і компонентів відносно базового варіанту, %			
5	Питома доля використання ресурсу матеріалів і компонентів за життєвий цикл об'єкта відносно базового варіанту, %			
6	Питомі витрати на підтримання суттєвих характеристик матеріалів у відповідності до основних вимог технічного регламенту протягом життєвого циклу відносно базового варіанту, %			
7	Питома відмінність витрат на утилізацію матеріалів і компонентів під час ліквідації об'єкта циклу відносно базового варіанту, %			
8	Питома відмінність можливості реалізації та необхідності підготовки залишків матеріалів і компонентів після будівництва та відходів після ліквідації об'єкта для повторного використання відносно базового варіанту, %			
9	Питома частина матеріалів і компонентів, що залишаються для використання після зміни техніко-економічних показників об'єкта (в разі проведення реконструкції)			
10	Характеристичний показник потенціалу глобального потепління і ступінь оцінки			

Під час розроблення проектної документації на нове будівництво, капітальний ремонт, реконструкцію, технічне переоснащення будівель, споруд і лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури необхідно насамперед передбачати застосування матеріалів та виробів повторного використання, а також виготовлених із застосуванням будівельних відходів як вторинної сировини. У Настанові рекомендовано в проектній документації на будівництво надавати інформацію щодо потенційних суттєвих впливів на довкілля, пов'язаних зі збиранням, зберіганням, переробленням, перевезенням, використанням будівельних відходів. В завданні на проектування будівель і споруд слід передбачати вимоги щодо ресурсозбереження. Під час розроблення проектної документації на будівництво (техніко-економічне обґрунтування, техніко-економічний розрахунок, робочий проект) необхідно передбачати заходи щодо ресурсозбереження. Під час розроблення проектної документації на будівництво у розділі «Охорона навколишнього середовища» рекомендовано передбачати комплекс заходів щодо поводження з будівельними відходами. Екологічність проекту рекомендовано визначати, використовуючи показники екологічної дієвості, а саме:

- кількість використаних природних ресурсів на 1 м² об'єкту будівництва, т;
- кількість відходів, що утворюються на 1 м² об'єкту будівництва, т;
- кількість використаних відходів на 1 м² об'єкту будівництва, т;
- кількість відходів, матеріалів і виробів, придатних для подальшого перероблення після демонтажу та знесення об'єкта, на 1 м² об'єкту будівництва, т;
- потенціал глобального потепління, кг еквіваленту CO₂;
- вартість життєвого циклу, тис. грн.

Наведені критерії є усталеними при оцінці параметрів ЖЦ в провідних країнах світу. Для прикладу, на рис.2.7 наведено найбільший на планеті термінал Midfield в Абу-Дабі (ОАЕ) де було використано сталь з високим вмістом брухту, а понад 20% всіх матеріалів у проекті мають регіональне походження. Також на рис.2.8 показано хмарочос «Pearl River Tower» заввишки 309 м у Гуанчжоу, КНР, який отримав найвищий рейтинг LEED Platinum (арх. SOM, 2013) завдяки ефективності металевого каркасу, огорожувальної оболонки та інженерних систем. Зокрема у будівлі встановлено сонячні станції, адаптивне освітлення, вітрогенератори і передбачено охолодження фасаду повітрям. Будівля названа виданням Wall Street Journal «однією з найефективніших у світі комерційних офісних веж», а BBC – «найзеленішою вежею у світі».



Рис. 2.8. «Pearl River Tower»: 71-поверховий хмарочос заввишки 309 м у м.Гуанчжоу, КНР, має найвищий рейтинг LEED Platinum (арх. SOM, 2013) і названа «найзеленішою вежею у світі»

У розділі 9 Настанови описана формалізація заходів з дотримання вимоги щодо збалансованого використання природних ресурсів. Вказано, що визначення заходів здійснюється замовником у технічному завданні на проектування, а проектувальник відображає визначені технічним завданням заходи у проектній документації на стадії «П», але не обмежується ними, максимально їх розширяючи. Експерт аналізує визначені проектом заходи та формує окремий висновок у складі звіту щодо їхньої прийнятності та достатності. Заходи рекомендується супроводжувати визначенням ефекту від їхнього впровадження на основі порівняльного аналізу запропонованого рішення з іншим рішенням, яке традиційно застосовується. Визначення ефекту доцільно викладати з наведенням орієнтовного чисельного значення ефекту (переваги).

У довідковому Додатку Б Настанови наведено таблицю «Співставлення варіантів проектних рішень щодо використання матеріалів і компонентів» (таблиця 2.3).

Передбачена Настановою інтегральна оцінка принаймні трьох варіантів каркасу будівлі за розгорнутими показниками життєвого циклу є значним поступом у вітчизняному проектуванні та дозволяє як економити ресурси замовника, так і досягати цілей сталого розвитку.

Ключові положення змін до ДБН А.2.2-3. За поданням УЦСБ, у 2020 році в змінах до ДБН А.2.2.3 [2.2], що є базисним для проектування всіх будівель і споруд, включено посилання на ДСТУ ISO 14040:2013 «Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу», а термін «життєвий цикл» введено у розділи техніко-економічних обґрунтувань та розрахунків (ТЕО, ТЕР) довідкового Додатку В, а також до техніко-економічних показників проекту – довідкових Додатків І, К, Л – екологічної інформації щодо параметрів життєвого циклу.

Зокрема, у додатку для об'єктів виробничого і невиробничого призначення введено можливість обґрунтування інвестицій (за потреби) та винесення висновків з визначенням вибраного варіанта запропонованих рішень та пропозицій на основі аналізу всіх етапів життєвого циклу об'єкту будівництва. Також до Додатку В вперше долучено перелік «Оцінка життєвого циклу із визначенням заходів досягнення цілей сталого розвитку і потенціалу глобального потепління від спорудження об'єкту»; введено обов'язковий пункт «Оцінка впливів на навколишнє середовище (ОВНС) з оцінкою життєвого циклу будівлі та визначенням заходів досягнення цілей сталого розвитку».

У складі техніко-економічних розрахунків введено необхідність визначення економічної доцільності зведення об'єкта в цілому із урахуванням етапів його експлуатації та подальшої утилізації.

У переліку складу проекту (частини робочого проекту, що затверджується) на будівництво об'єктів виробничого призначення та лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури (Додаток Е) введено необхідність вказування даних про кількість та склад шкідливих викидів в атмосферу та водні джерела із зазначенням потенціалу глобального потепління по кожній споруді.

В Додатках І, Л, К до ДБН А.2.2-3 зазначено, що у даних по проекту повинна вказуватися, зокрема, вартість експлуатаційних витрат та показники досягнення цілей сталого розвитку під час реалізації проекту: вартість життєвого циклу об'єкта; приєднані викиди вуглецю і приєднані витрати енергії, пов'язані зі спорудженням об'єкту; частка у об'єкті матеріалів, що можуть бути використані повторно.

Отже, у вітчизняного проектанта з'являється нормативно обґрунтована можливість застосування інструментів оцінки життєвого циклу, зокрема для раціонального вибору конструктивного рішення.

2.4. НАЯВНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ БУДІВЕЛЬ

Для підтримки прийняття рішень і, зокрема, сертифікаційної оцінки життєвого циклу за кордоном розроблені і успішно застосовуються програмні інструменти аналізу життєвого циклу. Розглянемо найбільш відомі із них з точки зору застосовності для вітчизняного будівельного сектору.

Athena Impact Estimator for Buildings (Оцінювач впливу для будівель) – програма, що розроблена Athena Materials Sustainability Institute, яка дозволяє користувачам моделювати конфігурації конструкцій та оболонки будівлі (стіни, вікна, двері) та забезпечує гнучкість під час оцінювання проектів нового будівництва та реконструкції. Athena Impact Estimator дозволяє користувачеві отримувати результати моделювання для обчислення операційних і вбудованих ефектів та надає доступ до інвентаризації життєвого циклу (LCI), не потребуючи від проектувальника вдосконалених навичок. А також дозволяє оцінити та порівняти екологічні наслідки для нових та реставрованих будівель.

Таке програмне забезпечення застосовується для всіх типів (за винятком спеціальних) будівель Північної Америки і може моделювати безліч комбінацій конструктивних схем та зовнішніх оболонок будівлі, що дозволяє порівняти кілька проектних варіантів.

Границі системи при аналізі у Athena Impact Estimator for Buildings визначені відповідно до європейського стандарту EN 159783 [2.24]. Програма враховує вплив на навколишнє середовище від: виробництва матеріалів (A1-A3), транспортування (A4), зведення (A5), технічного обслуговування та заміни (B2-B5), експлуатаційної енергії (B6), переробки та утилізації (C3 і C4), потенціалу повторного використання (D1). Програмне забезпечення налаштоване на регіональному рівні – в залежності від розташування будівлі застосовуються відповідні види транспорту та відстані перевезення, технології виробництва продукції тощо. Інші вхідні дані користувача, а саме термін служби будівлі та тип будівлі, також впливають на результати.

Athena Impact Estimator надає профіль інвентаризації життєвого циклу для будівлі за рейтинговими системами LEED та Green Globes – найбільшими рейтинговими системами в Північній Америці. Для отримання результатів LCA необхідно ввести загальну інформацію, а саме термін експлуатації (це впливає на графіки обслуговування та ремонту), географічне положення (користувач обирає найбільш репрезентативне місто Північної Америки) та, за бажанням, щорічне значення енергії, що споживається будівлею під час експлуатації протягом року. Далі є два способи внесення інформації для розрахунку екологічного відбитку «життєвого циклу» будівлі:

- В першому користувачі вносять загальну інформацію про будівлю за допомогою діалогових вікон, які вимагають просту інформацію (наприкладі плити: довжина, ширина, товщина плити, відсоток армування, теплова ізоляція плити тощо). При введенні даних, програма розбиває будівлю на окремі збірки: фундаменти, стіни, перекриття, покриття, колони та балки. Всі збірки, окрім колон та балок, додатково включають елементи оболонки, наприклад: теплову ізоляцію, штукатурку, фарбу, тощо; до стін можна додати вікна та двері з будь-яких матеріалів. В програмному забезпеченні є широкий вибір типів перекриття та покриття: монолітний чи збірний залізобетон, перекриття по металевим чи по дерев'яним балкам тощо. Те ж саме стосується інших несучих конструкцій. Це надає широкий спектр варіативності при введенні інформації для розрахунку LCA.
- Другий спосіб є більш точним, оскільки вимагає введення значень витрат матеріалів зі специфікації, а саме, в ньому необхідно окремо в кожну збірку ввести кожен будівельний матеріал, що використовується в даній збірці, та його об'єм.

Коли вноситься інформація по проекту, програмне забезпечення створює «дерево інформації», щоб кожний окремий набір даних можна було легко ідентифікувати. Дерево також може

відображати екологічний вплив кожного набору, як у відсотках, так і в абсолютних значеннях. Це дозволяє відстежувати ефекти від кожного набору даних та швидко визначити, що найбільшим чином впливає на сумарний екологічний ефект.

Після введення інформації програмне забезпечення обчислює **об'єм викидів на основі баз даних та їхній вплив на навколишнє середовище**. Розрахунки дають широкий спектр варіантів результатів для їхнього подальшого аналізу користувачем. Після цього будуються графіки та таблиці:

- на основі класифікації за стадіями LCA будівлі, тобто розглядається вплив кожного окремого етапу її «життя», починаючи від видобування сировини та закінчуючи утилізацією або повторним використанням;
- за впливами кожної частини будівлі, у цьому випадку розраховується загальний вбудований екологічний ефект для, наприклад, фундаментів, колон, балок, стін, тощо;
- порівнюються вбудовані та операційні впливи.

Це необхідно для визначення «точок» найбільшого впливу на загальні викиди, та їх подальшого аналізу та пошуку альтернативних рішень для покращення загальних результатів.

Athena Impact Estimator не розраховує операційні витрати енергії, тому викиди в результаті експлуатації можна розрахувати лише на основі вже відомих даних про споживання енергії протягом року (або іншого циклу), попередньо розрахованих в іншому програмному забезпеченні. На основі інформації про споживання енергетичних ресурсів програма обчислює сумарні викиди, включаючи енергію, що використовується для видобування, очищення та постачання енергії, а також пов'язані з цим викиди в повітря, воду та землю протягом життєвого циклу будівлі.

За допомогою Athena Impact Estimator можна порівнювати LCA різних варіантів проектних рішень будівель, що дозволяє користувачеві знайти найбільш ефективні стратегії та заходи зі зменшення викидів вуглецю. Інформація надається в табличному та графічному виглядах, що дає можливість наочно показати переваги та недоліки того чи іншого проекту.

Програма відповідає стандартам методології LCA, розробленої Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) 14040 та 14044 [2.14, 2.15], і розраховує дані вуглецевого сліду згідно з методологією США EPA-TRACI для таких екологічних факторів, як потенціал глобального потепління (GWP), потенціал підкислення (AP), потенціал респіраторного впливу на здоров'я людини, потенціал руйнування озону (ODP), потенціал смогу, потенціал евтрофікації (EP) та витрати викопного палива.

База даних для Athena Impact Estimator переважно розробляється інститутом Athena у співпраці з галузевими асоціаціями і виробниками будівельної продукції. Вони зі свого боку співпрацюють з Environmental Product Declaration (EPD) – незалежною організацією, яка надає прозору інформацію, що розробляється на базі ISO 14025 та EN 15804 [2.23], про екологічний відбиток продуктів у процесі їхнього «життя». Деякі дані розроблені Athena Materials Sustainability Institute потім включаються до бази USLCI (United States Life Cycle Inventory database). У такий спосіб формується усереднений екологічний профіль для кожного будівельного матеріалу. Потім екологічні ефекти прив'язуються до місця розташування будівлі, враховуючи місцеві мережі електропостачання, енергетику та транспорт.

У програмі є можливість додавати дані по інвентаризації життєвого циклу матеріалів в базу даних програмного забезпечення, проте це не розв'язує питання щодо врахування транспортування будівельної продукції, оскільки місце розташування визначає транспортну мережу. Для деяких поширених матеріалів викиди від транспортування впливають на загальний LCA незначним чином. Але перевезення, наприклад, металевих елементів, опалубки або збірних залізобетонних плит може збільшувати загальний екологічний вплив. Щоб переконатися,

що перевезення не призведе до значного збільшення викидів, необхідно поррахувати витрати на транспортування матеріалів в окремому програмному забезпеченні.

Athena Impact Estimator є безкоштовним програмним забезпеченням та знаходиться у вільному доступі на сайті Athena Sustainable Materials Institute.

Недоліком Athena Impact Estimator є те що вона розроблена тільки для ведення розрахунків та території США та Канади. Виробництво будівельної продукції у цих країнах дещо відрізняється від такого ж в Європі або в Україні, що робить розрахунки в програмі не зовсім коректними для території України.

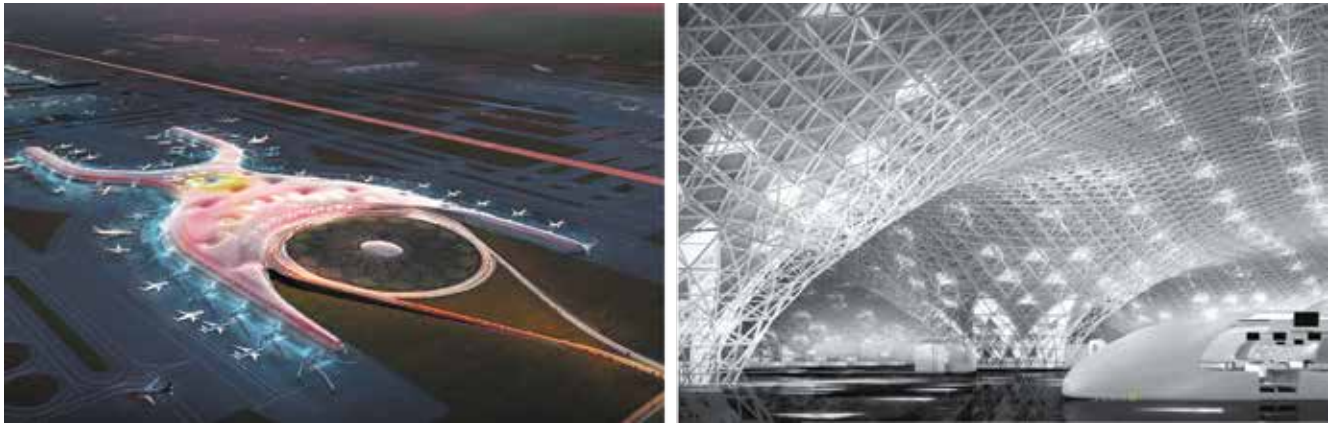


Рис. 2.9. У проекті нового аеропорту м.Мехіко, Мексика було використано оцінку життєвого циклу всього будівництва. Внаслідок аналізу, завдяки використанню сталевому каркасу, заміну портландцементу та інші стратегії, приєднані викиди вуглецю скоротилися на 130 млн. кг (конструктив і LCA Arup, архітектура Foster+Partners) [2.18]

Як реальний кейс використання Athena Impact Estimator можна навести новий проект аеропорту Мехіко, для якого бюро Arup провело широкі дослідження життєвого циклу для зменшення викидів приєданого вуглецю (проект має сертифікацію LEED «v4», рис.2.9). Як наслідок, детальне моделювання огорожувальної оболонки, композитні рішення, а також ефективність унікального сталевому несучого каркасу допомогли скоротити загальний приєднаний вуглець запланованої будівлі на 10% у порівнянні з первинним. Скорочення становило 130 мільйонів кг CO₂-еквіваленту – що відповідає вилученню 28 000 автомобілів з доріг протягом року. Бюро Arup співпрацювало з Athena Materials Sustainability Institute, щоби дані були коректними для міста Мехіко.

Ameco – програма, яка дозволяє користувачу, ввівши загальну інформацію про будівлю або споруду в сталевому каркасі, отримати приблизні значення екологічних факторів її життєвого циклу. Розрахунок виконується за методами «від колиски до могили» (етапи A-C) та «від колиски до колиски» (етапи A-D), та не включає архітектурних елементів будівлі. Розрахунок вбудованих екологічних ефектів виконується лише для несучого сталевому каркасу.

Ameco є простим програмним забезпеченням і не вимагає від користувача спеціальних навичок та знань в області розрахунку життєвого циклу. Воно розроблене на замовлення металургійної компанії ArcelorMittal і застосовується для оцінки будівництва мостів та для житлових, офісних, комерційних та індустріальних будівель на території Європейського континенту. Вплив на навколишнє середовище враховується для наступних стадій життєвого циклу згідно EN 15978 [2.24]: виробництво матеріалу, включаючи видобування та транспортування сировини, та виготовлення будівельної продукції; транспортування до будівельного майданчику; знесення, утилізація та повторне використання.

Для обчислення інформації про вплив матеріалів на навколишнє середовище необхідно ввести: вагу сталевих конструкцій, болтів, фасонки тощо; тип та склад перекриття та покриття. На етапі експлуатації будівлі LCA може бути розрахований, якщо ввести дані щодо теплової ізоляції і місця розташування будівлі, відсотку скління, загальної інформації про системи опалення, охолодження та вентиляції.

При введенні загальних даних слід звернути увагу на запит програми стосовно призначення будівлі. Від цього залежать показники експлуатації будівлі: температурний режим та норма по вентиляції. Інформація про розташування будівлі визначає в програмному забезпеченні лише температурні зони для обрахунку експлуатаційних витрат та супутні викиди, тобто не враховується місцевий рівень виробництва будівельної продукції.

Недоліком даного програмного забезпечення є його вузька орієнтованість, обмеження при введенні даних для розрахунку LCA, що в деяких випадках унеможлиблює його використання. До них відносяться:

- матеріал несучого каркасу – лише сталь;
- форма будівлі – лише прямокутна;
- неможливість порахувати екологічний відбиток для фундаментів.

Розрахунок виконується для наступних екологічних факторів: потенціал глобального потепління (GWP), потенціал руйнування стратосферного озону (ODP), потенціал окислення (AP), потенціал евтрофікації (EP), фотохімічний потенціал створення тропосферного озону (POCP), потенціал абіотичного виснаження (ADP) та багатьох інших.

Хоча сталь ArcelorMittal має EPD-сертифікати, база даних, що використовується у цьому програмному забезпеченні, не є відкритою та її не можна доповнити іншими матеріалами. Результати розрахунків програми можуть бути представлені у вигляді таблиці або гістограми. Програмне забезпечення Ameco безкоштовне, його можна завантажити з сайту ArcelorMittal. Програма є корисною для архітекторів та інженерів-консультантів лише на етапі попереднього порівняння варіантів проектування зі сталевих каркасів, оскільки не дає можливості для детального розрахунку та аналізу LCA для будівлі.

Greenhouse Gas Protocol tools (GHG Protocol) являє собою інструменти стандартів, що забезпечують підприємствам, державам та іншим організаціям основу для виміру викидів парникових газів. Ці інструменти дозволяють розробляти комплексні та надійні дані по інвентаризації викидів парникових газів та діляться на 4 типи:

1. Міжгалузеві інструменти: застосовні для багатьох галузей та підприємств незалежно від сектору.
2. Специфічні інструменти для окремих країн: інструменти для розрахунку GHG, які налаштовані для конкретних країн, що розвиваються. Україна поки що не належить до їхнього числа.
3. Галузеві інструменти: в більшості випадків призначені для конкретних секторів чи галузей, хоча можуть застосовуватися в інших ситуаціях.
4. Інструменти для країн та міст. Ці інструменти допомагають країнам та містам відстежувати прогрес в досягненні поставлених кліматичних цілей.

До міжгалузевих інструментів відносяться:

- Emission Factors from Cross-Sector Tools (фактори викидів від міжгалузевих інструментів) містять коефіцієнти викидів, закладених в міжсекторних інструментах розрахунку.
- GHG Emissions from Stationary Combusting (розрахунок викидів GHG від стаціонарного спалювання) розраховує викиди CO₂, CH₄, N₂O від спалювання палива в бойлерах, печах та іншого стаціонарного обладнання.

- GHG Emissions from Transport or mobile Sources – розрахунок викидів GHG від транспортних або мобільних засобів.
- Refrigeration and Air Conditioning Equipment (RAC) – інструмент RAC для холодильного та кондиціонерного обладнання обчислює фтористі органічні сполуки HFC (гідрофторвуглеводні) та PFC (фосфорфторвуглеводні) від виробництва, обслуговування та/або захоронення обладнання RAC.
- Global Warming Potential Values (потенціал глобального потепління) – таблиця, що містить сторічні GWP для молекул в еквіваленті CO₂.
- Allocation of Emissions from a Combined Heat and Power – інструмент розрахунку парникових газів, пов'язаних з виробництвом електроенергії та тепла на ТЕЦ та когенераційних установках.
- Measurement and Estimation Uncertainty of GHG Emissions (інструмент для обчислення невизначеності вимірювань викидів парникових газів) – інструмент розроблений для полегшення агрегування та рангування невизначеностей статистичних параметрів через випадкові помилки, пов'язані з розрахунком викидів парникових газів. Він використовує метод розподілу першого порядку (Гаусса).

До галузевих інструментів належать:

- Aluminium (алюміній) – інструмент, розроблений сумісно Міжнародним інститутом алюмінію та GHG Protocol, що дозволяє розраховувати викиди CO₂, а також HFC та PFC, що мають більший в 1000 разів парниковий ефект ніж вуглекислий газ.
- Cement (цемент) – інструмент для оцінки викидів парникових газів під час виробництва цементу.
- Iron and Steel (залізо та сталь) – інструмент для визначення викидів CO₂ від виробництва сталі.
- Wood (деревина) – інструмент для визначення викидів від виробництва деревини.
- Також доступні інші інструменти, що не так тісно пов'язані з будівельною галуззю, тому в цій публікації детально не розглядаються. Це інструменти для міст та країн:
- Mitigation Goal Standard Calculation Tool (стандартний інструмент розрахунку екологічних цілей) – надає рекомендації щодо розробки національних та субнаціональних цілей щодо пом'якшення екологічних наслідків, а також стандартизований підхід до оцінювання та звітності про прогрес у поставлених цілях. Цей стандарт може допомагати урядам встановлювати цілі щодо скорочення викидів, виконати внутрішні та зовнішні зобов'язання по звітності щодо викидів, та забезпечити, щоби зусилля щодо скорочення викидів досягли запланованих результатів.
- Policy and Action Standard Calculation Tool (стандартний інструмент встановлення політики та дій) – інструмент, що допомагає країнам та містам оцінити ефект від політики та заходів, спрямованих на пом'якшення екологічних впливів і на зменшення викидів парникових газів. Аналітика як на національному, так і на місцевому рівнях допомагає оцінити вплив тих чи інших заходів щодо зменшення викидів та вирішити, куди вигідніше вкладати ресурси для досягнення найкращих результатів.

На відміну від програм Athena та Ameco, метою яких є зменшення екологічного відбитку поодиноких будівель та споруд, комплекс інструментів Greenhouse Gas Protocol tools призначений для зменшення викидів парникових газів як окремими підприємствами та галузями, так і на рівні міст, округів та країн. Ці інструменти дозволяють оцінити загальні результати роботи із зменшення викидів парникових газів та встановити нові задачі для їхнього подальшого скорочення.

Tally – програмний додаток, що дозволяє архітекторам та інженерам кількісно оцінювати вплив будівельних матеріалів на довкілля, а також проводити порівняльний аналіз варіантів проектування будівель. Tally пов'язаний із поширеним графічним середовищем Revit. Працюючи над моделлю у Revit, користувач може встановити зв'язки між елементами BIM та будівель-

ними матеріалами бази даних Tally. Результатом є оцінка життєвого циклу (LCA), що дозволяє проектувальнику отримати значення викидів, приєднаних до матеріалів будівлі та її експлуатації.

Вихідними даними для проведення розрахунку вбудованого вуглецю є BIM-модель. У надбудову Tally автоматично завантажуються всі сімейства елементів моделі, що згруповані в залежності від їхнього типу (колони, балки, двері, стіни тощо) та сімейства матеріалів (наприклад, сімейство залізобетонних колон виконано із бетону та арматури). Об'єми матеріалів та відстані їхнього транспортування можна ввести вручну або автоматично. Для розрахунку викидів в процесі будівництва та під час експлуатації потрібно ввести окремо пораховані значення сумарних витрат енергії.

Методика Tally відповідає стандартам LCA: ISO 14040-14044, ISO 21930:2017, ISO 21931:2010, EN 15804:2012 та EN 15978:2011 [2.14, 2.15, 2.27, 2.28, 2.23, 2.24]. Результати являють собою аналіз досліджуваного об'єкта, який може бути як однією так і кількома будівлями, або порівняльний аналіз двох або більше варіантів проектування. Будівля може бути представлена повною архітектурною, конструктивною та оздоблювальною системами або підгрупою цих систем. Варіанти проектування можуть являти собою кілька схем будівлі або її частин, що порівнюються між собою через низку критеріїв оцінки. Tally може надавати інформацію для порівняння LCA різних варіантів проектних рішень будівель.

Оцінки Tally враховують повний життєвий цикл «від колиски до могили» та «від колиски до колиски» досліджуваного об'єкта, включаючи виготовлення матеріалів, обслуговування, заміну і кінець терміну експлуатації, а також вплив за межами системи. В розрахунок можуть бути включені вплив процесу будівництва та експлуатаційної енергії будівлі, а також майже будь-які елементи на розсуд проектувальника – від несучих конструкцій до фінішної штукатурки, вікон та дверей. До розрахунку не входить внутрішнє оздоблення (фарба, покриття підлоги, меблі, системи освітлення та вентиляції тощо).



Рис. 2.10. Використання інструментів аналізу життєвого циклу Tally дозволило вибрати опорядження для будівлі Consortium for Building Energy Innovation (США) із металевих сандвіч-панелей, яке виявилось оптимальним за екологічними показниками (проект Michael Moran/OTTO Kieran Timberlake) [2.36]

Етапи життєвого циклу Tally відображають повний життєвий цикл будівлі чи будівельного продукту – від придбання сировини до остаточного захоронення. Усі декларації про екологічні продукти (EPD) в базі даних Tally включають повний вплив на життєвий цикл, навіть якщо оригінальний опублікований EPD включає лише стадію продукту (A1-A3). У табл. 2.4 наведено елементи життєвого циклу, представлені у Tally.

Tally використовує спеціально розроблену базу даних LCA, що об'єднує атрибути матеріалів з даними про вплив на навколишнє середовище, отриманими в результаті співпраці з KT Innovations and thinkstep. Моделювання LCA проводилось в британській базі GaBi. База є закритою, тому проектувальник не має можливості додати дані (наприклад з декларацій EPD).

Перелік впливів, врахованих у Tally: потенціал окислення (AP), кг SO₂-еквіваленту; потенціал евтрофікації (EP), кг N-еквіваленту; потенціал глобального потепління (GWP), кг CO₂-еквіваленту; потенціал руйнування озону (ODP), кг CFC-11-еквіваленту; потенціал формування смогу (SFP), кг O₃-еквіваленту; споживання первинної енергії (PED), MJ; споживання невідновлювальної енергії, MJ; споживання відновлювальної енергії, MJ. Результати класифікуються за наступними ознаками: етапами життєвого циклу (A-D); етапами життєвого циклу, деталізованими за групами (наприклад, колони, балки, стіни); групами, деталізованими за матеріалами; категоріями з програмного забезпечення Revit (архітектурні елементи, конструктивні, системи); сімействами.

Із недоліків Tally можна назвати те, що це програмне забезпечення не розраховує витрати операційної енергії на основі даних про теплову ізоляцію та кліматичні умови і процеси будівництва. Tally пов'язане із середовищем Autodesk Revit лише при розробленні моделі у BIM. Це є водночас і недоліком – через прив'язку до конкретного програмного забезпечення, так і перевагою – якщо проектна команда розробляє проект у інформаційній моделі (як відомо зі світової практики, даний спосіб проектування є найбільш ефективним), то і показники інвентаризації є прив'язаними до цієї моделі. Тобто при внесенні до моделі змін показники також змінюються без втручання проектувальника. Це зменшує трудомісткість проектних робіт та імовірність виникнення помилок у розрахунках. З іншого боку, проектування у BIM ще не є досить розповсюдженим, тому зараз використання додатку Tally є досить обмеженим. Використання програми для розрахунку показників інвентаризації для будівель та споруд на території України може призвести до неточних результатів, оскільки база Tally поки що не враховує вітчизняні дані по приєднаним викидам.

Табл.2.4.

Елементи життєвого циклу, визначені EN 15978.
Процеси, включені до моделі «Tally», відображені масним шрифтом.
Курсив вказує на необов'язкові процеси

Продукт	Спорудження	Використання	Закінчення циклу	Модуль D
A1. Видобуток сировини A2. Транспортування (до фабрики) A3. Виробництво	A4. Транспортування (на майданчик) <i>A5. Зведення</i>	V1. Експлуатація V2. Обслуговування V3. Ремонт V4. Заміщення V5. Модернізація <i>V6. Споживання енергії при експлуатації</i> <i>V7. Споживання води при експлуатації</i>	C1. Демонтаж C2. Транспортування (відходів) C3. Виробництво C4.	D. Втрати і набуття за межами системи від: 1. Повторного використання 2. Потенціал рециклінгу 3. Повернення енергії

One Click LCA – програма, що забезпечує сертифікацію та відповідність стандартам LCA та LCC результатів ваших моделей Autodesk Revit, ArchiCAD та Tekla Structures; забезпечує автоматизовану оцінку життєвого циклу та вартість життєвого циклу від архітектурних моделей зазначених програм. Можна використовувати також онлайнсервіс напряду або завантажити дані з форматів Excel, IFC або gbXML. Під час розрахунку враховуються всі стадії життєвого циклу будівель, об'єктів інфраструктури та продукції EPD, відповідно до EN 15978.

Можна використовувати результати для вдосконалення свого проекту та отримувати сертифікаційні бали для: LEED, BREEAM, DGNB та майже 20 інших систем. Усі обчислення LCC в рамках One Click LCA базуються на чинних стандартах EN 16627 та ISO 15686-5, включаючи всі обов'язкові категорії витрат: витрати на будівництво, експлуатацію, обслуговування та термін експлуатації.

One Click LCA враховує повний життєвий цикл «від колиски до могили» (A-C) та «від колиски до колиски» (A-D) досліджуваного об'єкта. Плагін працює з каркасними та архітектурними моделями та адаптується до індивідуального маркування матеріалів та елементів. Хмарний сервіс, до якого підключається плагін, виявляє матеріали, що використовуються у моделі, і автоматично обчислює їхній вплив на навколишнє середовище.

One Click LCA розраховує наступні індикатори LCA: потенціал окислення (AP), кг SO₂-еквіваленту; потенціал евтрофікації (EP), кг N-еквіваленту; потенціал глобального потепління (GWP), кг CO₂-еквіваленту; потенціал руйнування озону (ODP), кг CFC-11-еквіваленту; потенціал формування смогу (SFP), кг O₃-еквіваленту; споживання невідновлюваної енергії, MJ.

В програмі є бази даних оцінки життєвого циклу матеріалів для Північно- та Південноамериканського, Європейського, Азійсько-Тихоокеанського регіонів та Близького Сходу [41].

Від проектувальника вимагається обрати елементи із бази. Об'єми матеріалів та відстані їхнього транспортування можна ввести вручну, або програма може порахувати їх автоматично. Для розрахунку викидів під час експлуатації потрібно ввести окремо пораховані значення сумарних витрат енергії. Далі програма на основі об'ємів та одиничних значень в базі розраховує та генерує звіт по категоріях впливу у вигляді діаграм, гістограм, графіків та таблиць.

eTool – це інтуїтивно зрозумілий, гнучкий, відкритий для використання онлайн-інструмент, орієнтований на полегшення проектування будівель з урахуванням сталого розвитку. eTool видає звіти з порівнянням будівель, що відповідають міжнародним стандартам ISO 14044 та EN 15978. Визначивши сферу застосування та межі системи, усі оцінки можна повторити та порівняти.

Також у eTool кількісно оцінюється кошторисна вартість будівель, що зручно для визначення економічно доцільних рішень. Інструмент був розроблений спеціально для будівель та об'єктів інфраструктури. **eTool** налаштований на регіональному рівні, тобто в залежності від розташування об'єкту застосовуються відповідні види транспорту та відстані перевезення, технології виробництва продукції тощо.

Розрахунок у eTool виконується за всіма стадіями життєвого циклу відповідно EN 15978. Усі набори даних, перелічені в eTool включають їхній повний постадійний аналіз впливу на життєвий цикл всередині та поза межами системи. eTool має дуже широку базу індикаторів, що поділяються за групами. В розрахунок вартості та оцінки життєвого циклу включаються практично всі частини будівель, а саме: фундаменти (в тому числі земляні роботи); надземна частина будівлі; внутрішнє та зовнішнє оздоблення, фурнітура, меблі та обладнання; засоби обслуговування. Окрім цього, враховуються всі процеси пов'язані з будівництвом та «життям» будівлі, включно із викидами, пов'язаними, наприклад, з встановленням арматури.

Зараз основна база даних інвентаризації життєвого циклу (LCI) – це міжнародний набір даних загальнодоступних показників приєднаної енергії та вуглецю. Бази даних EPD виділені окремо. Кожен елемент будівлі має картку з вихідними даними та характеристиками, а також з інформацією про базу даних, на основі якої будуть розраховуватись дані по інвентаризації. Проте тут є деякі особливості: кожен елемент будівлі може складатись з інших елементів, які, за свого боку, мають у своєму складі ще декілька об'єктів з власними значеннями інвентаризації життєвого циклу. Кожен елемент бази може бути як однорідним матеріалом (сталь) так і складеним елементом (вікно), та може мати різні одиниці виміру (кількість, об'єм, маса, площа тощо). Такий підхід дещо нагадує моделювання в BIM: формується база, з якої в інформаційну модель вносяться елементи та їх об'єми. В результаті можна отримати високу детальність моделювання.

Вихідними даними є база елементів. Елементи в залежності від групи, до якої вони належать, вносяться в інформаційну базу про будівлю. Далі вносяться дані про об'єми матеріалів, їхні характеристики (фізичні та/або механічні), фактор будівельних відходів, імовірність пошкодження при транспортуванні, тривалість експлуатації, транспортування до будівлі під час будівництва та від неї при закінченні терміну експлуатації елементу та інші. Для визначення операційних індикаторів окремо вносяться дані про енергоспоживання та витрати води. Додатковою вихідною інформацією є розташування об'єкту і його площа. Експлуатаційні викиди та використання води також розраховуються на основі бази річного енергоспоживання приладів для освітлення, вентиляції, кондиціонування, подачі та нагрівання води, опалення, електрики тощо.

Результати розрахунків подаються у числовому та графічному вигляді (гістограми) для будівлі в цілому та її частин: на основі класифікації за стадіями життя будівлі та її елементів, тобто розглядається вплив кожного окремого етапу для кожної частини будівлі або елементів, починаючи від видобування сировини та закінчуючи утилізацією або повторним використанням.

OpenLCA – безкоштовне програмне забезпечення для професійного оцінювання життєвого циклу (LCA), що має широкий спектр функцій та багато доступних баз даних, і створене організацією GreenDelta. Це програмне забезпечення з відкритим кодом. Отже, можна зробити модель LCA у проекті та надати її разом із програмним забезпеченням своїм клієнтам. Також можна безкоштовно надати колективні бази даних та моделі колегам для процесу рецензування LCA та обміну методами LCA. Це дає можливість рецензентам безпосередньо перевірити вашу модель та запропонувати вдосконалення.

Потужна додаткова структура програмного забезпечення дозволяє легко розширювати та модифікувати його, додавати власні модулі. Це програмне забезпечення вимагає високої кваліфікації від проєктувальника в області оцінки життєвого циклу. Більшою мірою його застосовують дослідницькі групи, оскільки для звичайних користувачів Open LCA є надто складним інструментом.

RETScreen Clean Energy Management Software – програмний пакет, розроблений на замовлення уряду Канади, що дозволяє провести вичерпний аналіз та визначити технічну та функціональну доцільність потенціальних проєктів електростанцій на відновлювальних джерелах енергії, а також їхню енергетичну ефективність. Крім того, з його допомогою можна провести вимірювання та контроль фактичної продуктивності підприємств та визначити можливості економії та виробництва енергії.

RETScreen Expert являє собою єдину інтегровану програмну платформу.; В ній присутній ряд баз даних, включно з глобальною базою даних кліматичних умов, отриманою з 6700 наземних станцій та супутників NASA; базою порівняльних даних; вартісною базою і даними проєктів; базою гідрогеологічних даних та базою даних обладнання. Програмне забезпечення також містить безліч мультимедійних навчальних матеріалів, а також електронний підручник.

Програмне забезпечення повністю моделює роботу будівлі з точки зору енергоспоживання, вартості життєвого циклу, операційних викидів парникових газів; дозволяє аналізувати фінансові показники та ризики. В програмі також можна встановити цілі по споживанню енергії, викидів парникових газів, фінансових витрат відповідно до BS ISO 15686-5 та порівнювати результати з базовими показниками.



Рис. 2.11. Завдяки архітектурним та інженерним рішенням, 102-поверховий хмарочос «Empire State Building» із металевим каркасом у м. Нью-Йорк був переоснащений без додаткових витрат, а річна економія експлуатації складає 4,4 млн.дол., що зменшить викиди вуглецю на 105 000 тон за наступні 15 років. Для розрахунку LCA застосовано ПЗ «RETScreen»

Вихідні дані розділені на декілька підгруп. Місце розташування об'єкта будівництва можна обрати на карті світу, а програма сама підтягує інформацію про кліматичні умови, країну та регіон будівництва. Загальна інформація про будівлю та її призначення вказується для визначення її експлуатаційних характеристик (температура повітря, освітленість, норми по вентиляції тощо). Для моделювання енергоспоживання вказується тип системи опалення та охолодження; теплотехнічні характеристики будівлі та її орієнтація; дані про роботу приладів (наприклад, освітлення, водопостачання, вентиляція); виробництво теплової та електроенергії приладами, що використовують відновлювальні джерела енергії. В розрахунок вартості життєвого циклу включаються початкові та щорічні витрати, до яких, зокрема, входять фінансові витрати по енергоспоживанню. Викиди парникових газів моделюються на основі щорічного енергоспоживання.

Незалежне дослідження по впливу на навколишнє середовище виявило, що до 2013 року використання RETScreen (перша версія вийшла у 1998 році) у всьому світі привело до економії витрат більше ніж на 8 мільярдів доларів США, зниженню викидів парникових газів на 20 МВт

на рік та створенню установок з виробництва чистої енергії загальною потужністю не менше ніж 24 ГВт.

RETScreen широко використовується для просування і впровадження проектів з використанням джерел чистої енергії. Наприклад, RETScreen використовувалась:

- для модернізації будівлі **Empire State Building** з використанням енергоефективних технологій (рис. 2.11);
- для моніторингу експлуатаційних показників в сотнях шкіл в Онтаріо;
- для аналізу сонячних систем повітряного опалення на базах ВПС США.

Програмами з підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваних джерел енергії рекомендується використання RETScreen на всіх державних рівнях у всьому світі, включаючи країни, що підписали Рамкову конвенцію ООН зі змін клімату (UNFCCC). Національні та регіональні навчальні семінари проводились згідно з офіційними запитами урядів Чилі, Саудівської Аравії, 15 країн Західної та Центральної Африки, а також Енергетичної організації Латинської Америки (OLADE). RETScreen можна використовувати в тандемі з eTool, Tally та One Click LCA для комплексного визначення сумарних викидів парникових газів, енергоспоживання та вартості життєвого циклу.

Отже, хоча жодна з програм не враховує особливостей українського виробництва товарів, транспортної та електричної мереж, їх можна застосовувати з метою порівняння варіантів для отримання найбільш екологічно привабливих рішень.

З моменту усвідомлення важливості аналізу життєвого циклу будівель та підведення відповідної нормативної бази у світі було розроблено ряд програмних продуктів, за допомогою яких можливо оцінити компоненти конструкцій з точки зору їхнього впливу на довкілля. Проте економічні та екологічні особливості будівельної галузі в Україні вимагають урахування національних параметрів під час застосування закордонних програмних продуктів, що не завжди можливо. **Тому є доцільною розробка вітчизняної методологічної бази та власних комп'ютерних інструментів аналізу життєвого циклу. Такі інструменти можуть вивести українську будівельну галузь на якісно новий рівень, а також потенційно можуть мати широке використання у всьому регіоні.**

Я без вагань підтримую ініціативи, пов'язані із захистом навколишнього середовища, оскільки загрози для нашого довкілля – це питання нашого виживання. Ця прекрасна блакитна планета – наш єдиний дім. Він забезпечує середовище існування для унікальних і різноманітних спільнот. Турбота про нашу планету – це як догляд за власним будинком.

Далай Лама

3. ТИПОЛОГІЯ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ КОМЕРЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ І ОСОБЛИВОСТІ ЇХНЬОГО ПРОЕКТУВАННЯ

3.1. АНАЛІЗ РИНКУ КОМЕРЦІЙНОЇ НЕРУХОМОСТІ В УКРАЇНІ

Типологія нерухомості комерційного призначення. До **нерухомості** за походженням відносяться земельні ділянки, надра і все, що міцно пов'язане із землею. Тобто об'єкти, переміщення яких без невідповідного збитку їхньому призначенню неможливе, зокрема ліси, багаторічні насадження, будівлі, споруди й об'єкти незавершеного будівництва. В Україні законодавчо закріплено три типи нерухомості: **земля, житло та нежитлові приміщення**. Слово «комерційна» стосовно нерухомості показує, що вона служить місцем для виконання дій з продажу товарів і послуг, або обслуговує такі дії. Основна властивість комерційної нерухомості – це те, що вона не призначена для постійного житла громадян. Нежитлову нерухомість поділяють на **торгову, офісну, складську, промислову, готельну, інституційну, рекреаційну нерухому власність і нерухомість, призначену для змішаного використання** [3.8]. Інші класифікації виділяють у **комерційній нерухомості офісну, торгову, розважальну, готельну, складську і промислову**.

Функціонально комерційну нерухомість структурують за призначенням: для офісної діяльності, для організації торгового процесу, для культурно-розважальної діяльності, для організації громадського харчування, для побутового обслуговування (сервісу), для готельної діяльності, для відпочинку й оздоровлення; а також гаражі та склади. До того ж до комерційних можна віднести нежитлові приміщення, призначення яких формально не визначено, однак вони піддаються реалізації для цілей і процесів підприємницької діяльності, що перераховані вище.

Офісна нерухомість призначена для здійснення управлінської та представницької функцій компаній і супутніх їм бізнес-процесів (бухгалтерія, архів тощо). До об'єктів офісної нерухомості відносяться: офісні будівлі та приміщення, зали для конференцій і презентацій, банки та інші. Для класифікації офісної нерухомості використовуються такі критерії: цільове призначення, вік і розташування будівлі; архітектурне, конструкційне, планувальне виконання; оздоблення, інженерні рішення, інфраструктура, система управління будівлею, сервіс і паркінг. Причому якщо раніше використовувався критерій розташування (чим ближче до центру міста, тим вище клас об'єкта), то в сучасній практиці цей показник втратив свою важливість через появу нових офісних комплексів міжнародного рівня, побудованих за межами центральних частин великих міст. Йому на зміну прийшла оцінка доступності з боку транспортних комунікацій.

Торгова нерухомість, що призначена для здійснення продажів і безпосередньо пов'язаних з ними операцій (реклама, складування товарів, післяпродажний сервіс тощо). До неї відносяться: торгові павільйони і кіоски, магазини та супермаркети, аптеки, автомобільні салони, а також торговельні комплекси (центри) і змішані типи. Критерії класифікації подібні критеріям для офісної нерухомості. Додатковими показниками є номенклатура товарного асортименту і зручність для відвідування покупцем. Крім того, важливим фактором може бути наявність поруч інакших «центрів тяжіння покупців». Для об'єктів, що відносяться до інших видів комерційної нерухомості, важко підібрати загальноозначущі критерії навіть всередині одного виду, тому їхня оцінка носить більш спеціалізований і приватний характер.

Стан ринку будівельної продукції і комерційної нерухомості в Україні. Будівельний ринок завжди є індикатором економіки будь-якої розвинутої країни. Природно, що ключові фактори росту будівельного ринку в Україні значною мірою лежать у політичній площині відновлення територіальної цілісності країни та встановлення миру, оскільки збройне протистояння спричиняє зниження інвестиційного інтересу, зупинку будівництва на тимчасово окупованій та суміжній території, зниження обсягів будівельного виробництва. Також майбутнє ринку напряму залежить від внутрішніх факторів – проведення системних реформ зі створення прозорих умов для ведення бізнесу, формування інвестиційної привабливості країни як значного та перспективного ринку. Зовнішні економіко-політичні умови також грають вирішальну роль у розвитку бізнесу та впливають на прийняття рішень щодо інвестування, зокрема в будівництві. Слід відзначити наступні економіко-політичні фактори, які можуть сформувати позитивні перспективи розвитку будівельного ринку в Україні:

1. Навіть з урахуванням падіння виробництва провідних гравців ринку, виробничі потужності та сировинні бази яких опинилися у зоні конфлікту, Україна все ще втримує 11 місце у Світі за обсягами виробництва сталі [3.49]. Власна сировинна база дає змогу улаштувати замкнені ланцюжки і у використанні інших ключових будівельних матеріалів: цементу, деревини, кам'яних і керамічних виробів тощо.
2. Україна має відносно добре диверсифіковану інфраструктуру та альтернативні джерела компонентів виробництва. Вигідне геополітичне розташування відносно головних ринків збуту та налагоджені зовнішньоекономічні зв'язки створюють можливості для збереження основних показників у частині обсягів та ціни пропозиції.
3. Наша країна зберігає відносно низьку ціну та значний потенціал виробництва прокату та металоконструкцій, достатньо високе співвідношення якість/ціна продукції, велику сировинну базу [3.42].
4. В цілому увага та інтерес світового товариства можуть бути трансформовані у фактори інвестиційної привабливості у ряді сегментів бізнесу за наявності чітких сигналів та реформ держави і створення необхідних умов.
5. Стабільність зростання будівельного ринку ЄС також є деякою мірою сприятливим зовнішньоекономічним фактором українського експортного ринку. Виключення Росії з участі у ринку більшості країн Європи та США також створює додатковий потенціал заміщення, тобто виходу українських товарів та послуг на нові зовнішні рубежі.

Успішним прикладом може стати Грузія, де ефективний державний менеджмент і зовнішня політика (навіть в умовах перманентного військового конфлікту) дозволили створити надзвичайно сприятливі умови інвестиційної привабливості та економічний підйом ринку у багатьох сегментах, і насамперед – у будівельному.

У зв'язку з економічною ситуацією, яка описана вище, на ринку будівництва у найближчій перспективі найбільш ефективним конструкційним матеріалом для зведення та реконструкції сучасних комерційних будівель є сталь. Це пов'язано насамперед із тим, що:

- попри всі фактори, сталь зберігає основні обсяги виробництва й під час рециклінгу менше залежить від витрат енергії, ніж, наприклад, бетон;
- скорочення термінів будівництва у разі використання сталевих конструкцій значно зменшує інвестиційні ризики, які є досить значними в умовах сучасної української економіки, і виплати за кредитними пакетами фінансування;
- більш швидке повернення інвестицій від раннього введення в експлуатацію будівель зі сталевим каркасом дозволяє гнучкіше розпоряджатися інвестиціями, приймаючи рішення в умовах невизначеності.

Сучасний стан ринку комерційної нерухомості в Україні, прогнози та тенденції розвитку.

На початку 2019 року інвестиції в комерційну нерухомість досягли 10-річного максимуму [3.2]. У 2020-2021 роках через пандемію багато інвестицій були відкладені, але вакантність все одно лишається на низькому рівні (рис. 3.1-3.2). У 2021 нове будівництво склало 44,5% від загального обсягу виробленої будівельної продукції, ремонт (капітальний і поточний) – 27,9%, реконструкція і технічне переоснащення – 27,6%. За видами будівельної продукції в порівнянні з 2020 роком частка нежитлового будівництва збільшилася з 25,1% до 30,2% [3.34].

Слід відзначити, що наразі середні розміри об'єктів, які будуються, наприклад, в Польщі, в 3-4 рази більше українських аналогів, а середній обсяг угоди на один об'єкт більший в 10...15 разів; кількість таких угод теж на порядок вища. В Україні також практично відсутні міжнародні гравці, як на ринку девелопменту, так і на ринку інвестицій. Це обумовлено преференціями для деяких місцевих гравців та непрозорими правилами отримання дозволів на будівництво тощо [3.27].

Основні сегменти ринку нежилої нерухомості займають ритейл, сільське господарство, логістичні та промислові будівлі із сумарною долею близько 68%. Загалом комерційна нерухомість складає у будівельному секторі близько 35% (рис. 3.3).

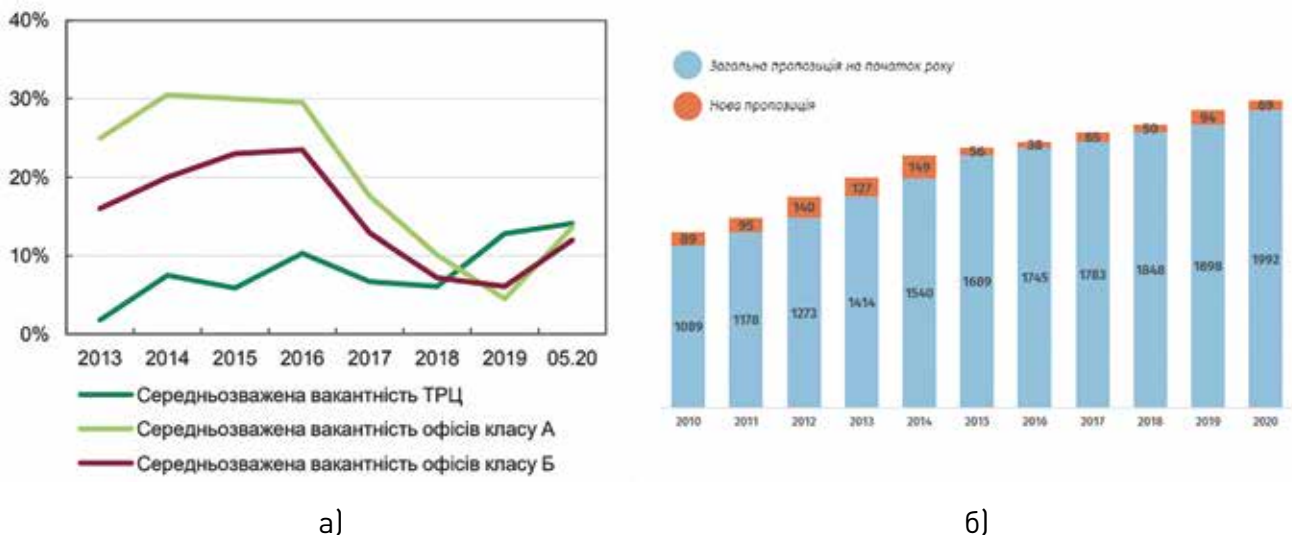


Рис. 3.1. Рівні вакантності [3.33], (а), загальна і нова пропозиція офісних приміщень (у тис. м.кв.) [3.29] в Україні у крайні роки (індикатор – м.Київ) (б)



Рис. 3.2. Насиченість різних міст Європи якісними торговельними площами, м² на 1000 жителів станом на 2021 рік

2020 та 2021 роки показали найбільше зростання логістичної і складської нерухомості, насамперед через реструктуризацію ринку і зміну офісної культури, спричинені карантинними заходами.

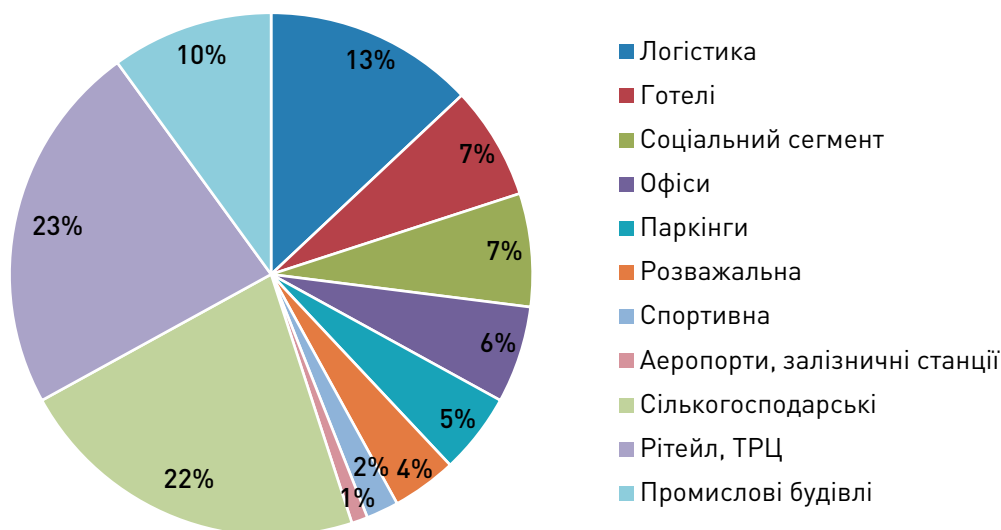


Рис. 3.3. Сегментація ринку нежитлової нерухомості в Україні

Головне завдання, що стоїть перед інвестиційним ринком України зараз – це залучення іноземних гравців, які зможуть за допомогою своїх проектів підвищити планку і вимоги щодо якості об'єктів, інновацій та фінансування. На позитивну динаміку росту попиту у комерційній нерухомості можуть вплинути і деякі специфічні фактори, зокрема:

- концентрація та перерозподіл капіталів у нові центри ділової активності (Київ, Дніпро, Львів), продовження міграції бізнесу з тимчасово окупованих територій;
- перехід на європейську систему стандартів та норм (впровадження EN) веде до кращого розуміння галузі європейськими інвесторами та стимулює прихід іноземних компаній та інвесторів, що мають підвищені вимоги та корпоративні стандарти;
- відкладений попит продовжує збільшуватися, створюючи базу для істотного росту будівельної активності у довгостроковій перспективі;
- потреба у нових рішеннях офісних будівель, малоенергоємних та таких, що відповідають сучасним експлуатаційним та функціональним критеріям. Український ринок залишається слабко насиченим у порівнянні з середніми показниками у країнах навіть східної Європи [3.25].

Отже, **комерційна нерухомість в Україні має значний потенціал для розвитку, що проявляється у відкладеному попиті.** Усі фактори перераховані вище та аргументи вказують на перспективність зведення сучасних комерційних будівель із застосуванням ефективних конструктивних схем. Водночас в умовах підвищених ризиків необхідний зважений підхід до аналізу різних варіантів проектів із визначенням елементів життєвого циклу.

У даній роботі комерційні будівлі розглядаються в більш вузькоспеціалізованому розумінні, ніж нежитлові. А саме – відділеними від промислово-виробничих, тобто досліджуються офісні, адміністративні будівлі, паркінги і торгівельні центри.

3.2. СТРАТЕГІЇ ТА СУЧАСНІ ІНСТРУМЕНТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ У БУДІВНИЦТВІ

Стратегії реалізації проектів і тендерні механізми. Наявні державні підходи до аналізу проектів, закріплені у [3.10]. Згідно з даною методикою «інвестиційний проект аналізується на відповідність актам законодавства у сферах інвестиційної, господарської, містобудівної діяльності; санітарного та епідеміологічного благополуччя населення, екології, поводження з відходами, охорони праці, енергозбереження; пожежної, техногенної, ядерної та радіаційної безпеки тощо. Результатом проведеного аналізу є обґрунтоване узагальнене судження за одним з нижченаведених варіантів: інвестиційний проект відповідає вимогам законодавства і може бути реалізований; інвестиційний проект не відповідає вимогам законодавства і не може бути реалізований. У разі виявлення невідповідностей інвестиційного проекту вимогам законодавства, зокрема нормативам з питань санітарного та епідеміологічного благополуччя населення, екології, охорони праці, енергозбереження, пожежної, техногенної, ядерної та радіаційної безпеки, у висновку експертизи викладається їхня суть з посиланням на акти законодавства та відповідним обґрунтуванням». Отже, [3.10] допускає застосування різноманітних комплексних критеріїв оцінки проектів, але і не визначає конкретних даних і методик щодо такого оцінювання.

Головний український майданчик для **тендерних закупівель, зокрема в будівництві – система ProZorro**. Вибір переможця у даній системі наразі відбувається в більшості випадків за головним критерієм – найменшою ціною пропозиції. Інші критерії, які можуть враховуватися у **системі ProZorro: пропонувані терміни виконання договору, допустимі форми оплати; умови гарантійного обслуговування; рідко – експлуатаційні витрати** [3.35]. Ці критерії вбачаються вкрай обмеженими для характеризувannya проекту з метою прийняття правильного зваженого рішення. Як приклад, у провідних країнах ЄС, США та інших при аналізі реалізації можуть розглядатися кардинально різні проекти із застосуванням критеріїв життєвого циклу [3.13].

В Україні за сприяння установ Євросоюзу в 2017 році випущено «Настанови з питань публічних закупівель» [3.32]. В даних Настановах є рекомендації щодо оцінки **вартості життєвого циклу** предметів тендеру, застосовні до будівельної галузі. Для неї також релевантні Настанови щодо зелених закупівель, які враховують аспекти охорони довкілля та сталого розвитку **для державних витрат**. Замовники наразі мають змогу самі визначати критерії і методики оцінювання для тендерних закупівель, що враховують вартість життєвого циклу. Ще там відзначено, що концепція вартості життєвого циклу є корисною як для забезпечення ефективності, так і для прозорого витрачання публічних коштів, а також для захисту довкілля та дотримання принципів сталого розвитку. Дана концепція була виділена окремо в директивах ЄС 2014 року та використовується багатьма закупівельними організаціями в Європі та в світі.

Концепція вартості життєвого циклу може бути використана під час здійснення публічних закупівель у такий спосіб:

1. На стадії планування закупівель для порівняння технологій та при розробці технічних специфікацій.
2. У якості частини критеріїв оцінки при визначенні переможця для порівняння пропозицій та при обранні найбільш економічно вигідної пропозиції.

Проте наразі, відповідно до Закону «Про публічні закупівлі» [3.20], застосування **додаткових до основної ціни пропозиції критеріїв** оцінки – можливе тільки стосовно комплексних або спеціалізованих закупівель. Для інших типів закупівель з метою оцінки пропозиції застосовується переважно лише **критерій найнижчої ціни**. Навіть якщо використовуються інші критерії оцінки, у тендерній документації визначається їхній вартісний еквівалент або питома вага цих критеріїв у загальній оцінці тендерних пропозицій. Притому питома вага **цінового критерію** не може бути **нижчою, ніж 70%**, крім випадків застосування процедури конкурентного діалогу. Зі свого боку це **обмежує застосування концепції вартості життєвого циклу**.

Варто зазначити, що метод оцінки ваги нецінових критеріїв має головний недолік – **суб'єктивність** їхнього призначення. Інші запропоновані методи – конвертації у бали та призначення пропорційних і експертних цінових еквівалентів – також можуть не відповідати дійсності, особливо для параметрів, змінних у часі, або не пов'язаних із споживчими якостями предмету тендеру безпосередньо при закупівлі. Крім того, критерії і показники можуть містити істотну невизначеність, пов'язану із відсутністю інформації і ускладненістю відображення на співмірній числовій шкалі. Слід також наголосити, що **«комплексні або спеціалізовані закупівлі»** – нечітке поняття. Будівництво навіть відносно невеликого об'єкта завжди є **комплексним і потребує цілої низки спеціалізованих матеріалів, робіт і послуг. Тому вкрай необхідно встановити чітку функціональну і кількісну градацію, коли застосування оцінки критеріїв життєвого циклу є обов'язковим, наприклад, за площею і призначенням будівельних об'єктів.**

Також під час закупівель є **необхідною екологічна оцінка життєвого циклу, а не тільки вартісна.** Як приклад можна навести Уряд Великої Британії, де зокрема введення критеріїв зменшення вуглецевого сліду при прийнятті рішень зумовило вибір легких сталевих конструкцій для державної програми будівництва 25 000 збірних модульних будинків до 2022 року (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Уряд Британії постановив до 2022 року збудувати 25 000 збірних модульних будинків, де за результатом аналізу життєвого циклу для зменшення вуглецевого сліду було обрано легкі сталеві конструкції у якості несучого каркасу [3.41]

Безперечно, найскладнішим у разі застосування критеріїв життєвого циклу є залучення достовірної інформації щодо його складових. Відповідно до законодавства ЄС, важливо, щоб закупівельна організація могла перевірити вартість витрат, зазначених учасниками в тендерній пропозиції. Деякі застереження щодо цього передбачено в законодавстві України. Зокрема, згідно з положеннями Закону України «Про публічні закупівлі» щодо вимог до тендерної документації: «Технічні, якісні характеристики предмета закупівлі повинні передбачати необхідність застосування заходів із захисту довкілля» [3.28]. Різні категорії витрат, що стосуються закупівлі, визначають до проведення тендеру, що інколи також називається **сукупна вартість володіння** (англ. Total Cost of Ownership).

Для того, щоб застосовувати вартість життєвого циклу при оцінці тендеру, Директивами 2014/24/ЄС та 2014/25/ЄС передбачені певні умови. Зокрема, закупівельна документація повинна містити **перелік даних**, які мають подати учасники тендеру, та **метод, за яким закупівельна організація буде визначати вартість життєвого циклу.** Такий метод повинен:

1. базуватись на критеріях, які можна об'єктивно перевірити та які є недискримінаційними, тобто не надають несправедливої переваги або ставлять в несприятливе становище окремих учасників торгів;
2. бути доступним для всіх зацікавлених сторін;
3. містити вимогу надання тільки тих даних, які можуть відносно легко зібрати і надати сумлін-

ні учасники торгів, включаючи тих, що походять з країн-учасниць Угоди Світової організації торгівлі про державні закупівлі, до якої з 2016 року входить і Україна.

Проте на нашу думку, головним драйвером процесу впровадження методів оцінки життєвого циклу для додаткових критеріїв в тендерних закупівлях – має виступити держава. Державні бази даних, таблиці параметрів життєвого циклу матеріалів, зокрема щодо приєднаного вуглецю, а також затвердження методик розрахунку створять однакові умови для всіх учасників ринку, в тому числі при проведенні тендерів. Всі виробники і постачальники предмету закупівель зможуть заздалегідь розрахувати компоненти життєвого циклу як показники якості товарів і послуг, що будуть вже готові на момент тендеру. Для цього можуть бути застосовані автоматизовані інструменти визначення параметрів ЖЦ із відкритим загальним доступом. Розробка таких інструментів розрахунку параметрів, які будуть адаптовані до українського ринку і враховуватимуть локальні особливості регіонів, дозволить спростити і прискорити підготовку інформації для подання на тендер (див. Розділ 2). Розроблені методи та інструменти можуть бути інтегровані у системи закупівель, зокрема у **ProZorro**.

«Настанови з питань публічних закупівель» також пропонують до вартості життєвого циклу додавати **наслідки для довкілля**. При цьому прогнозний час, для якого проводиться оцінка, має дорівнювати часу експлуатації предмету тендеру і бути достатньо тривалим для покриття будь-яких витрат, яких неможливо уникнути, але не таким довгим, що неможливо буде зробити обґрунтовані розрахунки. Одним з ефективних методів оцінки визначають **чисту поточну/приведену вартість** (Net Present Value, NPV) як загальну вартість всіх майбутніх дисконтованих витрат та прибутків, пов'язаних із закупівлею або активами, і виражену в поточному грошовому еквіваленті [3.19] (див. також Розділ 4 даної книги).

Будівлі мають суттєвий вплив на навколишнє середовище як в процесі будівництва, так і під час їхнього використання, зокрема це стосується споживання електроенергії та інших ресурсів. Оцінка життєвого циклу застосовна водночас для індивідуальних компонентів будинку (наприклад, ізоляція, покриття для підлоги) і для порівняння різних видів архітектурних, конструктивних та інженерних рішень. В обох випадках важливо визначити кількість викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин для порівняння та вибору більш сталих матеріалів та дизайну. В цьому випадку можна використовувати інформаційне моделювання будівлі (див. параграф нижче), спеціалізоване програмне забезпечення та інші сучасні інструменти (див. Розділ 2).

Визначення вартості життєвого циклу при державних закупівлях допомагає зекономити кошти платників податків, зменшити негативний вплив на довкілля і стимулювати використання інноваційних технологій. Врахування екологічних критеріїв під час публічних закупівель підвищить конкурентоспроможність суб'єктів господарювання на міжнародному ринку та сприятиме розширенню ринкової частки малих і середніх підприємств тощо.

В Євросоюзі поширені так звані зелені закупівлі як «процес, під час якого державні органи прагнуть придбати товари, послуги і роботи, що матимуть менший негативний вплив на довкілля впродовж їхнього життєвого циклу у порівнянні з товарами, послугами і роботами з аналогічною базовою функцією, які були б придбані за відсутності екологічної складової процедури» [3.44]. До категорії так званих зелених витрат належать ті, що пов'язані зі створенням сировини для виробництва продукції, із самим виробництвом, доставкою продукції користувачу, а також витрати, пов'язані з утилізацією продукції, що не належить до сфери контролю замовника – шляхом повторного використання, переробки, захоронення тощо. Особливо важливо враховувати повний життєвий цикл продукту або послуги. У випадку з товарами зазвичай враховується процес виробництва, а також термін придатності і можливість утилізації після завершення терміну придатності. Відзначено, що для будівництва зелені закупівлі дозволяють зменшити споживання енергії та води, більш економно використовувати матеріали, знизити об'єм будівельних відходів, рівень шуму та інтенсивність руху транспорту, підвищити якість повітря тощо [3.32].

У 2015 році у рамках програми «Озеленення економіки у країнах Східного партнерства» (EaP GREEN), що реалізується у рамках Партнерства ЄС для охорони довкілля і зростання, було проведено комплексне оцінювання правових і ринкових умов для здійснення зелених закупівель в Україні [3.45]. На основі результатів цього оцінювання, що проводилось на базі 75 організацій, які здійснюють закупівлі коштом державного бюджету, були визначені пріоритетні галузі, зокрема «будівництво, будівельні матеріали та спеціальне обладнання», а також «фарбувальні матеріали» та «термоізоляційні матеріали», які теж широко застосовуються у будівельній галузі. Згідно з Директивою 2014/24/ЄС, екологічні характеристики можуть враховуватися в технічних специфікаціях закупівель, а під час присудження контрактів можуть використовуватися екологічні критерії і вартість життєвого циклу. Європейська Комісія також опублікувала посібник із зелених закупівель Buying Green Handbook і набір критеріїв для їхнього запровадження для різних груп товарів/послуг. В окремих випадках на зелених закупівлях можна суттєво заощадити. Зокрема, у 2004...2007 роках під час муніципального будівництва у Відні (Австрія) завдяки програмі EcoBuy.60 було зекономлено 44,4 мільйони євро та зменшено викиди на понад 100 тисяч тонн CO₂ [3.32].

Отже, оцінка життєвого циклу при тендерних торгах – може стати ефективним інструментом для руху вітчизняної економіки, в тому числі будівельної галузі – до екологічності і зменшення впливу на довкілля. Експериментальне впровадження оцінки елементів життєвого циклу може бути здійснене спочатку для вибраних груп товарів і послуг, де, наприклад, вартість експлуатації і утилізації вже є відомою.

Інформація щодо параметрів життєвого циклу і моделювання будівель. Стадії **життєвого циклу**, які проходить будь-який проект, зазвичай характеризуються зростанням вартості внесення змін до нього із плином часу і переходом на нові етапи реалізації. Попри те, що **інформація про проект невпинно зростає**, збільшується і **невизначеність** щодо реалізованих рішень (наприклад, прихованих робіт), а можливість вплинути на параметри проекту, внести зміни стрімко зменшується (рис. 3.5).

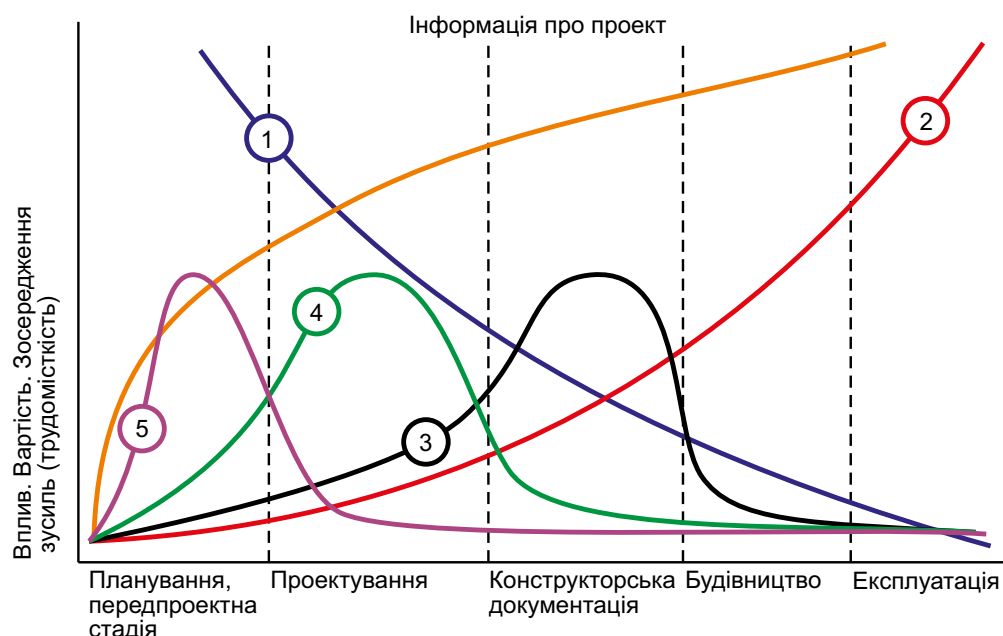


Рис. 3.5. Залежність можливостей змін та ціни їхньої реалізації у життєвому циклі будівлі.

Внесення змін у проект протягом часу від початку проектних робіт під час звичайного проектування та із застосуванням BIM [3.23]:

- 1** – можливість вплинути на вартість і продуктивність проекту; **2** – вартість змін до проекту;
- 3** – проектування, орієнтоване на креслення; **4** – проектування із застосуванням BIM;
- 5** – те ж, із грамотною проробкою етапу планування

Згідно з дослідженнями, грамотна проробка на етапі планування дозволяє визначити понад 66% вартості життєвого циклу будівлі. Отже, сучасний ефективний підхід до проектування повинен приділяти найбільшу увагу етапу планування і попереднього проектування (preliminary design stage), переходячи від традиційного до колаборативного підходу, коли потужні команди проектування та постачання підключаються для осмислення та оцінки основних функціональних блоків та параметрів будівлі ще на ранній стадії. Тут важливим є детальне завдання і зацікавленість замовника, його розуміння усіх цінностей проекту та інтегральних кроків із його реалізації (рис. 3.6).

У типовому традиційному проекті невизначеність переважно викликана випадковостями і складає зазвичай 10-15% вартості проекту, а загалом невизначеність і неефективність доставок може збільшувати втрати/відходи до 30% вартості проекту (рис. 3.7).

Вибір оптимального конструктивного вирішення будівлі на передпроектній стадії з урахуванням критеріїв життєвого циклу є важливою та актуальною задачею, особливо в умовах впливу часових та фінансових факторів, якими обмежений проектувальник, інвестор та будівельник. Зазвичай вибір початкового варіанту принципового вирішення конструкції спирається на узагальнений досвід конкретного проектувальника, а за відсутності необхідних аналогів – на порівняння варіантів. Тому на першому рівні оптимізації будівельних конструкцій знаходиться варіантне проектування. Водночас розглядаються декілька варіантів майбутньої конструкції, що порівнюються за певними критеріями, переважно за техніко-економічними показниками. Аналіз здійснюється шляхом осмислення особою, що приймає рішення, відповідності параметрів кожного з варіантних рішень умовам, що задані у технічному завданні на проектування, або обмеженням за кожним з критеріїв порівняння.

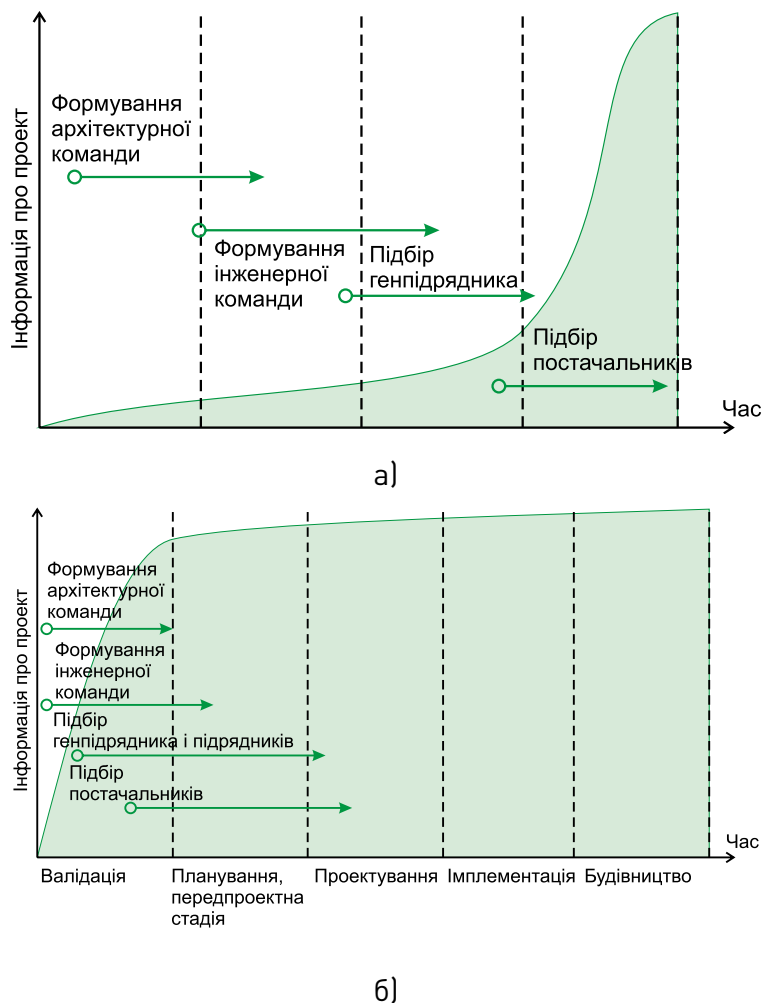
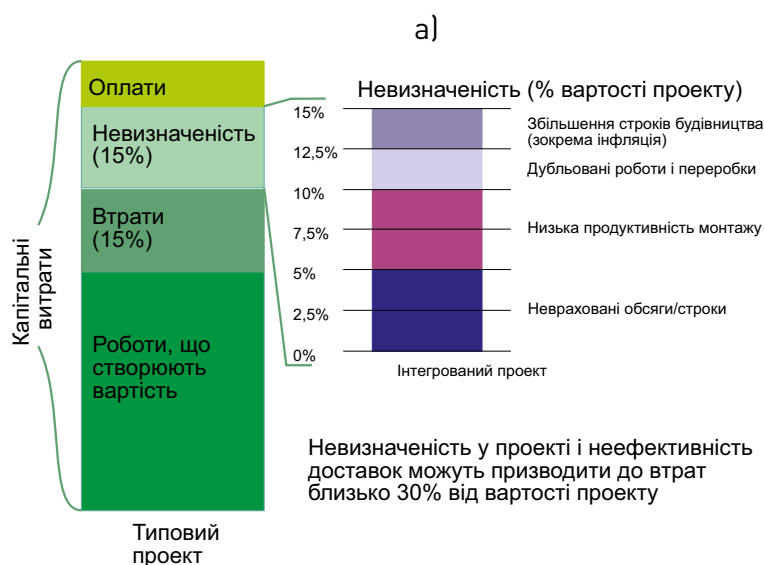
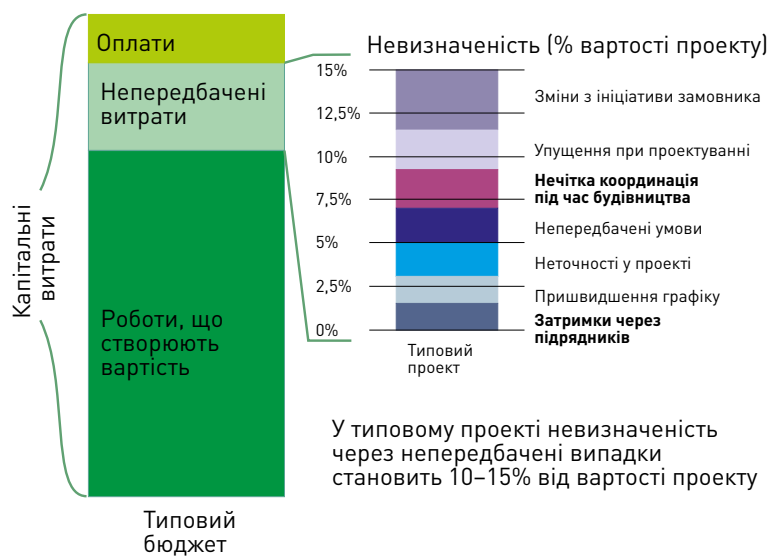


Рис. 3.6. Традиційний (а) та колаборативний (б) під час проектування [3.23]



б)

Рис. 3.7. Втрати від невизначеності (а) і неефективності (б) проекту [3.23]

Способами вибору можуть бути: експертна бальна оцінка, аналіз недоліків і переваг або SWOT-аналіз [3.46] та інші. **Застосування інструментів підвищення ефективності і більш комплексні методи алгоритмічної оптимізації конструкцій** можуть дати поліпшені параметри життєвого циклу, які є виграшними за будь-якої стратегії інвестування у комерційну нерухомість – продаж, здача у оренду, управління із обслуговуванням або що; та за будь-яких видів перетворення будівлі – нове спорудження, капітальний ремонт або реконструкція.

Для опрацювання масивів даних проекту і автоматизації розрахунків, а також підвищення їхньої точності доцільною є застосування комп'ютерної **моделі будівлі, яка охоплює у собі всі відомості про майбутній об'єкт: Building Information Model (BIM)**. Поняття інформаційного моделювання будівлі як засіб її параметризації було запропоновано ще у 1975 році професором Технологічного інституту Джорджії (Georgia Tech) Чаком Істманом (Chuck Eastman) під назвою Building Description System (Система опису будівлі) [3.18]. Пізніше, у 1986 році, англієць Роберт Ейш (Robert Aish) вперше використав термін Building Modeling в його нинішньому розумінні. Він застосував свій комплекс RUCAPS (Riyadh University Computer Aided Production System) у проектуванні Терміналу 3 аеропорту Хітроу (Велика Британія), показавши успішність інформа-

ційного моделювання будівель. Роберт Ейш також вперше сформулював основні принципи інформаційного підходу у проектуванні: тривимірне моделювання; автоматичне отримання креслень; інтелектуальна параметризація об'єктів; бази даних, що відповідають об'єктам; розподіл процесу будівництва за тимчасовими етапами тощо.

Термін BIM (Building Information Modeling) вперше з'явився у 1992 році в роботі Г. А. ван Недервена (G.A. van Nederveen) і Ф. П. Толмана (F.P. Tolman) з Нідерландів [3.22]. Приблизно з 2002 року концепцію Building Information Model прийняли розробники програмного забезпечення, зробивши це поняття одним з ключових у своїй термінології. Невдовзі BIM було взято на озброєння Bentley Systems, Autodesk, Graphisoft та іншими. Надалі аббревіатура BIM увійшла в лексикон фахівців із систем автоматизованого проектування і отримала широке розповсюдження в усьому світі. Архітектор та стратег компанії Autodesk у сфері будівельних додатків Філ Бернштейн (Phil Bernstein) першим використовував термін у його сучасному вигляді: Building Information Modeling.

Примітно, що аббревіатура BIM може використовуватися як для позначення безпосередньо самої інформаційної моделі будівлі, так і для процесу інформаційного моделювання. Наприклад, компанія Graphisoft, автор широко розповсюдженого пакету ArchiCAD, ввела термін **VB** (Virtual Building) – віртуальна будівля, що по суті є BIM. Іноді можна зустріти схоже за значенням словосполучення **електронне будівництво** (e-construction). У широкому змісті BIM визначається [3.39] як процес генерації та управління даними єдиної інфраструктури впродовж її **життєвого циклу**. Проектування відбувається з використанням спеціального програмного забезпечення. Це потрібно для динамічного моделювання будівель у тривимірному просторі та реальному часі та дозволить зменшити втрати часу та ресурсів у проектуванні та будівництві. Цей процес відбувається у інформаційній моделі інфраструктури (також позначеній BIM), що містить в собі геометрію будівлі, просторові відношення, географічну інформацію, а також кількість та властивості компонентів інфраструктури тощо.

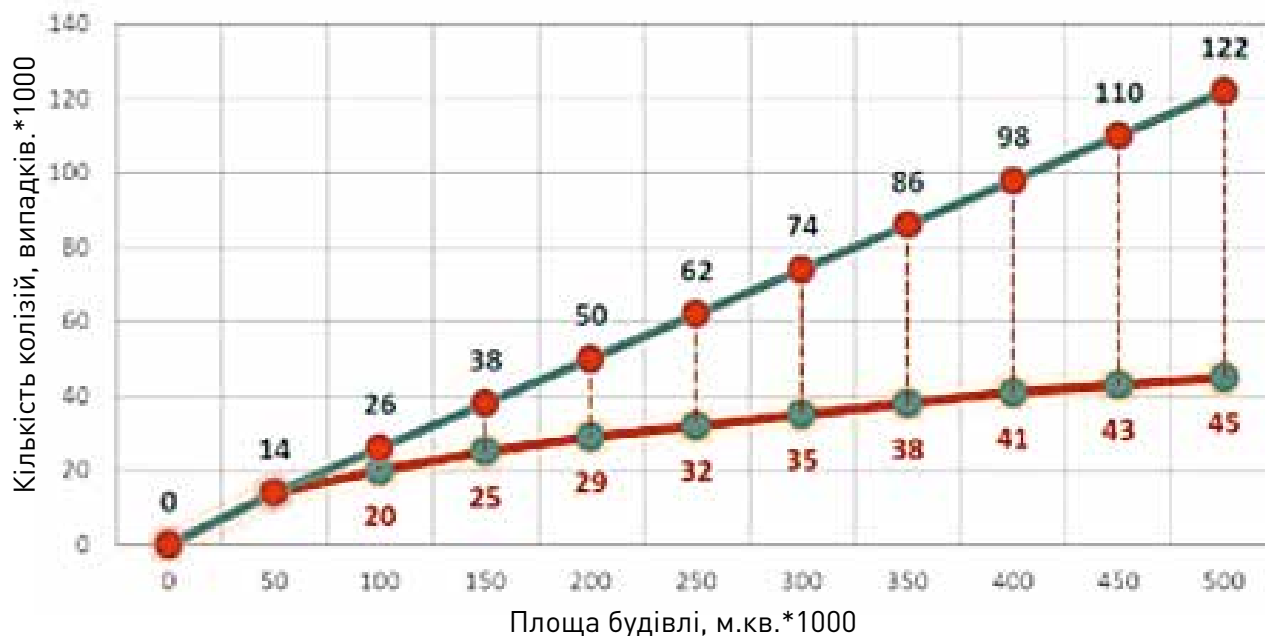


Рис. 3.8. Залежність кількості колізій від площі типового об'єкту будівництва [3.28]



Стадія	Кількість критичних колізій	Ціна усунення однієї колізії, грн	Вартість колізій, грн
РД	29000	24	696000
БМР		2400	69600000

Рис. 3.9. Економічний ефект від застосування BIM для об'єкту площею 200 тис. м².
1 – існуючий метод; **2** – метод із застосуванням автоматизованих перевірок колізій у BIM, таблиця порівняння [3.31]

Отже, інформаційне моделювання будівлі – це комплексний підхід до зведення, оснащення, забезпечення експлуатації та ремонту будівлі, який передбачає збирання та комплексну обробку в процесі проектування всієї архітектурно-конструкторської, технологічної, фінансової та іншої інформації про будівлю з усіма її взаємозв'язками і залежностями. У інформаційному моделюванні будівля і все, що до неї відноситься, розглядається як єдиний об'єкт. Кожен елементарний модуль, об'єкт будівлі являє собою просторову інформаційну модель, що пов'язана із базою знань, і у якій кожному елементу моделі можна присвоїти додаткові атрибути. Такі ознаки і переваги органічно впливають з глобальних відмінностей знань від інформації – їхня композитивність, ієрархічність, процедуральність та описовість [3.16]. Будівельний об'єкт відтоді проектується фактично як єдине ціле і зміна будь-якого його параметру тягне за собою автоматичну зміну інших, пов'язаних з ним параметрів і об'єктів – зміни креслень, візуалізацій, специфікацій, графіка будівництва тощо – на всіх етапах життєвого циклу (рис. 3.10).

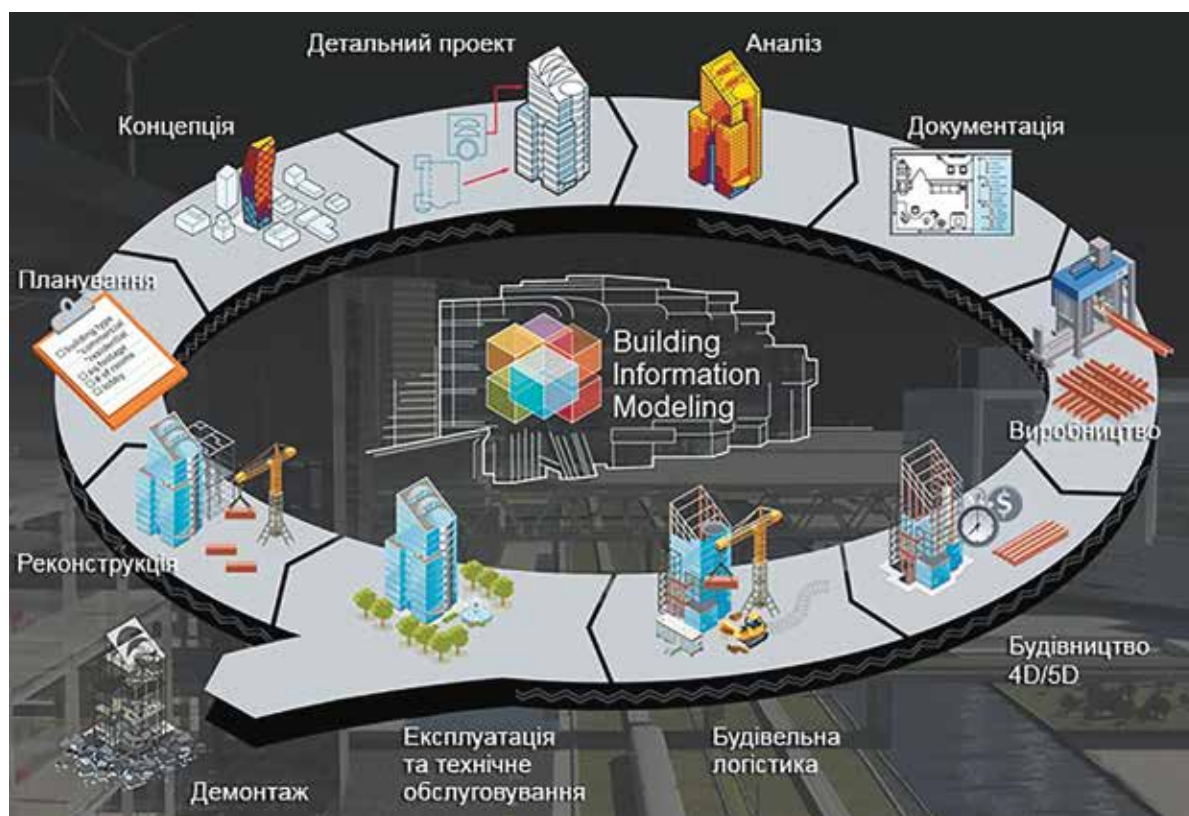


Рис. 3.10. Основні процеси інтеграції BIM

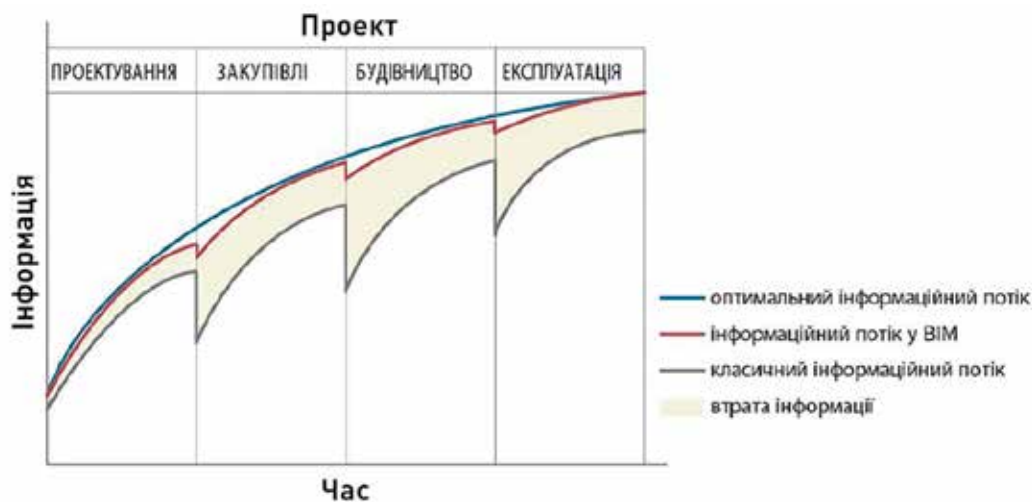


Рис. 3.11. Інформаційні потоки протягом життєвого циклу проекту із застосуванням BIM [3.12]

Числова інформація щодо існуючого або запланованого об'єкта у BIM може використовуватися зокрема для:

- прийняття конкретних проектних рішень;
- створення високоякісної проектної документації;
- передбачення експлуатаційних якостей об'єкта;
- створення кошторисів та будівельних планів;
- замовлення та виготовлення матеріалів, конструкцій та обладнання;
- управління зведенням будівлі;
- управління та експлуатації самої будівлі та засобів технічного оснащення протягом усього життєвого циклу;
- управління будівлею як об'єктом комерційної діяльності;
- проектування та управління реконструкцією або ремонтами будівлі;
- знесення та утилізації будівлі;
- інших цілей, пов'язаних зі створенням будівлі.

Загалом, BIM технологія дає широкі можливості для управління і оптимізації інформаційних потоків впродовж і навіть після завершення строку життя будівлі та допомагає запобігати втраті інформації (рис. 3.11).

Іншими словами, BIM – це процес, технологія, що дозволяє усю наявну інформацію стосовно об'єкта, що має числовий опис, організувати належним чином та використовувати на всіх стадіях **життєвого циклу** існування будівлі – від ідеї побудови до її знесення [3.3]. Середовище BIM підтримує функції спільної роботи, тому люди, інструменти та завдання можуть ефективно використовувати інформацію впродовж всього життєвого циклу будівлі **без ризику неузгодженості або втрати даних**, а також виключити помилки під час їхньої передачі та перетворення. Прийняття зважених рішень на ранніх етапах існування об'єкту дозволяє заощадити значні ресурси (див. рис. 3.6 вище).

Застосування BIM протягом створення, управління, збереження і обміну цифровими даними дозволяє вичерпно описати і зберігати фізичні і функціональні характеристики будівельних об'єктів. Отже, основними перевагами BIM можна назвати:

- значне скорочення часу проектування для типових, регулярних об'єктів;
- скорочення часу для внесення змін у проектну документацію;
- упередження конфліктів між системами та підсистемами будівлі і окремими елементами;

- збільшення прогностичності техніко-економічних показників та зменшення операційних витрат завдяки детальному опрацюванню;
- виявлення взаємозв'язків між елементами будівлі, функціональністю;
- здатність до накопичення предметних знань;
- можливість досліджувати та оптимізувати експлуатаційні показники;
- компактність систем, що проектуються; уможливлення значного ускладнення їхньої функції та форми.

Як приклад, під час створення складного за формою і внутрішнім оснащенням нового корпусу Музею мистецтв у Денвері (США) була використана спеціально розроблена для цього об'єкта інформаційна модель. Тільки організоване застосування BIM для взаємодії субпідрядників і оптимізації графіка робіт дозволило скоротити термін будівництва на 14 місяців і призвело до економії приблизно 400 тис. доларів США (рис. 3.12), зменшивши у такий спосіб вартість життєвого циклу об'єкта і збільшивши його прибутковість.



Рис. 3.12. Фасад та BIM-модель сталевого каркасу Музею мистецтв у м.Денвер, США (архітектурне бюро Studio Libeskind, 2006 рік). Застосування BIM дозволило скоротити термін будівництва на 14 місяців і призвело до економії приблизно 400 тисяч доларів США

Компанією Dassault Systemes у 1998 році була сформульована близька до BIM концепція **PLM** (Product Lifecycle Management) – **управління життєвим циклом виробу**, якою сьогодні активно користується практично вся індустрія машинобудівних систем автоматизованого проектування. Концепція PLM передбачає, що створюється єдина інформаційна база, яка описує три основних компоненти створення нового виробу за схемою **продукт – процеси – ресурси**, а також зв'язки між цими компонентами. Наявність такої об'єднаної моделі забезпечує можливість швидко та ефективно пов'язувати та оптимізувати весь вказаний ланцюжок. Отже, під сучасним BIM розуміють три нерозривні елементи: **Building Information Modeling, Building Performance Management та Building Lifecycle Management** [3.40], що передбачає як моделювання будівлі, так і управління продуктивністю, життєвим циклом споруди. BIM дозволяє не тільки полегшити виготовлення, прискорити монтаж конструкцій, а й прослідкувати ефективність інвестицій, акумулювати якісні та кількісні дані, застосовні у різних сферах [3.17].

Сучасний напрямок розвитку будівельної галузі рухається до об'єднаної парадигми архітектурної та конструктивної форми – **алгоритмічної архітектури**. Висока точність BIM-моделей та врахування технологічних вимог виготовлення дає можливість отримувати нові конструктивні та архітектурні форми, допомагає у аналізі елементів життєвого циклу. Як приклад, цілісне проектування сталевого каркасу Музею майбутнього у Дубаї (ОАЕ, 2020 рік) із урахуванням у BIM життєвого циклу дозволило створити об'єкт з використанням тільки екологічних та органічних матеріалів. Інженерні системи під час експлуатації працюють як єдиний оптимальний механізм (рис. 3.13).



Рис. 3.13. BIM-модель циклу спорудження і реалізація сталевого каркасу Музею майбутнього у м.Дубаї, (ОАЕ, 2020 рік). Проект бюро Killa Design. Фото: CNN

Отже, BIM є сумою технологій, наслідком еволюції систем імітаційного моделювання. Це відповідь на зростаючу складність функцій та обслуговування будівель, а також до сучасних вимог щодо форми конструкцій як з архітектурної, так і з конструктивної точки зору (рис. 3.14). Сучасні BIM об'єднують підсистеми будівлі в один супероб'єкт. Це уможлиблює проектування та спорудження у короткий строк численних будівель, а така система моделювання вже реалізована у деяких комплексах [3.37].

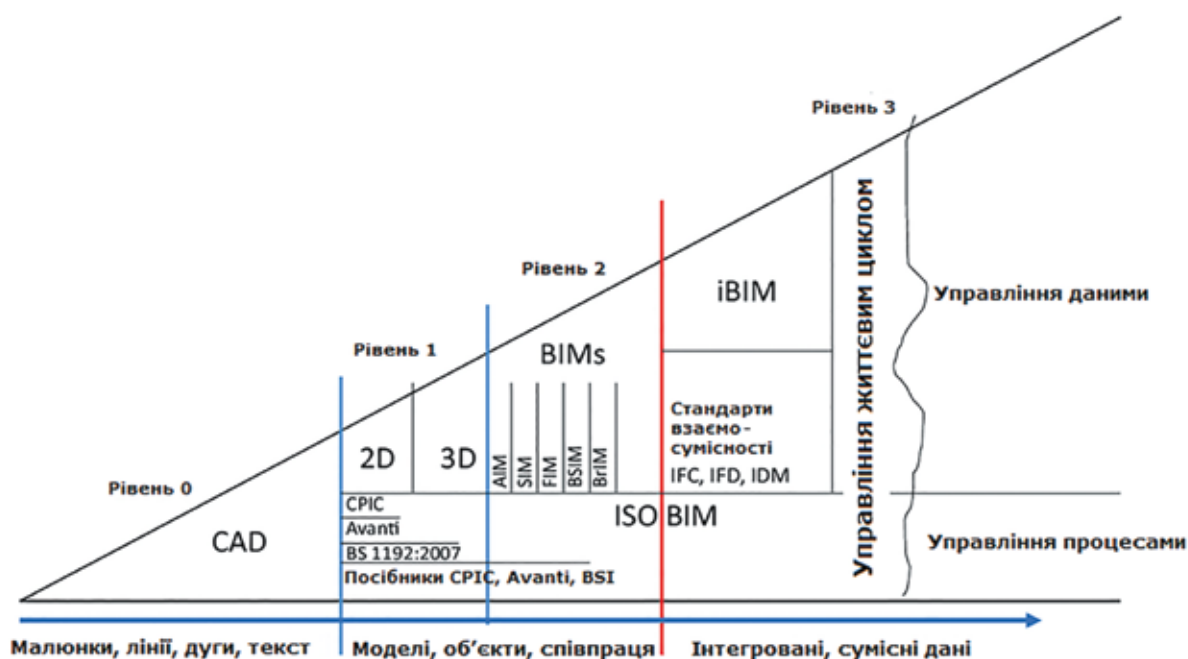


Рис. 3.14. Рівні інтеграції BIM та життєвий цикл будівлі у ВБ [3.38]:

IFC – Industry Foundation Classes (класи промислової фундації); IFD – International Framework Dictionary (міжнародний рамковий словник); IDM – Information Delivery Manual (посібник з доставки інформації); iBIM – integrated BIM (інтегрований BIM); CPIC – Construction Project Information Committee (Інформаційний комітет будівельних проектів); AIM – Architectural Information Model (архітектурна інформаційна модель); SIM – Structural Information Model (структурна інформаційна модель); FIM – Facilities Information Model (інформаційна модель об'єктів); BSIM - Building Service Information Model (інформаційна модель побудови послуг); BrIM - Bridge Information Model (інформаційна модель мосту). Перехід до рівня використання технологій забезпечує безперебійну роботу та ефективне управління даними і процесами

Виявляється, що сучасні BIM-системи є частиною глобальних інформаційних систем або моделей (так званих I-Model), які неминуче накопичують і зберігають інформацію щодо явищ природи, з якими ми взаємодіємо, соціально-економічну історію життя людей. Генерація інформації та інформаційний слід є наразі невід'ємною частиною нашого життя. Ми залишаємо записи у бухгалтерії, лікарнях, під час купівлі товарів та сплати податків, одруженні, пишучи статті та книги, дописи у соціальних мережах. Це частина загальних інформаційних процесів на планеті та у Всесвіті [3.44].

Перспектива повної цифровізації будівель стає реальністю вже зараз – Уряд Британії у 2015 році анонсував програму тотального BIMізування країни: **Digital Built Britain** [3.24]. Програма розподіляє існуючий розвиток BIM на 4 щаблі та передбачає повний перехід Великої Британії на третій BIM-рівень (табл. 3.1).

Перший рівень взаємодії був досягнутий під час проектування та будівництва п'ятого терміналу аеропорту Хітроу, проте очікування учасників не виправдалися. Приріст продуктивності порівняно із неорганізованими формами роботи був всього на рівні 10%. Прикладом програмного втілення середовища другого рівня є Autodesk Navisworks, Solibri Model Checker, Bentley Navigator. На цьому рівні організована взаємодія може забезпечити до 50% скорочення невиробничих витрат проекту. Для цього рівня доступні візуальне планування та управління будівництвом – 4D, а також управління вартістю проекту – 5D. Можливе застосування для рішення різних задач галузевого обмінного формату IFC, проте основними лишаються власні формати програм, за допомогою яких виконується розробка моделей. За таких умов документація ведеться у форматі pdf, а інформація передається у форматі COBie. Червона лінія між рівнями 2 та 3 демонструє, де, завдяки створеним технічним та організаційним умовам, бажано знаходитися усім учасникам галузі вже сьогодні (рис. 3.14).

Табл.3.1.

Британська систематизація рівнів BIM

Рівень	Назва	Опис
0	Некерований CAD	Робота ведеться у режимі 2D. Передача інформації суміжникам відбувається переважно через паперові носії або електронну форму паперових документів. Взаємодія між членами команди проекту в організованому вигляді відсутня.
1	Керований CAD	Робота ведеться водночас у 2D- та 3D-графіці. Передача інформації здійснюється в електронному вигляді через середовище загальних даних (Common Data Environment), що специфіковане британським стандартом BS 1192:2007. Взаємодія між учасниками з різних дисциплін у повноцінному вигляді ще не організована.
2	Федерований BIM	Робота кожного учасника відбувається у 3D-моделі своєї дисципліни. Передача інформації здійснюється в електронному вигляді. Вже існує междисциплінарна координація через середовище загальних даних відповідно до стандарту BS 1192:2007. Автоматично визначаються та усуваються колізії, вивіряються проектні рішення тощо. Взаємодія учасників проекту носить форму повної та повноцінної колективної роботи.
3	Інтегрований BIM	Робота кожного учасника відбувається у 3D-моделі своєї дисципліни. Передача інформації здійснюється шляхом електронного одночасного доступу всіх учасників до єдиної моделі. Причому ризик виникнення конфліктних ситуацій зведений до мінімуму. Взаємодія між дисциплінами реалізована повною мірою через сумісне використання єдиного центрального репозиторію.

У окресленому ракурсі BIM є технологією, яка символізує прихід «цифового будівництва». Отже, з квітня 2016 року всі держзакупівлі Великої Британії в області будівництва здійснюються тільки для проектів, що виконуються у технології BIM рівня 2. Так галузь отримала потужну стимуляцію для поступу. Була сформована спеціальна робоча група (BIM Task Group), якій було доручено розробити необхідні стандарти та протоколи для роботи. Доступ передбачено безкоштовним, оскільки левову частину ринку представляють компанії середнього та малого бізнесу. Пілотні проекти, що виконані у Великій Британії в рамках держзамовлення за технологією BIM рівня 2, продемонстрували скорочення до 20% капітальних витрат на будівництво у порівнянні з аналогічними проектами 2009-2010 років. За 2013-2014 роки економія склала 840 мільйонів британських фунтів, а за 2015 рік за рахунок застосування BIM рівня 2 – 1,2 мільярди британських фунтів. У кінці 2014 року британський урядовий орган Construction Leadership Council запропонував галузеву стратегію «Будівництво 2025», згідно з якою заплановані амбітні показники (рис. 3.15).

<p>Зниження витрат</p> <p>33%</p> <p>Скорочення початкових витрат на будівництво і вартість експлуатації готового об'єкту</p>	<p>Скорочення строків</p> <p>50%</p> <p>Скорочення загального часу реалізації від початку до завершення проекту для нового будівництва і реконструкції</p>
<p>Скорочення викидів</p> <p>50%</p> <p>Скорочення викидів парникових газів від об'єктів капітального будівництва</p>	<p>Зростання експорту послуг</p> <p>50%</p> <p>Скорочення відставання в експорті у будівельних продуктах і послугах</p>

Рис. 3.15. Цілі британської стратегії «Будівництво 2025»

Технології BIM у стратегії відведене ключове місце. Її показники в цілому відповідають планам Європейського Союзу, де зокрема за допомогою **впровадження BIM у будівництві та підвищення енергоефективності планується скоротити галузеві викиди двоокису вуглецю на 40-50% до 2030 року, та на 90% у 2050 році**. Також завдяки вторинній переробці передбачається зниження обсягів утворення відходів до 70% від промислового виробництва будівельних матеріалів та від самого будівництва. Аналогічні програми вже анонсовані у деяких країнах Євросоюзу, зокрема, у Франції та Німеччині. Окреслені успіхи та перспективи BIM корелюють із прогнозом розвитку глобального ринку будівництва на 2025 рік [3.43]. Згідно з прогнозом, передбачається зростання до 70% переважно завдяки ринку Азії та ЕМЕА. На фоні цього, не очікуючи повної інтеграції рівня 2, у Британії почалася розробка методології роботи та життя галузі у цифровому форматі на новому якісному рівні – третьому. Стартувала робота над програмою «BIM рівень 3» (по суті це і є Digital Built Britain). Ця розробка ведеться паралельно з іншими стратегіями:

«Розумні цифрові міста» – інтелектуальні системи інфраструктури, енергетики, охорони здоров'я, водопостачання та переробки відходів;

«Інформаційна економіка» – високопродуктивні обчислення, Інтернет речей у формі автоматичних сенсорів для автоматизації процесів та інше.

Можливості виміряти параметри функціонування готового об'єкту та порівняти їх з вимогами, що встановлені у технічному завданні, а також із початковими експлуатаційними параметрами, допомагають значно покращити умови його використання. Автори програми визначили наступні **переваги**, які отримає суспільство від реалізації Digital Built Britain:

- істотна економія на державних закупівлях;
- швидка та широка реалізація покрових змін у продуктивності будівельної галузі, підвищення її ефективності;
- оптимізація експлуатації будівель, економія на життєвому циклі, зокрема за рахунок зменшення енергоспоживання;
- безпечне користування відкритими даними у контрольованому режимі;
- переваги для національних компаній від міжнародного прийняття стандартів та протоколів;
- надання нових можливостей суміжним областям: «розумні» цифрові міста та інтелектуальні енергосистеми, виробництво, кібербезпека, нові матеріали тощо.

Сукупність описаних стратегій дозволяє побачити недалеке майбутнє соціально-економічної організації глобалізованого світу високих технологій. Digital Built Britain у підсумку представляє бачення високопродуктивної, збалансованої та прозорої кібернетичної держави, яка ефективно обслуговує потреби громадян, зберігаючи при цьому прийняття ощадних рішень в гармонії з природою. Для цього, безперечно, має зрости усвідомленість суспільства. Цьому можуть сприяти інформаційно-просвітницькі кампанії.

Застосування BIM наразі стрімко зростає у будівельній галузі України, де очевидна його ефективність: насамперед при створенні об'єктів комерційної нерухомості – великих торговельно-розважальних центрів, мультифункціональних об'єктів, промислових, зі складною внутрішньою інфраструктурою, об'єктах аутсорсингу тощо.

В Україні у 2020 році вже введено деякі стандарти цифрового обігу інформації та BIM, і ведеться широка робота з їхньої розробки [3.7]. У стандарті ДСТУ ISO 19650 [3.7] викладено концепції та принципи, рекомендовані для організації бізнес-процесів у сфері будівництва, призначені для управління інформацією та створення інформації протягом життєвого циклу об'єктів будівництва з використанням технології будівельного інформаційного моделювання (BIM). В стандарті наголошено, що він застосовний до будь-якого об'єкта будівництва і охоплює всі етапи життєвого циклу: стратегічного планування, концептуального проектування, проектування нового об'єкта, інженерного розроблення, документування та будівництва, постійної експлуатації, технічного обслуговування, реконструювання та закінчення терміну служби. Також наголошено, що Інформаційні моделі активів (Asset Information Models, AIM) та інформаційні моделі проектів (Project Information Models, PIM) – це структуровані сховища інформації, необхідної для прийняття рішень протягом усього життєвого циклу активу в сфері будівництва. Зокрема вони мають містити інформацію про передбачувані та фактичні фактори впливу: потрібно, щоб сторона призначення подавала запити щодо інформації, яка стосується факторів впливу на якість, рівень витрат, процес планування робіт, обсяги викиду вуглецю (CO₂-еквіваленту), споживання енергії, води, обсяги утворення відходів чи іншого впливу на довкілля.

Відтоді проектування визначається в такому ракурсі, як «Роботи, які пов'язані зі створенням інформації про об'єкт будівництва (проектної документації, інформаційної моделі об'єкту тощо)».

На рисунку 3.16 зображено життєвий цикл активу із ДСТУ ISO 19650: етап будівництва, етап експлуатації активу (зелене коло), а також деякі заходи з управління інформацією (точки від А до С). Додатково до позначених на рисунку трьох пунктів, перевірку проектних рішень здійснюють оцінюванням ефективності активу впродовж етапу експлуатації. Періодичність залежить від того, коли і як часто проводитимуться заходи контролювання та оцінювання ефективності активу. Негативні результати перевірки означатимуть необхідність проведення коригувальних заходів. Під час етапу експлуатації відбуваються тригерні події, які можуть потребувати оперативної реакції в управлінні інформацією, внаслідок чого відбувається одна або декілька транзакцій обміну інформацією.

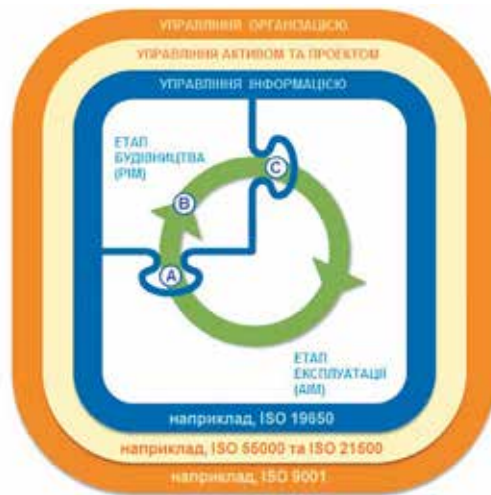


Рис. 3.16. Загальний вигляд життєвого циклу управління інформацією про актив та проект.
 Умовні позначки: **A** – початок етапу будівництва: передача відповідної інформації з AIM до PIM;
B – поступове розвинення моделі проектних рішень у віртуальну модель об’єкта будівництва
 (див. 3.3.10, примітка 1); **C** – кінець етапу будівництва:
 передача відповідної інформації з PIM в AIM

У стандарті також визначено поняття рівня інформаційної потреби, що має охоплювати зазначений відповідний рівень якості, обсяг та ступінь деталізації інформації будівельної моделі і може бути різним для поставок різної інформації. **Рівні інформаційної потреби** мають визначати **мінімальну кількість інформації**, що потрібна для задоволення кожної відповідної вимоги, зокрема дані, що потрібні іншим призначеним сторонам, і не більше за це. Все, що перевищує цей мінімум, вважають зайвим. Керуючі призначені сторони мають враховувати ризик автоматичного імпортування розширеної інформації про об’єкт в окремі інформаційні моделі, що може спричинити її вихід за межі зазначеного рівня інформаційної потреби. Управління інформацією має бути застосовано протягом усього життєвого циклу активу. Обсяг інформації, якою управляють, зазвичай зростає як на етапі будівництва, так і на етапі експлуатації активу. Однак тільки необхідна інформація має бути доступна або надана під час виконання заходів, пов’язаних зі стадією будівництва, для переходу на стадію експлуатації та навпаки. Така інформація може втрачатися при неналежному поводженні і зберіганні, на що слід звертати особливу увагу.

Отже, сучасні стандарти повинні містити опис та закріпити статус інформаційної моделі. Реалізація впровадження BIM на державному рівні, спеціальні програми нормативної адаптації BIM-комплексів та розвитку власного спеціалізованого програмного забезпечення є наступними кроками, перспективними щодо розвитку BIM в Україні.

В 2019 році громадськими ініціативами була підготовлена **Концепція впровадження BIM в Україні**. Концепція зокрема постулює поступовість підходів впровадження:

- 1 етап** – добровільне застосування в цілому;
- 2 етап** – обов’язкове для держзамовлення за певним параметром;
- 3 етап** – обов’язкове для будь-якого держзамовлення;
- 4 етап** – обов’язкове для будь-якого будівництва (етап який поки не втілений в жодній країні світу).

В концепції реалістично запропоновано, що вимоги для обов’язкового використання BIM на об’єктах державного замовлення і застосування їх для будівництва мають бути впроваджені в період з 2022 до 2025 року. Наступні кроки не можуть допоки мати чітких термінів. Тут доціль-

ною вбачається диверсифікація щодо складності і відповідальності об'єктів при впровадженні BIM. Врахування цілей сталого розвитку і створення умов та механізмів для переходу до управління життєвим циклом проголошено одними із ключових задач.

Концепції впровадження BIM в Україні. За прикладом провідних держав, у 2019 році було створено UA BIM Task Group, що покликана об'єднати і врахувати у впровадженні BIM інтереси як держави, так і бізнесу та профільних громадських організацій. Такі групи вже довели свою ефективність в інших країнах: EU BIM Task Group, UK BIM Alliance у Великій Британії, Planen-Bauen 4.0. GmbH у Німеччині тощо [3.12].

Державне регулювання дозволить вийти за межі однієї організації та взаємодіяти учасникам на всіх етапах життєвого циклу об'єкту. Єдиний підхід до методів обробки накопиченої інформації можливий переважно завдяки держрегулюванню, оскільки створює умови для збільшення точності прогнозування кінцевих показників проекту (вартість, експлуатаційні витрати, якісні показники) і надає можливість оптимізації інвестиційних коштів та збільшення ефективності будівельної галузі в цілому.

Для повного впровадження BIM мають бути підготовлені не тільки документи, але й посібники з їхнього застосування. Також мають бути імplementовані міжнародні стандарти з функціонування інформаційного моделювання будівель, внесені зміни до [3.6] та до [3.5], а також скореговані національні стандарти, які визначають вимоги до проектної документації та проведення експертизи проектів, відповідні Постанови КМУ, накази Мінрегіону щодо характеристик проектних і експертних кваліфікацій тощо [3.1, 3.8].

Можна очікувати, що вже у недалекому майбутньому умови вільного конкурентного середовища і зближення з більш розвиненим ринком ЄС неминуче призведуть до переоснащення основних виробничих фондів і створять в Україні сприятливі умови для масового впровадження BIM. Насамперед інформаційні моделі будівель увійдуть в сегмент промислового, комерційного та житлового будівництва, де несучий каркас тісно взаємодіє з іншими підсистемами будівлі. Прикладом успішного вітчизняного використання BIM для стадії монтажу як елемента життєвого циклу може бути реконструкція БЦ Platforma (м. Київ, 2020 рік) із добудовою існуючого сталевго каркаса з 5 та 7 поверхів до 11-12 поверхів. Зокрема застосування BIM дозволило одночасно виконувати зведення надбудови і підсилення сталевго каркаса, а також врахувати стиснені умови і оптимізувати потоковість монтажу – робота здійснювалася одним краном (рис. 3.17).

Концепція BIM виходить далеко за межі проектування і ефективно застосовується для експлуатації та діагностики будівель. Вона є інформаційним кластером, що наповнюється відомостями щодо взаємодії між системами будівлі, моделювання їхньої деградації у реальних умовах, даних щодо ергономіки, захисту довкілля під час експлуатації та утилізації. Так утворюється Цифрове Місто. Джерелами наповнення за таких умов виступають автоматизовані системи моніторингу зі стаціонарними датчиками отримання інформації у реальному часі, а також люди, які є кінцевими експлуатантами будівлі та мають датчики у мобільних пристроях.

Неминуча інтеграція BIM з іншими глобальними інформаційними інструментами, зокрема з соціальними мережами. Люди можуть заносити інформацію активно – наприклад, з метою самовираження у спеціальних додатках; і пасивно – наприклад, під час користування GPS, коли реєструється рух людей у будівлі, скупчення тощо [3.14]. Системи моніторингу здатні збирати дані щодо навантажень та впливів на будівлю, її взаємодії з середовищем. BIM-модель дозволяє управляти станом будівлі як цілісного об'єкта з усіма підсистемами та корегувати його, накопичувати якісні та кількісні дані, що формують базу знань та придатні для прийняття рішень під час наступних зведень будівель.



Рис. 3.17. Фасад БЦ Platforma.

Ілюстрація використання BIM протягом управління монтажем і реалізації сталевих каркасів під час реконструкції БЦ Platforma (проект «Укрстальконструкція», УКРІНСТАЛЬКОН ІМ. В.М. ШИМАНОВСЬКОГО, м. Київ, 2020 рік)

Отже, доцільним є проведення комплексної оцінки параметрів будівлі ще на етапі попереднього проектування. Детальний аналіз компонентів життєвого циклу декількох альтернативних варіантів каркасу дає змогу вибрати оптимальний варіант і заощадити значні ресурси. Застосування будівельних інформаційних моделей і автоматизованих методів аналізу дозволяє зменшити і здешевити вартість внесення змін до проекту. Доцільно внести обов'язковість включення інформації щодо життєвого циклу та впливу на довкілля у стандарти по BIM, а також у відповідні типи ДБН щодо різних будівель, у настанови та інші акти щодо розроблення і узгодження проектної документації тощо. Зокрема, необхідно розробити національний додаток до ДСТУ ISO 19650.

Внесення елементів життєвого циклу до критеріїв вибору тендерних пропозицій наперед на державному рівні надасть змогу регулювати екологічність проектів на початковій стадії і підвищити їхню відповідність цілям сталого розвитку.

Детальна інформаційна модель будівлі дозволяє оптимізувати її параметри, виявляє чутливість до змін умов і викриває усі їхні взаємозалежності між собою. Під час спорудження та експлуатації будівлі інформаційна модель у режимі реального часу акумулює історію появи відхилень від належного стану елементів системи та їх усунень. Застосування інтелектуалізованих інструментів виконання робіт та інтеграція з системами доповненої реальності мінімізує різницю між віртуальною та фактичною моделями, дозволяє вчасно виявляти позапланові ситуації та пропонувати шляхи реагування. Накопичений безцінний досвід може бути застосований для планування програми обслуговування та ремонтів, складання моделей деградації елементів систем як для конкретної будівлі, так і для аналогів у наступному. Вочевидь в найближчі роки будуть реалізовуватися паралельно дві стратегії: розвиток спеціалізованого предметно-орієнтованого BIM і універсального, так званого «великого» BIM. Зрештою вони мають стати одним цілим.

Застосування BIM-технології допомагає формувати циркулярну економіку сталого розвитку. Тому держава як ефективний і найбільший замовник має подати приклад і стати тригером змін правил гри у будівельній галузі.

3.3. МІСЦЕ І РОЛЬ НЕСУЧОГО КАРКАСУ В СИСТЕМІ БУДІВЛІ

Метою і результатом архітектури є формування простору для життя і діяльності людини шляхом перетворення матерії. Цей процес втілюється в таких формах, як будівлі, споруди, вулиці, елементи благоустрою тощо. Системи, з якими ми взаємодіємо, підрозділяються на **природні, штучні і змішані** [3.4, 3.15]. Продуктом творчої діяльності людини є створення штучних і змішаних систем. **З технічної точки зору будівля може розглядатися як штучна система з багатокомпонентною ієрархічною структурою, що складається з елементів і взаємозв'язків між ними. В свою чергу різні елементи будівлі залежно від призначення створюють підсистеми на різних рівнях ієрархії** [3.4].

Будівля – це середовище людського існування та дій. **Функція будівлі** – це міра її корисності для забезпечення свого основного призначення. Будівля, по суті, виступає **вузловим елементом міста – як перетворювач зовнішніх сигналів матерії, інформації, ресурсів, продукції, людських потоків в нескінченному полі енергії** [3.20] (рис. 3.18).

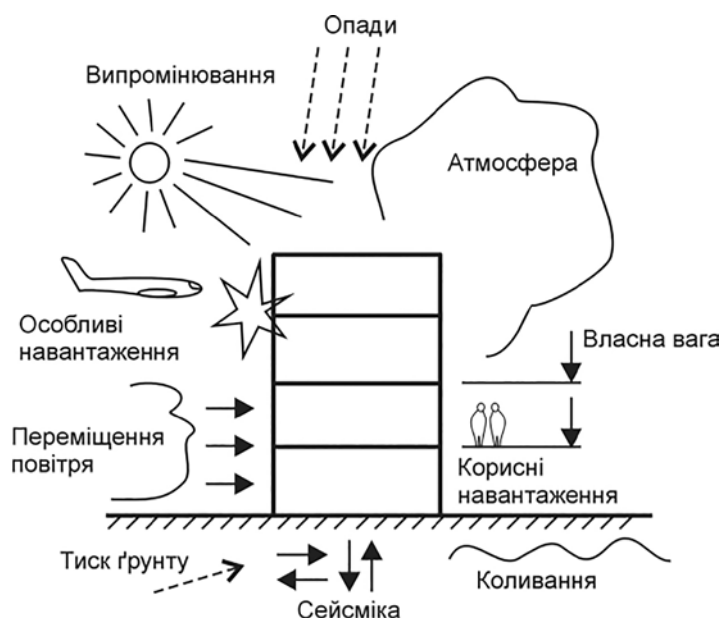


Рис. 3.18. Будівля як штучна система та фактори, що на неї впливають.

Архітектурна форма створює зовнішню оболонку, що може мати захисну або декоративну функцію. Архітектурна оболонка підтримується конструктивною формою, яка безпосередньо сприймає зовнішні дії. **Конструктивна форма** являє собою схему конструкції з обґрунтовано обраними розмірами, несучою системою, технологічними особливостями виготовлення, монтажу та експлуатації [3.4].

Абрис архітектурної і конструктивної форми будівлі утворюють зовнішній контур будівлі. Кожна матеріальна форма, кожен об'єкт, який ми хочемо створити, піддається впливам природного та штучного середовищ (нарколишнього і внутрішнього). Несуча система є ретранслятором зовнішніх силових дій середовища. Такий ретранслятор нейтралізує, відводить зовнішні сили дії у безпечних напрямках таким чином, щоб не пошкодити форму і простір. Цей механізм забезпечується конструктивною формою об'єкта і різниться в природних і штучних системах (рис. 3.19) [3.9].

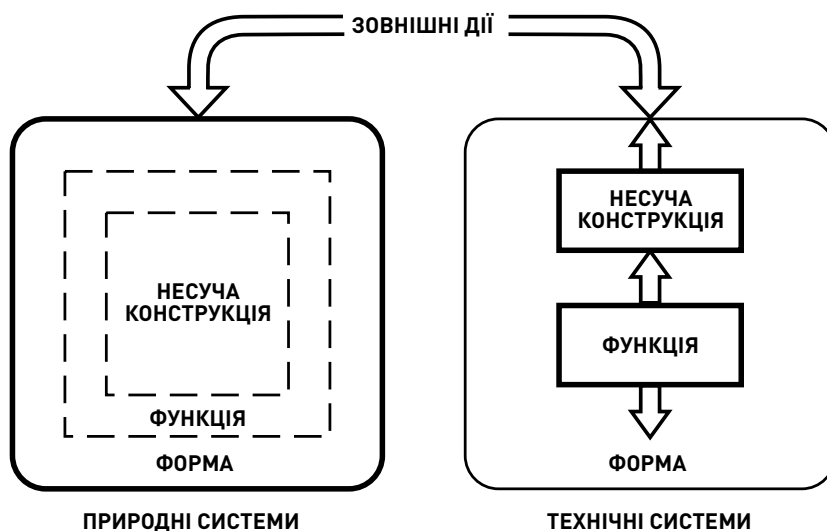


Рис. 3.19. Дії на зовнішню форму будівлі та її захист за допомогою несучої конструкції

У природних системах – несуча конструкція невід’ємна від функції і форми об’єкта. У штучних системах – несучу конструкцію обумовлює функція. Конструкція існує окремо від функції у формі об’єкта. Зовнішній контур окреслює об’єм будівлі (рис. 3.20). Функціональний об’єм (простір) визначають внутрішні контури форми і функціональне призначення будівлі. Для підтримки функції вводяться також допоміжні конструкції: сходи, площадки, кріплення обладнання тощо.

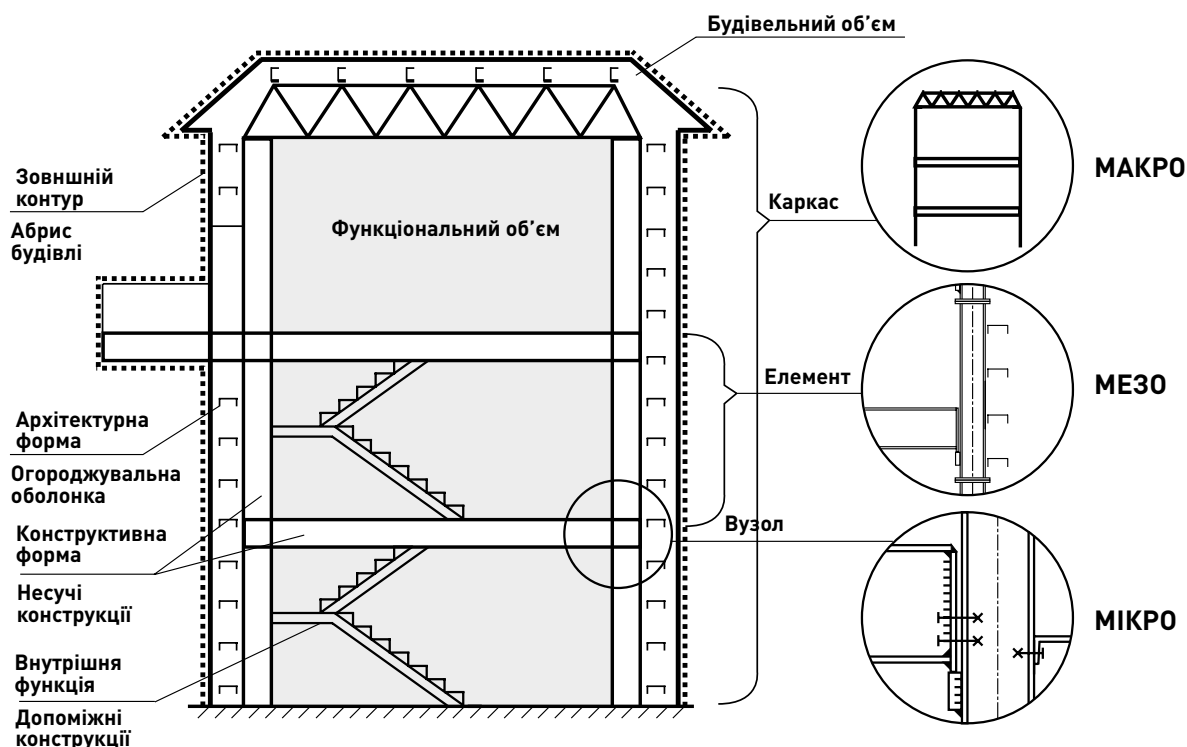


Рис. 3.20. Підсистеми будівлі і рівні ієрархії конструктивної форми. Сірим кольором показаний функціональний об’єм будівлі

Конструктивна форма утворює основні три рівні ієрархії, які природним чином впливають з процесу проектування. На макрорівні може розглядатися цілісна система несучої конструкції будівлі, на мезорівні виділяють окремі компоненти – несучі елементи, а на мікрорівні відстежується проектування вузлів і з’єднань, деталей, вибір матеріалів.

Взаємодія елементів всередині несучої системи з архітектурної оболонкою здійснюється через вузли, які поєднують елементи будівлі як системи, забезпечують передачу потоків зусиль і виконання єдиної функції. На кожному з цих етапів форма взаємодії з простором і забезпечує можливість досягнення того чи іншого ефекту, проектною характеристикою.

Несуча система є основним інструментом матеріального оформлення середовища і становить базис для створення форми і простору. Вона виконує не тільки механічні, але і технологічні, естетичні, психологічні, фізіологічні та інші функції. Форма несучої конструкції має практично необмежені можливості для інтерпретації. Однак вона, а разом з нею і воля автора проекту, підпорядковані законам механіки та можливостям матеріалів. Фактично несуча конструкція втілює в собі прагнення і результат синергетичного синтезу можливостей форми, матеріалів і діючих зусиль. Насправді, протиставити збільшенню ентропії ми можемо тільки міцність матеріалів і наш конструкторський геній [3.4]. **Несуча конструкція як система** здійснює безперервну взаємодію з зовнішнім навколишнім середовищем (рис. 3.21). При цьому дії, які зовнішнє середовище передає на конструкцію, можуть бути принципово різної природи: **силовими і несиловими**.

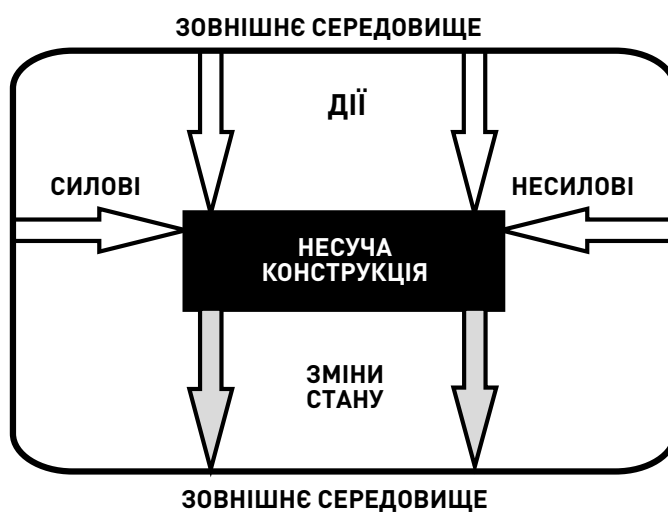


Рис. 3.21. Силкові та несилкові дії на несучу конструкцію

Силкові дії, або вимушені деформації, які призводять до виникнення в конструкції внутрішніх зусиль, розглядаються як **навантаження**. **Несилкові дії**, які здебільшого прямо не призводять до виникнення внутрішніх зусиль, але викликають зміну стану конструкції, називаються **впливами** (табл. 3.2). На виході у несучій конструкції як системі можна спостерігати різні зміни її стану. Силкові дії викликають появу переміщень і деформацій, в той час як несилкові – реєстровані у змінах кольору, властивостей матеріалів, міжмолекулярних зв'язків тощо.

Табл.3.2.

Зовнішні дії на сталеві конструкції впродовж життєвого циклу

Силкові дії – навантаження	Несилкові дії – впливи
<ul style="list-style-type: none"> ▪ власна вага ▪ корисні і технологічні навантаження ▪ атмосферні навантаження: сніг, вітер тощо ▪ аварії, вибухи, удари ▪ температурні деформації ▪ сейсміка, деформації підстави ▪ вібрації, динаміка, абразивний знос тощо 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ вологість ▪ агресивність середовища ▪ хімічні речовини ▪ радіація ▪ біологічні фактори ▪ блукаючі струми ▪ статична електрика

Несуча конструкція як система має точки сприйняття вхідних сигналів (навантажень і впливів) і точки виходу – місця, де ми можемо спостерігати відгук системи на дію. Навантаження і впливи в точках виходу нейтралізуються або передаються іншим системам. Під час поглинання системою зовнішніх сигналів без передачі іншим системам відбувається її енергонасичення, що також реєструється на точках виходу. Зазвичай, якщо говорити про силові дії на будівлі, точками виходу є опори і фундаменти, в яких відбувається заземлення зусиль, що приходять від каркаса. Таким чином, несуча будівельна система повинна переорієнтувати силовий потік і направити його в основу.

В результаті робота конструкції відбувається в трьох основних фазах:

1. сприйняття навантажень;
2. переорієнтація навантажень у внутрішні силові потоки;
3. спрямування навантажень в опори.

Конструктивні механізми. В несучих каркасах з точки зору напруженого стану і способу дії заведено виділяти чотири [3.4, 3.9] основних **конструктивних механізми сприйняття** і заземлення зовнішніх дій в опори (**рис. 3.19, табл. 3.3**):

1. Шляхом **активізації форми** конструкції. Несуча система під дією зовнішнього навантаження адаптується до зовнішніх дій. Таким чином, відбувається робота висячих ниток та інших подібних конструкцій. Конструкція пролітної нитки приймає форму так званої «ланцюгової лінії», яка відповідає лініям головних розтягувальних напружень в балковій аналогії (**рис. 3.22 п. 1, п. 2**). У активних за формою конструкціях виникає одновісний або двовісний напружений стан – розтяг.

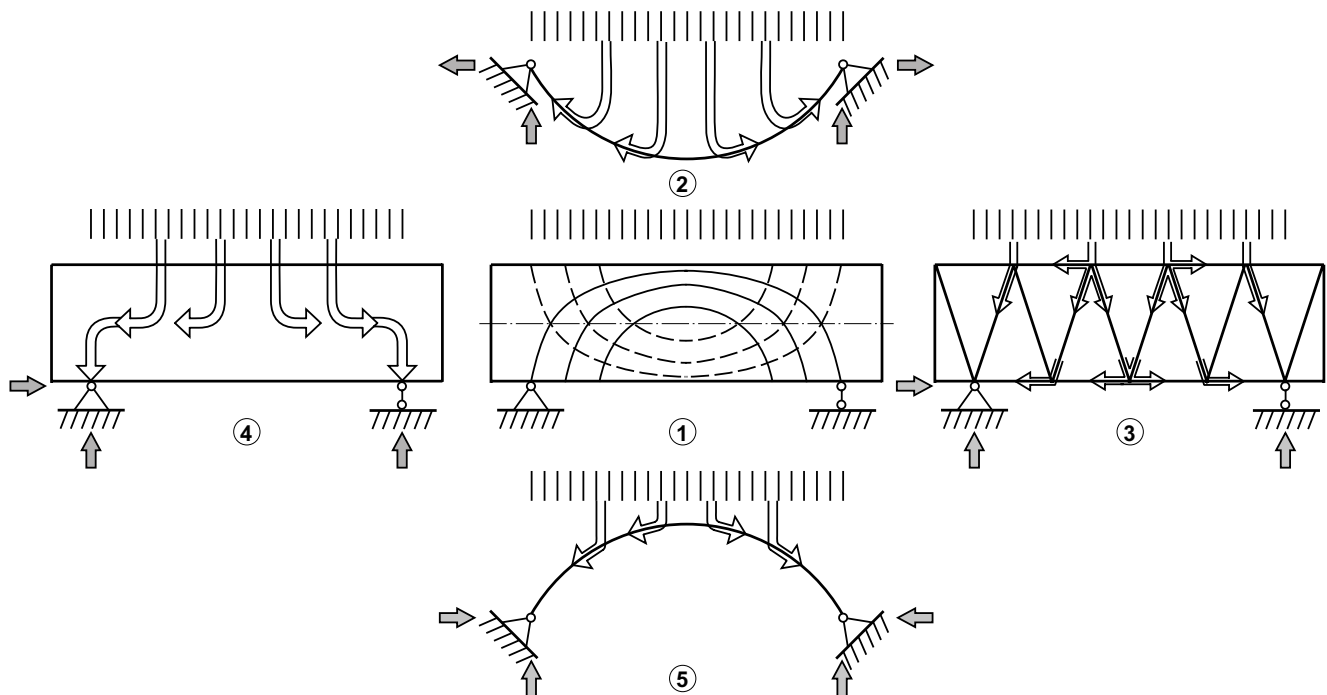


Рис. 3.22. Конструктивні механізми сприйняття і заземлення силових дій: **1** – лінії головних напружень в балковій аналогії (суцільні лінії – стиск, штрихові – розтяг); **2** – гнучка нитка; **3** – ферма; **4** – балка; **5** – арка. Темними стрілками показані реакції опор.

Механізми взаємодії несучих систем із зовнішнім силовим потоком

Активність	Дія	Превалюючий напружений стан	Конструкції
Форма	Адаптація до сил (рис. 3.20 п. 2)	Поздовжній розтяг	Гнучка нитка, сфера з внутрішнім тиском
Вектор	Розклад сил всередині системи (рис. 3.20 п. 3)	Поздовжній розтяг, стиск	Стержневі, решітчасті, пласкі і просторові ферми, структури
Переріз	Опір силам (рис. 3.20 п. 4)	Згинальні моменти і поперечні сили	Балки, рами, площинні конструкції
Поверхня	Розсіювання сил (рис. 3.20 п. 5)	Згинальні моменти, поздовжні і поперечні сили	Арки, складки, склепіння, випуклі оболонки

2. Шляхом **векторного розкладання зусиль** у вузлах решітчастих систем, як-от ферми і структури. Навантаження направляються в опори шляхом чергування стиснутих і розтягнутих стержнів (рис. 3.22 п. 3). У механізмі ферми робота верхнього пояса також нагадує обриси ліній головних стискаючих напружень в балочній аналогії (рис. 3.22 п. 1). В елементах конструкцій, активних по вектору, виникає різнознаковий одновісний напружений стан – розтяг або стиск.

3. Шляхом **активізації роботи перерізів**. Якщо форма пролітної конструкції не збігається з лінією тиску, вона змушена працювати на вигин, проводячи зовнішні сили до заземлення всім перерізом (рис. 3.22 п. 4). До таких елементів відносяться, наприклад, балки і рами. При вигині нормальні напруження розподіляються по перерізу нерівномірно. Криволінійні лінії головних стискаючих і розтягуючих напружень в балці (рис. 3.22 п. 1) імітують стиснуті арки і розтягнуті нитки. Завдяки цьому в перетині створюється пара з двох сил і внутрішній момент, який обумовлює жорсткість балки на вигин. Крім згинальних моментів в активних по перерізу конструкціях утворюються поперечні зусилля, а в конструкціях рамного типу і поздовжні зусилля.

4. Шляхом **активізації поверхні**, яка намагається уникнути прямого конфлікту з зовнішнім силовим потоком, розсікаючи і розсіюючи його, плавно направляючи в опори. Так працюють, зокрема, аронні і просторові конструкції типу оболонок (рис. 3.22 п. 5). Завдяки їхній кривині виникає розпір, який врівноважує поперечний вигин. У конструкціях, активних по поверхні, виникають усі три компонента напруженого стану – поздовжні, поперечні зусилля і крутні моменти.

Табл.3.4.

Систематизація механізмів забезпечення функціоналу будівель

	Універсалізація	Якісні механізми	Спеціалізація
Форма		↑	↓
Вектор		Функція	Поверхня
		↓	Переріз
	Диверсифікація	Кількісні механізми	Концентрація

Загалом кажучи, конструктивні механізми побудови несучих каркасів відповідають загальній системотехніці функціональності (табл. 3.4). Якісні механізми функції – універсалізація і спеціалізація – відповідають принципам форми і поверхні; а кількісні механізми – диверсифікація і концентрація – відповідають принципам вектору і перерізу. Отже, розуміння принципів формоутворення несучих каркасів дозволяє розглянути класифікацію їхніх конструктивних ознак, насамперед з позицій обслуговування основної функції будівлі.

3.4. ВИДИ І СКЛАДОВІ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ КОМЕРЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Конструктивні ознаки і класифікація. Можна виділити наступні основні класифікаційні ознаки каркасів:

1. Тип будівлі.
2. Конструктивна і розрахункова схема.
3. Матеріал.

Вибір системи каркаса, розміщення колон і балок в плані, розташування в'язей жорсткості, в першу чергу, залежать від поверховості та архітектурно-планувального рішення будівлі. Вирішення кроку колон зазвичай проводиться на основі наступних міркувань:

- архітектурні вподобання;
- форма і розміри майданчика;
- вартість конструкцій;
- вартість монтажу;
- складність сполучення із другорядними елементами, огороженням та опорядженням;
- витрати для забезпечення усіх нормативних вимог (антикорозійний захист, пожежна безпека тощо).

Як зазначено вище, в даній публікації для аналізу виокремлено найбільш економічно значущу комерційну нерухомість, без урахування змішаних типів – охоплюючи готелі, офісні і адміністративні будівлі, паркінги та торговельні і виставкові центри. Визначена типологія будівель комерційного призначення має зазвичай характерні архітектурні і конструктивні ознаки:

- регулярний модуль колон;
- збільшені прольоти;
- щільність вертикальних і горизонтальних комунікацій;
- вільний простір для постійних перепланувань і переоснащень.

Класифікаційний аналіз наведених видів нерухомості та приклади наведені у таблиці 3.5.

Табл.3.5.

Вертикальне і горизонтальне типове планування видів нерухомості

Приклад	Вид та параметри планування
	<p>Готелі</p> <p>Прольоти: 5-12 м Висота поверхів: 3-5 м</p>

Приклад	Вид та параметри планування
	<p>Офісні і адміністративні будівлі</p> <p>Прольоти: 8-14 м Висота поверхів: 3,3-5 м</p>
	<p>Паркінги</p> <p>Прольоти: 7,5-17 м Висота поверхів: 2,5-3,3 м</p>
	<p>Торговельні, логістичні і виставкові центри</p> <p>Прольоти: 9-24 м Висота поверхів: 4,5-7 м</p>

Отже, базовим елементом більшості каркасів комерційних будівель може бути виділена **конструктивна спільність – це регулярна чарунка**. Характерними основними організаційними ознаками регулярної чарунки можна визначити наступні:

- вільна квадратна або прямокутна форма в плані;
- базис будується на 4 колонах;
- площинність поверхні перекриття;
- переважно розрізна в'язева схема;
- необхідність горизонтального проходження інженерних комунікацій;
- ортогональні системи 1-4 рівнів конструктивної ієрархії.

В останні роки були розроблені найрізноманітніші несучі конструкції великопрольотних міжповерхових перекриттів для будівель із застосуванням як сталі, так і залізобетону або композитних систем. Деякі, найбільш ефективні і поширені з них, наведені у таблиці 3.6. З таблиці можна побачити, що типологія і діапазони застосування сучасних сталевих систем перекриттів набагато більші, ніж залізобетонних. Оскільки збільшення прольоту в залізобетонних конструкціях призводить до значного зросту будівельної висоти і ваги елементів, найбільші прольоти міжповерхових перекриттів і покриттів можуть бути виконані тільки в сталевих конструкціях. Сталеві конструкції мають також переваги завдяки архітектурній виразності, швидкості монтажу, можливості пропуску комунікацій у перфораціях, компактності перерізів та улаштування на чарунку майже будь-яких розмірів, тобто можуть реалізувати концепцію вільного планування.

Табл.3.6.

Порівняльні орієнтовні ефективні діапазони застосування різних типів перекриттів залежно від прольоту [3.4]

Тип перекриття	Проліт, м							
	6	8	10	12	14	16	18	20
Залізобетонна монолітна плита з капітелями колон	█							
Сталеві балки пониженої висоти з композитною плитою	█	█						
Сталеві балки пониженої висоти зі збірними плитами	█	█						
Залізобетонне монолітне балочно-ребристе			█					
Залізобетонне збірне з попереднім напруженням				█				
Сталеві композитні балки з композитною плитою	█	█	█	█				
Сталеві перфоровані балки, композитні з плитою				█	█	█		
Сталеві ферми, композитні з плитою							█	█

Раціональність використання кожної конструктивної системи визначається результатами розгорнутого техніко-економічного аналізу з урахуванням конструктивних, технологічних і архітектурних вимог в кожному конкретному випадку. Вибір оптимального вирішення чарунки є актуальною задачею на етапі варіантного і пошукового проектування, коли концепція будівлі вимагає попередньої зваженої оцінки, про що говорилося вище.

Як показують дослідження, саме горизонтальні, а не вертикальні компоненти структурних каркасів відповідають в життєвому циклі за найбільшу частку викидів у навколишнє середовище [3.21]. Матеріали, що використовуються у перекриттях, залежать не стільки від висоти будівлі при вертикальному компонуванні, а переважно від її конструктивних прольотів при горизонтальному компонуванні. Тому оптимізація горизонтальних конструкцій, які багаторазово повторюються на кожному поверсі, може допомогти суттєво скоротити кількість необхідних конструкційних матеріалів та зменшити наслідки їхнього застосування для навколишнього середовища [3.21].

Перевагами **балкових систем** є висока заводська готовність елементів і зручність, а відповідно і швидкість монтажу. Оскільки в габариті **суцільностінчатих прокатних** балок ускладнений пропуск комунікацій, в них робляться поодинокі перфорації там, де це необхідно і можливо.

Також в сучасному будівництві знайшли застосування вдосконалені системи перекриттів з використанням балок. Вони дозволяють зменшити будівельний габарит конструкцій шляхом провадження **композитних і понижених** рішень (див. нижче). Використання **перфорованих** балок зменшує питому частку стінки в перерізі з одночасним забезпеченням пропуску комунікацій. Крім того, в перекриттях і покриттях широке застосування знаходять ефективні **зварні балки змінного перерізу**, балки з **гофрованою і гнучкою стінкою**, а також бісталеві, в яких лички виготовляються зі сталі більшої міцності, ніж стінка. Вдосконалені ефективні балки, зокрема що встановлюються для покриттів, дозволяють збільшити проліт до 18-24 м, тоді як стандартні системи обмежені 15-18 м залежно від існуючих навантажень і компоновальної схеми.

В цій книзі з наочною метою розглядаються основні застосовні системи балкових перекриттів. Рішення зі збірними плитами накладають суттєві обмеження на компоновання чарунк через їхню дискретність, а тому в даній роботі не досліджуються.

Облаштування плит перекриттів по профільованому настилу має ряд переваг, серед яких основними можна назвати технологічність і швидкість монтажу. Профільований настил в плиті виступає в ролі незнімної опалубки, що завдяки значній міцності і жорсткості за умови розміру прольотів до 3-3,5 м не вимагає підведення тимчасових стійок під час бетонування.

Композитними заведено називати конструкції, в яких зовнішнє навантаження спільно сприймають елементи різного типу і призначення.

Якщо плита перекриття просто спирається на балки, то вони окремо сприймають і транслюють силовий потік – від плити на балку і далі – на колони або головні балки. Для спільної роботи плити і балки по всій довжині верхнього пояса останньої облаштовують анкери (рис. 3.23). При цьому плита може бути як композитна, так і ні. Анкери приварюють до верхнього поясу балки, пригвинчують самонарізними гвинтами, або пристрілюють цвяхами за допомогою піротехнічних пістолетів. Найбільшого поширення набув перший спосіб установки анкерів, тому що він максимально технологічний, надійний і у разі потреби може бути здійснений на заводі. Щоб не прорізати отвори в профільованому настилі, застосовується також приварювання анкерів спеціальною машиною на будівельній ділянці безпосередньо через настил. З огляду на нерозривність примикання плити до верхнього поясу балки, його поверхня не потребує антикорозійного і вогнезахисту.



Рис. 3.23. Приклади композитних перекриттів:
а) аеропорт «Бориспіль», термінал Д; **б)** м. Київ, ТРК Dream Town

У будівлях зі сталевими балками і залізобетонними перекриттями по профільованому настилу можуть бути організовані як композитні плити, в яких профільований настил працює

спільно з бетоном, так і композитні балки, які працюють спільно з плитою. Крім того, зазначені рішення можуть бути об'єднані між собою, забезпечуючи ще більшу конструктивну ефективність. Перевагами композитних вирішень є висока швидкість будівництва, зниження металоемності каркасу, великі прольоти і невеликі перерізи, збільшення жорсткості, спільної роботи, живучості; підвищена вогнестійкість, технологічність та інтеграція комунікацій.

Спільна робота з плитою значно підвищує несучу здатність і жорсткість балок, що дозволяє збільшити довжину прольоту або використовувати менші перерізи. За умови раціонального проектування співвідношення прольоту до висоти композитних балок знаходиться в діапазоні значень 22-25, що порівняно зі звичайними балочними перекриттями дозволяє зменшити будівельну висоту на 25-30% і знизити витрату сталі на 30-40% (рис. 3.24).

Перфоровані балки. Оскільки стінка в двотавровій балці вносить набагато менший внесок в геометричні характеристики, ніж полочки, в ній можуть бути облаштовані регулярні отвори – перфорації. Це дозволяє організувати пропуск інженерних комунікацій в габаритах перекриття і зменшити вагу балки без істотної втрати жорсткості і несучої здатності. Раціональне використання загальної будівельної висоти перекриття шляхом пропуску комунікацій дає можливість збільшити висоту самих балок, і, відповідно, максимально можливий проліт.

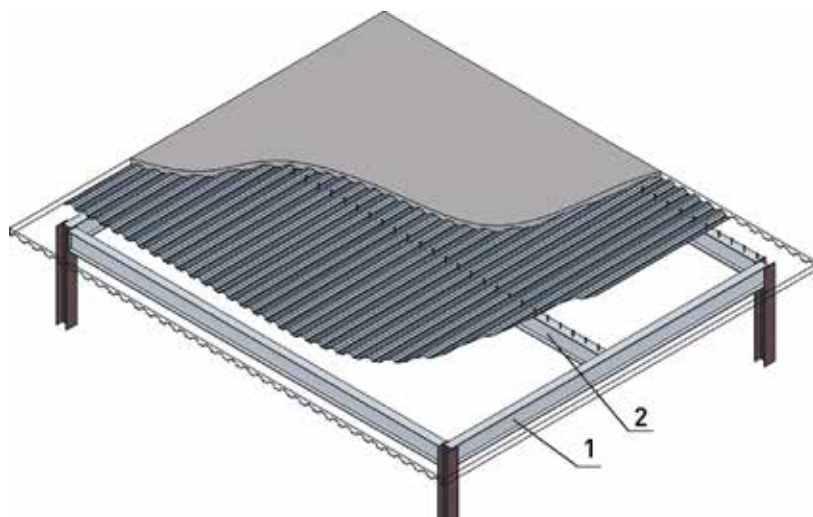


Рис. 3.24. Безпрогонна компоновальна схема балочного композитного перекриття при різнобічній чарунці; проліт головних балок **(1)** – 7,5 м, проліт другорядних балок **(2)** – 9 м; плита по профнастилу виступає горизонтальним диском жорсткості

Найбільш ефективним є використання перфорованих елементів в перекриттях великих прольотів з помірними навантаженнями, де вони виступають в якості головних або другорядних балок. За способом організації перфорації розрізняють балки з **розпущених двотаврів і листів** та балки з **вирізнаними отворами**. Одним з варіантів виготовлення перфорованих балок є використання в якості основи існуючих прокатних профілів. При цьому балка «розпускається» по стінці зигзагоподібним або хвилеподібним різом. Потім два півперерізи балки поділяються, зміщуються і потім зварюються разом знову для отримання більш високого перерізу (див. рис. 3.25). Оскільки маса сталі при цьому не змінюється, відносні показники профілю зростають. Для підвищення конструкційної ефективності верхні і нижні частини елемента можуть бути виготовлені з різних прокатних двотаврів та інших профілів. Це дозволяє формувати асиметричні перерізи, наприклад, для забезпечення стійкості верхньої стиснутої полиці.

Балки, складені з листів, також можуть бути запроектовані з вирізнаними отворами. При цьому розрізняють два способи їхнього виготовлення. Перший – коли стінка зварюється з двох «зубчастих» півперерізів, вирізнаних з листа (як у варіанті прокатних профілів, що розглянутий

вище). Другий варіант – коли отвори прорізаються в суцільній стінці або у готовому профілі. Такий варіант застосовують, коли комунікації, що проходять в одному рівні з балкою, небагато, і вони чітко локалізовані. Також перфорації для пропуску мереж в габариті перекриття можуть бути прорізані у прокатних профілях.

Балки з частими перфораціями працюють як безрозкісні ферми Виренделя з жорсткими вузлами, в той час як у балках з рідко вирізаними отворами отвори враховують як ослаблення перерізу. Залежно від потреб вирізані отвори можуть мати круглу або подовжену, овальну форму. Круглі, рівномірно розташовані отвори в перфорованих балках дуже зручні для розподілу трубчастих рукавів вентиляційних каналів в будівлях, що мають велику кількість інженерних комунікацій. Подовжені отвори для прямокутних вентиляційних каналів можуть розміщуватися ближче до середньої частини прольоту, де поперечні зусилля незначні. Використання квадратних або прямокутних вирізів в стінках балок із прямими кутами без заокруглень вкрай небажане, тому що це створює небезпечні концентратори напружень і вимагає постановки додаткових елементів жорсткості. Вертикальний діаметральний розмір отворів має займати приблизно 0,5-0,8 частину висоти балки.



Рис. 3.25. Перфоровані балки з круглими і подовженими отворами в будівлі міської ради м. Бірмінгем та у паркінгу вільного планування (Велика Британія)

Перфоровані балки також можуть бути запроектовані як композитні, з залізобетонною плитою по профільованому настилу і зі спеціальними анкерними упорами (рис. 3.26).

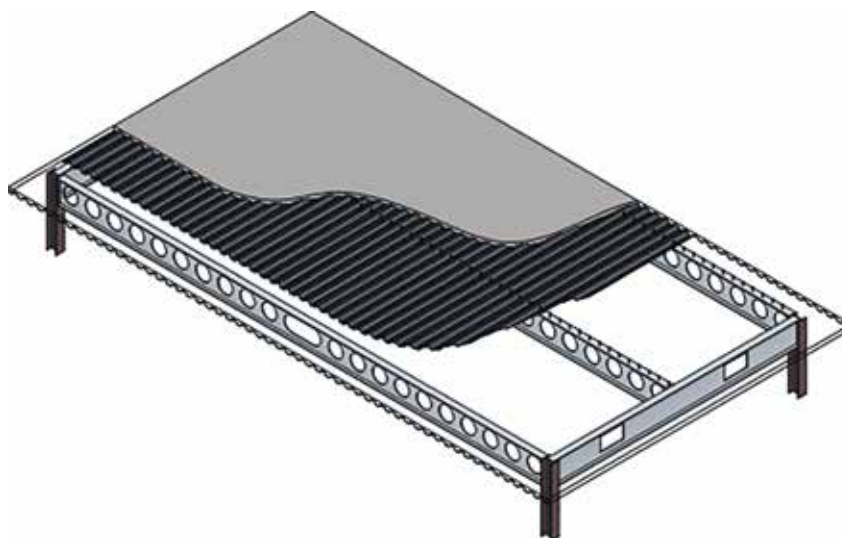


Рис. 3.26. Безпрогонна компонувальна схема композитного перекриття з перфорованими балками при різнобічній чарунці, плита по профнастилу виступає горизонтальним диском жорсткості

Балкові перекриття пониженої висоти. У випадках, коли максимальна будівельна висота балок сильно обмежена розміром приміщення (наприклад, у разі реконструкції або внаслідок архітектурних вимог), замість звичайних прокатних балок застосовуються перекриття пониженої висоти. Перекриттями пониженої висоти називають прогонові несучі конструкції, в яких всі другорядні елементи – прогони, настил тощо – знаходяться в одному розмірі від основної несучої конструкції.

Такі рішення значно більш трудомісткі у виконанні і більш дорогі, ніж перекриття звичайної висоти, але виправдовують себе під час розрахунку експлуатаційних витрат і вартості огороджувальних конструкцій за рахунок таких переваг:

- пропуск комунікацій;
- економічність;
- фізичні можливості під час реконструкції;
- архітектурні переваги;
- підвищена вогнестійкість;
- економія фасадних матеріалів.

Основними несучими конструкціями перекриттів пониженої висоти виступають сталеві балки з елементами, що забезпечують підхід плити на одному рівні. Зазвичай таким елементом виступає широка нижня полиця, на яку можуть бути встановлені збірні залізобетонні плити або укладений профільований настил (рис. 3.27). Під полицю також може бути підведена опалубка для облаштування монолітних плит.



Рис. 3.27. Ілюстрації перекриттів пониженої висоти із монолітними перекриттями по профнастилу

Найчастіше у перекриттях пониженої висоти у вітчизняній практиці проектування використовуються три основні типи балок (див. рис. 3.28):

1. Прокатний елемент з підвареним до нижньої полицки листом.
2. Зварні нерівнополичкові двотаври, які складаються з листів різної товщини, що дозволяє економічно підібрати раціональний переріз в кожному конкретному випадку.
3. Складений з листів або прокатних елементів коробчастий профіль з широкою нижньою полицею. Облаштовується у разі необхідності збільшити крутильну жорсткість і стійкість поясів балки. Крім того, зварний замкнутий переріз дозволяє дещо полегшити перекриття і поліпшити геометричні характеристики профілю за рахунок двох стінок, коли технологічні можливості збільшення полиць вичерпані.

Для підвищення жорсткості і поліпшення спільної роботи плита перекриття пониженої висоти може бути облаштована нерозрізно. При цьому верхня арматура плити може бути пропущена вище верхнього пояса балки, а нижня – приварена до розвиненої полиці. Також двотаврові і коробчасті профілі можуть виготовлятися з перфораціями для пропуску арматури. Можливі композитні варіанти улаштування балок пониженої висоти: зі спеціальними анкерами і з пропуском армування крізь стінку балки (рис. 3.29).

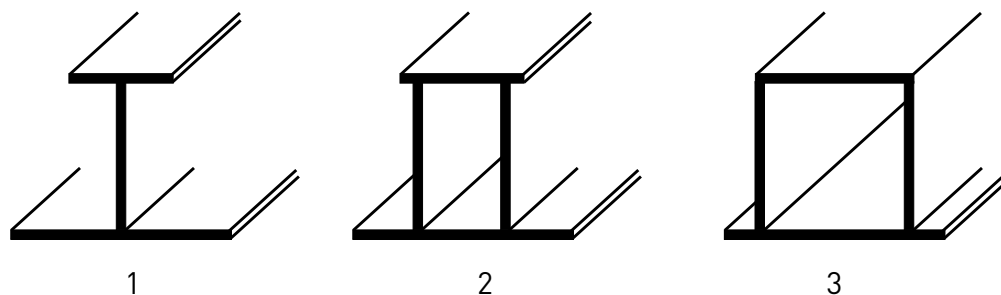


Рис. 3.28. Основні типи балок перекриттів пониженої висоти:

- 1** – з полицею, що приварена до прокатного двотавра;
- 2** – нерівнополичковий зварний двотавр;
- 3** – коробчатий зварний двотавр

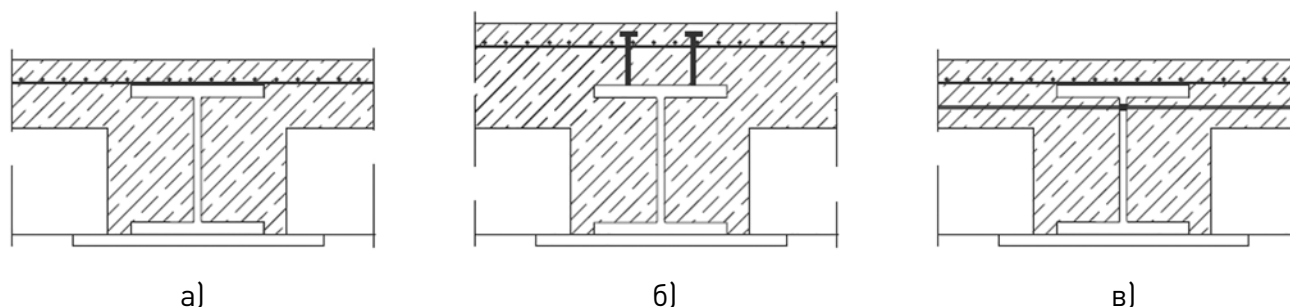


Рис. 3.29. Улаштування монолітної плити по профнастилу в перекриттях пониженої висоти:

- а)** з приваренням сітки до верхньої полиці двотавра;
- б)** з включенням плити у роботу упорними анкерами;
- в)** з пропуском додаткової арматури в стінці балки

Системи пониженої висоти можуть забезпечити проліт перекриття 6-9 м в обох напрямках. Загальна будівельна висота такого перекриття зазвичай становить 250-360 мм залежно від геометричної конфігурації, діючих навантажень, вимог до вогнестійкості, звукоізоляції і частоти власних коливань.

Горизонтальна жорсткість перекриттів у чарунці може забезпечуватися горизонтальними в'язями чи диском залізобетонної монолітної плити у разі композитного рішення (рис. 3.24, 3.26). Під час улаштування настилу зі збірних залізобетонних плит потрібна додаткова постановка горизонтальних в'язей або об'єднання спеціальними зварними деталями і сумісний розрахунок.

Будівлі із ядрами жорсткості і вертикальними в'язевими блоками вважаються як такі, що зміцнені від перекосу, і елементи перекриттів в них можна розраховувати окремо відповідно до ДБН В.2.6:198, що і покладено надалі. Сталеві пальові фундаменти також є перспективним

напрямок для зменшення вуглецевого сліду і підвищення сталості будівництва. Це можливо за рахунок зменшення кількості палів, їхньої ваги та можливості витягти палі після завершення експлуатації будівлі і використати повторно (рис. 3.30).

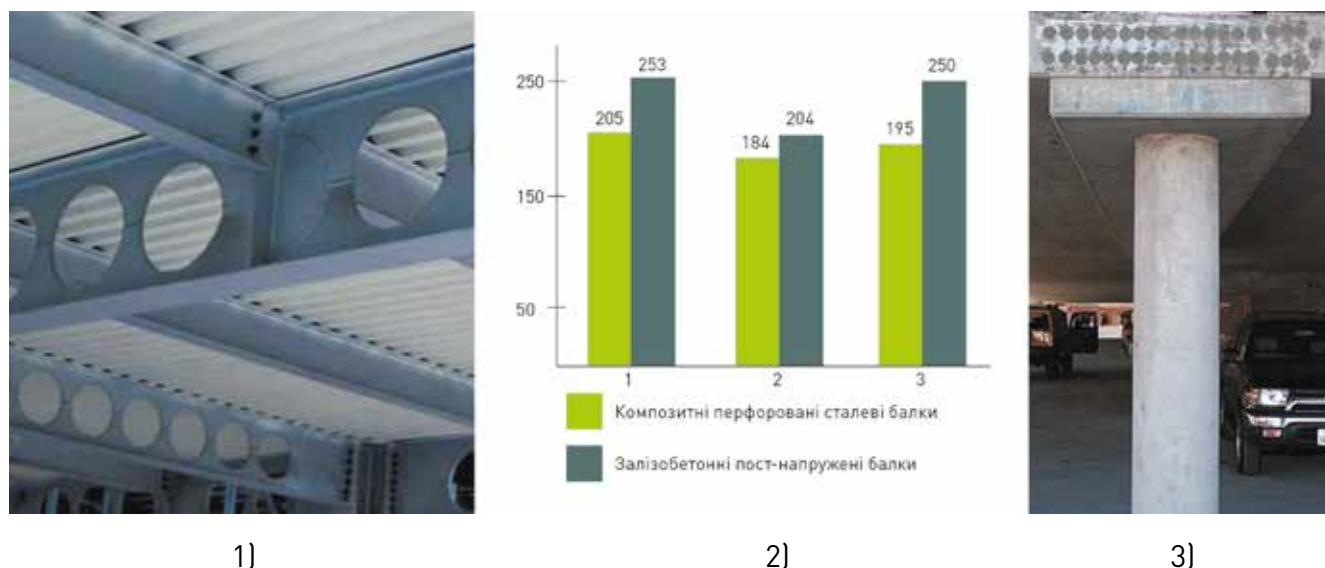


Рис. 3.30. Приклад порівняння приєданого вуглецю під час аналізу життєвого циклу 8-поверхової типової офісної будівлі «Від колиски до могили» для варіантів перфорованих композитних сталевих балок і залізобетонних пост-напружених балок перекриття, кг CO₂/м² [3.47]. **1** – порівняння каркасів. **2** – у разі заміщення цементу. **3** – у разі заміщення бетонних палів у фундаменті сталевими

Горизонтальне компонування конструктивної схеми. Найбільш розповсюджені варіанти компоновки несучих конструкцій у системі перекриттів при рівносторонній або різносторонній базових чарунках приведені на рис.3.31.

Нормальна компоновка дозволяє максимально уніфікувати застосовувані профілі та полегшує облаштування сходинок блоків. Шахова компоновка зі свого боку дозволяє максимально рівномірно розподілити навантаження від перекриття. Схожий ефект може бути досягнутий завдяки перехресній системі, де всі елементи всередині рівносторонньої чарунки мають однакову вантажну площу. В «ускладненій» компоновці, яка може бути застосована при різносторонній чарунці, крім головних та другорядних балок вводяться допоміжні (так звані прогони чи балки настилу), по яких безпосередньо вкладається плита перекриття. Таке рішення допомагає знизити будівельну висоту приміщення у разі примикання конструкцій на одному рівні та ефективно під час великих навантажень.

Якщо прольоти відносно невеликі і за їхньої рахунок забезпечується несуча здатність і жорсткість плит перекриття, ефективною може виявитися спрощена схема компоновки. В ній трансляція навантажень відбувається тільки через один тип балок безпосередньо на колони. Таке рішення у багатьох випадках дозволяє легко розв'язати задачу організації схеми перекриття і колон на архітектурному плані будівлі незалежно від її форми.

Кінцеве компонування чарунки необхідно пов'язувати із її місцем у каркасі, застосуванням зовнішніх огорожувальних конструкцій, проходженням вертикальних і горизонтальних комунікацій тощо.

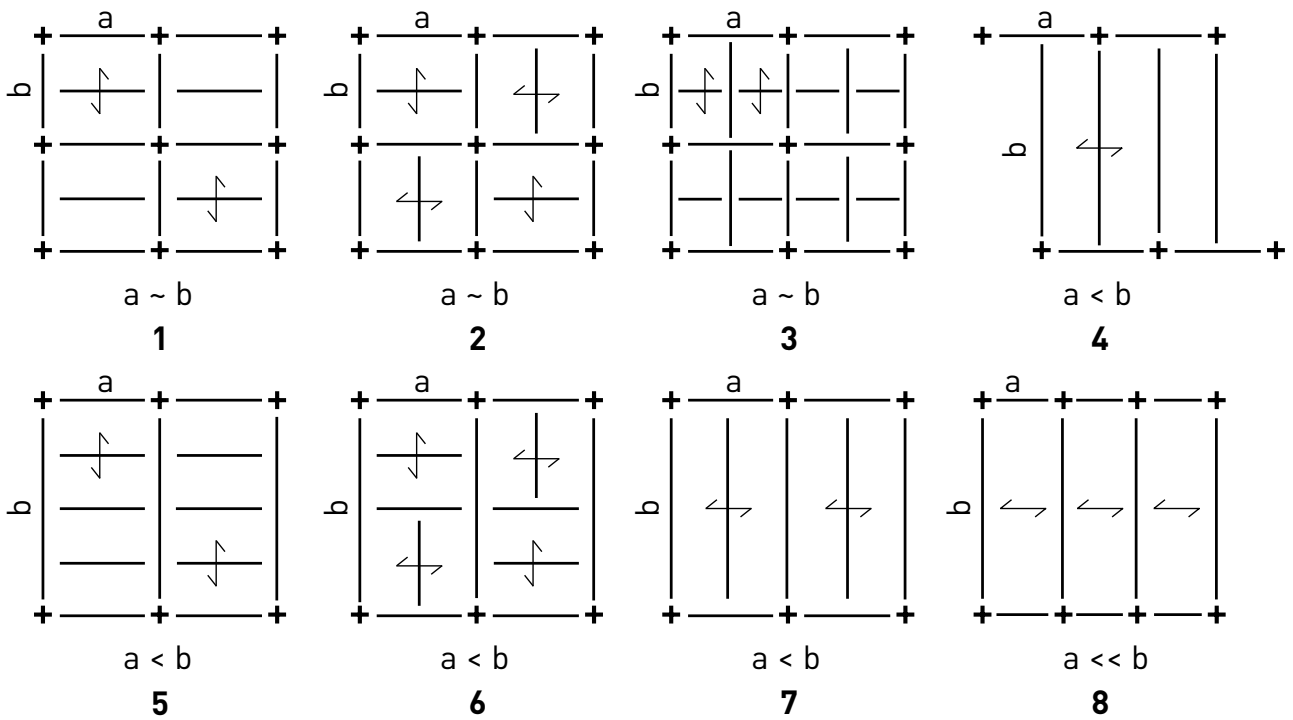


Рис. 3.31. Схеми компонування несучих конструкцій перекриттів при рівносторонній чарунці: **1** – звичайна, **2** – шахова, **3** – перехресна; при різносторонній чарунці: **4** – зі зміщеним кроком колон, **5** – звичайна, **6** – ускладнена, **7** – безпрогонна, **8** – проста. Зигзагом показаний напрям вкладання настилу

Застосування різних схем та їхніх комбінацій дозволяє ефективно перекривати різні контури будівель в плані. В безпрогонному рішенні головні балки вкладаються по короткому прольоту, а другорядні – по довгому із частим кроком (рис. 3.32). Таке рішення може бути ефективним у разі застосування перфорованих балок та композитних перекриттів, а також воно дозволяє розміщувати колони зі зміщенням вздовж осі.

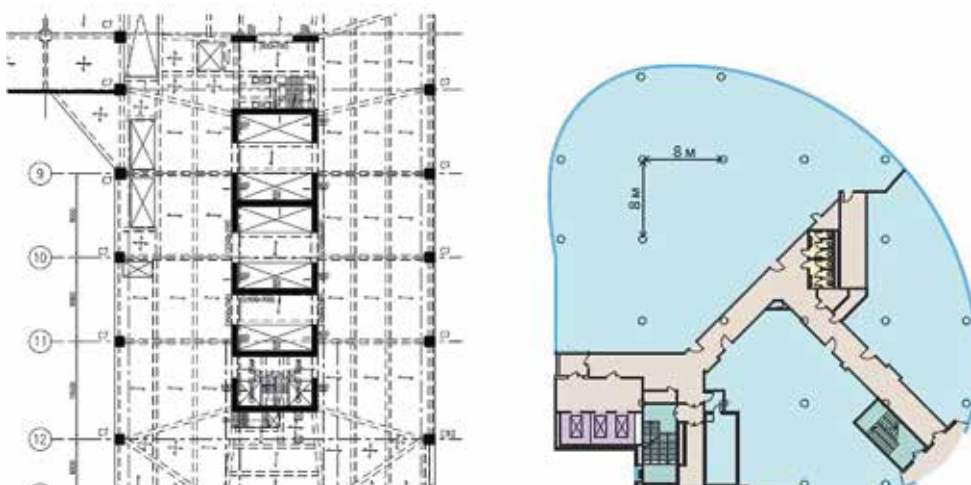


Рис. 3.32. Приклади компоновки чарунки плану БФК Sky Towers (а) та БФК Gulliver (б) у Києві

Схеми компонування несучих конструкцій перекриттів можуть змінюватися у межах кожного поверху, тоді як розміри чарунки зазвичай змінюються лише у межах різних відсіків або

стовбурів будівлі. Зміна кроку колон в межах одного стовбуру не бажана, бо зменшує жорсткість будівлі і змушує до введення додаткових розподільчих балок або ферм – аутригерів. Водночас широкого розповсюдження набула практика поступового «вилуцення» колон з каркаса по висоті, коли план будівлі поступово зменшується від нижніх поверхів до верхніх.

Збільшення розмірів чарунки, сітки колон і, як наслідок, прольотів у будівлях підвищує можливості та гнучкість планування внутрішнього простору. Рішення щодо вибору тої чи іншої компоновальної схеми завжди має прийматися із урахуванням архітектурних вимог і на основі техніко-економічного порівняння декількох (не менше трьох) кардинально різних варіантів. Порівняння має бути комплексним та враховувати також другорядні конструкції, типи вузлів примикання тощо.

Вертикальне компонування конструктивної схеми. Вертикальне компонування будівлі на-самперед залежить від її конструктивної схеми, що зі свого боку базується на висотності будівлі.

Принципово розрізняють **рамні та в'язеві каркаси будівель**. Рамні каркаси мають жорстке сполучення ригелів з колонами, а в'язеві – шарнірне. Крім того, залежно від способу забезпечення вертикальної та горизонтальної жорсткості будівель зі сталевим каркасом розрізняють 4 конструктивні типи (рис. 3.33): I – жорсткі та напівжорсткі рами; II – з в'язевими стовбурами; III – з ядрами жорсткості; IV – трубчасті системи.

Застосовність тієї або іншої системи залежить від поверховості або висоти будівлі. Несучі системи висотних будівель також класифікуються за шляхом заземлення зусилля.

Для звичайних умов загальне приблизне співвідношення компонентів у вартості будівлі складає: сталевий каркас – 10-20%; фундаменти – 5-10%; підлоги та стеля – 5-10%; огороження та опорядження – 15-40%; комунікації – 15-40%.

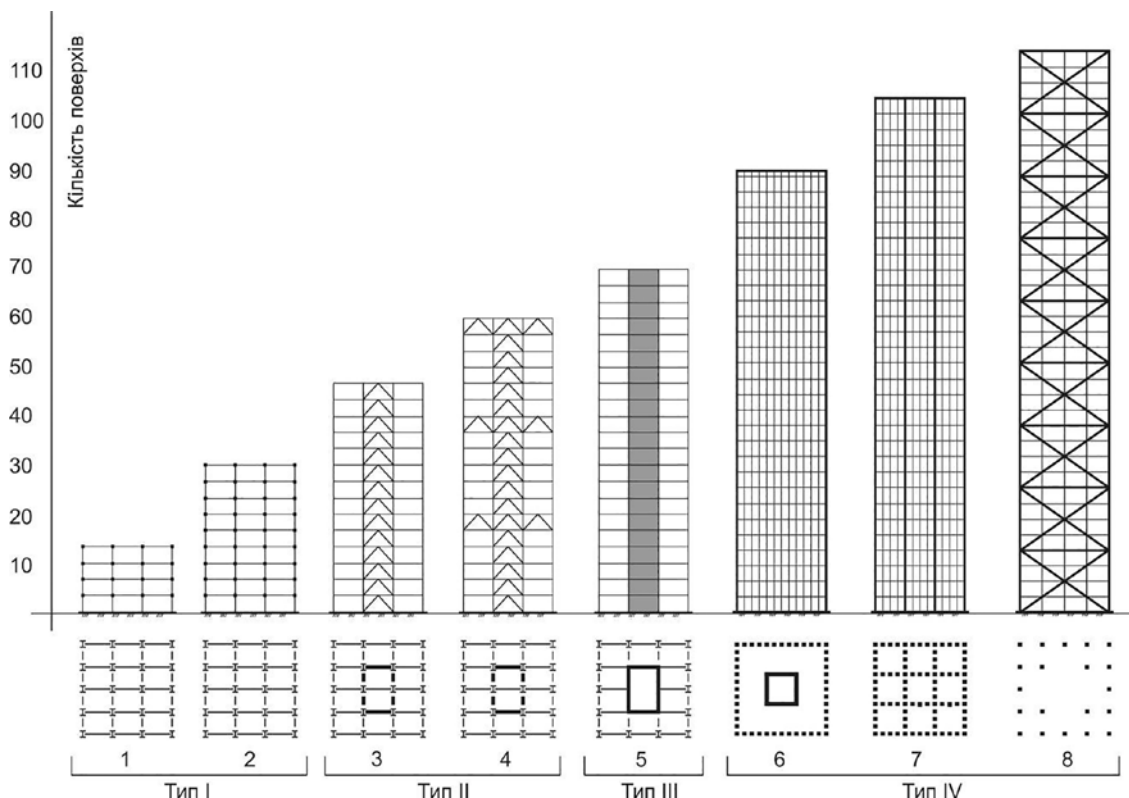


Рис. 3.33. Основні конструктивні схеми каркасів будівель зі сталевим каркасом:

1 – рамний, з напівжорсткими вузлами; **2** – рамний, з жорсткими вузлами; **3** – в'язевий, з вертикальним стовбуром; **4** – в'язевий, з вертикальним стовбуром і аутригерами; **5** – в'язевий, з ядром жорсткості; **6** – зовнішня рамна труба, в'язеві ригелі та ядро жорсткості (труба в трубі); **7** – заблоковані рамні труби; **8** – зовнішня суперферма

Орієнтовні витрати металу на елементи сталевого каркасу багатоповерхових комерційних будівель наступні: на колони йде 40-60% сталі; на ригелі і балки перекриттів – 30-40%; на всі інші елементи, зокрема в'язі, сходи, фахверк, ліфтові шахти – 10-15% металу. Таким чином, 70-90% металу витрачається на колони, ригелі та балки. Зі збільшенням висоти будівлі зростає її необхідна несуча здатність як системи, а отже, і металоємність (рис. 3.34).

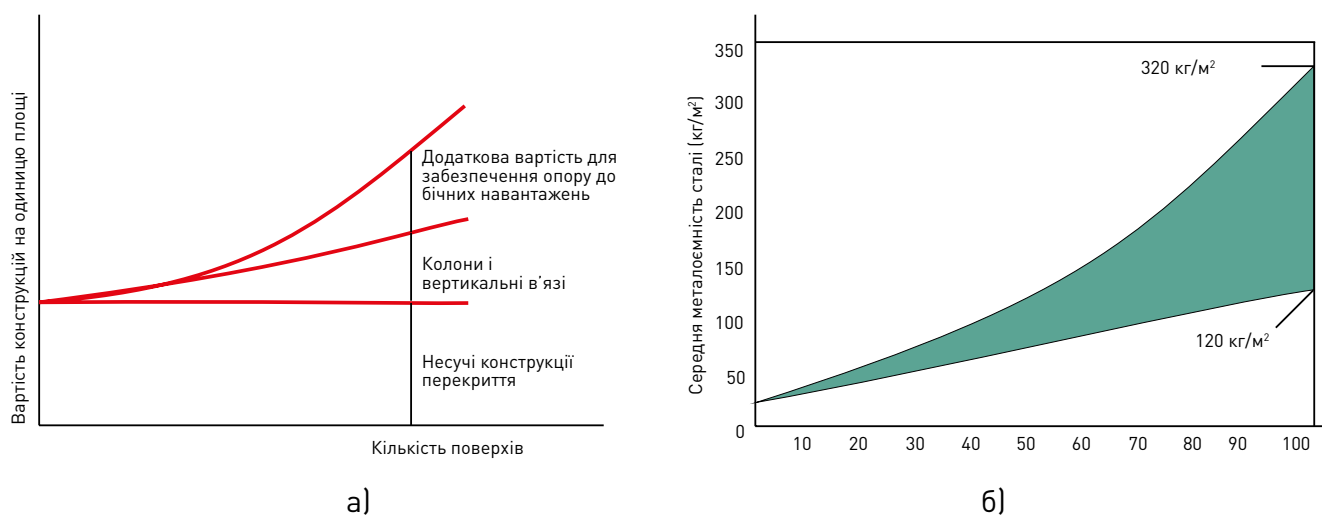


Рис. 3.34. Принципове співвідношення між кількістю поверхів та вартістю компонентів будівлі (а), усереднена металоємність залежно від кількості поверхів (б) [3.20]

У таблиці 3.7 показано теоретичний ресурс оптимізації рішень, які дозволяють зменшити кількість приєднаного вуглецю у багатоповерхових будівлях.

Табл.3.7.

Ресурс оптимізації загального приєднаного вуглецю для елементів будівлі у разі застосування заходів зі зменшення викидів [3.21]

Складова будівлі	Потенціал зменшення приєднаних викидів, разів
Фундаменти	2,00
Конструкції підземного поверху	2,00
Каркас	2,00
Надземні перекриття	2,00
Зовнішні стіни	1,67
Дах	1,43
Дороги, стежки та мощення	1,43
Шпунтові огороження підвалів	1,98
Опорядження підлог	1,44
Опорядження стель	1,41
Опорядження стін	1,20
Вікна та зовнішні двері	1,67

Отже, несучий каркас складає суттєву частку у структурі приєднаних викидів у будівлях комерційного призначення. Абсолютні і відносні значення викидів при цьому істотно залежать від вертикального і горизонтального компонування каркасу, вибору базисної чарунки і локальних вирішень перерізів елементів колон та перекриттів. **Конструктивна і компонувальна схеми будівлі впливають на її вартісні та експлуатаційні показники, а також на загальні обсяги приєданого вуглецю, що має бути враховано у методиці економічної та екологічної оцінки рішень. Саме розробці такої методики присвячено розділ 4.**

*Зробити щось, лишити по собі,
а ми, нічого, – пройдемо, як тіні,
щоб тільки неба очі голубі
цю землю завжди бачили в цвітінні.
Щоб ці ліси не вимерли, як тур,
щоб ці слова не вичахли, як руди.
Життя іде і все без коректур,
і як напишеш, так уже і буде.*

Ліна Костенко

4. МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РІШЕНЬ ТА РОЗРАХУНКІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

4.1. ІСНУЮЧІ МОДЕЛІ ОЦІНКИ РІШЕНЬ ТА КРИТЕРІЇВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Сталість, як це було показано у розділі 1, є **перетином між соціальним, економічним та екологічним зростанням**. Але, безумовно, найголовнішою є екологічна стійкість, оскільки без неї неможливий ані соціальний, ані економічний розвиток через те, що вони відбуваються у довкіллі і залежні від нього. Тому дослідження екологічної сталості спрямовані насамперед на виявлення впливу дії людини на навколишнє середовище з точки зору виснаження природних ресурсів та змін у довкіллі. Будівлі є інтегрованою частиною інфраструктурних або цивільних систем, які є взаємопроникними та існують спільно для функціоналу міста. Забудовані території чинять значний вплив на природне середовище, економіку, здоров'я і продуктивність населення. Сучасна оцінка архітектурно-планувальних і конструктивних вирішень будівель повинна базуватися на ємких моделях, що враховують різноманітні аспекти і особливості будівельного об'єкта як складової більш загальних систем – природи, суспільства і архітектурного середовища міста. При цьому мають бути максимально враховані інтереси всіх сторін, зацікавлених у створенні об'єкта: інвестора, забудовника, експлуатаційної організації, відвідувачів тощо.

Комплексна оцінка параметрів **життєвого циклу** проекту включає як **екологічний (LCA)** так і **економічний аналіз (LCC)**. **Для всієї будівлі також застосовують термін «whole building life cycle assessment» (WBLCA)**. Зазвичай найскладнішою для екологічного урахування є фаза експлуатації, а для економічного аналізу – навпаки, фаза експлуатації є найважливішою.

Екологічна оцінка життєвого циклу пов'язана із тим, що різні будівельні матеріали та вироби чинять різний вплив на навколишнє середовище на всіх стадіях свого життєвого циклу. Цей вплив залежить від багатьох факторів – транспортних, виробничих, експлуатаційних, утилізаційних тощо. У спеціалізованій літературі наводиться три основні методології обрахунку LCA [4.47]:

- 1. LCA на основі процесу.** Кожен процес, що аналізується, поділяється на всі його підпроцеси. Вхідні дані та результати кожного підпроцесу оцінюються кількісно. Аналіз процесу повторюється на всіх входах і простежує процеси назад до «колиски», де сировина викопується чи збирається. У цього методу є кілька проблем, особливо це стосується довільного процесу визначення **меж аналізованої системи** (для вирішення, які процеси слід включити або виключити з аналізу), а також доступності та **достовірності інформації щодо процесів «вище за ланцюгом постачання» (upstream)**. Це також дуже **трудомісткий і складний** метод. З іншого боку, аналіз на основі процесу відрізняється своєю **специфікою та точністю**, коли мова йде про детальні дослідження продуктів.
- 2. LCA за оцінкою «Вхід-вихід».** В оцінці «Вхід-вихід» (input-output) всі входи виробництва перетворюються на економічні фактори. Для здійснення оцінки використовуються зведені галузеві дані про економічні обміни в життєвому циклі продукту. Усі матеріальні та нематеріальні вхідні ресурси вводять до аналізу з використанням математичних алгоритмів. Цей метод був адаптований з екологічних аналізів, що з'явилися в результаті досліджень, розроблених нобелівським лауреатом американським економістом В. Леонтьєвим у 1940-х роках [4.41]. Недолік цього методу полягає в тому, що він використовує середні галузеві

дані, а тому не є характерним для одного продукту, місця чи країни, а виробничі процеси та технології одного і того ж продукту можуть бути дуже різними в різних частинах світу. Основна перевага оцінки «Вхід-вихід» полягає в її здатності оцінювати, здавалося б, нескінченні процеси «вище за потоком» за допомогою швидкого простого методу розрахунку.

3. Гібридні моделі LCA, що поєднують елементи двох вищевказаних підходів.

В даній роботі для отримання достатньої точності екологічних оцінок використовується екологічна оцінка LCA на основі процесу.

Результатом екологічного аналізу життєвого циклу можуть бути різноманітні індикатори і показники впливу на навколишнє середовище. Перелік найбільш поширених екологічних показників (**environmental indicators**) згідно [4.26] показаний у таблиці 4.1.

Табл.4.1.

Індикатори і показники впливу на навколишнє середовище як результат екологічної оцінки життєвого циклу

Параметр	Показник	Вимірник
Оцінка впливу	Потенціал глобального потепління, GWP	кг CO ₂ -еквіваленту
	Потенціал виснаження стратосферного озонового шару, ODP	кг CFC- еквіваленту
	Потенціал підкислення землі та води, AP	кг SO ₂ -еквіваленту
	Потенціал евтрофікації, EP	кг (PO ₄) ₃ -еквіваленту
	Потенціал утворення фотохімічних окисників тропосферного озону, POCP	кг Ethene-еквіваленту
	Абіотичний потенціал вичерпання ресурсів для елементів, ADP elements	кг Sb-еквіваленту
	Абіотичне виснаження ресурсів викопного палива, ADP fossil fuels	МДж, чиста калорійність
Використання ресурсів	Використання відновлюваної первинної енергії за винятком енергетичних ресурсів, що використовуються як сировина	МДж, чиста калорійність
	Використання відновлюваних первинних енергетичних ресурсів, що використовуються як сировина	МДж, чиста калорійність
	Використання невідновлюваної первинної енергії за винятком первинних енергетичних ресурсів, що використовуються як сировина	МДж, чиста калорійність
	Використання невідновлюваних первинних енергетичних ресурсів, що використовуються як сировина	МДж, чиста калорійність
	Використання вторинного матеріалу	кг
	Використання відновлюваних вторинних видів палива	МДж
	Використання вторинного палива, що не відновлюється	МДж
	Чисте використання прісної води	м ³
Відходи	Утилізовані небезпечні відходи	кг
	Утилізовані безпечні відходи	кг
	Утилізовані радіоактивні відходи	кг
Вихідні потоки	Компоненти для повторного використання	кг
	Матеріали для переробки	кг
	Матеріали для рекуперації енергії (але не ті відходи, що спалюються)	кг
	Експортована енергія	МДж, для кожного енергоносія

Приєднаний вуглець є результатом викиду парникових газів (що обраховуються у тоннах CO₂-еквіваленту) від усіх видів діяльності, пов'язаних з життєвим циклом існування і функціонування будівлі. Час життя в атмосфері різних парникових газів для різних періодів не є однаковим. Їхній вплив на глобальне потепління та довкілля теж різний [4.52]. Тому в 1997 році у Кіотському протоколі було введено поняття **вуглецевого сліду (carbon footprint) – як сукупність викидів усіх парникових газів, що утворились** (прямо та опосередковано) внаслідок певної діяльності.

Для обрахунку вуглецевого сліду застосовують ПГП – потенціал глобального потепління (Global warming potential, GWP). Це чисельний коефіцієнт, що визначає ступінь впливу різних парникових газів на глобальне потепління. Ефект від викиду оцінюється за певний проміжок часу. Як еталонний газ для GWP взятий двоокис вуглецю (CO₂), чий ПГП дорівнює 1.

Оскільки різні парникові гази чинять неоднаковий вплив на глобальне потепління, основне рівняння GWP приводить всі основні викиди на одиницю вуглецю пропорційно їхній шкоді, у грамах CO₂-еквіваленту:

$$GWP = 1 \times CO_2 + 1.9 \times CO + 25 \times CH_4 + 298 \times N_2O \quad (4.1)$$

По суті, потенціал глобального потепління є згортою цих показників у суперкритерій оцінки шкоди навколишньому середовищу [4.6-4.14, 4.45] з метою її **мінімізації**. Параметри і потенціал глобального потепління деяких парникових газів наведені у таблиці 4.2.

Табл.4.2.

Час життя в атмосфері й потенціал глобального потепління деяких парникових газів

Парниковий газ	Хімічна формула	Час існування (років)	ПГП за період		
			20 років	100 років	500 років
Двоокис вуглецю	CO ₂	Змінне значення	1	1	1
Метан	CH ₄	12	72	25	7,6
Закис азоту	N ₂ O	114	289	298	153
HFC-23	CHF ₃	270	12 000	14 800	12 200
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	3 830	1 430	435
Гексафторид сірки	SF ₆	3200	16 300	22 800	32 600
Тetraфторметан	CF ₄	50 000	5 210	7 390	11 200

Інший показник, який може бути підрахований для будівлі – це **присднана енергія**. Вона визначається як сума всієї енергії, необхідної для виробництва будь-яких товарів або послуг, причому вважається такою, що була «втлена» у сам продукт [4.42]. Ця концепція може бути корисною для визначення ефективності застосування енерговиробничих та енергозберігаючих пристроїв, або «реальної» вартості заміни будівлі. Оскільки енерговитрати зазвичай тягнуть за собою викиди парникових газів, таким чином можна вирішити, чи сприяє певний продукт глобальному потеплінню. Це метод обліку, що спрямований на пошук загальної кількості споживаної енергії, необхідної для всього життєвого циклу продукту. Різні методології використовують різні масштаби даних для обчислення енергії, втленої в продуктах і послугах природи та людської цивілізації. Не існує міжнародного консенсусу щодо відповідності шкал даних та методологій. Ця складність може дати широкий діапазон значень втленої енергії для будь-якого матеріалу.

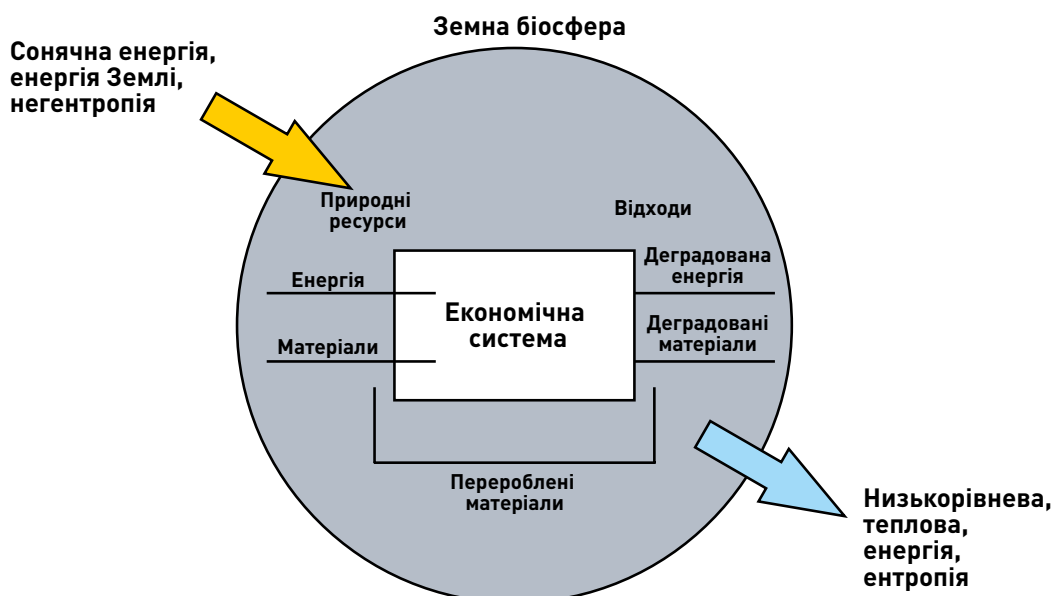
Деякі автори [4.32] визначають, що **embodied energy (EE)** – це «пряма енергія, що залучена для підтримки розглянутого (виробничого) процесу, плюс непряма енергія, що приєднана до вхідних ресурсів процесу».

Джерела первинної енергії

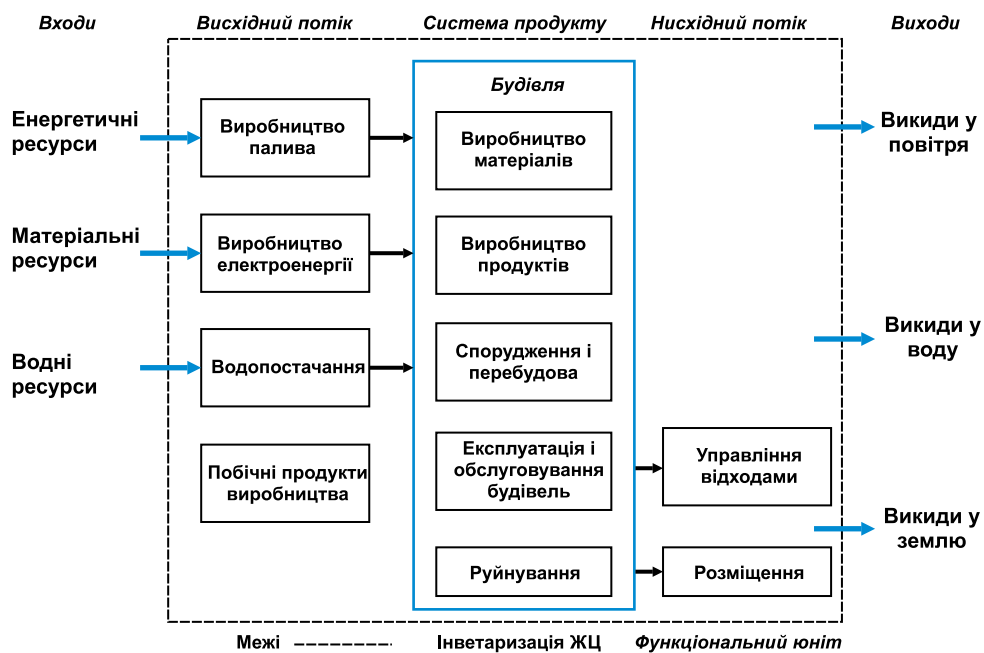
Невідновлювані джерела	Викопне паливо	Сира нафта	
		Кам'яне вугілля або природний газ	
	Мінеральне паливо	Уранова руда	
Відновлювані джерела	Енергія сонця		
	Енергія вітру		
	Падаюча і текуча вода, енергія припливів і відливів		
	Джерела біомаси		
	Енергія земних надр		
	Інші нетрадиційні джерела енергії		

Однією з найбільш обчислюваних форм приєднаної енергії може вважатися первинна енергія з невідновлюваних джерел (приєднані енерговитрати / primary energy) [4.32, 4.46, 4.50], PE (non-renewable), яка приєднується до всіх елементів проекту. Невідновлюваними джерелами вважаються ті, які довго відновлюються та є менш доступними за людським масштабом у часі і просторі [4.38]. Насамперед до невідновлюваних джерел відноситься викопне паливо (таблиця 4.3).

Взагалі кажучи, всі процеси людської господарської діяльності мають в основі енергетичну природу, оскільки потребують внесення зовні енергії, що міститься у природі. З цієї точки зору цикл світової економіки постає як відкрита енергетична система, що є залежною насамперед від Сонця (рис. 4.1).



1)



2)

Рис. 4.1. Життєвий цикл світової економіки як відкрита енергетична система (1) та застосування LCA до будівельної продукції (2)

Типовими одиницями приєднаної енергії є МДж/об'єкт або МДж/кг – мегаджоулі енергії, необхідної для виготовлення кілограма продукту, та питомі викиди, виражені в тоннах CO₂-еквіваленту (викиди парникових газів, що викликані спожитою енергією, необхідною для виготовлення кілограма продукту). Перетворення МДж в тонни CO₂ не є простим, оскільки різні види джерел енергії (вугілля, нафта, вітрова, сонячна, ядерна енергія тощо) мають різні кількості приєднаного вуглекислого газу, а також залежні від ефективності технологій перетворення. Тому фактична кількість парникових газів, що виділяється під час виробництва продукту, буде залежати від типу енергії, що була використана в процесі виготовлення. Як приклад [4.48], оцінка життєвого циклу для відомої 40-поверхової офісної будівлі в Лондоні (30 Saint Mary Axe) показала значення приєднаного вуглецю у кількості 955 кг CO₂ на 1 м² загальної площі підлоги. З урахуванням технічного обслуговування будівлі протягом фази експлуатації понад 50 років цей показник склав 1 159 кг CO₂-еквіваленту на 1 м² загальної площі підлоги. Загальне річне споживання енергії для будівлі 30 Saint Mary Axe становить 95 кВт-год/м² електроенергії та 120 кВт-год/м² витрат газу, що дорівнює 74 кг CO₂/м² щороку. Отже, для обрахунку енергії і викидів суттєве значення має час оцінки і функціональна одиниця об'єкту, до якої ця оцінка відноситься.

Існує цілий ряд баз даних для кількісної оцінки приєднаної енергії товарів та послуг, включно з матеріалами та виробами. Вони ґрунтуються на ряді різних джерел даних, з різними географічними та часовими значеннями, повнотою меж системи. Наразі у відкритому доступі є багато ресурсів, що містять середні абсолютні значення приєднаної енергії та пояснюють фактори, які були враховані під час складання тої чи іншої бази даних [4.34]. (Докладніше огляд баз даних по приєднаним викидам дивіться у параграфі 4.2.) Приєднана енергія окремо не розглядається у даній роботі, оскільки вона відома не для всіх матеріалів і процесів, а її пов'язаним характеристичним показником є потенціал глобального потепління.

Інший поширений показник – **«водяний відбиток»**, або **приєднана вода** – показує ступінь використання води в певному продукті. **Водяний відбиток** обчислюється як загальний

об'єм прісної води, що використовується для виробництва товарів та послуг **на відносну одиницю виміру. Такою одиницею може бути елементарний «юніт» продукту, процесу, споживача тощо. Споживання води вимірюється у кількості споживаної (вбудованої, випареної) та/або забрудненої води за одиницю часу [4.36].** Концепція **водяного відбитку** була введена у 2002 році для того, щоб мати показник споживання води, який міг би дати додаткову корисну інформацію щодо традиційних виробничих показників використання води. Концепція водяного відбитку аналогічна концепції екологічного сліду, що була запроваджена у 90-х роках минулого сторіччя. **Приєднана вода** є показником, що прив'язаний географічно, та показує не лише обсяги використання води та її забруднення, але й місця розташування джерел. Таким чином, стає зрозумілим, як економічний вибір та процеси впливають на наявність адекватних водних ресурсів та інших екологічних реалій по всьому світу і навпаки [4.60]. Через складнощі формалізації, комплексність обрахунків і поки що малу наявну інформацію у будівництві для конструкційних матеріалів, **в даній роботі водяний слід не розглядається.**



Рис. 4.2. Будівля «30 St. Mary Axe», Лондон, ВБ (проект бюро «Foster + Partners») показала значення приєданого вуглецю 955 кг CO₂ на 1 м² загальної площі підлоги

Оскільки потенціал глобального потепління є найбільш інтегральним показником впливу будівлі на навколишнє середовище і по ньому існує найбільше інформації у доступних джерелах, в даній роботі за головну оцінку прийнято саме цей екологічний критерій оцінки.

Економічна оцінка вартості життєвого циклу (Life Cycle Costing, LCC або ж Life Cycle Costing Analysis, LCCA) може здійснюватися на різних етапах життєвого циклу проекту: на грубому рівні з використанням середньостатистичних показників чи показників для конкретного типу будівництва (їх іноді називають параметричними оцінками); або ж на детальному рівні на основі конкретних оцінок або прогнозів виконання компонентів та технічного обслуговування.

Вперше методика оцінки вартості життєвого циклу була розроблена Міністерством оборони США (Department of Defense, DOD). Вимоги до врахування вартості життєвого циклу в державних проектах почали використовуватися з середини 1960-х років під час роботи Допоміжного секретаріату оборони з устаткування і логістики (Assistant Secretary of Defense for Installations and Logistics). Це призвело до низки вказівок щодо закупівель, а потім до Директиви 5000.1 від DOD США [4.58], що встановлювала вимоги до витрат на життєвий цикл для всіх основних придбань оборонних систем. У 1978 році Конгрес США прийняв Закон про національну політику енергозбереження, який вимагає передбачати економічно ефективний життєвий цикл для кожної нової федеральної будівлі [4.24]. Сьогодні всі федеральні відомства США зобов'язані використовувати аналіз витрат життєвого циклу для оцінки інвестиційних рішень. Цей підхід знайшов широке застосування під час оцінки як державних, так і приватних проектів у будівництві [4.20].

Розрахунки LCC можуть бути зроблені на різних рівнях залежно від того, який етап процесу реалізації проекту триває. Ступінь деталізації та наявна інформація повинні відігравати вирішальну роль. Рівень деталізації, на якому проводяться розрахунки LCC, повинен відповідати рівню, який використовується для розрахунку витрат на придбання товару або послуги. Зазвичай спочатку аналіз проводиться на порівняльному, попередньому етапі, а на пізніших стадіях його деталізують.

Орієнтовний аналіз вартості життєвого циклу. Переважно початковий **орієнтовний** аналіз **LCC** повинен базуватися на функціональній одиниці матеріалу (наприклад, вартості конструктивного елемента балки), або на функціональному показнику активу (наприклад, вартості створення квадратного метра, одного глядацького місця тощо). На більш пізніх етапах вартість життєвого циклу може бути розрахована у формі поелементного аналізу з використанням інтегрованої структури LCC. Це може підвищити точність оцінки. Базова оцінка LCC може бути вдосконалена і розширена, але у будь-якому разі вона може становити тільки основу для детального аналізу вартості життєвого циклу.

Детальний аналіз вартості життєвого циклу повинен ґрунтуватися на достатньо детальному описі та квантуванні всіх окремих компонентів об'єкта будівництва. При цьому слід ретельно перевіряти ефекти від усіх параметрів, щоб оцінити їхній вплив на загальну вартість. Детальний аналіз може містити складові життєвого циклу для всіх виробів та їхніх компонентів. Детальна класифікація відповідних витрат включена в стандарт ISO 15686 [4.6-4.14]. Під час детального аналізу має бути визначена **вартість усіх змінних**. Це означає, що для кожної позиції вартості повинен бути визначений відповідний проміжок часу, протягом якого відбуваються чи повторюються витрати. Слід враховувати, що витрати можуть бути також фіксованими або змінними в часі. За основу для часових параметрів об'єкта грошових потоків слід враховувати графік реалізації життєвого циклу об'єкта, складений на основі попередніх оцінок.

Через невизначеність, витрати зазвичай виражають у цінах, що приведені на дату аналізу, а не у цінах в майбутньому. Проте майбутні, прогнозовані значення витрат на життєвий цикл також можуть бути використані, якщо вони необхідні для звітності і чітко диференціюються у ній. При цьому вони мають бути розраховані максимально точно. Особливу увагу слід приділити найбільш значущим змінним витратам. Такі значення витрат можна отримати з:

- а) прямих оцінок з інформації щодо відомих витрат і вартості компонентів;
- б) аналізу архівних даних з типових рішень;
- в) моделей, що базуються на усереднених показниках;
- г) прогнозних уявлень про майбутні тенденції в галузі технологій та на ринку.

Комп'ютерні моделі, що створені для аналізу ризику, в ідеалі мають бути повністю параметричними, тобто кожне значення має бути пов'язане з параметром, який під час змінювання

призводить до зміни всіх інших взаємозалежних витрат. Крім того, для кожної змінної може виконуватися логічний аналіз та перевірка. Рівень інформації про вартість змінних може бути залежним від ряду факторів, зокрема труднощів отримання діапазону та деталізації необхідної вхідної інформації, на якій буде базуватися аналіз ЛСС. При цьому ціни майбутніх витрат, коли будуть потрібні інвестиції, наприклад, для ремонту або реконструкції, мають бути перераховані до поточних цін. Концепція «вартості грошей у часі» передбачає, що в інвестиційних цілях гроші мають величину, яка є залежною від точної дати. Дисконтування майбутніх вартостей потрібно, щоб досягти справжньої ціни. «Вартість грошей у часі» використовується шляхом дисконтування/збільшення майбутніх витрат, щоб відобразити їх зменшену/збільшену вартість у році здійснення операції відносно початкового року.

В даній роботі розглядається достатньо точний аналіз вартості життєвого циклу насамперед відносно головного об'єкту дослідження – конструктивних схем будівель.

Для обрахунку екологічних оцінок повного LCA необхідні спеціалізовані дані одиничних приєднаних викидів та енергії, що містяться в екологічних базах даних, огляд яких проводиться у наступному параграфі.

4.2. ОГЛЯД БАЗ ДАНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЕЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ І ПРОЦЕСІВ

Зазвичай дані екологічних параметрів будівельної продукції та процесів отримують з баз даних інвентаризації життєвого циклу (Life Cycle Inventory, LCI). Розглянемо найбільш відомі бази даних екологічних параметрів будівельної продукції та процесів в будівництві, що є у відкритому доступі та є найбільш поширеними у ЄС. Це потрібно, щоб вибрати найповніші дані для побудови методології оцінки життєвого циклу в даній роботі.

База даних «Ecoinvent» [4.59] – це одна з провідних баз даних LCI, що надає задокументовані дані про процеси для продуктів та показує їхній справжній вплив на навколишнє середовище. База має широке галузеве та географічне покриття. Набори даних LCI в «Ecoinvent» засновані на промислових даних і були складені науково-дослідними інститутами та консультантами LCA. База даних «Ecoinvent» постачається разом з основними програмними засобами LCA та вже використовується в якості основної бази даних кількома інструментами еко-дизайну в більш ніж 40 країнах. «Ecoinvent» використовується в широкому спектрі екологічних досліджень:

- оцінка життєвого циклу;
- управління життєвим циклом;
- оцінка вуглецевого сліду;
- оцінка забруднення води;
- моніторинг екологічних показників;
- розробка продуктів та еко-дизайн;
- декларація екологічних продуктів.

База даних Ecoinvent містить близько 17 000 наборів даних інвентаризації життєвого циклу в різних сферах народного господарства, зокрема щодо таких компонентів:

- енергія: електроенергія, нафта, вугілля, природний газ, біомаса, біопаливо, біоенергетика, гідроенергетика, атомна енергетика, фотоелектрична енергія, вітроенергетика, біогаз;
- матеріали для хімікатів, металів, мінералів, пластмас, паперу, біомаси, біоматеріалів;
- поводження з відходами: спалювання, скидання на сміттєзвалища, очищення стічних вод;
- транспорт: автомобільний, залізничний, повітряний, судновий;
- сільськогосподарська продукція, електроніка, обробка металів тощо.

Декларації екологічних продуктів (Environmental Product Declaration, EPD) є прозорою, перевіреною та порівнюваною інформацією про вплив продуктів на довкілля протягом свого життєвого циклу. Міжнародна система EPD – це глобальна програма екологічних декларацій. Зараз онлайн-база EPD-даних містить понад 1100 декларацій для широкого спектру категорій товарів у 45 країнах. Товари в EPD діляться за наступним категоріями:

- будівельні матеріали;
- їжа та напої;
- паперові вироби;
- меблі;
- тканини;
- транспортні засоби;
- енергія (електроенергія та паливо);
- машини та обладнання;
- металеві, пластикові та скляні вироби;
- хімічні продукти;
- послуги.

По суті EPD – це екологічна сертифікація, яка кількісно визначає та перевіряє життєвий цикл продуктів та товарів згідно з [4.15-4.16] та [4.25]. EPD допомагає клієнтам, що орієнтовані на екологічність, приймати найкращі рішення під час вибору товарів чи послуг від різних постачальників. Наприклад, деякі компанії вже впровадили EPD для всіх своїх основних продуктів, намагаючись покращити свої показники сталого розвитку та продемонструвати клієнтам свою турботу про навколишнє середовище.

Європейська комісія вдосконалює методологію щодо визначення екологічного відбитку продукції з 2013 року. Врешті ця методологія буде використана в майбутніх політиках та законодавстві щодо оцінки та вибору продукції (наприклад, PEF (Product Environment Footprint)). Правила щодо екологічного відбитку продуктів (PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules)) у методології розроблено приблизно для 25 різних категорій товарів. Методологія PEF також отримала розвиток в інших країнах за межами Європи. Це полегшує доступ до екологічної інформації про продукцію, особливо для кінцевих споживачів, та надає можливість вивести нові товари на ринки ЄС.

Продукт з EPD має відповідати правилам категорії продуктів PCR (Product Category Rules), що перевірені стороннім незалежним PCR-експертом. Отже, отримання EPD також стимулює постачальників екологізувати свої продукти чи процеси для отримання кращих показників у декларації. Набір даних для інвентаризації життєвого циклу (LCI) для дослідження LCA повинен бути перевірений та отриманий з надійних джерел (наприклад, безпосередньо з заводу). Аналіз життєвого циклу щодо впливу на навколишнє середовище (LCIA) проводиться експертом LCA за допомогою програмного забезпечення та інших інструментів оцінювання.

Виробники з деяких країн вже представили EPD своїх продуктів. Серед таких країн: Аргентина, Австралія, Австрія, Бельгія, Бразилія, Болгарія, Канада, Чилі, Китай, Колумбія, Хорватія, Чехія, Данія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Угорщина, Індія, Ірландія, Ізраїль, Італія, Японія, Литва, Люксембург, Мексика, Нідерланди, Нова Зеландія, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Росія, Саудівська Аравія, Південна Африка, Південна Корея, Іспанія, Швеція, Швейцарія, Таїланд, Туреччина, Об'єднані Арабські Емірати, Велика Британія, США, В'єтнам. На жаль, Україна поки не долучилася до EPD-сертифікації своїх продуктів, що, безперечно, зменшує вітчизняні експортні можливості, а в найближчому майбутньому, якщо не змінити ситуацію, ускладнить доступ на деякі ринки, зокрема ЄС.

Платформа «Okobaudat» – це стандартизована база даних для екологічних оцінок будівель, що розроблена і вдосконалюється Федеральним міністерством внутрішніх справ, будівництва та громад Німеччини [4.63] з 2013 року. Вона містить набори даних про приєднані викиди та енергію для будівельних матеріалів, будівельних конструкцій (з урахуванням аспектів демонтажу та утилізації), для транспорту, енергоносіїв для оцінювання LCA на весь життєвий цикл будівлі. Під час формування до наборів даних пред'являються суворі вимоги. База даних Okobaudat відкрита і безкоштовно представлена в Інтернеті, а дані можуть використовуватися в багатьох різних системах оцінювання будівель. Зараз у базі представлено понад 1200 наборів даних, що відповідають стандарту EN 15804 [4.25] та німецькій системі оцінювання сталого будівництва (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen, BNB).

Okobaudat містить як загальні набори даних, так і декларації EPD про навколишнє середовище від різних компаній або асоціацій. Перед затвердженням набори даних та EPD перевіряються на відповідність вимогам Okobaudat та іншим, що виходять за межі стандартів EN.

Inventory of Carbon and Energy (ICE). Інвентар вуглецю та енергії – це база даних про приєднану енергію та вуглець для будівельних матеріалів.

Перша версія бази даних ICE була створена в 2005 К. Джонсом, експертом з питань екологічної стійкості та директором з циркульної екології в Університеті міста Бат (Bath) в Англії, та його університетським колегою професором Дж. Хаммоном, керівником команди досліджень з питань сталого енергетичного розвитку (Sustainable Energy Research Team, SERT [4.64]), в співпраці з Агенцією з навколишнього середовища. Наразі база доповнена завдяки роботі понад 20 000 професіоналів з усього світу, і вона використовується у багатьох доповідях, журналах, книгах, лекціях, калькуляторах приєднаної енергії та вуглецю.

База «Worldsteel». У 1996 році асоціація Worldsteel започаткувала інноваційне дослідження життєвого циклу для сталевих виробів. Це перший випадок проведення міжнародного вивчення конкретного матеріалу, що виконувалось за допомогою LCI. Дослідження оновлюється кожні 5-10 років.

Основна мета «Worldsteel» – забезпечити доступність екологічних даних про сталь для покупців та споживачів для полегшення власного обґрунтованого прийняття рішень.

Окремо слід зазначити фінську базу даних «Lipasto» [4.61], яка розроблена та підтримується фірмою VTT Technical Research Center of Finland Ltd. Це детальна база даних, що використовується для обчислення викидів від автомобільного, залізничного, водного та повітряного транспорту, а також від широкої номенклатури машин і механізмів.

У базі Lipasto викиди від руху автомобільного транспорту вимірюються у кг CO₂-еквіваленту на 1 км шляху. Враховуються мінімум чотири режими руху: «повністю заповнений кузов по шосе/в місті», «порожній кузов по шосе/в місті». Дані щодо викидів під час руху порожнього вантажного автомобільного транспорту необхідні для врахування руху в зворотному напрямку до вихідного пункту, що теж спричиняє забруднення. Для викидів від перевезення вантажів залізничним, водним та повітряним транспортом дані, що наведені в Lipasto, вимірюються у кг CO₂-еквіваленту/т·км. Для визначення кількості викидів достатньо кількість CO₂-еквіваленту/т·км з бази помножити на відстань перевезення та масу транспортованого вантажу.

Для машин і механізмів викиди у базі пов'язані із годинами роботи у різних режимах.

У таблиці 4.4 зведене порівняння основних баз даних екологічних показників в процесі аналізу життєвого циклу. Інші бази даних, зокрема GaBi, Athena [4.18] тощо, не включені до даного огляду через необхідність скорочення обсягу роботи. Також інформація з них не є необхідною для досягнення мети дослідження.

Порівняння баз даних екологічних показників в процесі аналізу життєвого циклу

База даних	Область застосування у LCI	Особливості
Ecoinvent	Енергопостачання Сільське господарство Транспорт Біопаливо та біоматеріали Хімікати Будівельні матеріали Пакувальні матеріали Основні дорогоцінні метали Переробка металів та електроніки Вироби з деревини Молочні продукти	ЗЄ найбільш універсальною базою даних. Значення інвентаризації життєвого циклу продукції показані як усереднені для кожного продукту в галузі для окремого регіону
EPD	Будівельні матеріали Їжа Паперові вироби Меблі Тканини Транспортні засоби Енергоносії (електроенергія та паливо) Машини та обладнання Металеві, пластикові та скляні вироби Хімічні продукти Послуги	Містять точні дані з інвентаризації життєвого циклу від виробників продукту. Проте поки що кількість виробників, що представляють екологічні декларації своєї продукції, невелика. Окремі EPD неможливо застосовувати для комплексної оцінки життєвого циклу будівлі, тому необхідні додаткові дані
Ökobaudat	Будівельні матеріали і вироби Окремі машини і механізми	Наразі найповніша база по викидах, що включає середні значення інвентаризації життєвого циклу в будівельній промисловості Німеччини
Inventory of Carbon and Energy	Будівельні матеріали і вироби	В базі представлені середні значення викидів парникових газів та витрат енергії під час виробництва будівельних матеріалів та продуктів у Канаді та США.
Worldsteel	Вироби зі сталі	База включає дані лише по інвентаризації життєвого циклу будівельних виробів зі сталі
Lipasto	Транспорт Машини Механізми	Спеціалізована база, яка найбільш повно описує викиди, приєднанні до транспортування матеріалів і виробів різними видами транспорту, а також при роботі машин і механізмів

Отже, станом на 2021 рік у світі вже розроблені і продовжують розширюватися бази даних щодо приведеного приєданого вуглецю і енергії. Недоліком кожної розглянутої системи можна назвати неповноту і укрупненість даних, а також відсутність даних щодо України. **Для матеріалів найповнішою і найбільш оновлюваною є німецька база «Okobaudat», а для транспорту, машин і механізмів – база даних «Lipasto», які і використані у даній роботі. Водночас аналіз вказує на необхідність розробки вітчизняних баз даних екологічних параметрів. Введення екологічної сертифікації будівельної продукції, запропоноване у розділах даної книги, дозволить почати вести облік приведеного приєданого вуглецю і енергії та інших показників для більш точних розрахунків, що дозволить приймати зважені рішення, а також збільшить експортний потенціал України, зокрема для металевого прокату і конструкцій.**

Надалі розглянемо детально моделювання екологічної та економічної оцінки рішень.

Процес розрахунку приєднаних викидів полягає в тому, що обсяги матеріалів, виробів і пов'язаних процесів підлягають перемноженню на значення викидів, приєднаних до одиничних значень компонентів (рис. 4.3.). Відтоді характеристичний показник потенціалу глобального потепління **GWP_c** для оцінки компонентів будівлі може бути підрахований за формулою:

$$\text{GWP}_c = \sum_{i=1}^n \text{GWP}_{cat,i} \times Q_s \quad (4.2)$$

де n – кількість елементів будівлі, які оцінюються в межах системи; Q_s – кількісний обсяг елементів оцінки, що стосуються елемента будівлі, цебто об'єм матеріалів, кількість виробів, машино-години тощо. Дані щодо обсягів елементів можуть бути взяті з проектно-кошторисної або виконавчої документації, матеріалів обстежень, технологічних карт процесів, рахунків-фактур. **GWP_{cat,i}** – характеристичний показник потенціалу глобального потепління для i -того типу елемента будівлі на одиничний вимірник обсягу (матеріалу, виробу, процесу тощо).

Етапність проекту в процесі підрахунку приєднаних викидів. Обрахунок приєданого вуглецю може виконуватися на будь-якому етапі проекту. Моніторинг викидів приєданого вуглецю різних типів будинків є відносно новою сферою досліджень, тому не існує жодних регуляторних стандартів або академічних досліджень, які б забезпечували точні значення для використання LCA на ранніх етапах. Тому на **етапі ескізного проекту або техніко-економічного обґрунтування (розрахунку)** згідно з ДБН А.2.2.3 [4.4] **достатньо попередньої оцінки життєвого циклу**, яка може бути отримана на основі площі будівлі та її типу. Для цього можуть використовуватися бази даних аналогів, зокрема deQo [4.60]. Усереднені дані та співвідношення викидів для різних типів комерційних будівель дуже неоднорідні (рис. 4.4). Це природно пов'язане з різними способами виготовлення, походженням і особливостями будівельних матеріалів.

Для інших етапів – проект, робочий проект або робоча документація, коли відомі обсяги основних матеріалів і робіт, пов'язаних зі створенням об'єкту архітектури, застосовується детальний, поелементний аналіз життєвого циклу.

Наведені на рис. 4.4 дані можуть бути орієнтирами для попередньої оцінки приєднаних викидів вуглекислого газу для різних типів нерухомості. Більші значення в діапазонах, наведених на рис. 4.4, можуть бути прийняті для будівель з бетонним каркасом або із дрібно-штучних керамічних виробів, а менші – для будівель зі сталевим або дерев'яним каркасом. Це може бути особливо корисним на ранніх стадіях проекту, коли специфікація матеріалів ще не доступна. Слід відзначити, що цифри, наведені на рис. 4.4, мають великий діапазон розкиду і містять високий рівень невизначеності. Це пов'язано з невеликим набором вихідних даних та оцінками, які не завжди фіксуються. Тобто невідомо, чи присутні в деяких досліджуваних об'єктах підвали, меблі, чи проводилися зовнішні роботи тощо. Проте очікується, що з часом кількість даних про будівлі зросте, методологія деталізується та оцінки на основі об'єктів-аналогів стануть точнішими [4.60].

На етапі реалізації та в подальшому під час експлуатації будівлі може накопичуватися інформація, що дає змогу порівнювати фактичні дані з прогнозними, а також коригувати дані подальших оцінок для даного та інших проектів. **В цій роботі методологія оцінки приєднаних викидів наведена та застосовується у детальному, розширеному варіанті, що дає змогу використовувати її для всіх стадій проекту: як П, Р та РП, так і техніко-економічних розрахунків, підготовки тендерної документації тощо.**

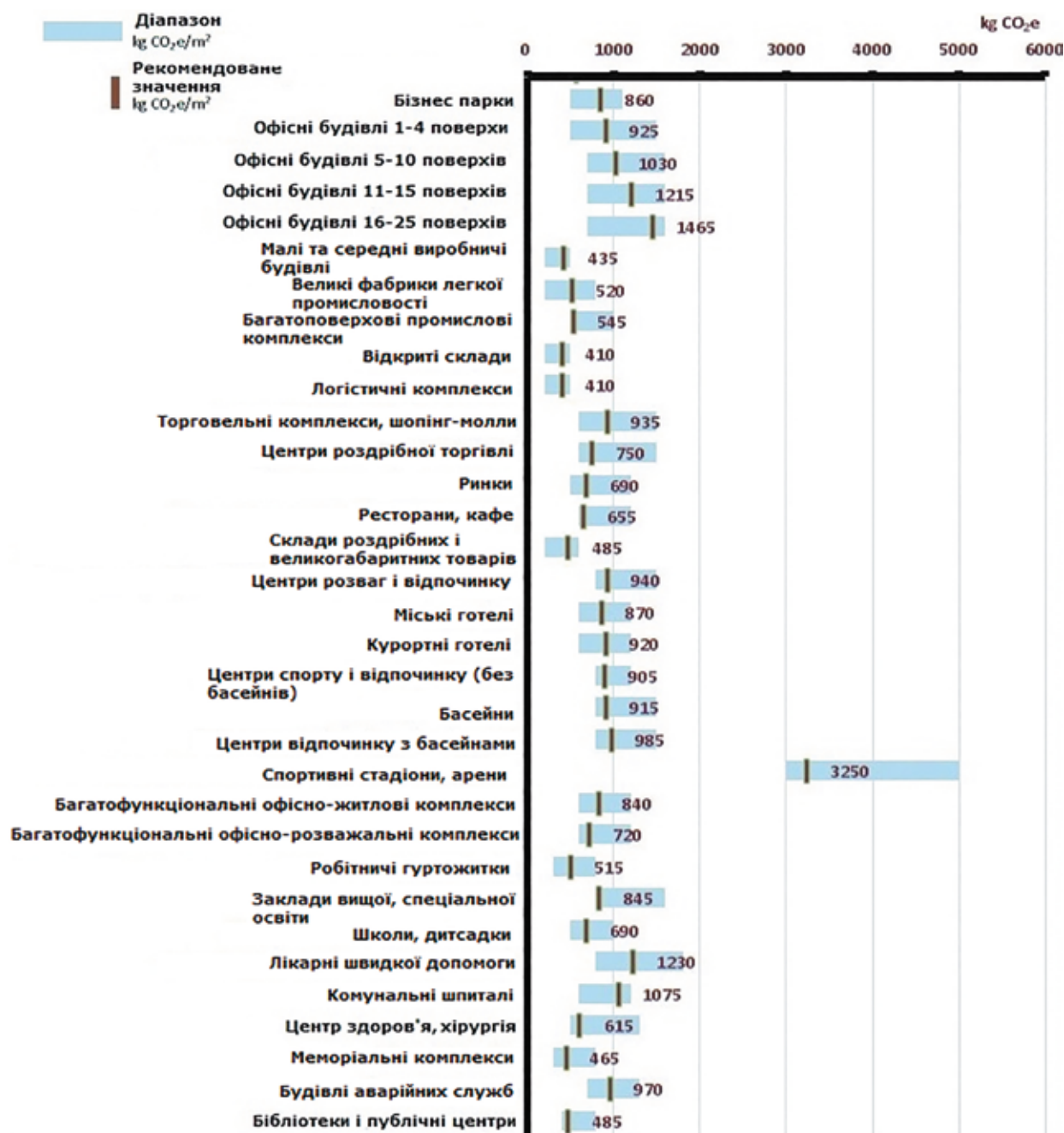


Рис. 4.4. Загальні показники приєднаного вуглецю для основних типів комерційної та змішаної нерухомості [4.53]

Межі системи. Прийнятий у ЄС стандарт EN 15978 [4.26] визначає складові для встановлення меж системи в процесі виконання аналізу життєвого циклу LCA (рис. 4.5). Межі системи дослідження поширюються на весь термін життєвого циклу будівельної конструкції, починаючи з виробництва та транспортування матеріалів до будівельної ділянки, фази будівництва, і закінчуючи експлуатацією та знесенням будівлі. Можливості утилізації різних компонентів представляють як додаткову інформацію, оскільки вона виходить за межі основної системи (встановлені [4.26]).

Зеленим кольором на рис. 4.5. визначено **межі системи**, що прийняті в даній роботі для екологічної оцінки життєвого циклу. Для кожної складової та стадії реалізації проекту передбачено окремий підхід. Конструктивні матеріали і схеми вибрані у даній роботі для порівняння найбільш характерних типів каркасів, поширених у галузі. Надалі детально розглянемо і визначимо межі системи для кожної складової оцінки життєвого циклу стосовно даної роботи.

Стадії А1-А3. Продукт. На стадії **виробництва продукту** розрахунок приєднаного вуглецю насамперед залежить від типів та кількості матеріалів, що містять приєднані викиди, які пов'язані із їх походженням і видобутком. Після встановлення типів та кількості матеріалів можна здійснити специфічну для кожного проекту конкретну оцінку вмісту вуглецю для окремої будівельної конструкції або матеріалу.



Рис. 4.5. Інформація та складові життєвого циклу, визначені у нормативних документах; додаткові опції в процесі визначення меж системи оцінки [4.26, 4.49]

В прийнятій моделі виробництво продукту містить стадії: А1 – видобуток сировини, А2 – транспортування і А3 – виготовлення». Дані про стадії виробництва А1-А3 враховані у моделі для даної роботи і взяті з бази даних щодо викидів Ökobaudat [4.63].

В даній роботі розглядаються тільки матеріали, які є значущими і впливають безпосередньо на оцінку життєвого циклу під час порівняння будівель, що відрізняються лише конструктивними матеріалами. Таким чином, у межах системи заведено не враховувати зовнішні і внутрішні ненесучі чи самонесучі стіни та опорядження. Припускається, що зовнішній контур будівлі під час зміни конструктивної схеми лишається незмінним. В реальності може статися, що фасад матиме відмінну висоту в каркасах із різними прольотами і/або конструктивними матеріалами через більшу висоту перекриття. Якщо ця різниця значуща, то обсяг матеріалів буде різним.

Також оскільки в рамках даної роботи призначення будівлі та інженерні вирішення мереж рахуються однаковими для варіантів конструктивних схем в процесі порівняння, аналіз не включає вторинні неконструктивні компоненти будівлі і оздоблення. Можливі відмінності у інженерії для різних конструктивних вирішень не враховані (наприклад, різниця довжини пові-

тропроводів у разі проходження крізь перфорації в сталевих балках з огинанням бетонних капітелей), оскільки вони не настільки значущі та майже не залежать від конструктивних вирішень. Випадки, коли конструктивне вирішення каркасу істотно впливає на архітектуру та на обслуговування, менш характерні для будівель комерційного призначення, тому тут не розглядаються.

На рис. 4.7 наведено приклад ланцюжку виробництва стадій продукту A1-A3 для бетонної суміші марки міцності C20/25 (дані з бази Ökobaudat). Набір даних являє собою інвентаризацію життєвого циклу за схемою «Від колиски до воріт» (рис. 4.6).

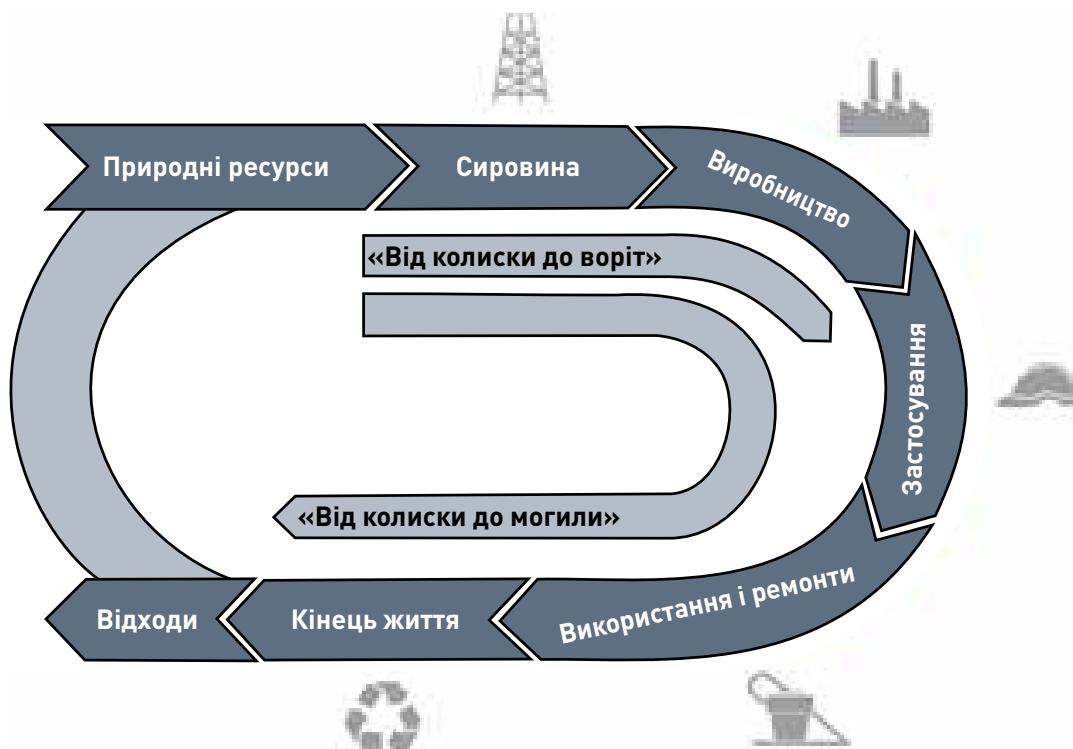


Рис. 4.6. Обіг ресурсів у циклі «Від колиски до воріт» та «Від колиски до могили»

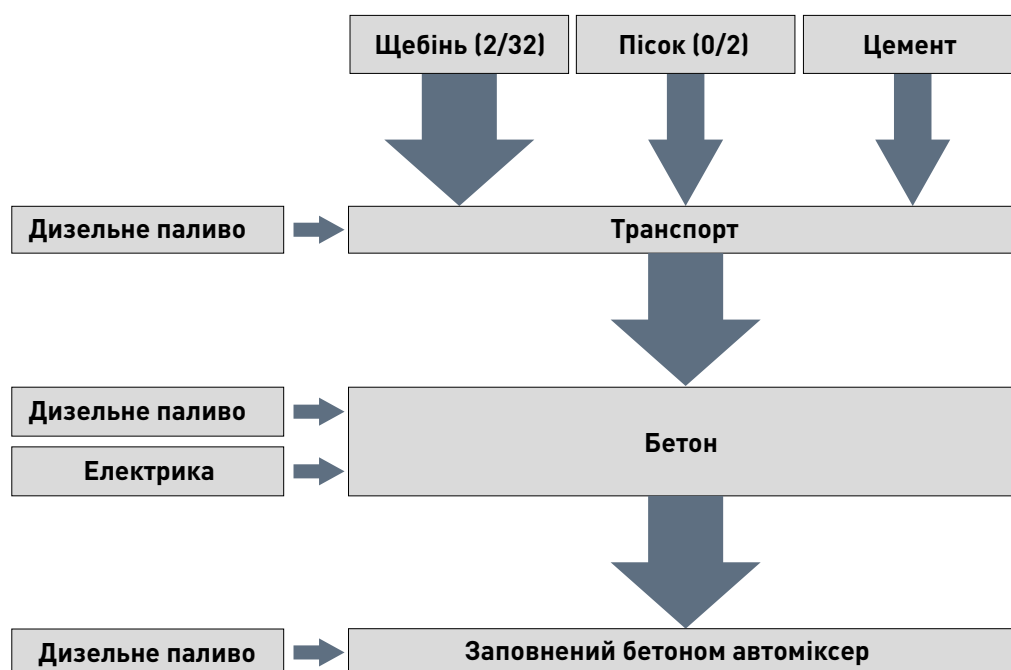


Рис. 4.7. Приклад ланцюжку виробництва стадій продукту A1-A3 для бетонної суміші (дані із бази Ökobaudat) за схемою «Від колиски до воріт» [4.63]

Для стадій А1-А3 транспортні викиди під час видобутку і виробництва зазвичай включені у приведену довідкову оцінку продукту як єдиного цілого. Стадія продукту є найбільш визначеною і контрольованою в оцінці життєвого циклу. Вона ж несе в собі найбільш екологічне навантаження. Для довідки: у таблиці 4.5 наведені усереднені відносні приєднані викиди та споживання енергії для різних етапів будівництва.

Табл.4.4.

Усереднений розподіл споживання енергії та GWP на фазі будівництва типового будинку [4.37]

Стадія	Споживання енергії	GWP, %
Виробництво матеріалів	94,89 %	95,16 %
Транспортування	1,08 %	1,76 %
Будівельні роботи на місці	4,03 %	3,08 %
Всього	100%	100%

Стадії А4-А5. Зведення. Стадія А4. Транспортування. Приєднані викиди, пов'язані з транспортуванням конструкцій і виробів, залежать насамперед від засобів і способів перевезення, а також від маси і відстані до пункту призначення. Такі дані можуть бути пораховані за окремими базами даних по викидах. **У даній роботі стадія А4 для бетонних сумішей змодельована на основі даних бази Ökobaudat, а для доставки інших компонентів – на основі бази Lipasto (див. вище параграф 4.2).** Для бетонної суміші включені всі відповідні та відомі транспортні процеси. У даній роботі розглядається транспортування всіх матеріалів автотранспортом, оскільки Україна має досить розгалужену мережу автодоріг і диверсифіковану власну будівельну індустрію. Фаза транспортування у даній роботі змодельована на основі реальних відстаней, на які переміщуються матеріали для будівництва і вивозиться ґрунт. Середня дальність доставки у міських умовах – 30 км, що відповідає більшості умов у Києві під час будівництва в центральних районах міста.

На діаграмі нижче (рис. 4.8) наочно показані співвідношення викидів парникових газів в процесі перевезення різними видами транспорту (за даними бази Lipasto).



Рис. 4.8. Інтенсивність приєднаних викидів вуглецю різними видами транспорту (дані із бази Lipasto)

Отже, модель оцінки викидів, приєднаних до будівлі на стадії А4, полягає у наступному. Кількість рейсів для доставки приймається як

$$n_c = M / m_t \quad (4.3),$$

де M – це загальний обсяг матеріалу для переміщення (доставки або вивезення), т;
 m_t – ємність одного транспортного засобу, т.

Тоді **викиди від транспортування** розраховуються за формулою:

$$GWP_n = n_c \times D \times GWP_{e1}, \quad (4.4),$$

де D – це **віддаль переміщення матеріалу, км;**

GWP_{e1} – одиничні викиди для **даного транспортного засобу під час переміщення на 1 км.**

В даній роботі прийнято, що для вивезення ґрунту здійснюється автовантажне перевезення автомобілем вагою 32 т, вантажопідйомністю 19 т, повністю завантаженого, що пересувається у міському режимі для зведення будівлі в центральному районі м. Києва. Порожня вантажівка повертається на початкову позицію, тобто кількість рейсів і віддаль однакова. Згідно експертним даним, середня щільність переміщуваного ґрунту становить $1,6 \text{ т/м}^3$, а вивезенню підлягають близько 80% всього викопаного об'єму, оскільки 20% ґрунту йде на зворотну засипку пазах котловану і вертикальне планування на будівельному майданчику.

Фактично вивезення ґрунту хоча й відбувається переважно на початку будівництва, в більшій мірі відноситься до стадії С2, ніж до А4, але втім це не впливає на загальний обрахунок GWP.

В даній роботі прийнято, що для ввезення конструкцій, матеріалів і виробів здійснюється вантажне перевезення автомобілем вагою 15 т, з корисною вантажопідйомністю 9 т. Вважається, що під час доставки автомобіль повністю завантажений і повертається повністю порожній, а кількість рейсів і віддаль є однаковими (див. таблиці 4.6, 4.7). Вивезення будівельного сміття у даній роботі не враховується окремо, окрім випадків реконструкції, де цей фактор є значущим.

Табл.4.6.

Викиди транспорту GWP, CO₂-еквівалент (г/км) з бази даних Lipasto для автоперевезень ґрунту, на машино-кілометр [4.61]

Автовантажні перевезення ґрунту, повна маса автомобіля 32 т, вантажопідйомність 19 т				
Режим руху	Міський, вулицями, викиди CO ₂ -еквіваленту [г/км]		Шосе, викиди CO ₂ -еквіваленту [г/км]	
	Порожній кузов	Повністю завантажений (19 тонн ґрунту)	Порожній кузов	Повністю завантажений (19 тонн ґрунту)
До 1992	886	1445	586	821
EURO I (1993-1996)	871	1403	571	783
EURO II (1997-1998)	831	1379	558	767
EURO III (1999-2003)	873	1398	568	780
EURO IV (2004-2007)	819	1372	547	748
EURO V (2008-2013)	829	1384	558	755
EURO VI (2014 і після)	832	1382	555	750
Середній показник	838	1384	558	761

Табл.4.7.

Викиди транспорту GWP з бази даних Lipasto для автоперевезень конструкцій і виробів, на машино-кілометр [4.61]

Автовантажні перевезення конструкцій і виробів, повна маса автомобіля 15 т, вантажопідйомність 9 т						
Режим руху	Міський, вулицями, викиди CO ₂ -еквіваленту [г/км]		Доставка, викиди CO ₂ -еквіваленту [г/км]		Шосе, викиди CO ₂ -еквіваленту [г/км]	
	Порожній кузов	Повністю завантажений (9 тон)	Порожній кузов	Повністю завантажений (9 тонн)	Порожній кузов	Повністю завантажений (9 тонн)
До 1992	432	640	418	593	388	485
EURO I (1993-1996)	438	649	418	588	371	445
EURO II (1997-1998)	445	659	419	591	360	432
EURO III (1999-2003)	454	675	429	605	370	442
EURO IV (2004-2007)	466	674	438	605	373	444
EURO V (2008-2013)	472	681	444	611	379	450
EURO VI (2014 і після)	472	681	444	611	378	449
Середній показник	463	675	436	606	373	445

При цьому для доставки опалубки монолітних бетонних конструкцій враховується, що вона вивозиться в кінці циклу використання (2 завантажених рейси вантажівки, віддаль однакова).

Для зручності обрахунку викидів, пов'язаних з транспортуванням конструкцій, матеріалів і виробів автовантажним транспортом, в таблиці 4.8 наведені питомі характеристичні викиди для шляхів між основними містами України.

Табл.4.8.

Приєднані кг CO₂-еквіваленту на 1 тонну вантажу під час доставки конструкцій між основними містами України 15-тонною вантажівкою з корисним повним завантаженням 9 т

№	Місто	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Дніпро	-	16,88	44,49	5,43	35,71	53,94	65,33	22,98	31,36	29,88	75,71	14,27	25,19	59,70
2	Донецьк	16,88	-	57,49	14,54	48,71	74,44	81,81	40,94	48,98	39,60	93,20	22,45	37,52	76,45
3	Житомир	44,49	57,49	-	49,45	8,78	17,22	28,34	45,36	37,32	53,80	44,96	46,23	41,81	26,06
4	Запоріжжя	5,43	14,54	49,45	-	40,67	45,63	55,81	25,26	33,30	24,46	99,70	19,23	19,90	64,12
5	Київ	35,71	48,71	8,78	40,67	-	26,00	36,85	32,83	32,76	65,12	54,00	32,03	36,92	36,05
6	Луцьк	53,94	74,44	17,22	45,63	26,00	-	10,18	52,26	57,35	70,48	27,67	58,02	58,22	22,51
7	Львів	65,33	81,81	28,34	55,81	36,85	10,18	-	56,95	64,99	78,59	17,49	68,88	76,45	18,63
8	Миколаїв	22,98	40,94	45,36	25,26	32,83	52,26	56,95	-	8,04	18,89	66,93	37,25	3,42	43,01
9	Одеса	31,36	48,98	37,32	33,30	32,76	57,35	64,99	8,04	-	26,26	67,60	55,68	11,46	34,51
10	Сімферополь	29,88	39,60	53,80	24,46	65,12	70,48	78,59	18,89	26,26	-	91,32	43,68	14,81	65,73
11	Ужгород	75,71	93,20	44,96	99,70	54,00	27,67	17,49	66,93	67,60	91,32	-	87,03	71,36	29,75
12	Харків	14,27	22,45	46,23	19,23	32,03	58,02	68,88	37,25	55,68	43,68	87,03	-	38,59	69,41
13	Херсон	25,19	37,52	41,81	19,90	36,92	58,22	76,45	3,42	11,46	14,81	71,36	38,59	-	47,77
14	Чернівці	59,70	76,45	26,06	64,12	36,05	22,51	18,63	43,01	34,51	65,73	29,75	69,41	47,77	-

Стадія А5. Будівництво і встановлення. Бази даних викидів, приєднаних до матеріалів і виробів, у більшості не містять інформації щодо фази **будівництва, оскільки це залежить більшою мірою від технології і методу зведення.**

Викиди парникових газів в процесі будівництва пов'язані насамперед з викидами, що виникають під час роботи будівельних машин. У даній роботі для оцінки життєвого циклу визначені основні процеси, які пов'язані з застосуванням машин і механізмів і залежать від кількості машино-годин, необхідної для зведення несучої частини будівлі. Оскільки точна технологія ведення робіт на етапі початкової оцінки невідома, а також невизначені супутні роботи і фактори (монтаж/демонтаж кранів, транспортування техніки тощо), для розрахунків використовується коефіцієнт додаткового використання обладнання, що дорівнює 1,2 (згідно експертних даних). Також цей коефіцієнт враховує використання засобів малої механізації, які не обліковуються у машино-годинах згідно з нормами, але необхідні для зведення несучого остову будівлі – електричні свердла, дискові пили тощо. Викиди, пов'язані з робочою силою, освітленням майданчику, організацією адміністративно-побутових мобільних будиночків і складів тощо, в даній роботі не враховуються через складність обрахування і відсутність даних стосовно них.

Дані щодо викидів, які пов'язані з застосуванням машин і механізмів, в даній роботі також узяті з бази даних Lipasto. Це означає, що для визначення викидів парникових газів достатньо знати тривалість роботи будівельних машин і механізмів та витрати пального у робочому режимі для кожного типу машини або механізму (таблиця 4.9).

Табл.4.9.

**Викиди будівельних машин і механізмів GWP з бази даних Lipasto [4.61],
що взяті в даній роботі**

Тип, марка будівельної техніки	Витрати пального л/маш.-год.	кг CO ₂ -еквіваленту /л	Процеси, на яких задіяна техніка
Бульдозер типу Caterpillar D5K XL CAT 3046T(77)	13,30	2,674	Планування майданчика
Екскаватор типу JCB-220	6,00	2,672	Розробка ґрунту екскаватором
Бурова установка типу Soilmec SR-65	50,00	2,672	Влаштування буронабивних паль
Бетононасос типу HBTS40	9,40	2,672	Влаштування бетонної підготовки, фундаментної плити, монолітні плити, колони, ядра жорсткості, балки підземних поверхів, плити перекриттів
Трактор типу T-180	12,10	2,675	Зворотна засипка ґрунту
Кран підйомний типу Liebherr LTM 1160	16,00	2,673	Монтаж металевого каркасу, балок, колон, профнастилу, подача бетону для плит перекриттів
Компресор типу Atlas Copco XAS 75	7,80	2,672	Кріплення болтів

Стадії В1-В7. Використання. На даній стадії в розрахунок включаються ті компоненти будівлі, в яких термін експлуатації менший, ніж розрахунковий термін «життя» самої будівлі. У більшості випадків до таких матеріалів і виробів відносять оздоблення, технічне обладнання, вікна, двері, ізоляційні матеріали тощо, які міняються в процесі життєвого циклу. В розрахунок вводять процеси, пов'язані з заміною перерахованих вище частин будівлі, проте дані з транспортування нових матеріалів до будівлі, а старих – до місця утилізації не входять в розрахунок через невизначеність кількості викидів парникових газів транспортними засобами у майбутньому (а можливо і рівність цієї кількості нулю, як хотілося б сподіватися).

Екологічна модель, прийнята у даній роботі, не враховує фазу експлуатації будівлі, оскільки дані попередніх ґрунтовних досліджень [4.49] показали, що вплив конструктивних компонентів на екологічні показники на етапі експлуатації будівлі складно виміряти, і вони переважно контролюються іншими, непрогнозованими системами – роботою штор, системами освітлення, опалення, вентиляції тощо. Основну частину екологічних збитків беруть на себе процеси підтримання мікроклімату в приміщеннях: опалення, кондиціонування і вентиляція. Оскільки дана робота робить фокус на конструктивній схемі каркасу, системи підтримання мікроклімату не розглядаються, тому що практично не залежать від несучої підсистеми будівлі, а залежать від самого обладнання і стратегії його експлуатації. Наприклад, ступінь енергоощадності обладнання користувачів (чи орендарів) може впливати на понад 30% енергії, приєднаної до будівлі на етапі експлуатації [4.34].

Корозійні процеси у каркасах у даній роботі не враховані, оскільки несучі елементи захищені розташуванням всередині контуру огорожувальної оболонки, а також наявністю опорядження і захисного покриття. Деградація будь-яких матеріалів (бетон, цинкові покриття, вогнезахист тощо) в часі також не врахована у даній роботі в межах невеликого терміну оцінки. За умови відсутності серйозних негативних чинників або навмисних пошкоджень, вважається, що експлуатація будівлі відбувається належним чином протягом всього життєвого циклу.

Водночас врахована стадія завершення експлуатації і додаткові компоненти за межами життєвого циклу (див. нижче).

Стадії С1-С4. Розрахунок приєднаного вуглецю і GWP на стадіях **С1-С4 та D** здійснюється аналогічно до стадії А. Тільки тут на кожен матеріал вираховуються витрати або вигоди, пов'язані з процесами утилізації або повторного використання цих матеріалів. Під словом «вигоди» мається на увазі опосередковане зменшення викидів парникових газів шляхом використання матеріалу як сировини в процесі виробництва нової продукції, або застосування виробу повторно без переробки.

Наприклад, якщо використовувати в процесі виробництва металевих конструкцій металобрухт, можна уникнути викидів, пов'язаних з видобуванням та транспортуванням залізної руди. На долю даних робіт припадає близько 65% викидів парникових газів. Тому в кінці життя від GWP сталі віднімаються ті викиди CO₂-еквіваленту, що пов'язані з перерахованими раніше процесами.

Стадія С1. Деконструкція врахована у даній роботі з використанням інформації з бази *Ökobaudat*. Притому для вивезення ґрунту відповідне значення викидів вважається рівним нулю. Для опалубки значення викидів для стадії С1 також вважається рівним нулю, оскільки в кінці будівництва опалубка вивозиться з майданчика на новий об'єкт чи на утилізацію, а її «деконструкція» полягає просто у знятті, що вже враховано іншими стадіями, які існують під час використання бетону в монолітних роботах. Значення викидів під час деконструкції сталевих балок і колон (оскільки вони не визначені у базовому вимірнику) прийнято розраховувати як для сталевого профнастилу, а для вогнезахисту – значення вважається рівним нулю, оскільки немає потреби його демонтувати під час демонтажу і вивезення металоконструкцій в кінці життєвого циклу.

Стадія С2. Транспортування відходів також враховується у цій роботі з використанням даних бази Ökobaudat. При цьому для вивезення ґрунту відповідне значення викидів прийнято вважати рівним нулю, оскільки воно вже враховано для стадії А4 (див. вище). Значення викидів під час вивезення демонтованих балок і колон, оскільки вони не визначені у базовому вимірнику, прийнято враховувати як для сталевих профнастилу, а для плитного вогнезахисту – як для масо-габаритного аналога – мінеральної вати.

Стадія С3. Обробка відходів також врахована у роботі на основі даних бази Ökobaudat. Для ґрунту відповідне значення викидів прийнято вважати рівним нулю, оскільки в загальному випадку ґрунт не потребує обробки. Випадки, коли ґрунт забруднений токсичними речовинами (наприклад, у разі використання під забудову територій деяких колишніх виробництв або під час реконструкції) і потребує обробки, тут не розглядаються.

Для армування і профнастилу дані щодо викидів, приєднаних на **стадії С3**, не визначені у базовому вимірнику, тому прийняті в даній роботі такими ж, як для сталевих балок (металобрухт). Для плитного вогнезахисту значення викидів під час обробки відходів заведено вважати такими ж, як для мінеральної вати.

Стадія С4. Захоронення не враховується в межах системи оцінки життєвого циклу в даній роботі, оскільки щодо неї немає нормативних і достовірних баз даних, а викиди великою мірою залежать від способу захоронення. Як вже було наголошено у попередніх розділах, а також зазначено у вітчизняних Законі про відходи [4.51] та Настанові з ресурсозбереження у будівництві [4.17], з 1 січня 2018 року в Україні заборонено захоронювати необроблені відходи, в тому числі будівельні.

Стадія D. Потенціал рециклінгу для вивезення ґрунту вважається таким, що має нульове значення викидів в запас, хоча зрозуміло, що ґрунт може бути використаний повторно для засипок або рекультивзації. Для інших матеріалів приєднані характеристичні викиди парникових газів враховані у даній роботі на основі даних бази Ökobaudat. Рівень повернення рядового армування прийнято враховувати як 20%, а рівень повернення дротового армування – 5%, тобто в середньому у разі приблизно рівного розподілу типів армування в товщі бетону – 12,5%. Насправді зараз в Україні рівень повернення армування менший, оскільки немає індустріалізованої утилізації монолітного залізобетону.

Для фанерної крупнощитової опалубки 1 класу, згідно з експертними даними, в даній роботі прийнято враховувати оборотність використання на об'єкті 20 циклів, відповідно сумарні викиди взяті із множником 1/20 [4.5]. **Отже, сукупні зведені показники GWP матеріалів за стадіями життєвого циклу згідно EN 15978 [4.27] та значення, прийняті у даній роботі, наведені у таблиці 4.10.**

Зведені показники GWP матеріалів за стадіями життєвого циклу для оцінки несучих каркасів і фундаментів згідно EN 15978*[4.26], кг CO₂-еквіваленту

№	Тип і опис матеріалу	Вимірник	Виробництво	Транспортування	Деконструкція	Транспортування відходів	Обробка відходів	Потенціал рециклінгу
			A1-A3	A4**	C1	C2	C3	D
1	Ґрунт (виймання і вивезення)	кг	0	2,222	0	0	0	0
2	Бетон C20/25	м³	228,6	1,696	1,555	6,025	15,87	-4,847
3	Бетон C40/50	м³	283,1	1,696	1,555	6,025	15,87	-4,847
4	Арматурні вироби, приведені до періодичного профілю А500С	кг	0,6834	1,042	0,000719	0,002785	0,001844	-0,0854
5	Опалубка щитова фанерна (завтовшки 30 мм, густиною 650 кг/м³)	кг	-465,4	0,606	0	1,19	896,2	-30,48
6	Балки сталеві зварні	кг	1,125	1,042	0,00066	0,002553	0,001844	-0,4134
7	Колони сталеві зварні	кг	1,125	1,042	0,00066	0,002553	0,001844	-0,4134
8	Вогнезахисні плити типу Ammokote FB-300 (густина 750 кг/м³, товщина усереднена 48 мм)	кг	1,813	1,042	0	0,32	1,52	-3,36
9	Профільований настил типу HC75-750-0,8 (сталь С255, оцинкований, вага 8,4 кг/м³)	кг	2,676	1,042	0,000659	0,002553	0,001844	-1,576

* щодо стадій А5, В1 і С4, див. пояснення вище.

**стадія А4 для позицій 1,4-9 враховує перевезення вантажівкою завантаженістю 9т, а для позицій 2-3 дані взяті із бази «Ökobaudat».

Приклади екологічної оцінки життєвого циклу за методикою, наведеною вище, розглядаються у наступному розділі даної книги.

Приєднаний вуглець є відносно новим і досі нерегульованим показником у будівельній індустрії, тому допоки не існує комплексних та рецензованих наборів даних, що охоплюють приєднані викиди вуглецю, які пов'язані з різними типами будівель. Тому порівняти дві будівлі навіть на основі закордонного досвіду між собою складно через те, що локальні методики обрахунку LCA можуть відрізнятися наборами баз даних та межами систем, які бралися до уваги. Саме тому **розрахунки і параметри екологічної оцінки життєвого циклу в Україні можуть стати ключовими відомостями для національної бази даних, яку, на нашу думку, слід розробити. Це, безперечно, дасть змогу накопичувати досвід і експлуатаційну інформацію, підвищувати екологічну ефективність проектування та ощадливість будівель з роками.**

Загалом LCA є потужним інструментом, що дозволяє вийти на новий рівень у проектуванні, оскільки надає реальні цифри для екологічних наслідків, зумовлених будівництвом, і забезпечує раціональну основу для вибору конструктивного рішення. Водночас розвиток засобів LCC допоможе точніше обирати найбільш економічно вигідні проектні рішення. Це розглядається у наступному параграфі.

4.4. ЕКОНОМІЧНА МОДЕЛЬ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Економічний критерій вибору форми будівлі повинен бути всеосяжним і враховувати всі компоненти життєвого циклу з використанням принципу мінімізації його підсумкової вартості. При цьому розрізняють **вартість власне життєвого циклу** будівлі (LCC) і вартість **повного життя** будівлі (Whole Life Cycle Costing, **рис. 4.9**).

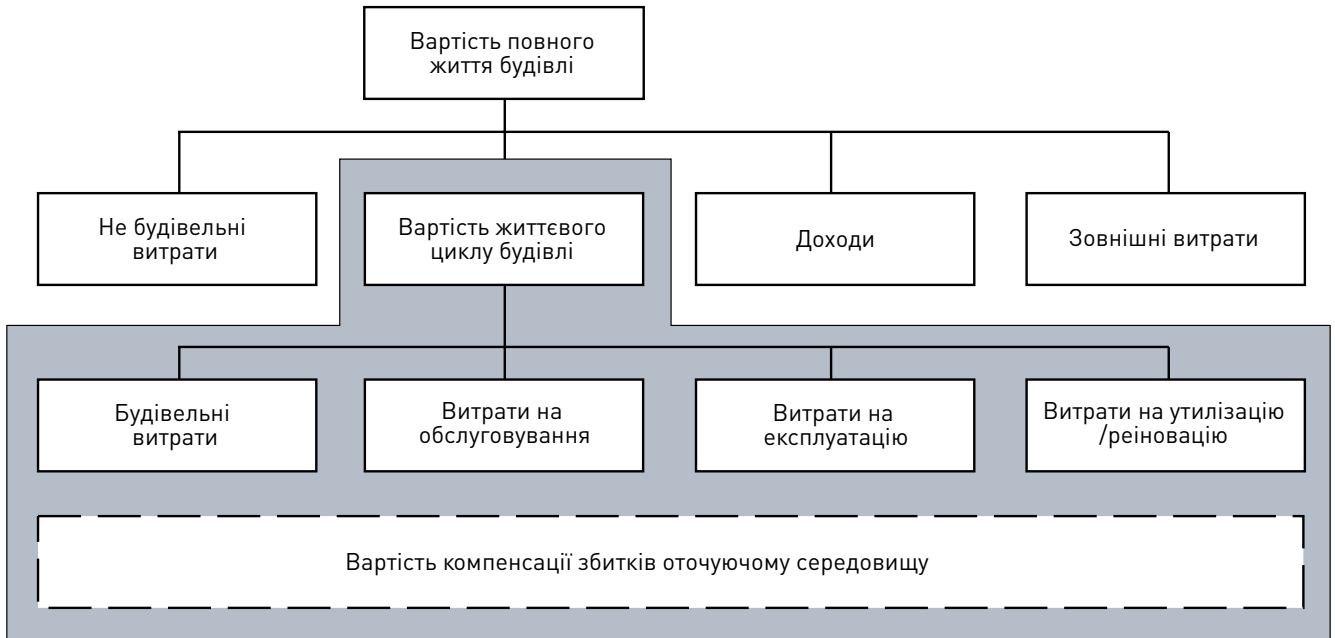


Рис. 4.9. Структура вартості повного життя будівлі

Вартість життєвого циклу формується з собівартості будівлі [4.3, 4.35], вартості експлуатації та обслуговування будівлі і вартості завершення циклу, який полягає в реновації будинку або розбиранні та утилізації його конструкцій [4.40].

Нормативи, зокрема ДСТУ ISO 15686 та BS-8544 [4.6-4.14, 4.21], визначають значну кількість компонентів, які повинні бути взяті до уваги під час аналізу вартості повного життя будівлі, і залежать від безлічі факторів (таблиця 4.11).

Розширена структура вартості життєвого циклу будівлі

1. Будівельні витрати	2. Витрати на обслуговування	3. Витрати на експлуатацію	4. Витрати на утилізацію/реновацію
1.1. Собівартість будівлі у ділі. 1.2. Інші супутні будівельні витрати. 1.3. Додаткові витрати, що визначаються клієнтом.	2.1. Модернізація елементів систем. 2.2. Планова заміна елементів систем та витрати на адаптацію. 2.3. Заміна інтер'єру та екстер'єру будівлі. 2.4. Поточні ремонти та технічне обслуговування. 2.5. Позапланові заміни, ремонти та технічне обслуговування. 2.6. Обслуговування ґрунтових основ. 2.7. Додаткові витрати, що визначаються клієнтом.	3.1. Прибирання. 3.1.1. Обслуговування зовнішньої оболонки. 3.1.2. Внутрішнє прибирання. 3.1.3. Спеціальне прибирання. 3.1.4. Догляд території. 3.2. Опалення, вентиляція та інші комунальні послуги. 3.2.1. Енергопостачання та слабкострумові мережі. 3.2.2. Водопостачання та водовідведення. 3.3. Адміністрування. 3.3.1. Управління нерухомістю. 3.3.2. Оплата експлуатуючого персоналу. 3.3.3. Управління відходами. 3.4. Накладні витрати. 3.5. Податки, обслуговування кредитів. 3.6. Додаткові витрати, що визначаються клієнтом.	4.1. Демонтаж та розбирання. 4.2. Утилізація компонентів. 4.3. Реновація згідно з договірними вимогами. 4.4. Додаткові витрати, що визначаються клієнтом.

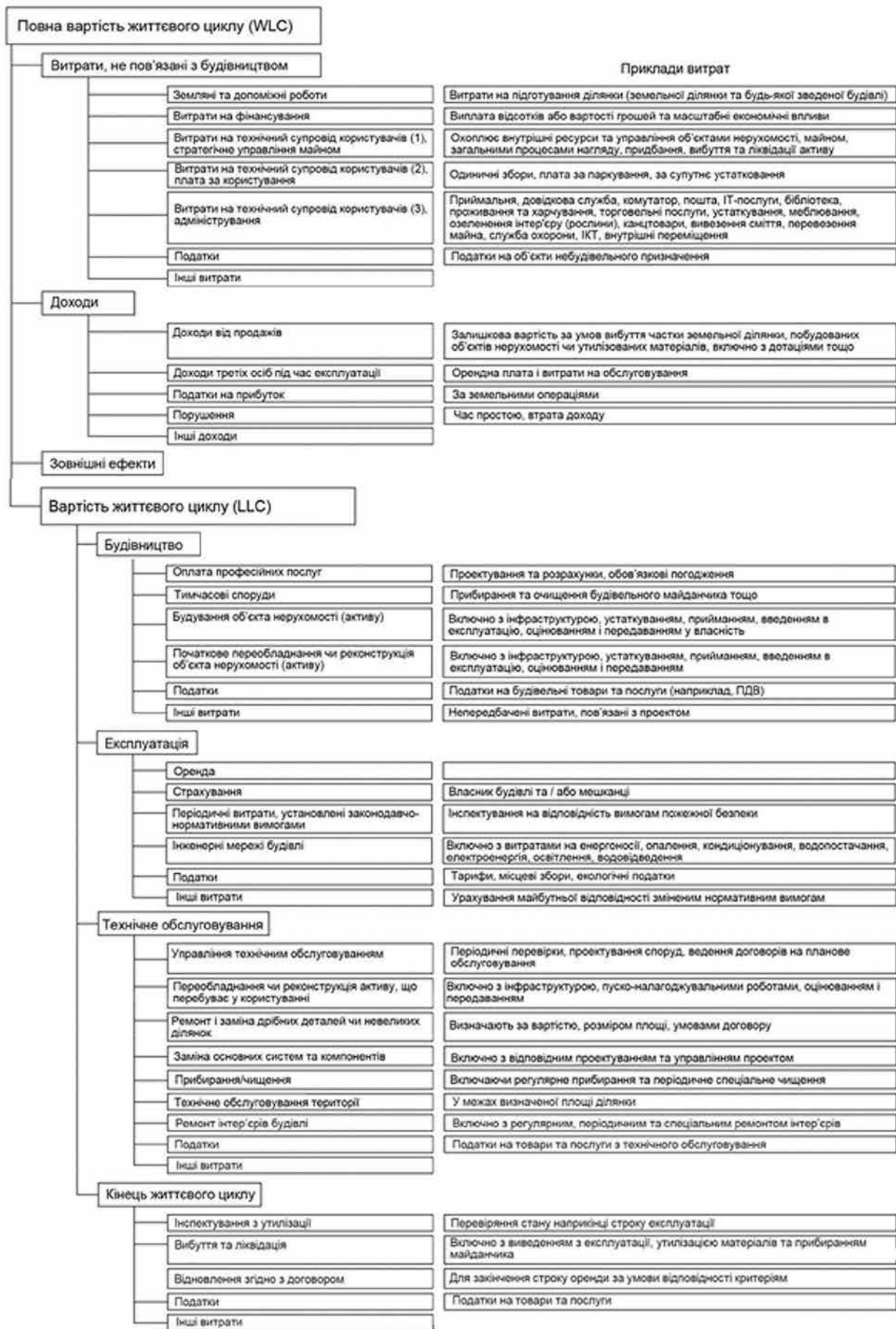


Рис. 4.10. Типовий обсяг витрат для вибору елементів LCC аналізу [4.10]

На рисунку 4.10 наведено типову класифікацію витрат для вибору елементів LCC аналізу, але існують і більш детальні переліки контрольних показників витрат, призначені для конкретних проектних рішень, місць розташування чи цілей будівництва [4.21].

Будівельні витрати, крім вартості самого будинку в ділі, описаної вище, несуть в собі також інші витрати, зокрема підготовку території та збитки від перекриття руху на час будівництва. Витрати на обслуговування містять ремонти і модернізацію будівлі. Для сталевих конструкцій, зокрема, необхідно проводити періодичне поновлення вогнезахисту, фарбування і антикорозійного покриття, а також локальне відновлення елементів під час позапланових ремонтів.

Експлуатаційні витрати складаються з поточних витрат, які пов'язані з забезпеченням внутрішньої функції будівлі. Вони прямо або опосередковано залежать від архітектурної форми, що впливає на огорожувальну оболонку і на вирішення несучих конструкцій, на прибирання, водо- і енергопостачання, різноманітні комунікації. Також до експлуатаційних витрат входить адміністрування, видатки на персонал, накладні затрати тощо.

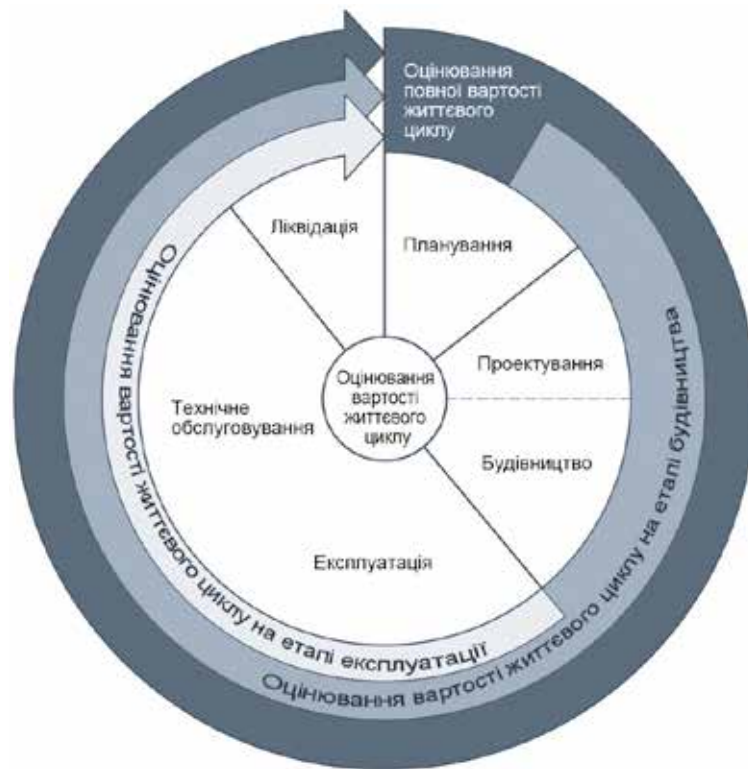
В кінці життєвого циклу будівля піддається реновації, реконструкції або демонтується, що призводить до відповідних витрат на демонтаж та утилізацію компонентів [4.2, 4.49].

Слід усвідомлювати, що будь-який етап життя сталевих конструкцій є не тільки рухом матерії всередині технічного циклу, але також викликає взаємодію з навколишнім середовищем, перетворюючи його. Крім того, кожен будівельний процес – від видобутку сировини до розбирання і утилізації компонентів конструкцій – не тільки потребує залучення зовнішніх ресурсів, що можуть бути виснажені, але і є джерелом відпрацьованих матеріалів, викидів і забруднень.

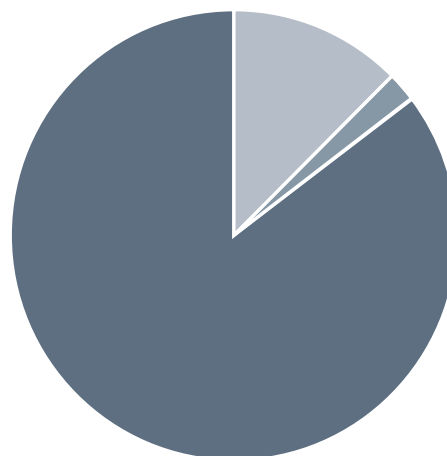
На етапі будівництва відбувається часткове руйнування природного середовища – зрізання дерев, зняття рослинного покриву, порушення природних ареалів проживання комах, тварин тощо. Верхній шар рослинного ґрунту під час будівництва вибирається і повинен бути переданий муніципальній владі для використання в парках і садах, а порушений біоценоз – перенесений і відновлений в інших місцях. Відходи, що з'являються під час будівництва, мають завжди той чи інший ступінь забруднення і повинні бути зібрані і перероблені відповідно порядку.

Етап обслуговування виробляє набагато менше відходів. Переважно вони пов'язані з ремонтами несучої конструкції та огорожувальної оболонки, а також з модернізацією та заміною елементів архітектурного середовища та внутрішніх систем.

Найбільш значні збитки, які докільля несе на етапі експлуатації будівлі, переважно пов'язані з необхідністю енергопостачання, опалення і вентиляції будівлі. Крім того, внутрішня функція будівлі є джерелом побутових і промислових відходів протягом всього терміну експлуатації (залежно від призначення будівлі). Питома доля вартості експлуатаційних витрат в комерційних будівлях за середніми оцінками сягає 85% (рис. 4.11).



а)



- Фаза зведення
- Фаза знесення
- Фаза обслуговування і експлуатації

б)

Рис. 4.11. Схема оцінювання (а) і питома доля вартості витрат укрупнених фаз життєвого циклу будівлі (б)

Закінчення життєвого циклу об'єкта будівництва в разі реновації пов'язане з утилізацією компонентів оболонки, несучих конструкцій і систем обслуговування внутрішньої функції, які підлягають заміні. У разі демонтажу будівлі з її подальшим заміщенням деякі елементи (наприклад, фасадні стіни) можуть бути залишені, що мінімізує відходи і втручання в архітектурне середовище, що існує. Також деякі типи будівель, переважно з металевими каркасами, можуть бути перенесені на інше місце (див. розділ 6). У разі демонтажу будівлі в кінці життєвого циклу без подальшого будівництва, на її місці повинен бути відновлений природний ландшафт і екосистеми (greenfield restoration).

Як приклад, дослідження [4.55] показало, що вартість 2,6 мільйонів тонн будівельних відходів, що виробляються щороку шляхом реконструкції та знесення лише в м.Амстердам (Нідерланди),

становить близько 688 мільйонів євро [4.56]. Отже, замінювані чи демонтовані компоненти будівель – це значний потенціал для рециклінгу, нових сфер бізнесу і заощаджень під час будівництва.

Встановлення витрат, пов'язаних з компенсацією збитків, завданих на всіх етапах життя будівлі навколишньому середовищу, вимагає комплексного підходу і наразі є предметом актуальних наукових досліджень (детальніше див. главу 6).

Застосовувати аналітичні засоби ЛСС можна на різних етапах циклу життя будівлі, для різних цілей оцінювання та з різною фабулою щодо подальших дій. Майбутні відносно моменту зведення витрати на експлуатацію та обслуговування будівлі також пов'язані зі стратегією інвестування та формою власності інвестора.

Для здійснення економічного аналізу потрібно насамперед акумулювати апіорні (до початку реалізації проекту) або апостеріорні (якщо дослідження здійснюється в процесі життя будівлі) дані щодо всіх етапів циклу, які можуть бути класифіковані за наступними категоріями (таблиця 4.12).

Табл.4.12.

Типи даних, що необхідні для повної економічної оцінки життєвого циклу

Дані щодо вартості	Дані щодо якості	Дані про користування	Фізичні дані	Дані щодо продуктивності
Вартість придбання Капітальні витрати Податки Інфляція Облікова ставка Вартість управління Вартість заміщення Витрати на прибирання Вартість демонтажу Страховання	Стан: - системи водопостачання і водовідведення; - трубопроводів; - меблів; - системи опалення; - оздоблення; - оснащення; - поверхонь шляхів	Профіль користувача Функціональність Години використання Окремі особливості	Площа поверхні підлог Типи систем водонагріву та опалення Площа вікон Функціональні площі Число користувачів Стіни та стелі Обсяги системи водопостачання і водовідведення	Періодичність обслуговування Періодичність прибирання Час користування Електрика Газ

Вочевидь, зібрати точні та повні дані згідно з таблицею 4.12 і детально порахувати кожен показник з таблиці 4.11, особливо на передпроектній стадії, досить складно, оскільки на значну кількість складових впливає зміна технологій, ринкової кон'юнктури і функціоналу будівлі в процесі життєвого циклу. Тому у даній роботі для більшості параметрів прийняті укрупнені дані, взяті з відомостей про аналоги і здобуті шляхом експертної оцінки.

Для обчислення коротких прогнозів для елементів життєвого циклу тривалістю до одного року можуть застосовуватися стандартні процедури порівняльної оцінки розширеної собівартості конструкцій в ділі.

Собівартість у ділі [4.1] є сумою технологічної собівартості виготовлення, технологічної собівартості монтажу, транспортних витрат та витрат на основні матеріали:

$$C_c = C_{t.fab} + C_{t.carc} + C_{tr} + C_{dir.m} \tag{4.5};$$

де:

- $C_{t.fab}$ – технологічна собівартість виготовлення;
- $C_{t.carc}$ – технологічна собівартість монтажу;
- C_{tr} – транспортні витрати;
- $C_{dir.m}$ – витрати на основні матеріали.

Розширена собівартість в ділі може враховувати додатково недоотримані прибутки чи витрати поза основними C_{ad} , що відповідають загальній структурі вартості, але не залежать істотно від часового фактора:

$$C_{c.ex} = C_{t.fab} + C_{t.care} + C_{tr} + C_{dir.m} + C_{ad} \quad (4.6).$$

Для точного визначення собівартості потрібно знати об'єми та вирішення по всіх статтях витрат для будівлі. На етапі попередньої оцінки альтернатив з цією метою можуть бути використані аналоги та укрупнені показники. Водночас собівартість у ділі не враховує експлуатаційні показники будівлі. Тому для обчислень довгострокових горизонтів понад один рік застосовують економіко-математичні моделі, які враховують вартість грошей у часі.

Основними показниками економічної привабливості проекту з урахуванням вартості грошей у часі є: чистий **дисконтований дохід (Net Present Value, NPV)**, **внутрішня норма дохідності (Internal Rate of Return, IRR)**, **дисконтований строк окупності інвестиційного проекту (Discount Payback Period, DPP)**, **індекс дохідності (Profitability Index, PI)** та **еквівалентна річна вартість (Equivalent Annual Cost, ECA)**. Нижче розглянемо детальніше основні з них.

Чиста поточна вартість (Net Present Value, NPV) – результат застосування коефіцієнтів дисконтування, що виходить з необхідної норми прибутку на прогнозований кожного року грошовий потік, і враховує значення як у грошовому потоці, так і поза ним. У такий спосіб грошові потоки дисконтуються до теперішньої вартості. Загалом, якщо показник NPV на прогнозний період є позитивним, інвестиція є привабливою [4.65]. Але оскільки під час розрахунків ЛСС фокус робиться на загальній приведеній вартості активу, а не тільки на доході, витрати враховують з позитивними знаками, а доходи – з негативними. В іншому випадку, якщо NPV записується у формі прибутку, знаки змінюються на протилежні.

Отже, якщо обирати між альтернативами, що конкурують між собою, краще обрати ту, що характеризується мінімальним значенням NPV у формі вартості, або ж максимальним NPV у формі прибутку [4.39]. Метод NPV враховує вартість грошей у часі як річних прибутків, так і витрат, для чого використовуються всі доступні дані. Метод NPV не застосовується, якщо альтернативи, що порівнюються, мають різну тривалість життя або прогнозного циклу експлуатації [4.33].

Нормативний документ США «Стандартна практика вимірювання ЛСС для будівель і будівельних систем» [4.24] визначає наступну загальну формулу для розрахунку чистої поточної вартості:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}, \quad (4.7),$$

де: t – часовий період; C_t – грошовий потік; r – ставка дисконтування.

Ставка дисконтування – це відсоткова ставка, яка застосовується до майбутніх доходів і враховує ризик та невизначеність, що пов'язані з фактором часу. Дисконтна ставка, що включає загальну інфляцію цін протягом досліджуваного періоду, називається номінальною обліковою ставкою. Дисконтна ставка, що виражена в розрізі без загальної інфляції цін, називається реальною обліковою ставкою. Номінальна ставка дисконтування – i – та її відповідна реальна дисконтна ставка – r – співвідносяться наступним чином:

$$r = \frac{1+i}{1+I} \quad \text{або} \quad i = (1+r)(1+I) - 1 \quad (4.8),$$

де I – загальна інфляція.

Внутрішня норма дохідності (Internal Rate of Return, IRR) – це критерій дисконтованого грошового потоку, який визначає середню норму прибутковості, посилаючись на умову зменшення значень до нуля в початковий момент часу [4.57].

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} - C_c \quad (4.9).$$

Через IRR можна розрахувати тестову дисконтну ставку, яка буде генерувати нульовий NPV. Найкращою буде альтернатива з найвищим значенням IRR. Результат IRR наводиться у відсотках, що дає очевидну інтерпретацію [4.33]. Проте для розрахунків потрібна процедура відстежування можливих помилок, і користуватися IRR можна лише тоді, коли інвестиції гарантовано принесуть дохід, що не завжди буває в будівельній галузі [4.39]. Прикладне застосування IRR показано у розділі 5.

Дисконтований строк окупності інвестиційного проекту (Discount Payback Method, DPP) переважно такий самий, як і простий **строк окупності інвестиційного проекту**, але враховує значення вартості грошей у часі. Математично:

$$DPP = \min n \Rightarrow \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \geq C_c \quad (4.10).$$

Втім, показник DPP ігнорує весь грошовий потік поза періодом окупності, тому цей метод повинен використовуватися лише для скринінгу, але не для прийняття рішень [4.33].

Індекс дохідності (Profitability Index, PI) обчислюється у відсотковому значенні на основі NPV у відношенні до початкових витрат:

$$PI = \frac{NPV}{C_c} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{C_c} \quad (4.11).$$

Еквівалентна річна вартість (Equivalent Annual Cost, EAC) виражає одноразовий NPV альтернативи як рівномірну еквівалентну річну вартість, враховуючи для цього коефіцієнт поточної вартості щорічних платежів [4.39]. За допомогою EAC можна порівняти різні альтернативи з різною тривалістю життя. Метод дає тільки середнє значення і не обраховує фактичну вартість життєвого циклу протягом кожного року. EAC можна виразити через NPV за формулою:

$$EAC = \frac{r(NPV)}{1 - (1+r)^{-n}} \quad (4.12).$$

Огляди моделей обрахунку вартості життєвого циклу для будівель [4.22, 4.33, 4.47] показують, що найбільш застосовною наразі, незважаючи на недоліки, є все ж таки NPV-модель. Загальна NPV-модель, що стала найбільш розповсюдженою для аналізу LCC, використовує приведення майбутніх витрат до дня аналізу [4.53], і в формі витрат записується у вигляді:

$$NPV = C + C_r - R_c + A + M + E \quad (4.13),$$

де:

C – вартість інвестування;

C_r – витрати на реновацію, заміщення або утилізацію об'єкту в кінці прогнозного циклу;

R_c – вартість перепродажу або зворотні суми під час рециклінгу компонентів в кінці досліджуваного періоду;

A – щорічні експлуатаційні витрати, технічне обслуговування та ремонт (крім витрат на енергію);

M – витрати на експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт (крім витрат на енергію), які мають не щорічний характер;

E – вартість витрат на енергію для функціонування.

Обрахунок LCCA системи будівлі вимагає даних про початкові інвестиційні витрати включно з витратами на планування, проектування, інжиніринг, придбання та підготовку ділянки, будівництво, встановлення всього оснащення; витрати на фінансування (якщо це стосується інвестиційного рішення); витрати на експлуатацію та технічне обслуговування – щорічні та ті, які відбуваються раз на декілька років (включаючи, наприклад, планове і непланове обслуговування, ремонт, вартість спожитих енергоносіїв та води, податок на майно та страхування); витрати на капітальний ремонт та вартість перепродажу (або витрати на утилізацію).

Майбутні потоки грошових коштів імовірно будуть істотно відрізнятись від загальної ставки підвищення цін (наприклад, витрати на енергоносії), тому деякі грошові потоки слід оцінювати на основі очікуваного специфічного темпу зміни ціни, чи то швидшого, чи то повільнішого, ніж загальний курс інфляції цін, що ускладнює моделювання та аналіз.

У даній роботі будемо розглядати функцію життєвого циклу у формі прибутку на основі модифікованого нами рівняння, запропонованого С. Хаджепуром та Д. Грісоном [4.19, 4.40]:

$$NPV = \sum_{k=1}^t \frac{RO_k}{(1+I)^{k-1}} + R_c - \sum_{k=1}^t \frac{C_o}{(1+I)^{k-1}} - \frac{C_r}{(1+I)^t} - C_c \quad (4.14),$$

де:

NPV – чисте теперішнє значення прибутку;

k – лічильник років;

t – термін життєвого циклу експлуатації будівлі, на який здійснюється розрахунок;

C_c – собівартість у ділі на початок експлуатації (див. вище);

R – річний дохід за рік у разі повного використання складових об'єкта, що генерують дохідність;

O_k – річний ступінь використання об'єкта, що може бути постійним або перемінним у часі;

I – прогнозована річна ставка інфляції, що приймається як правило, за даними Національного Банку України та впливає на вартість у разі, якщо терміни більше 1 року;

C_o – річні експлуатаційні витрати разом з усіма фіскальними відрахуваннями;

C_r – витрати на реновацію або утилізацію об'єкта в кінці прогнозного циклу.

Конкретні значення параметрів економічної моделі приймаються залежно від об'єкта дослідження. В даній роботі вони завдані окремо для кожного прикладу у розділі 5.

Застосування економічного аналізу життєвого циклу має певні особливості, які потребують розгляду нижче.

Альтернативи. Згідно з рекомендаціями відповідних нормативних документів, у разі порівняння трьох або більшої кількості альтернатив, слід розглядати найдовший можливий період аналізу [4.42]. Також альтернативи, що вивчаються, мають бути співмірними – тобто порівнюваними, знаходитися в однакових умовах, відрізнятись одна від одної тільки тими параметрами, що потрібно дослідити. Також альтернативи мають бути достатньо реалістичні та максимально точно описані, оскільки з урахуванням лічильника часу навіть невелика різниця в показниках може суттєво вплинути на вибір рішення.

Вартість компонентів. Аналіз LCC може бути використаний для демонстрації того, що **початкові високі витрати на деякі компоненти окупаються потім низькими витратами на експлуатацію та/або підвищення продуктивності.** Також підвищення капітальних витрат може позначатися на зростанні техніко-економічних показників, рівня комфортності чи інших параметрах будівлі, які додають їй цінності, надійності, довговічності тощо. Капітальні витрати можуть складати значну частину загальної вартості LCC для нових будівель з коротким життєвим циклом.

Витрати на експлуатацію, ремонт та заміну елементів будівлі або її обладнання. Урахування вартості експлуатації та обслуговування будівлі повинне бути невід'ємною частиною будь-якого аналізу LCC. За результатами аналізу LCC може бути визначений раціональний план робіт або перелік засобів технічного обслуговування будівельного об'єкта. За таких умов можуть виникнути питання, на які слід звернути увагу:

- а) роботи та супутні витрати, що необхідні для зберігання та/або відновлення елемента протягом його життя шляхом технічного обслуговування, ремонту чи заміни;
- б) знижений термін служби будівлі або елемента;
- в) витрати енергії та інші споживчі/комунальні послуги.

Аналіз LCC може частково або повністю переглядатися на різних етапах життєвого циклу, в зв'язку із появою нових даних під час експлуатації, змінами та уточненням задач аналізу тощо. Результати аналізу можуть виявити необхідність заміни або реновації допоміжних елементів під час заміни основних. Наприклад, може проявитися потреба заміни окремих прогонів покрівлі (коли замінюється опоряджувальний шар), або необхідність підсилення наявних колон під час заміни обладнання для кондиціонування на технічному поверсі тощо.

Витрати у разі завершення терміну експлуатації. Аналіз LCC повинен містити припущення, які можуть вплинути на витрати, що пов'язані із знесенням будівлі. Тут необхідно буде приділити особливу увагу екологічним вимогам. Наприклад, витрати на утилізацію можуть впливати на роботи, необхідні для зняття з експлуатації майна після знесення за принципом «забруднювач платить». Можна зробити припущення про майбутні витрати залежно від ступеня використання будівлі та рівня забруднення, що зберігатиметься після її зносу. Очевидно, що майбутнє несе в собі невизначеність як з точки зору витрат, так і технологій, проте, як було показано нами у розділі 1, будівельна галузь є достатньо консервативною в технологічному аспекті, тому прогнози строком на життя пересічних будівель видаються все ж виправданими.

Податки та субсидії. Податки та субсидії можуть вплинути на відносну ціну та процес прийняття рішень. Аналіз LCC повинен бути скорегований для будь-якого податкового періоду, що виникає в результаті розгляду різних варіантів. У деяких країнах існують податкові субсидії, пов'язані з інвестиціями. До вартості життєвого циклу має також входити вартість компенсації збитків навколишньому середовищу. Як вже зазначалося, цей показник наскільки важливий, настільки ж складний для обрахунку. Наразі монетизація екологічного збитку зазвичай виконується у вигляді податків (див. розділ 6).

Невизначеність моделі. З економічної точки зору моделювання вартості повного життя або життєвого циклу пов'язано з обрахунком вартості початкових і майбутніх інвестицій в конструкцію або будівлю. Загалом, вартість життя будівлі істотно залежить від обраної інвестиційної стратегії капіталовкладника та зміни ринкових умов. Також доводиться визнати, що застосування критерію вартості життєвого циклу або повної тривалості життя будівлі має набагато меншу точність і прогностичний рівень, ніж собівартість у ділі, оскільки враховує параметри, залежні від багатьох чинників, найбільш значущим із яких є час. Зазвичай термін для аналізу життєвого циклу комерційних будівель – 30...50 років, а для житлових будівель цикл може бути розрахований і до 100 років [4.19]. Проте слід брати до уваги, що точність LCC, отримана в такий спосіб в момент прийняття рішення на ескізній стадії, знижується зі збільшенням горизонту прогнозу. Треба зважати і на те, що оцінка, отримана шляхом аналізу вартості життєвого циклу на момент прийняття рішення у стадії попереднього проектування, не може бути абсолютною. Крім того, відомо, що точність оцінки за наявності складових з різною точністю визначається компонентом з найменшою точністю і знижується у разі зростання невизначеності. Отже, ми не можемо знати майбутнього точно, і в сучасних умовах ускладнення та розвитку світу експоненціальними темпами будь-який прогноз є певною мірою ризикованим. Проте, під час застосування в методиці економічної оцінки альтернатив

для вибору оптимальних вирішень будівель і з урахуванням факторів, залежних від часу, заведено робити наступні припущення:

- фактори, залежні від часу, діють на всі альтернативні конструктивні рішення однаково. Відтак детальний розгляд початкових вартісних параметрів, до яких вони застосовуються, є виправданим.
- Оскільки предметом розгляду оптимального вибору серед альтернатив є насамперед конструктивні схеми, інші вирішення підсистем будівлі вважаються однаковими у сенсі якості. А отже, зміна факторів у часі буде впливати насамперед та посилювати ефект конструктивних відмінностей та залежних від них кількісних параметрів.
- Прийняті параметри факторів, залежних у часі, взяті на основі найбільш виправданих прогнозів, що відображають поточний етап розвитку нашої цивілізації, перевірені на практиці попереднього досвіду та є його узагальненням, а строки аналізу менші за терміни сталих періодів вектору розвитку цивілізації та ринку новітньої епохи.
- Не до кінця точна оцінка фактора в будь-якому разі краща, ніж відсутність його урахування взагалі.

Економічні параметри альтернатив проекту для розрахунку LCC можуть бути отримані з даних креслень і кошторисної документації, а також виведені на основі даних щодо аналогів, досвіду експлуатації і державних розцінок, ресурсно-кошторисних норм. Вартісні показники матеріалів, виробів і процесів також містяться у розцінках відповідних організацій на ринку.

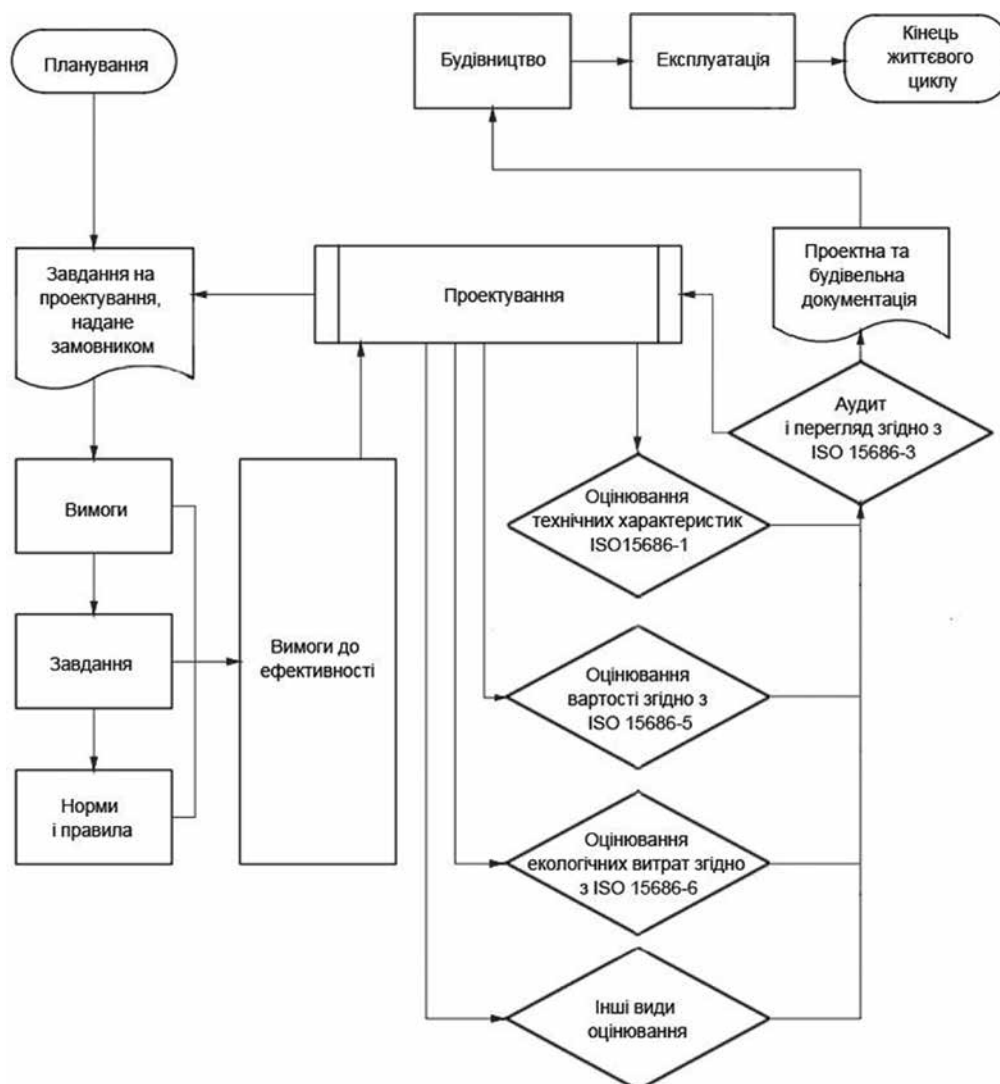


Рис. 4.12. Загальний алгоритм методики оцінки ЖЦ у проекті будівлі [4.10]

Описані моделі призначені не тільки для оцінки комерційного офісного будівництва. Розглянуті показники можуть однаково бути використані для готельних, житлових та змішаних комплексів тощо.

На рис. 4.12 наведено загальний алгоритм методики оцінки ЖЦ у проекті будівлі згідно ДСТУ ISO 15686-5 [4.10]. Практичні розрахунки за екологічною і економічною моделями описаними вище, наведені у розділу 5.

*Єдина стратегія виживання для людства –
це почати ставитися до світу не як до будівельного матеріалу,
що задовольняє його життєві потреби і навіть
забаганки, але як до живої будівлі.
Людина розумна вже не буде руйнувати «стіни і «фундамент»,
щоби почати все спочатку,
але продовжить організацію Всесвіту.*

Академік А.Д.Урсул

5. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ТА ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Розрахунки, проведені у прикладах даного розділу, здійснюються для попередньої оцінки різних конструктивних несучих систем будівель комерційного призначення з метою вибору оптимального рішення. Оскільки на початковому етапі багато даних є невизначеними, застосовані певні міри спрощень, які оговорюються у прикладах і виправдані з точки зору мети оцінки. Методика, за якою проведено розрахунки, описана у розділі 4.

5.1. РОЗРАХУНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ РІШЕНЬ LCA ДЛЯ НОВОГО БУДІВНИЦТВА

Розглянемо приклади розрахунку GWP для різних типів конструкцій і схем.

Приклад 5.1. Порівняльний розрахунок LCA для прокатних сталевих і монолітних залізобетонних балок перекриття за умови короткого прольоту. В даному прикладі розглядаються нерозрізні балки перекриття прольотом 6 м.

Опис альтернатив:

Варіант 1: сталева прокатна балка, двотавр №36 вітчизняного виробництва С245, місцевий завод виробництва металоконструкцій. Вага балки 292 кг.

Варіант 2: залізобетонна монолітна балка прямокутного перерізу з бетону класу міцності С20/25, армована 8 стержнями діаметром 12 мм класу А-400С, поперечна арматура діаметром 6 мм класу А-240С, крок 150 мм. Об'єм бетону на балку – 1,44 м³. Загальна вага армування – 175,8 кг, місцевий завод бетону.

Прийняті межі моделі оцінки життєвого циклу

Ступінь аналізу – 1 (тільки несучий остов будівлі). Супутні, дотичні конструктиви умовно не розглядаються. Проводиться тільки оцінка одного прольоту балки за матеріалом.



a)

b)

Рис.5.1. Ілюстрація до прикладу 1:
перекриття із застосуванням зварних балок **(a)** і монолітного залізобетону **(b)** за умови короткого прольоту

Віддаль транспортування конструкцій прийнята однакова – 30 км. Етап монтажу А5, етап експлуатації В1 та захоронення С4 в даному прикладі не враховані (див. розділ 4). Етапи С1 і С2 для сталевих елементів прийняті в цілому, як для профільованих листів. Для армування етап С3 прийнятий як для сталевих балок.

Табл.5.1.

Екологічні показники матеріалів за етапами життєвого циклу для прикладу 1

Матеріал	Вимірник	Виробництво	Транспортування	Деконструкція	Транспортування відходів	Обробка відходів	Потенціал рециклінгу
		A1-A3	A4	C1	C2	C3	D
Сталеві конструкції	кг	1,125	= 606/1000 + 436/1000 = 1,042*	0,00066	0,00255	0,00184	-0,4134
Бетон С20/25	м ³	228,6	1,696	1,555	6,025	15,87	-4,847
Армування	кг	0,6834	1,042*	0,00072	0,00279	0,00184	-0,6834×12,5% = -0,08543**

*Сума для руху порожнього і заповненого транспорту на 9 тонн вантажу (див. таблицю 4.7).

**Рівень рециклінгу дротового армування прийнято як 5%, а рядового – 20%.

В середньому – 12,5% (див. розділ 4).

Характеристичний показник потенціалу глобального потепління для варіанту 1 буде рівний:

$$GWP_{(cat,сталь)} = \text{вага конструкції, кг} \times (\sum GWP (A1,A2,A3,C1,C2,C3,D) + 30 \text{ км} \times GWP (A4) / 9000);$$

$$GWP_{(cat,сталь)} = 291,6 \text{ кг} \times (1,125 + 0,00066 + 0,00255 + 0,00184 - 0,4134 + 30 \text{ км} \times 1,042/9000) = \mathbf{209,99 \text{ кг CO}_2\text{-еквіваленту.}$$

Характеристичний показник потенціалу глобального потепління для варіанту 2, для бетонної частини конструкції з бетону С20/25:

$$GWP_{(cat,бетон)} = \text{об'єм конструкції, м}^3 \times \sum GWP (A1,A2,A3, A4,C1,C2,C3,D);$$

$$GWP_{(cat,бетон)} = 1,44 \text{ м}^3 \times (228,6 + 1,696 + 1,555 + 6,025 + 15,87 - 4,847) = \mathbf{358,41 \text{ кг CO}_2\text{-еквіваленту.}$$

Характеристичний показник потенціалу глобального потепління для варіанту 2, для армування:

$$GWP_{(cat,арматура)} = \text{вага конструкції, кг} \times (\sum GWP (A1,A2,A3,C1,C2,C3,D) + 30 \text{ км} \times GWP (A4) / 9000);$$

$$GWP_{(cat,арматура)} = 175,82 \text{ кг} \times (0,6834 + 0,00072 + 0,00279 + 0,00184 - 0,08543 + 30 \text{ км} \times 1,042/9000) = \mathbf{106,69 \text{ кг CO}_2\text{-еквіваленту.}$$

Загальний характеристичний показник потенціалу глобального потепління для варіанту 2 становить:

$$GWP_{\Sigma} = 358,41 + 106,69 = 465,1 \text{ кг} > 209,99 \text{ кг CO}_2\text{-еквіваленту.}$$

Висновок: характеристичний показник потенціалу глобального потепління має більшу величину у варіанті 2.

Приклад 5.2. Порівняльний розрахунок LCA для зварних сталевих і монолітних залізобетонних балок покриття за умови довгого прольоту. В даному прикладі розглядається балка експлуатованого покриття, шарнірно-закріплена, прольотом 13 м, крок балок – 5 м.

Прийняті межі моделі оцінки життєвого циклу

Рівень аналізу – 1 (тільки несучий остов будівлі). Проводиться тільки оцінка за матеріалом. Супутні, дотичні конструктиви умовно не розглядаються.

Опис альтернатив

Варіант 1: зварна балка двотаврового перерізу з листової сталі вітчизняного виробництва S355 за ДСТУ EN 10025, місцевий завод виробництва металоконструкцій. Висота балки – 1200 мм, вага – **2020,59** кг.

Варіант 2: залізобетонна монолітна балка прямокутного перерізу висотою 1400 мм, бетон класу міцності C30/37, об’єм бетону на балку – 5,72 м³. Армування класу A500C та A240C, загальна вага армування – 764,5 кг, місцевий завод бетону.



a)

б)

Рис.5.2. Ілюстрація до прикладу 2:
довгопрольотні перекриття із застосуванням зварних балок **(а)**
і монолітних залізобетонних балок **(б)**

Відстань транспортування конструкцій прийнята однакова – 30 км. Етап монтажу А5, етап експлуатації В1 та захоронення С4 в даному прикладі не враховані (див. розділ 4). Етапи С1 і С2 для сталевих елементів прийнято в цілому, як і для профільованих листів. Для армування етап С3 прийнято як для сталевих балок.

У таблиці 5.2 наведені екологічні показники за етапами життєвого циклу матеріалів, що використовуються у прикладі 2 (також див. пояснення до таблиці 5.1 і розділ 4).

Табл.5.2.

Екологічні показники матеріалів за етапами життєвого циклу для прикладу 2*

Матеріал	Вимірник	Виробництво	Транспортування	Деконструкція	Транспортування відходів	Обробка відходів	Потенціал рециклінгу
		A1-A3	A4	C1	C2	C3	D
Сталеві конструкції	кг	1,125	1,042	0,00066	0,00255	0,00184	-0,4134
Бетон C30/37	м ³	283,1	1,696	1,555	6,025	15,87	-4,847
Армування	кг	0,6834	1,042	0,00072	0,00279	0,00184	-0,08543

*Коментарі та зноски див. до таблиці 5.1.

Характеристичний показник потенціалу глобального потепління для варіанту 1 буде рівний:

$$\begin{aligned} GWP_{(cat,сталь)} &= \text{вага конструкції, кг} \times (\sum GWP (A1,A2,A3,C1,C2,C3,D) + 30 \text{ км} \times GWP (A4) / 9000); \\ GWP_{(cat,сталь)} &= 2020,59 \text{ кг} \times (1,125 + 0,00066 + 0,00255 + 0,00184 - 0,4134 + 30 \text{ км} \times 1,042/9000) = \\ &= 1455,09 \text{ кг CO}_2\text{-еквіваленту.} \end{aligned}$$

Характеристичний показник потенціалу глобального потепління для варіанту 2, для бетонної частини конструкції із бетону C30/37:

$$\begin{aligned} GWP_{(cat,бетон)} &= \text{об'єм конструкції, м}^3 \times \sum GWP (A1,A2,A3, A4,C1,C2,C3,D); \\ GWP_{(cat,бетон)} &= 5,72 \text{ м}^3 \times (283,1 + 1,696 + 1,555 + 6,025 + 15,87 - 4,847) = \\ &= 1735,44 \text{ кг CO}_2\text{-еквіваленту.} \end{aligned}$$

Характеристичний показник потенціалу глобального потепління для варіанту 2, для армування:

$$\begin{aligned} GWP_{(cat,арматура)} &= \text{вага конструкції, кг} \times (\sum GWP (A1,A2,A3,C1,C2,C3,D) + 30 \text{ км} \times GWP (A4) / 9000); \\ GWP_{(cat,арматура)} &= 764,54 \text{ кг} \times (0,6834 + 0,00072 + 0,00279 + 0,00184 - 0,08543 + 30 \text{ км} \times 1,042/9000) = \\ &= 463,92 \text{ кг CO}_2\text{-еквіваленту.} \end{aligned}$$

Загальний характеристичний показник потенціалу глобального потепління для варіанту 2 становить:

$$GWP_{\zeta} = 1735,44 + 463,92 = 2199,4 \text{ кг} > 1455,09 \text{ кг CO}_2\text{-еквіваленту.}$$

Висновок: характеристичний показник потенціалу глобального потепління має більшу величину у варіанті 2.

Приклад 5.3. Розрахунки екологічної оцінки рішень LCA та економічних показників під час нового будівництва для різного компонування балкових систем перекриття.

В даному прикладі проведено дослідження, в якому розглядаються основні схеми компонування несучих конструкцій чарунки перекриття для різних сіток колон (див. розділ 3).

Метою дослідження є визначення екологічної ефективності різних схем компонування шляхом **LCA-оцінки**. Також за розцінками і обсягами матеріалів пораховані вартісні параметри перекриттів.

Під час розрахунку екологічної оцінки, як і в попередніх прикладах, використано базу даних **Ökobaudat** (див. розділ 4).

Межі моделі оцінки життєвого циклу, що прийняті для розрахунку:

- Ступінь аналізу – 1 (тільки несучий остов).
- Проводиться тільки оцінка за матеріалом, до уваги взяті тільки конструкції чарунки перекриття: головні, другорядні балки і в деяких випадках прогони перекриття, плити по профільованому настилу. Колони не розглядаються, оскільки в межах кожного порівняння розміри чарунки однакові. Також, відповідно, умовно не розглядаються фундаменти, деталі кріплень, ребра, інші супутні та дотичні конструктиви.
- Етапи життєвого циклу за ДСТУ EN 15978, зокрема A5 – встановлення, B1 – використання, не враховані, але для всіх матеріалів врахований етап A4 – транспортування. Для розрахунку використовуються дані бази Lipasto, (див. опис моделі у розділі 4), при цьому віддаль доставки всіх елементів прийнята усереднено – 30 км, що характерно для будівництва у Києві. Етап 4 – захоронення – не розглядається, оскільки захоронення металевих будівельних конструкцій заборонене.

- В дослідженні розглядаються різні, але найбільш застосовні, популярні компоновальні схеми перекриттів (див. розділ 3 і нижче таблицю 5.3).
- Фактори впливу на рішення різної висоти підбраного перекриття та проходження інженерних мереж не враховані, оскільки зазвичай вирішуються поодинокими перфораціями без істотного впливу на загальні техніко-економічні показники перекриття. Оснащення і навантаження будівлі розглянуті як однакові.
- Корисне навантаження для всіх альтернатив прийняте однакове, стандартне для громадського (офісного) використання будівлі – 2 кН/м^2 , навантаження від опорядження і перегородок також прийняте як однакове для всіх альтернатив.
- Некількісні ризики не взяті до уваги через складність та невизначеність їхнього врахування.
- Додаткові заходи підвищення ефективності балкових перекриттів, зокрема конструктивний підйом, або композитна робота – у даному дослідженні не розглядаються.
- Залізобетонна плита по профнастилу прийнята за розрахунковою схемою розрізною на прогонах.
- Сталеві зварні балки за показниками екологічної ефективності прирівняні до прокатних.

Компоновальні схеми чарунок та їхні шифри, розглянуті у даному дослідженні, показані у таблиці 5.3. Кожній схемі надано шифр, що складається з римської та арабської цифр, що, відповідно, означають тип і підтип компоновання.

Табл.5.3.

Компоновальні схеми і шифри чарунок, що прийняті у прикладі 3

№	Компоновальна схема чарунки	№	Компоновальна схема чарунки
I1		II1	
I2		II2	
I3		II3	
I4		III1	

Опис альтернатив за типами і кількістю балок показано у таблиці 5.4.

Табл.5.4.

Опис альтернатив за типами та кількістю балок

Схема	I1	I2	I3	I4	II1	II2	II3	III1
Кількість B1 _к	2	2	2	2	2	2	2	2
Кількість B2	1	2	5	4	1	1	1	1
Кількість B2 _к	2	2	2	2	2	2	2	2
Кількість B3	-	-	-	-	2	4	6	-

Екологічні показники матеріалів – одиничні вимірники значення GWP за етапами життєвого циклу для прикладу 3 прийняті згідно з ДСТУ EN 15978 і наведені у таблиці 5.5.

Табл.5.5.

Показники GWP матеріалів за етапами життєвого циклу для прикладу 3*

Матеріал	Вимірник	Виробництво	Транспортування	Деконструкція	Транспортування відходів	Обробка відходів	Потенціал рециклінгу
		A1-A3	A4	C1	C2	C3	D
Сталева балка прокатна і зварна	кг CO ₂ -екв./кг	1,125	1,042	0,000659	0,002553	0,001844	-0,4134
Сталевий профнастил	кг CO ₂ -екв./кг	2,676	1,042	0,000659	0,002553	0,001844	-1,576
Армування А500С	кг CO ₂ -екв./кг	0,6834	1,042	0,0007189	0,002785	0,001844	-0,085425
Бетон С25/30	кг CO ₂ -екв./м ³	283,1	1,696	1,555	6,025	15,87	-4,847

*Коментарі та зноски див. до таблиці 5.1.

Розцінки на матеріали, вироби та роботи були прийняті ринковим методом згідно з відкритими даними, що доступні на ринку станом на жовтень 2021 року для Києва (див. таблицю 5.6).

Табл.5.6.

Найменування і розцінки матеріалів для прикладу 3

Матеріал	Розцінки	Вимірник
Бетон В30 (М400) (С25/30) Р3	110,39	у. о./м ³
Арматура А500С	898,36	у. о./т
Профлист Н-75 0,7 мм (800/750)	22	у. о./м ²
Вартість тонни зварних двотаврів	1644,46	у. о./т

Матеріал	Розцінки		Вимірник
	№ двотавра	Ціна	
Вартість прокатних двотаврів	60	94,78	у. о./пог. м
	55	94,78	
	50	94,78	
	45	94,78	
	40	98,27	
	36	64,06	
	33	64,06	
	30	48,31	
	27	48,31	
	24	48,31	
	22	48,1	
	20	29,92	
	18	24,85	
	16	20,94	
	14	18,29	
	12	18,29	
10	18,29		

Вибір розрізних некомпозитних залізобетонних плит перекриття по профільованому настилу зроблений за табличними даними попередніх досліджень для прольотів 1-8 м із кроком 1 м [5.1] (див. таблицю 5.7). Проміжні значення, з огляду на точність та мету оцінки LCA у даній роботі, можуть бути встановлені за найближчими вищими даними.

Табл.5.7.

Вирішення для розрізних некомпозитних залізобетонних плит перекриття по профільованому настилу

Обсяги матеріалів на м ² для прольоту	Граничне розрахункове рівномірно розподілене навантаження, кН/м ²					
	5	6	7	8	9	10
Проліт плити 1 м	H75-C25/30-5A500C-5A500C	H75-C25/30-5A500C-5A500C	H75-C25/30-5A500C-5A500C	H75-C25/30-5A500C-5A500C	H75-C25/30-6A500C-5A500C	H75-C25/30-6A500C-5A500C
Об'єм бетону, м ³ /м ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Вага нижньої арматури, кг/м ²	0,77	0,77	0,77	0,77	1,11	1,11
Вага верхньої арматури, кг/м ²	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Вага профлиста, кг/м ²	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40

Обсяги матеріалів на м ² для прольоту	Граничне розрахункове рівномірно розподілене навантаження, кН/м ²					
	5	6	7	8	9	10
Проліт плити 2 м	H75-C25/30-8A500C-5A500C	H75-C25/30-2*6A500C-5A500C	H75-C25/30-10A500C-5A500C	H75-C25/30-10A500C-5A500C	H75-C25/30-2*8A500C-5A500C	H75-C25/30-2*8A500C-5A500C
Об'єм бетону, м ³ /м ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Вага нижньої арматури, кг/м ²	1,97	2,22	3,08	3,08	3,95	3,95
Вага верхньої арматури, кг/м ²	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Вага профлиста, кг/м ²	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40
Проліт плити 3 м	H75-C25/30-12A500C-5A500C	H75-C25/30-14A500C-5A500C	H75-C25/30-14A500C-5A500C	H75-C25/30-16A500C-5A500C	H75-C25/30-16A500C-5A500C	H75-C25/30-2*12A500C-5A500C
Об'єм бетону, м ³ /м ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Вага нижньої арматури, кг/м ²	4,44	6,04	6,04	7,89	7,89	8,88
Вага верхньої арматури, кг/м ²	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Вага профлиста, кг/м ²	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40
Проліт плити 4 м	H75-C25/30-16A500C-5A500C	H75-C25/30-18A500C-5A500C	H75-C25/30-2*14A500C-5A500C	H75-C25/30-2*14A500C-5A500C	H75-C25/30-22A500C-5A500C	H75-C25/30-2*16A500C-5A500C
Об'єм бетону, м ³ /м ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Вага нижньої арматури, кг/м ²	7,89	9,99	12,08	12,08	14,92	15,79
Вага верхньої арматури, кг/м ²	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Вага профлиста, кг/м ²	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40
Проліт плити 5 м	H75-C25/30-2*14A500C-5A500C	H75-C25/30-22A500C-5A500C	H75-C25/30-24A500C-5A500C	H75-C25/30-25A500C-5A500C	H75-C25/30-28A500C-5A500C	H75-C25/30-28A500C-5A500C
Об'єм бетону, м ³ /м ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Вага нижньої арматури, кг/м ²	12,08	14,92	17,76	19,27	24,17	24,17
Вага верхньої арматури, кг/м ²	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Вага профлиста, кг/м ²	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40

Обсяги матеріалів на м ² для прольоту	Граничне розрахункове рівномірно розподілене навантаження, кН/м ²					
	5	6	7	8	9	10
Проліт плити 6 м	H75-C25/30-24A500C-5A500C	H75-C25/30-28A500C-5A500C	H75-C25/30-2*20A500C-5A500C	H75-C25/30-2*22A500C-5A500C	H75-C25/30-2*24A500C-5A500C	H75-C25/30-2*25A500C-5A500C
Об'єм бетону, м ³ /м ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Вага нижньої арматури, кг/м ²	17,76	24,17	24,66	29,84	35,51	38,54
Вага верхньої арматури, кг/м ²	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Вага профлиста, кг/м ²	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40
Проліт плити 7 м	H75-C25/30-30A500C-5A500C	H75-C25/30-32A500C-5A500C	H75-C25/30-2*25A500C-5A500C	H75-C25/30-2*28A500C-5A500C	H75-C25/30-42A500C-5A500C	H75-C25/30-2*32A500C-5A500C
Об'єм бетону, м ³ /м ²	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Вага нижньої арматури, кг/м ²	27,75	31,56	38,54	48,34	54,36	63,13
Вага верхньої арматури, кг/м ²	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Вага профлиста, кг/м ²	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40
Проліт плити 8 м	H75-C25/30-2*24A500C-5A500C	H75-C25/30-2*28A500C-5A500C	H75-C25/30-42A500C-5A500C	H75-C25/30-2*32A500C-5A500C	H75-C25/30-2*36A500C-5A500C	H75-C25/30-2*36A500C-5A500C
Об'єм бетону, м ³ /м ²	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Вага нижньої арматури, кг/м ²	35,51	48,34	54,36	63,13	79,91	79,91
Вага верхньої арматури, кг/м ²	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Вага профлиста, кг/м ²	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40

Проліт плит, як видно з таблиці, обмежений – до 8 м, а граничне розрахункове рівномірно розподілене навантаження – 10 кН/м², що відповідає більшості реальних випадків.

Сортаменти підбору балок прийняті згідно стандарту [5.7] на зварні перерізи балок. Проведені дослідження теоретичні та не враховують дійсної наявності профілів на металобазах. Ми спираємось на те, що у прайсах компаній-постачальників така наявність декларується. До того ж за необхідності будь-які прокатні перерізи можуть бути замінені на еквівалентні зварні.

Результати дослідження. На прикладі стандартної чарунки **8×12 м** детально покажемо обчислення показників, що потім були використані для формування таблиць для всіх поширених чарунок (див. нижче).

Сталь прийнята для настилу С245, для балок С345 або S355. Клас наслідків будівлі прийнято СС2. Отже, дослідження здійснене для сумарного граничного розрахункового навантаження, прикладеного до профлиста 9,41 кН/м². Відповідне експлуатаційне розрахункове навантаження становить 6,2 кН/м².

Альтернативи перерізам елементів на прикладі стандартної чарунки 8×12 м

Конструктивний елемент	I1	I2	I3	I4	II1	II2	II3	III1
Монолітна плита по профлисту	H75-C25/30-28A500C-5A500C	H75-C25/30-2*16A500C-5A500C	H75-C25/30-2*12A500C-5A500C	H75-C25/30-2*8A500C-5A500C	H75-C25/30-28A500C-5A500C	H75-C25/30-2*12A500C-5A500C	H75-C25/30-2*12A500C-5A500C	H75-C25/30-28A500C-5A500C
Балка крайня головна В1 _к	60БС2	60БС2	70БС6	60БС2	50	55	60	60
Балка другорядна В2	50	45БС1	45БС1	40	50	50	50	55БС2
Балка другорядна крайня В2 _к	45	36	33	33	40	40	40	45
Прогон В3	-	-	-	-	30	27	24	-

Розрахунки були здійснені для чарунки, що розглядається по кожному критерію і для кожної схеми компонування. Результати розрахунків наведені у таблиці 5.9.

Табл.5.9.

Результати розрахунків критеріїв для кожної схеми компонування перекриття

Схема	Вартість матеріалів, у. о./м ²	Металоємність без арматури, кг/м ²	Металоємність з арматурою, кг/м ²	GWP, кг CO ₂ -еквіваленту/м ²
I1	99,25	60,15	76,71	86,41
I2	104,90	65,71	75,36	86,22
I3	136,88	92,11	96,82	102,23
I4	125,03	80,53	85,24	93,90
II1	111,87	31,74	71,05	79,76
II2	115,13	35,03	51,59	68,32
II3	132,62	37,30	46,95	65,76
III1	159,27	50,46	89,76	93,23
Мінімальне значення	99,25	31,74	46,95	65,76
Схема з найменшим показником	I1	II1	II3	II3

Як видно з таблиці 5.9, схеми, що мають найменшу металоємність каркасу, не виявляються найбільш вигідними за економічними параметрами. Це відповідає розрахункам за подібними критеріями, які ми отримали раніше для інших типів конструкцій [5.2, 5.4], а також світовому досвіду [5.5, 5.10, 5.11]. Схема, яка є найбільш раціональною за мінімальним значенням екологічної оцінки LCA, також не відповідає найменшій вартості матеріалів, що породжує дилему для кардинального вибору [5.9].

На графіку рис. 5.3 демонструється співвідношення показників з **таблиці 5.9** для різних варіантів схем.

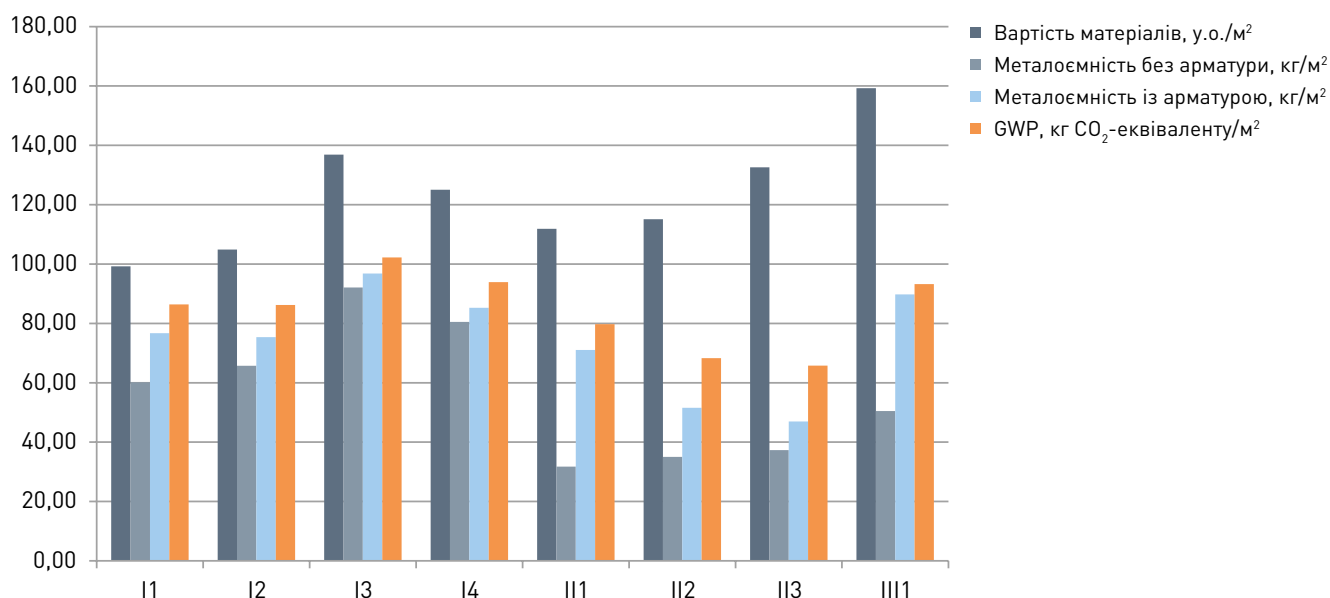


Рис. 5.3. Співвідношення показників для різних варіантів конструювальних схем перекриття

Отже, характерний приклад показує ефективність і наочність запропонованого підходу.

Дослідження, яке ми продемонстрували вище, було надалі проведене для всіх комбінацій геометричних співвідношень перекриттів у діапазоні 6-16 м з кроком 1 м. Це дослідження укрупнено охоплює майже всі варіації конструювальних схем для будівель комерційного призначення, що застосовуються найчастіше.

Нижче показані зведені таблиці, що включають вибрані раціональні схеми за різними показниками для стандартних розмірів чарунок (таблиці 5.11, 5.12, 5.15 і 5.17), та відповідні параметри ефективності (таблиці 5.12, 5.13, 5.16 і 5.18). Довга сторона чарунки вказана у горизонтальному ряді чисел. Для наочності клітинки таблиць зафарбовані у різні кольори, ключ до позначень наведений у таблиці 5.10.

Табл.5.10.

Ключ до кольорового забарвлення таблиць 5.11, 5.12, 5.15 і 5.17 за шифрами конструктивних схем

I1	I2	I3	I4	II1	II2	II3	III1
----	----	----	----	-----	-----	-----	------

Табл.5.11.

Схеми з найменшим значенням вартості матеріалів

Проліт, м	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1
7	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1
8	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	III1	II1
9	I1	II1	II1	I2	II1	II1	II1	II2	II1	II1	II1
10	II1	I2	I1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1
11	I1	I1	I1	I2	II2	II1	II2	II2	II1	II1	II1
12	I1	I1	I1	I2	II2	I2	II1	II1	II1	II1	II1
13	I1	I2	I2	I2	I4	I4	I4	I4	I4	I4	I4
14	I2	I2	I1	I4	I4	I4	I4	I4	I2	I2	I4
15	I2	I1	I4	I4	I4	I2	I2	I4	I4	I4	I2
16	I1	I1	I4	I2	I2	I4	I4	I4	I4	I4	I4

Табл.5.12.

Найменші значення вартості матеріалів для схем, у. о./м²

Проліт, м	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	77,41	79,23	84,51	88,43	86,42	85,26	84,29	86,09	90,27	108,27	113,91
7	86,62	86,55	91,77	89,49	97,16	95,38	96,14	94,34	109,52	111,91	116,41
8	86,42	95,75	98,81	94,87	92,77	91,04	91,57	94,64	112,07	122,38	113,17
9	93,1	102,13	102,16	98,07	101,22	101,25	99,81	110,43	112,35	115,17	119,67
10	102,84	106,05	102,41	100,65	98,19	98,04	96,61	110,17	113,26	110,46	114,44
11	100,75	105,77	100,69	101,07	107,45	108,64	111,87	112,81	138,31	138,99	135,86
12	99,78	104,33	99,25	99,63	105,65	121,41	138,47	132,93	131,83	142,74	143,99
13	98,95	110,45	103,68	98,42	126,2	129,43	144,56	144,07	145,07	141,43	151,61
14	109,62	109,41	116,35	114	123,91	126,86	140,59	139,89	160,7	166,15	175,14
15	109,01	121,09	121	113,1	121,93	138,95	162,62	171,2	165,96	160,49	185,39
16	120,34	127,11	120,21	126,66	153,93	159,91	168,29	164,59	173,13	167,01	173,68

Табл.5.13.

Схеми з найменшим значенням металосмістності без урахування ваги армування

Проліт, м	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	II1	II1	II1	II1	II1	I1	I1	I1	I1	I1	I2
7	II1	II1	II1	II1	II1	II1	I1	I1	I1	I1	I2
8	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	I1	I1	I2
9	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	I1	I2
10	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1
11	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1
12	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1
13	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II2
14	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1
15	II1	II1	II2	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II2	II1
16	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1

Табл.5.14.

Найменші значення металосмістності без урахування ваги армування для схем, кг/м²

Проліт, м	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	29,81	32,56	36,37	39,72	42,77	44,35	45,25	53,92	52,93	49,4	51,71
7	27,97	32,97	35,8	38,29	44,43	45,14	47,86	55,45	54,35	51,84	54,36
8	27,85	31,01	33,9	36,63	41,67	44,71	49,75	52,51	56,58	54,54	58,01
9	26,68	29,83	33,63	35,55	39,59	42,93	47,49	53,1	52,8	57,64	60,08
10	26	30,83	32,57	35,88	39,09	40,94	45,04	49,62	56,71	55,54	61,34
11	26,9	29,56	32,08	35,16	38,98	42,92	46,65	46,43	52,33	58,56	58,19
12	26,57	28,49	31,74	34,57	37,07	41,55	46,56	45,13	49,18	55,69	62,36
13	25,33	28,46	30,16	35,37	36,86	39,75	41,97	48,16	53,16	51,56	63,71
14	25,27	29,64	32	34,35	38,98	42,4	42,03	46,15	52,33	51,84	61,78
15	27	28,21	33,3	34,25	37,58	41,69	41,99	45,29	48,7	57,36	60,43
16	25,77	28,58	30,69	34,65	36,54	40,26	43,57	49,33	47,92	56,47	53,47

Табл.5.15.

Схеми з найменшим значенням металоємності з урахуванням ваги армування

Проліт, м	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	II2	II2	II1	II1	II1	II1	II1	II1	I4	I4	I4
7	II3	II3	II3	II2	II2	II1	II1	I4	I4	I4	I4
8	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II1	II3	II1	I4	I4
9	II2	II2	II2	II2	II2	II2	II2	II2	II2	I4	I4
10	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	I4	I4
11	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II2	II3	I4	II3
12	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II3	II3
13	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II2	II3	II2
14	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3
15	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II3	II2	II3
16	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3

Табл.5.16.

Найменші значення металоємності з урахуванням ваги армування для схем, кг/м²

Проліт, м	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	38,34	42,04	46,02	49,37	52,42	58,6	63,49	64,44	66,81	63	72,12
7	38,73	43,9	47,59	51,43	56,56	61,7	65,99	70,53	71,58	67,45	74,34
8	38,24	42,1	46,09	50,82	55,1	59,25	66,31	67,81	74,79	70,45	77,16
9	39,24	43,34	45,58	50,45	54,89	58,65	64,01	64,82	71,64	73,18	79,72
10	42,84	45,01	49,62	53,57	58,02	63,02	65,23	71,44	76,89	78,16	84,38
11	41,36	43,88	47,22	53,03	56,05	60,72	65,23	70,73	72,53	81,31	83,43
12	39,84	44,02	46,95	50,03	55,92	60,54	63,2	69,16	73,77	78,47	80,57
13	47,16	49,14	54,66	58,61	62,99	64,97	69,39	80,33	80,51	84,46	88,65
14	47,18	50,57	52,95	58,04	61,61	67,8	72,66	74,41	82,85	80,55	87,91
15	46,35	50,88	52,79	57,11	60,4	64,09	69,6	75,4	78,4	82,31	86,14
16	46,61	48,91	53,68	58,13	58,35	63,33	75,41	77,78	75,59	82,66	84,97

Табл.5.17.

Схеми з найменшим значенням GWP, кг CO₂-еквіваленту/м²

Проліт, м	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	II2	II1	II1	II1	II1	II1	II1	II1	I4	I4	I4
7	II3	II3	II3	II2	II2	II1	II1	I4	I4	I4	I4
8	II3	II3	II3	II2	II3	II3	II1	II1	II1	I4	I4
9	II2	II2	II2	II2	II2	II2	II2	II2	II2	I4	I4
10	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II3	II2	II3	II1	I4
11	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II2	II3	I4	II3
12	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II3	II3
13	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II2	II3	II2
14	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II2	II3	II3	II3	II3
15	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II2	II3	II2	II3
16	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3	II3

Найменші значення GWP для схем, кг CO₂-еквіваленту/м²

Проліт, м	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	60,12	62,35	65,09	67,5	69,7	74,15	77,67	78,36	80,06	77,32	83,1
7	60,4	64,13	66,78	68,99	72,68	75,6	78,69	82,74	83,5	80,52	84,71
8	60,05	62,83	65,7	69,05	72,19	75,18	78,92	80,9	85,03	82,68	86,73
9	60,21	63,16	64,77	68,28	71,48	74,19	78,05	78,63	83,54	84,65	88,58
10	62,8	64,36	67,69	70,53	73,74	77,29	78,92	83,06	87,32	88,17	91,93
11	61,74	63,55	65,95	70,14	72,31	75,68	78,14	82,1	84,18	90,5	92,03
12	60,64	63,65	65,76	67,98	72,22	75,55	77,46	81,76	84,29	88,46	89,97
13	65,13	66,56	70,53	73,37	76,53	77,96	81,14	88,07	88,2	91,99	94,06
14	65,15	67,58	69,3	72,96	75,53	79,4	82,83	84,75	90,83	89,18	94,48
15	64,55	67,81	69,19	72,29	74,67	77,32	81,29	84,52	87,63	89,49	93,2
16	64,74	66,39	69,83	73,03	73,19	76,78	85,47	87,18	85,61	90,69	92,36

Результати дослідження. Основні висновки, які можна зробити, виходячи з наведених вище даних:

- за показниками як обмежена, так і повна металоємність не є тотожними тим схемам, які обираються за вартістю матеріалів. Можна очікувати, що собівартість в ділі тільки збільшить цю різницю. Отже, критерій металоємності, який зазвичай використовують для первинного порівняння і вибору вирішення, насправді далеко не завжди може бути об'єктивною оцінкою ефективності конструкції, оскільки її вартість залежить від багатьох факторів і не є лінійною відносно витрат сталі.
- Функція екологічної оцінки LCA, хоча і подібна повній металоємності, але не тотожна їй. Отже, екологічна оцінка являє собою самостійний критерій, який слід обраховувати окремо поелементно у кожному випадку екологічного аналізу LCA каркасу будівлі.
- Наведені таблиці можуть використовуватися для орієнтовного підбору оптимальних схем компонування несучих конструкцій перекриттів на стадії варіантного проектування. Проте слід зважати, що глобальний оптимум є миттєвим і динамічно дискретно змінюється [5.3] відносно критеріїв вартості через мінливість розцінок, які залежать від кон'юнктури ринку. Це слід враховувати у кожному конкретному випадку.

Приклад 5.4. Порівняльний розрахунок життєвого циклу для каркасу в цілому

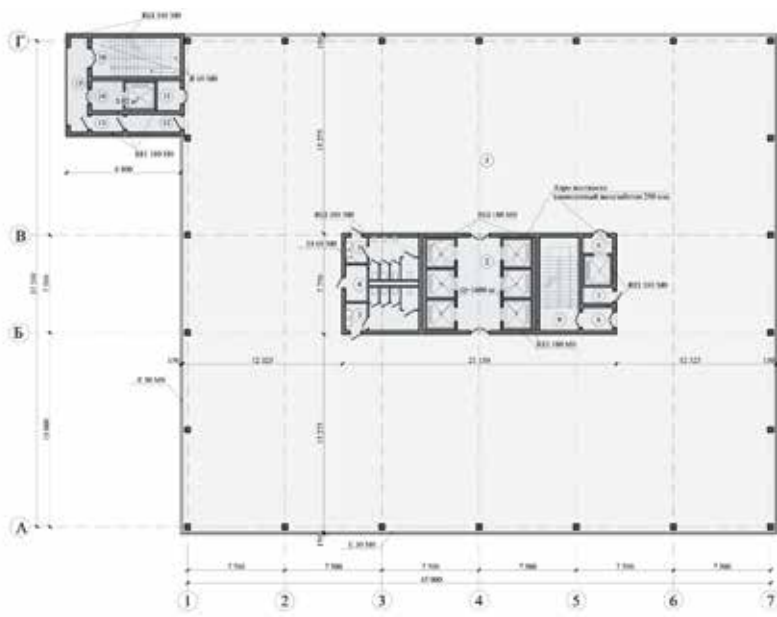
Для порівняння було взято концепцію офісної будівлі, що має 19 надземних та 2 підземних поверхи. Вважається, що під час подальшої експлуатації всі надземні поверхи здаються в оренду в якості офісних приміщень; будівля проектується як офіси класу «А». Попередня висота кожного надземного перекриття прийнята як 1,2 м, а чиста висота поверхів – 3,0 м. Загальна висота будівлі складає +85,775 м.

Основні вирішення приймаються згідно з технічним завданням, ДБН В.2.2-9 і ДБН В.2.2-41.

Розмір будівлі в плані складає 45,0×37,5 м. Згідно з вимогами норм та архітектурного вирішення план будівлі розроблений з використанням центрального залізобетонного ядра, в якому розміщуються сходи, ліфти та комунікації. Глибина від ядра до зовнішніх стін – 15 м, що відповідає світовій практиці. Також згідно з вимогами норм для висотних будівель, у будівлі запроєктовані пожежні ліфти та зовнішня сходово-клітина, що має природне освітлення. Для аналізу було взято 2 варіанти вирішення будівлі – короткопрольотна схема, де розмір сітки колон дорівнюється базовому модулю 7,5×7,5 м, та довгопрольотна схема (7,5×15 м), що реалізує концепцію «вільного планування» (рис. 5.4) [5.10].



а)



б)

Рис. 5.4. Візуалізація розробленої висотної будівлі **(а)**, план типового офісного поверху будівлі із застосуванням довгопрольотної схеми **(б)**

Прийняті межі моделі оцінки життєвого циклу: для екологічної оцінки розглядається тільки несуча система, основні елементи. Рівень аналізу – 1.

Для металевих каркасів із застосуванням короткопрольотної схеми були взяті перекриття зі зварними суцільностінчастими балками, другорядними зварними або прокатними балками та композитною залізобетонною плитою по металевому профільованому настилу. Для металевих каркасів із застосуванням довгопрольотної схеми були прийняті аналогічні рішення з перфорованими головними балками для пропуску комунікацій. Також два варіанти – із коротким і довгим прольотом – були розроблені і у вирішенні із повністю залізобетонним каркасом. При цьому використані балково-плитні монолітні перекриття.

Для фундаментів розглядаються буронабивні палі діаметром 0,62 м, бетон С20/25. Опалубка для всіх монолітних робіт – щитова, завтовшки 30 мм, фанерна, густиною 650 кг/м³.

Усе основне армування прийнято як армування класу А500С. Стіни підземних поверхів та ядра жорсткості виконуються з бетону С30/37 завтовшки 0,25 м.

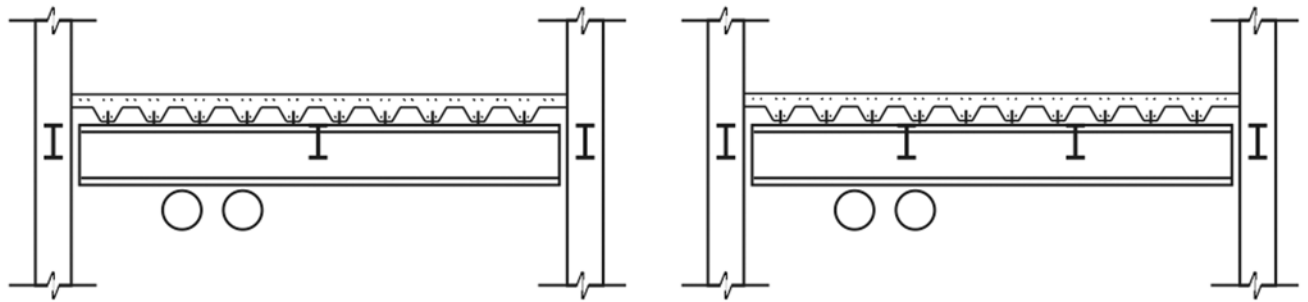
Плити перекриттів та ядра жорсткості прийняті як такі, що виконані з бетону С30/37. Товщина плит прийнята 0,12 м у випадку використання профнастилу, та 0,2 м для монолітних перекриттів у паркінгу та у вирішеннях із залізобетонним каркасом.

Металеві конструкції розглядаються як вироблені зі сталі С255 та С345. Вогнезахист відкритих металоконструкцій прийнятий плитного типу Ammokote FB-300 густиною 750 кг/м³ завтовшки усереднено 48 мм для REI 120-180. Профільований настил прийнятий як настил типу HC75-750-0,8, зі сталі С255 з цинковим покриттям 0,8 мм, вагою 8,4 кг/м².

Обрані умови охоплюють набір альтернатив: **S1** – короткий проліт, сталевий каркас, другорядні балки зварні з кроком 3,75 м; **S2** – короткий проліт, сталевий каркас, другорядні балки прокатні з кроком 2,5 м; **S3** – довгий проліт, сталевий каркас, другорядні балки зварні з кроком 3,75 м; **S4** – довгий проліт, сталевий каркас, другорядні балки зварні, крок 2,5 м; **S5** – короткий проліт, залізобетонний каркас; **S6** – довгий проліт, залізобетонний каркас.

Підрахунок був здійснений за статтями викидів для бетону і армування каркасу у залі-

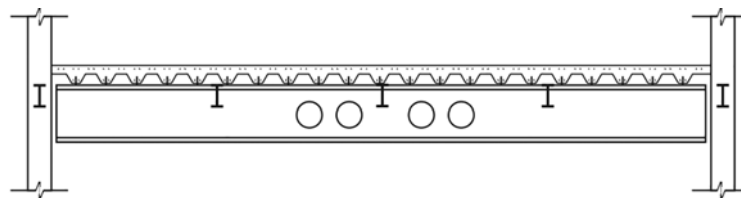
зобетонному вирішенні та для сталевих елементів, профільованого настилу, армування і бетону плит перекриттів у сталевому варіанті каркасу. Також були підраховані приєднані викиди фундаментів, які мають різний обсяг і трудомісткість виконання у сталевому і залізобетонному вирішенні через різницю у вазі каркасів.



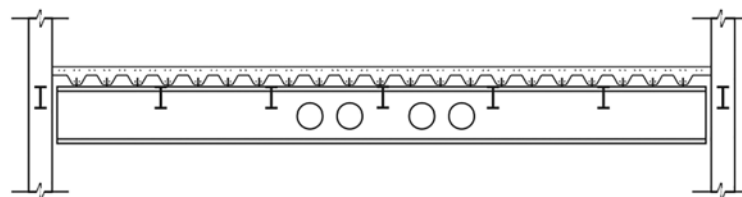
S1

S2

Рис. 5.5. Альтернативи у сталевому короткопрольотному вирішенні

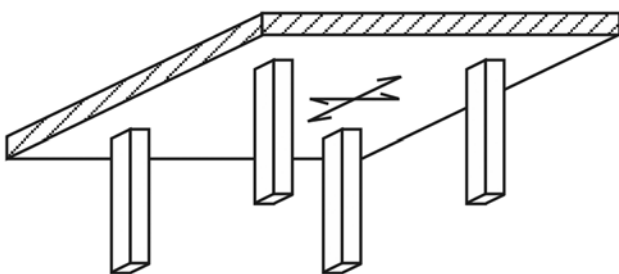


S3

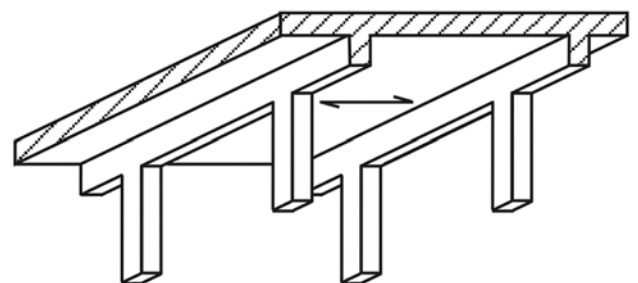


S4

Рис. 5.6. Альтернативи у сталевому довгопрольотному вирішенні



S5



S6

Рис. 5.7. Альтернативи у залізобетонному короткопрольотному і довгопрольотному вирішенні

Розрахунки здійснені за формулами, наведеними у розділі 4 та у прикладах вище, і тут не наводяться задля скорочення обсягу викладення.

Викиди, приєднані до конструктивних вирішень для різних альтернатив за стадіями життєвого циклу, наведені у таблиці 5.19.

Табл.5.19.

Викиди, приєднані до конструктивних вирішень для різних альтернатив за стадіями життєвого циклу, GWP кг CO₂-еквіваленту/м²

Альтернатива	GWP за етапом всього, кг CO ₂ -еквіваленту					
	Виробництво	Транспортування	Деконструкція	Транспортування відходів	Обробка відходів	Потенціал рециклінгу
	A1-A3	A4	C1	C2	C3	D
S1	2630863,58	107292,74	11134,53	74093,45	3028296,69	-1336974,57
S2	2672034,52	107421,80	11159,62	73898,03	3026977,00	-1349640,32
S3	2812194,27	107841,28	11237,37	75113,11	3028235,88	-1408316,95
S4	3131292,56	108821,01	11421,56	76649,31	3032658,84	-1532500,00
S5	1992471,02	129646,47	30950,42	131562,14	9073188,90	-558638,88
S6	2764151,15	134152,80	34236,58	144235,56	9060420,80	-596020,90

Для стадії будівельно-монтажних робіт (A5) викиди пораховані окремо за пов'язаними процесами зведення і наведені у таблиці 5.20. При цьому до уваги взяті основні роботи, які пов'язані зі зведенням несучого остову будівлі. Вимірники викидів для машин і механізмів – див. у розділі 4.

Табл.5.20.

Викиди, приєднані до конструктивних вирішень для різних альтернатив на стадії будівельно-монтажних робіт (A5), GWP кг CO₂-еквіваленту/м²

Найменування робіт	Машини/механізми	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Планування майданчика бульдозером	Бульдозер Caterpillar D5K XL CAT 3046T	341	341	341	341	341	341
Розробка ґрунту екскаватором	Екскаватор JCB	103426	103426	103426	103426	103426	103426
Влаштування буронабивних паль	Бурова установка Soilmec SR-65	1138913	1138913	1138913	1138913	1385165	1385165
Влаштування бетонної підготовки	Бетононасос HBTS40	964	964	964	964	964	964
Влаштування фундаментної плити	Бетононасос HBTS40	14467	14467	14467	14467	14467	14467
Стіни підземних поверхів та ядра жорсткості	Бетононасос HBTS40	77159	77159	77159	77159	74748	74748
Зворотна засипка ґрунту	Трактор T-180	2486	2486	2486	2486	2486	2486
Балки підземних поверхів та ядра жорсткості	Бетононасос HBTS40	10850	10850	27729	27729	84392	200131

Найменування робіт	Машини/механізми	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Плити перекриттів ядра жорсткості	Бетононасос HBTS40	153112	153112	149495	149495	227860	227860
Монтаж елементів	Liebherr LTM 1160	55838	64049	35309	58301	-	-
Кріплення болтів	Компресор Atlas Copco XAS 75	24810	28811	15206	27211	-	-
Влаштування ЗБ плити по настилу t=150 мм	Liebherr LTM 1160	821	821	821	821	-	-
Улаштування монолітних колон	Бетононасос HBTS40	-	-	-	-	49430	28935
Кріплення анкерів	Компресор Atlas Copco XAS 75	-	-	-	-	800	800
Влаштування ЗБ плити t=200 мм	Liebherr LTM 1160	-	-	-	-	821	821
Разом для стадії А5		1583188	1595401	1566317	1601314	1944900	2040143

Нижче в таблиці 5.21 наведені загальні дані щодо викидів парникових газів у вуглецевому еквіваленті від різних варіантів несучих конструкцій будівлі, що досліджується.

Табл.5.21.

Загальні викиди, приєднані до конструктивних вирішень для різних альтернатив каркасу, GWP кг CO₂-еквіваленту/м²

Позиція	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Всього матеріали	4514706,42	4541850,65	4626304,96	4828343,27	10799180,07	11541175,98
на 1 м ²	107,51	108,16	110,08	114,89	257,17	274,61
Окремо фундаменти	1583188,09	1583188,09	1583188,09	1583188,09	1944900,42	2040143,33
на 1 м ²	37,70	37,70	37,67	37,67	46,31	48,54
Всього машини і механізми	829898,18	829898,18	829898,18	829898,18	1129703,70	1318542,30
на 1 м ²	19,76	19,76	19,75	19,75	26,90	31,37
Окремо опалубка	1252024,36	1252024,36	1250536,46	1250536,46	3929039,56	3909137,42
на 1 м ²	29,82	29,82	29,76	29,76	93,56	93,02
Разом фундаменти і каркас	6097894,51	6125038,74	6209493,05	6411531,36	12744080,49	13581319,30
на 1 м ²	145,21	145,86	147,75	152,56	303,48	323,16

Порівняння характеристикних показників потенціалу глобального потепління у кг CO₂-еквіваленту для різних варіантів конструкцій каркасу висотної будівлі наведено на рис. 5.8.

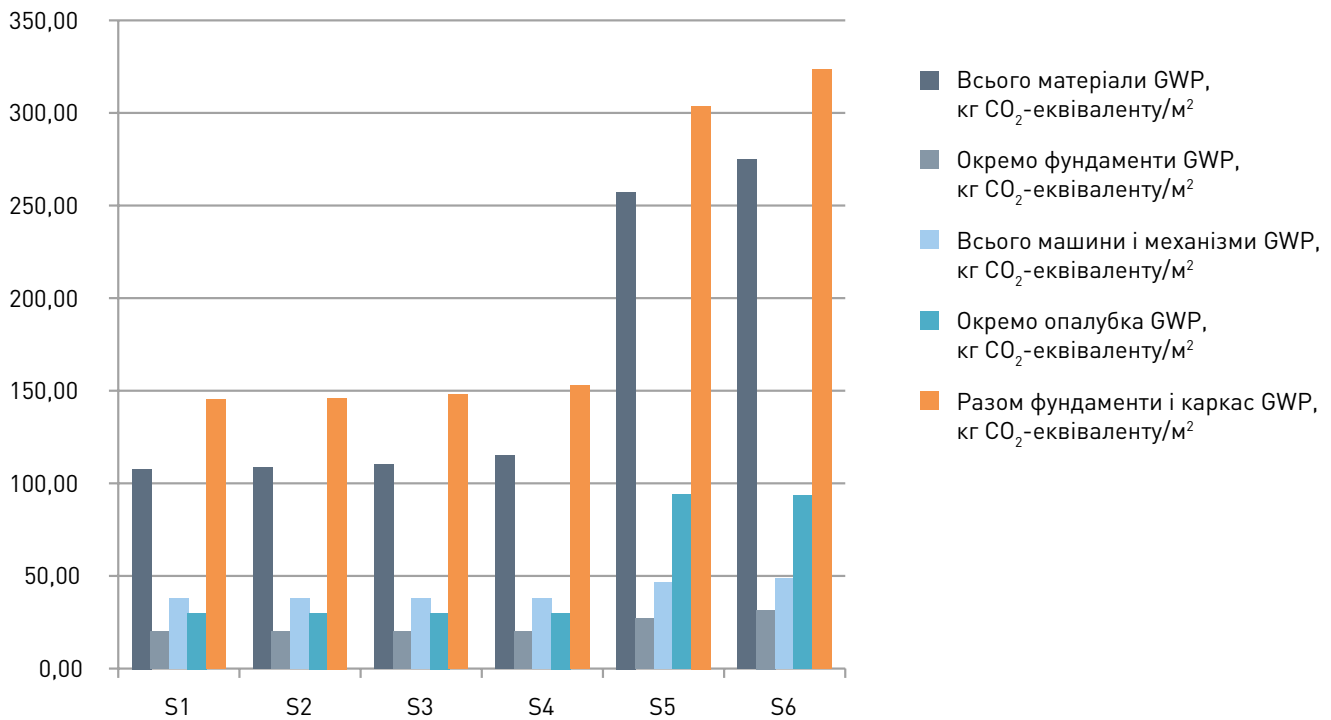


Рис. 5.8. Характеристичні показники потенціалу глобального потепління CO₂-еквіваленту/м² для різних варіантів конструкцій каркасу висотної будівлі на 1 м²

Висновки. Як видно з таблиці та графіка, найбільші характеристичні показники потенціалу глобального потепління мають вирішення у варіантах S5, S6 – це, відповідно, короткопрольотний та довгопрольотний монолітні залізобетонні каркаси. Найбільш вигідним за екологічною оцінкою потенціалу глобального потепління є варіант S1 (крок колон 6 м, крок другорядних балок 2,5 м). Але різниця у викидах між альтернативами з металевим каркасом не є суттєвою. Це також свідчить про те, що довгопрольотні вирішення у металевому каркасі є екологічно сталими.

Металеві балки мають набагато меншу вагу, ніж залізобетонні за умови таких самих навантажень. Зменшення ваги балок зменшує кількість приєданого вуглецю, витрат на доставку та на монтажні-будівельні роботи, а також знижує масу і вартість фундаменту.

Суттєвою виявляється роль фанерної опалубки, що має обмежену кількість циклів під час використання. Рециклінг фанерної опалубки можливий тільки відносно кріплень і фурнітури, а утилізація основи з деревних матеріалів можлива тільки шляхом розділення на щепу. Отже, перспективним для зменшення викидів під час екологічної оцінки життєвого циклу є підвищення оборотності опалубки, зокрема шляхом застосування блочної, об'ємно-переставної, ковзаючої опалубки зі сталі, алюмінію, пластику, а також незйомної опалубки з профнастилу, який в кінці життєвого циклу придатний до переробки.

В прикладі, що розглядається, в альтернативах з металевим каркасом вдалося значно зменшити кількість використовуваного бетону шляхом застосування незйомної опалубки з профільованого настилу. В результаті зменшилася вага перекриття, скоротилися витрати на транспортування, кількість а також трудо- та машиномісткість будівельних робіт; збільшилась швидкість будівництва. Все це призводить до зменшення негативного впливу на довкілля. Зменшення ваги плит та балок перекриття у сталевому каркасі призводить також до зменшення навантаження на колони та зменшення необхідної несучої здатності фундаментів. А в цьому випадку – до зменшення кількості палів. Відтоді зменшується кількість земляних робіт, їхня трудо- та машиномісткість. Отже, збільшується швидкість будівництва, а також зменшується негативний вплив на довкілля.

5.2. РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ РІШЕНЬ ЛСС ДЛЯ НОВОГО БУДІВНИЦТВА

Приклад 5.5. Для попереднього прикладу №5.4 було проведено економічну оцінку рішень за критеріями життєвого циклу. Методика оцінки наведена у розділі 4. Прийнятий ступінь аналізу – 3. Розцінки на матеріали, виробы та роботи було прийнято ринковим методом за відкритими даними, доступними на ринку станом на квітень 2021 року.

Табл.5.22.

Найменування, обсяги та розцінки для матеріалів альтернатив S1-S4 зі сталевим каркасом

Найменування	Вимірник	Розцінка, у. о. на одиницю	Обсяг для альтернативи			
			S1	S2	S3	S4
Ґрунт для улаштування котловану	м ³	7,41	19 996	19996,2	19996,2	19996,2
Фундаменти						
Бетон С20/25 для облаштування паль діаметром 0,62 м	м ³	92,89	2 249	2249	2249	2249
Арматура приведена до А500С	кг	1 376,67	109 208	109208	109208	109208
Опалубка щитова, 30 мм, фанерна, густиною 650 кг/м ³	м ²	2,44	2 913	2913	2913	2913
Стіни підземних поверхів та ядра жорсткості						
Бетон С30/37 за умови товщини стін 0,25 м	м ³	124,56	577	577	577	577
Арматура приведена до А500С	кг	1 376,67	25 836	25836	25836	25836
Опалубка щитова, 30 мм, фанерна, густиною 650 кг/м ³	м ²	2,44	22 604	22603,64	22603,64	22603,64
Плити перекриттів та ядра жорсткості						
Бетон С30/37 за умови товщини плит 0,12 м та 0,2 м (паркінг)	м ³	124,56	3 577	3577	3577	3577
Арматура приведена до А500С	кг	1 376,67	247 982	247982	247982	247982
Опалубка щитова, 30 мм, фанерна, густиною 650 кг/м ³	м ²	2,44	6 459	6459,38	6421,38	6421,38
Сталевий каркас						
Балки сталеві зварні С255	тонн	2 069,81	767	804,52	1028,07	1307,57
Колони сталеві зварні С345	тонн	2 069,81	323	322,66	216,78	216,78
Вогнезахист						
Плити Аммокоте FB-300, 750 кг/м ³ , товщина усереднено 48 мм *	м ²	55,56	23 648	23393,8	18689,9	19404
Інші конструктивні елементи					5501 - ?	5501 - ?
Профільований настил типу НС75-750-0,8, сталь С255, оцинкований, вага 8,4 кг/м ²	м ²	18,67	33 381	33381	33419	33419

*прийнята згідно з [5.5, 5.6].

**Найменування, обсяги і розцінки для матеріалів альтернатив S5-S6
з залізобетонним каркасом**

Найменування	Вимірник	Розцінка, у. о. на одиницю	Обсяг для альтернативи	
			S5	S6
Ґрунт для улаштування котловану	м ³	7,407407	19996,2	19996,2
Фундаменти пальові				
Бетон С20/25 для облаштування пальь діаметром 0,62 м	м ³	92,88889	3266	3999
Арматура приведена до А500С	кг	1376,667	148535	159075
Опалубка щитова, 30 мм, фанерна, густиною 650 кг/м ³	м ²	2,444444	3495,6	3495,6
Стіни підземних поверхів				
Бетон С30/37 за умови товщини стін 0,25 м	м ³	124,5556	1240	1256,9
Арматура приведена до А500С	кг	1376,667	112979	121890,2
Опалубка щитова, 30 мм, фанерна, густиною 650 кг/м ³	м ²	2,444444	22186,42	22224,12
Балки поверхів та ядра жорсткості				
Бетон С30/37	м ³	124,5556	3794,95	5191,35
Арматура приведена до А500С	кг	1376,667	282925	645481,8
Опалубка щитова, 30 мм, фанерна, густиною 650 кг/м ³	м ²	2,444444	21272,25	26280
Плити перекриттів				
Бетон С30/37 за умови товщини плит 0,2 м	м ³	124,5556	9507	9506,99
Арматура приведена до А500С	кг	1376,667	1216425	1216425
Опалубка щитова, 30 мм, фанерна, густиною 650 кг/м ³	м ²	2,444444	39840,18	39840,33
Колони				
Бетон С30/37	м ³	124,5556	1184,62	992,39
Арматура приведена до А500С	кг	1376,667	210163,8	172565,83
Опалубка щитова, 30 мм, фанерна, густиною 650 кг/м ³	м ²	2,444444	13551,08	7997,19

Під час обрахунку вартості робіт для бетону, армування, опалубки, вогнезахисту додатково 50% вартості матеріалів враховується на доставку та монтаж. У вартості сталевих елементів балок і колон вже враховано доставку та монтаж. У вартості сталевих профнастилу на доставку та монтаж додатково прийнято 20% вартості матеріалу. Показники альтернатив, що залежать від їхнього конструктивного вирішення, наведені у таблиці 5.24.

Показники альтернатив, що залежать від конструктивного вирішення

Показник	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Основний матеріал каркасу	Сталь	Сталь	Сталь	Сталь	Залізобетон	Залізобетон
Проліт, м	7,5	7,5	15	15	7,5	15
Загальна площа, м ²	41993	41993	42027	42027	41910	41951
Корисна площа, м ²	38634	38634	38667	38667	38550	38592
Площа оренди типового поверху, м ²	1584	1584	1586	1586	1581	1582
Площа оренди стилізованого поверху, м ²	2541	2541	2542	2542	2537	2539
Кількість машиномісць у паркінгу	156	156	160	160	156	160
Об'єм бетону, м ³	9806	9806	10233	10233	16891	20282
Витрати арматури, тонн	830	830	962	962	2901	5964
Опалубка щитова, м ²	6839	6839	7098	7098	20069	19967
Балки сталеві, тонн	767	805	1028	1308	0	0
Колони сталеві, тонн	618	323	217	217	0	0
Профільований настил, м ²	33381	33381	33419	33419	0	0
Площа вогнезахисту, м ²	23648	23394	24191	24905	0	0

Для обрахунку повної вартості будівлі також підраховані основні витрати на опорядження та оснащення, які не стосуються конструктивного несучого остову будівлі або залежать від нього, але незначно (таблиця 5.25).

Неконструктивні компоненти будівлі, їхній прийнятий склад та вартість доставки і монтажу

Неконструктивний компонент будівлі	Склад, прийняті рішення	Примітка
Покрівля	Утеплювач, паро- і гідроізоляція	Для утеплювача і гідроізоляції 100% вартості прийнято на доставку та монтаж, для пароізоляції – 20%
Сходові марші	Збірні з залізобетону	20% вартості прийнято на доставку та монтаж

Неконструктивний компонент будівлі	Склад, прийняті рішення	Примітка
Зовнішні стіни та огороження сходів	Скління двокамерними склопакетами більшої частини фасаду, суцільна частина фасаду (сходові клітини, надбудови на покрівлі, частково стилобат) розглядається як вентилярована з утеплювачем, вітробар'єром і обшивкою алюмінієвими композитними панелями; огороження сходів нержавійні	Відповідно до прийнятого архітектурного вирішення. Для опорядження сходової клітини 50% вартості враховується на доставку та монтаж, а для скляного фасаду – 20%. Для опорядження ядра жорсткості доставку та монтаж вже враховано. 20% вартості огороження сходів враховується на доставку та монтаж
Двері вхідної групи	Розглядаються розпашні скляні та одні обертові автоматичні	Доставку та монтаж вже враховано
Внутрішні стіни, перегородки і заповнення	В лоббі 1 поверху враховані скляні декоративні перегородки; внутрішні перегородки офісів також скляні вогнетривкі; двері – суцільні, МДФ; суцільні перегородки і елементи ліфтових шахт, а також санвузлів розглядаються як залізобетонні, збірні	Для дверей і скляних перегородок лоббі 50% вартості враховується на доставку та монтаж, а для поверхових скляних перегородок і залізобетонних збірних (зокрема для санвузлів) – 20%; для елементів ліфтових шахт – 50% вартості на доставку та монтаж
Опорядження стін	Вінілові шпалери, плитка керамічна і керамогранітна	50% вартості прийнято на доставку та монтаж
Опорядження підлог	Фальшпідлога з ковроліновими панелями для орендованих площ; керамогранітна плитка по стяжці у санвузлах і допоміжних приміщеннях, сходах, ліфтових холах (із додатковою звукоізоляцією), приміщеннях стилобату; у лоббі – граніт по стяжці; в паркінгу – епоксидне покриття та розмітка	Для фальшпідлоги і опорядження в паркінгу прийнято 50% вартості на доставку та монтаж, 100% – для керамогранітної плитки і граніту
Опорядження стель	Розглядається підвісна стеля типу «Армстронг» у більшості приміщень, з панелями освітлення LED	Прийнято 50% вартості на доставку та монтаж
Фурнітура	Високоякісна стійка реєстрації	Прийнято 20% вартості на доставку та монтаж
Оснащення санвузлів і управління відходами	В середньому враховується 5 умивальників, 9 унітазів і 4 пісуари на поверх; 4 преса для паперових відходів та 21×4 баки (роздільний збір сміття)	Монтаж врахований; 100% на труби і 5% на доставку; для баків і пресів доставка і монтаж вже враховані
Вентиляція, кондиціонування та системи пожежегасіння	Прийнята стандартна система чилер-фанкойл, підпір повітря та димовидалення у відповідних сходах, тамбурах і коридорах, пожежегасіння	Прийнято 50% вартості на доставку та монтаж
Електричне оснащення	Освітлення LED та стандартне електричне оснащення	Прийнято 50% вартості на доставку та монтаж
Ліфти	Звичайні пасажирські для 21 поверху ванатжопідйомність Q=1000 кг; швидкість 1-2 м/с, один ЛТПП Q=1600 кг; швидкість 2,5 м/с	Доставка та монтаж вже враховані

Пусконалагоджувальні та прикінцеві роботи враховуються обсягом 5% від вартості усіх робіт. Виготовлення, узгодження проектно-кошторисної документації та загальновиробничі витрати враховуються як 10 % від вартості усіх робіт. Загальна і відносна вартість компонентів для кожної альтернативи наведена у таблиці 5.26.

Табл.5.25.

Загальна і відносна вартість компонентів для кожної альтернативи

№	Найменування	Вартість складової альтернативи					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	Фундаменти і каркас	5671028	5735715	6024170	6642355,389	5369064	6062137
3	Покрівля	97350,86	97350,86	97350,86	97350,86333	97350,86	97350,86
4	Сходи	31091,94	31091,94	31091,94	31091,944	31091,94	31091,94
5	Зовнішні стіни і огороження сходів	4425907	4425907	4425907	4425906,998	4425907	4425907
6	Двері вхідної групи	103170,4	103170,4	103170,4	103170,3704	103170,4	103170,4
7	Внутрішні стіни, перегородки і заповнення	2913632	2913632	2913632	2913632,031	2913632	2913632
8	Опорядження стін	289149,6	289149,6	289149,6	289149,5997	289149,6	289149,6
9	Опорядження підлог	2008943	2008943	2011352	2011351,731	2008943	2011352
10	Опорядження стель	560365,8	560365,8	560899,1	560899,1111	560365,8	560899,1
11	Фурнітура	8355,556	8355,556	8355,556	8355,555556	8355,556	8355,556
12	Оснащення санвузлів і управління відходами	416193,2	416193,2	416529	416528,9788	416193,2	416529
13	Вентиляція, кондиціонування і системи пожежегасіння	2216297	2216297	2218085	2218085,333	2216297	2218085
14	Електричне оснащення	1329778	1329778	1330851	1330851,2	1329778	1330851
15	Ліфти	1494333	1494333	1494333	1494333,333	1494333	1494333
16	Проектні, пусконалагоджувальні та інші роботи	3234839	3244543	3288732	3381459,366	3189545	3294427
Загалом вартість, у. о.		24800436	24874826	25213609	25924521,8	24453177	25257270
Загалом вартість, у. о./м²		590,585	592,3565	599,9401	616,8557315	582,3156	600,979

Отримані капітальні витрати є характеристичними, оскільки не враховують слабкострумеві мережі, відеоспостереження, автоматизацію та інші розділи, присутні у реальному проекті, проте їхня абсолютна і питома частка вкрай мала. Також не враховані благоустрій, зовнішні мережі та інші специфічні витрати, проте прийняті дані достатні для попередньої оцінки вартості життєвого циклу.

Тривалість будівництва підрахована згідно з чинними нормами за обсягами робіт, визначена необхідна кількість людино-змін і машино-змін як для спорудження несучого остову кожної альтернативи, так і для всіх інших та супутніх робіт.

Для початкового порівняння застосовано критерій «собівартість у ділі», що враховує повні витрати на зведення будівлі разом з усіма системами і опорядженням. А для оцінки вартості життєвого циклу застосовано функцію NPV у формі прибутку на основі рівняння (4.15), наведеного у розділі 4 (там же див. пояснення до складових):

$$NPV = \sum_{k=1}^t \frac{RO_k}{(1+I)^{k-1}} - \sum_{k=1}^t \frac{C_o}{(1+I)^{k-1}} - C_c - \frac{C_r}{(1+I)^t}$$

Середню вартість оренди для офісів класу «А» для 1 м² в даному прикладі прийнято розраховувати як для центральної частини Києва на час аналізу – 20 у. о./місяць, а для більш привабливих офісів вільного планування 29 у. о./місяць.

Тривалість життєвого циклу для даного прикладу прийнята як 50 років.

Плаваюча річна ставка заповнюваності орендарями O_k за даною моделлю, що дійсна для центру Києва на момент аналізу, усереднено прийнята як 85% (вважається, що заповнюваність після карантину повернеться до свого попереднього рівня).

Прогнозована ставка інфляції I , прийнята за даними НБУ 7,5% на час аналізу (квітень 2021 року).

Річні витрати на **обслуговування**, експлуатацію та відрахування C_o – прийняті як 2% від C_c .

C_r – витрати на реновацію в кінці циклу, які прийняті згідно з експертизою як 14% від вартості будівлі за умови використання залізобетонного каркасу та 5% – для сталевих вирішень за рахунок утилізованості і меншої ваги за даними аналогів. Для всіх альтернатив була також підрахована тривалість будівництва та собівартість на момент введення в експлуатацію з урахуванням недоотриманої оренди внаслідок пізнішого завершення. Економічні параметри альтернатив показані у таблиці 5.27.

Табл.5.27.

Дані та результати економічного аналізу життєвого циклу альтернатив багатопверхових будівель з різним конструктивним вирішенням

Параметр	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Собівартість у ділі, тис. у. о.	24 935,3	25 009,7	25 348,3	26 059,2	24 876,3	25 678,3
Лінійна тривалість будівництва, днів	1036	1029	988	1031	1060	1139
Оптимізована прийнята тривалість будівництва, днів	418,00	406,00	382,00	410,00	444,00	540,00
Річний дохід від оренди, тис. у. о.	6013,3	6013,3	8727,7	8727,7	5998,7	8708,6
Недоотримана оренда, тис. у. о.	721,6	408,9	0	692,4	1053,8	3898,5
Собівартість на момент введення в експлуатацію, тис. у. о.	25 656,9	25 418,6	25 348,3	26 751,6	25 930,1	29 576,8
Приведений прибуток NPV, тис. у. о.	51226042	51443489,6	89280221,9	87677637,7	50705829,7	84629733,6
IRR, %	18%	19%	38%	34%	18%	29%

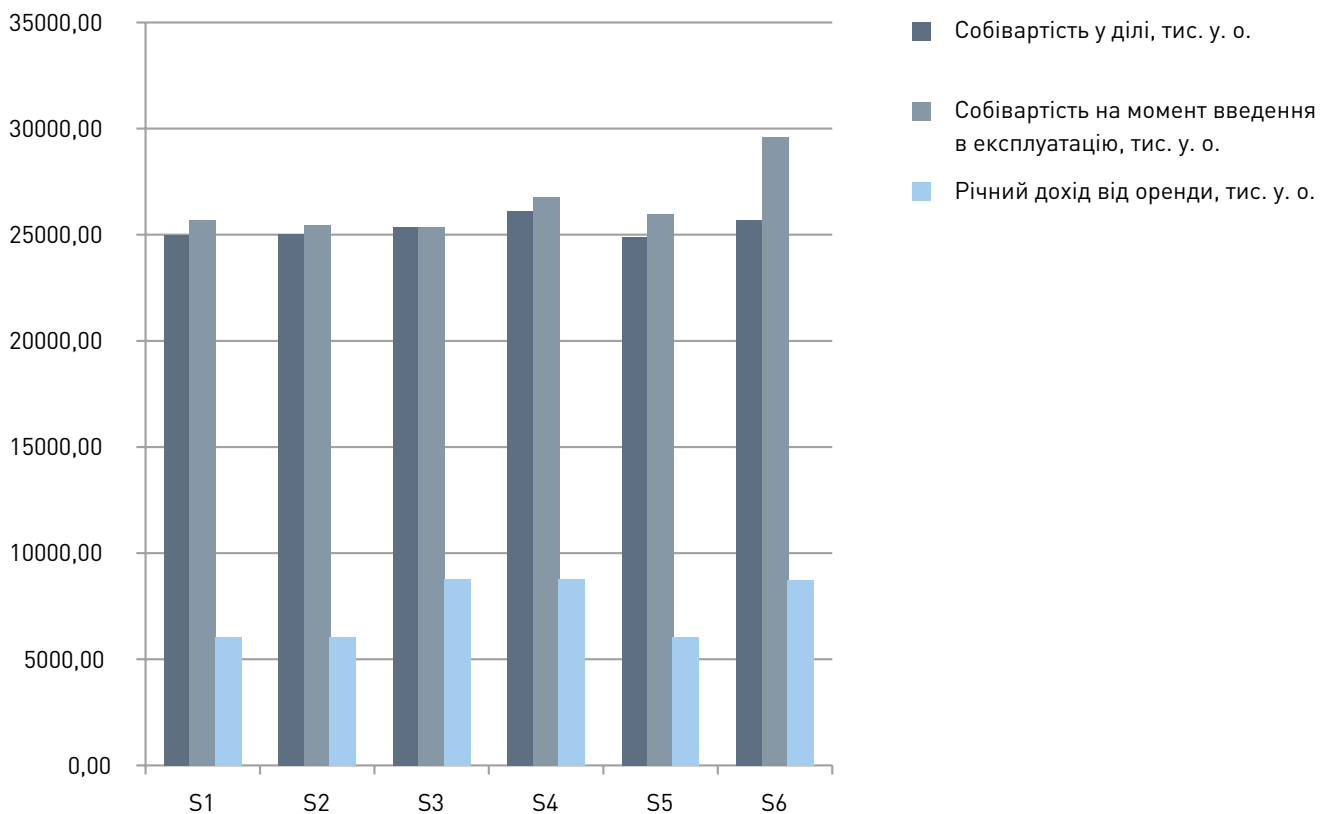


Рис. 5.9. Економічні параметри собівартості альтернатив

Як видно з таблиці, **найшвидше споруджується альтернатива А3, яка і була взята за еталон обрахунку різниці часу зведення**. Недоотримана орендна плата від пізнішого (на різницю часу) ніж альтернатива А3 введення в експлуатацію виявилася суттєвими сумами, що впливають на загальні економічні показники проекту. Отже, **собівартість у ділі є найнижчою у альтернативи А5** (монолітне безбалочне вирішення з короткими прольотами), але з урахуванням часу зведення **собівартість на момент введення в експлуатацію вигідніша у альтернативи А3 – сталевий довгопрольотний каркас**.

Отже, під час обчислення чистого прибутку NPV та внутрішньої норми прибутку IRR в економічній моделі життєвого циклу з урахуванням експлуатаційних показників – стає очевидною **перевага сталевих каркасів з довгопрольотною схемою**. Концепція вільного планування має також переваги через збільшення кількості місць у підземному паркінгу, за умови його наявності, і через більшу гнучкість під час реновації.

Таким чином, аналіз життєвого циклу показує, що застосування для висотних каркасів будівель рішень у сталевих конструкціях є більш екологічним ніж у монолітному залізобетоні, а також більш економічним.

5.3. ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ РІШЕНЬ В РЕКОНСТРУКЦІЇ

Приклад 5.6. Розглянемо застосування інструментів життєвого циклу для кейсу реальної будівлі – реконструкції Будинку спілок в Києві. Восьмиповерхова будівля з технічним поверхом, баштою та підвалом, а також прибудованим приміщенням їдальні та актової зали збудована у стилі модернізму на місці споруди Київського дворянського зібрання у 1978-1980 роках. Будівля фасадами виходить на Майдан Незалежності та на вул. Хрещатик, має двоповерхову прибудову актового залу з боку дворового фасаду. Центральні входи до будівлі влаштовані з головного фасаду з боку Майдану Незалежності, додаткові входи

влаштовані з дворового фасаду. Будівля зведена за проектом «Будинок спілок на площі Калініна в м. Києві», який розробив Державний інститут з проектування у м. Києві «Київ-проект» у 1979 році. Будівля зазнала пожежі в ході подій Революції Гідності у 2014 році і відновлена у 2018-2019 роках. На основі даних про технічний стан та інших критеріїв було здійснено аналіз ризиків і переваг двох основних стратегій – відновлення і знесення та подальшого спорудження нової будівлі. Основними факторами вибору стали можлива втрата землеволодіння у разі знесення, збереження історичності під час відновлення та висновки вишукувань, що визначили принципову можливість і доцільність відновлення конструкцій будівлі тощо. Відтак внаслідок зваженої оцінки ризиків і переваг було прийняте рішення про стратегію відновлення об'єкту [5.4].

Завдяки застосуванню сталевих конструкцій, у проекті відновлення Будинку спілок вдалося впровадити кілька ефективних рішень:

- вдалося уникнути підсилення фундаментів шляхом використання легких металевих елементів;
- розвантажено каркас – важкі ґрадірні з покрівлі замінені на легкі сталеві рами, а важкі перегородки замінені на легкі з газоблоків;
- компактні перерізи елементів металевих конструкцій забезпечили пропуск комунікацій;
- технологічність та швидкість ведення робіт дозволили реалізувати проект у найкоротші терміни в стиснених умовах;
- прозора механіка роботи і привабливий зовнішній вигляд металевих конструкцій дозволив використовувати їх у інтер'єрі без опорядження;
- застосування диференційованого вогнезахисту металоконструкцій (за допомогою спеціальних штукатурок, газоблоків, гіпсокартонних систем та інтумесцентних фарб, що під час дії вогню спучуються і створюють теплоізоляцію) дозволило забезпечити економічне та водночас візуально привабливе вирішення.

На ілюстраціях 5.10-5.14 наведені основні вирішення конструктивного підсилення каркасу будівлі.



а)



б)



в)



г)

Рис. 5.10. Основні конструктивні прийоми, які були застосовані під час відновлення будівлі:
а) горизонтальні сталеві в'язеві системи; **б)** підсилення стін-діафрагм сталевими в'язями;
в) підсилення перекриттів сталевими балками і збільшення перерізів;
г) підсилення ригелів сталевими розкосами з метою зменшення прольотів



а)



б)



в)

Рис. 5.11. Основні конструктивні прийоми, що були застосовані під час відновлення будівлі:
а) улаштування, розширення та підсилення просвітів – врізані перемички і рами замкнутого контуру; **б)** здійснено підсилення і дублювання консолей металевими елементами;
в) у місцях заміни і доповнення перекриттів застосовані ефективні композитні балки



а)

б)

в)

Рис. 5.12. **А)** використання вогнестійких штукатурок для захисту колон; **б)** конструктивний вогнезахист підкосів гіпсокартонними листами; **в)** вогнезахист балок і нових внутрішніх сходів інтумесцентними покриттями



а)

б)

Рис. 5.13. **А)** укрупнення і блочний монтаж ферм актової зали з улаштуванням технічного поверху; **б)** технологічні конструкції для ведення робіт з підсилення зверху вниз



а)

б)

в)

Рис. 5.14. А) ефективні балки перекриттів з перфораціями для пропуску комунікацій, **б)** проходження мереж під підсиленими балками у коридорах будівлі; **в)** сходи Н1, прибудовані в межах плями забудови

Загалом у будівлі було замінено 348 плит перекриття, підсилено 179 балок, виготовлено і змонтовано 144 тонни металоконструкцій, застосовано 5333 м² будівельних риштовань.

Визначимо доцільність відновлення із застосуванням інструментів **аналізу життєвого циклу (LCA)**. Аналізу підлягають дві альтернативи:

- 1) відновлення будівлі (з фактичними і прогнозними вартісними показниками);
- 2) варіант знесення і відбудови нового монолітного каркасу.

Для економічного аналізу життєвого циклу застосуємо функцію у формі прибутку на основі рівняння (4.15) (див. розділ 4 даної публікації, а також вище параграф 5.2):

$$NPV = \sum_{k=1}^t \frac{RO_k}{(1+I)^{k-1}} + R_a - \sum_{k=1}^t \frac{C_o}{(1+I)^{k-1}} - \frac{C_r}{(1+I)^t} - C_c$$

де, як вже було зазначено, NPV – чисте теперішнє значення прибутку, k – лічильник років, t – термін циклу експлуатації будівлі після відновлення або знесення і нового будівництва, що прийнято як 30 років. C_c – собівартість у ділі на початок експлуатації. R – дохід за рік за умови повної оренди площ. Аналіз ринку показав, що на Майдані Незалежності в Києві (на момент прийняття рішення) середня вартість оренди 1 м² становить 72 у. о./місяць для комерційних площ 1 і 2 поверхів, а для офісних 3-9 поверхів – 25 у. о./місяць. O_k – плаваюча річна ставка заповнюваності орендарями за прийнятою моделлю, що дійсна для центру Києва, усереднено складає 75%. I – прогнозована ставка інфляції прийнята як 11% (за даними НБУ, на момент прийняття рішення) та впливає на вартість, якщо терміни більші ніж 1 рік. Здавана в оренду загальна площа (GLA) для обох варіантів прийнята як 85%, що в середньому відповідає дійсності. C_o – річні експлуатаційні витрати разом з фіскальними відрахуваннями, що прийняті згідно з експертними даними як 1% від C_c для випадку відновлення та 0,5% – у випадку знесення і відбудови. C_r – витрати на реновацію в кінці циклу, що прийняті як 14% вартості будівлі за умови використання залізобетонного каркасу та 13% – у разі відновлення за рахунок утилізованості і меншої ваги сталевих підсилення.

Оскільки в Україні наразі немає заводів переробки залізобетонних виробів, то не практикується інший спосіб знесення каркасних будівель, окрім як поелементне розбирання, що має бути тим паче акуратним для умов центру Києва.

Календарний графік для варіанту відновлення взято фактичний. В ньому враховані процеси очищення конструкцій, підсилення несучого каркасу та огороження. Термін будівництва склав 21 місяць. Аналогічний період, що охоплює розбирання існуючого залізобетонного каркасу, стін, викопування і демонтаж частини фундаментів, відповідні земляні роботи, улаштування нових фундаментів, монолітного каркасу та огороження – займає 33 місяці за умови ефективного ведення робіт. Етапи прибирання сміття та опоряджувальний комплекс не враховуються, оскільки є однаковими за тривалістю для обох варіантів. Теоретична площа нової споруди аналога була обчислена з урахуванням об'єктивних обмежень майданчика щодо висотності і плями забудови.

Прийняті **межі моделі** життєвого циклу:

- до уваги взятий тільки каркас з фундаментами у припущенні однакової відносної вартості забезпечення функціоналу;
- порівняння здійснене з новим залізобетонним монолітним каркасом, який порахований окремо;
- не кількісні ризики не прийняті до уваги через складність та невизначеність їхнього врахування;
- інженерне оснащення у будівлі, навантаження у будівлі прийняті як принципово однакові для обох альтернатив;
- тривалість проектування, узгодження прийняті як однакові.

Для двох альтернатив на основі тривалості будівництва була підрахована собівартість на момент введення в експлуатацію з урахуванням недоотриманої оренди внаслідок пізнішого завершення. Економічні параметри альтернатив показані у таблиці 5.28.

Табл.5.28.

Економічні параметри альтернатив

Показник на каркас	Вимірник	Сценарій	
		Відновлення і реновація	Демонтаж і нове будівництво
Загальна площа	м ²	20248,4	21260,8095
Металоємність сталі	кг/м ²	9,288	0,00
Металоємність армування	кг/м ²	5,700	35,60
Ємність бетону	м ³ /м ²	0,064	0,45
Металоємність профлисту	кг/м ²	0,008	0,00
Капітальні витрати на каркас, C _c	у. о.	1111329	4730826
Тривалість робіт по каркасу	місяців	21	33
Термін прогнозу життєвого циклу, t	років	30	
Додатковий прибуток R _a за рахунок раннього введення	у. о.	26040442	0
Частка витрат на реновацію каркасу в кінці циклу C _r	%	13	14
NPV	у. о.	277220009	263600582

Як видно із таблиці 5.28, капітальні витрати у випадку стратегії знесення і зведення нового каркасу більші ніж у випадку стратегії підсилення каркасу, що вже існує, більш ніж у 4 рази. Неотримання оренди від різниці строків реалізації проекту впливає на обчислення чистого прибутку в моделі життєвого циклу з урахуванням експлуатаційних показників, а також показує **ефективність відновлення будівлі**.

Третім інструментом, що застосований у виборі оптимальної стратегії, є аналіз екологічних параметрів.

За методикою, викладеною у розділі 4, було підраховано характеристичний потенціал глобального потепління (GWP).

Основним обмеженням даного дослідження є те, що під час обчислень враховувалися тільки потенціали глобального потепління, приєднані до матеріалів каркасу. Показники GWP, приєднані до робіт, додаткові витрати води тощо – не бралися до уваги через складність обрахунку і меншу значущість у загальному вуглецевому сліді каркасу. Рівень аналізу – 3.

Потенціал глобального потепління під час порівняння сценаріїв реконструкції або знесення і побудови нової будівлі показано на графіках (рис. 5.15).

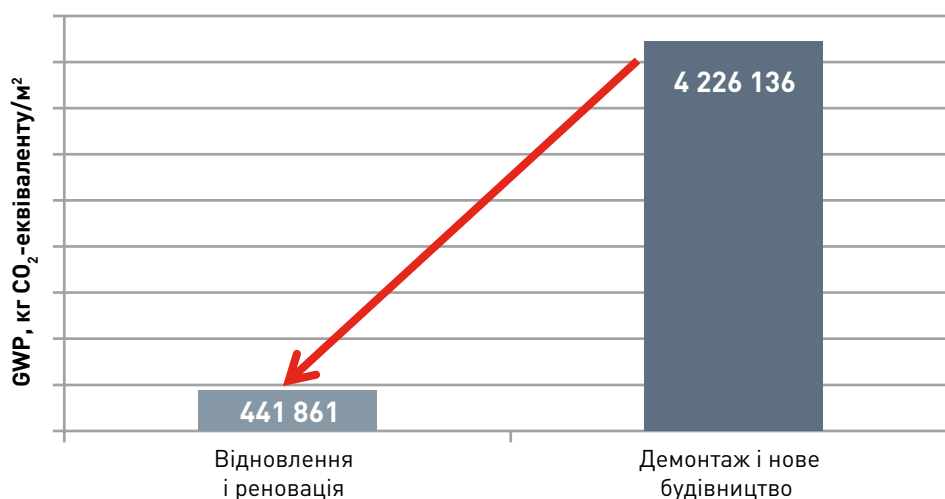


Рис. 5.15. Потенціал глобального потепління під час порівняння сценаріїв на прикладі несучого каркасу і огорожувальної оболонки Будинку спілок

Дані щодо викидів на одиницю відповідного матеріалу отримані з бази **Ökobaudat** (див. розділ 4). Результати обрахунків екологічних показників для двох альтернатив, що розглядаються, представлені на рис. 5.14. Можна побачити, що стратегія відновлення і реновація будівлі має в декілька разів менші приєднані викиди приведенного вуглецю, аніж стратегія демонтажу каркасу і нового будівництва. Кінцеве рішення було прийняте на користь реконструкції і відновлення будівлі (рис. 5.16).



а)



б)

Рис. 5.16. А) фасад будівлі після пожежі 2014 року; **б)** сучасний вигляд відновленої будівлі (проект «Вартість», КНУБА)

Отже, у даному прикладі показано, що відновлення будівель навіть після сильної пожежі, їхня реконструкція і капітальний ремонт демонструють тип перетворення забудови, який відповідає цілям і задачам сталого розвитку економіки та суспільства в цілому.

У розділі 6 розглядаються додаткові можливості і перспективи застосування аналізу життєвого циклу для будівель і споруд.

Ми можемо врятувати цей світ, тільки очистивши свої думки. І саме цього від нас вимагає сучасне життя. Почуйте ж цей заклик! Допоможіть нашій планеті позбавитися болю, у протилежному випадку нас чекає повна катастрофа. Природа повстане, і все прийде в занепад. І тоді вже дійсно не лишиться ніякого виходу. Очистьте свою любов – і вона стане молитвою. Очистьте свій інтелект – і він стане вашою мудрістю. Очистьте себе повністю – і ви перетворитесь в усьому в єдине ціле.

Пайлот Баба

6. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ І РОЗВИТКУ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ БУДІВЕЛЬ

6.1. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОСТІ СТАЛІ В БУДІВНИЦТВІ

Як показано у попередніх розділах, несуча система у будівлях комерційного призначення відповідає за значну частину приєднаних викидів. Врахування у межах системи будівлі у разі аналізу всього ланцюжку життєвого циклу (**whole building life cycle assessment, WBLCA**) дає змогу оцінити різну ефективність рішень і показує їхню неоднозначність відносно викидів, що частково демонструють приклади розділу 5. Наприклад, можуть бути випадки, коли деяке збільшення викидів на стадії будівництва зменшує загальні викиди в масштабах життєвого циклу. Нижче наведено приклади типових складних вуглецевих взаємозв'язків у будівлях комерційного призначення:

- будівельний елемент із низьким вмістом вуглецю, що виробляється за кордоном, може фактично мати набагато більший обсяг приєднаних викидів вуглецю в загальному життєвому циклі, ніж місцева альтернатива через викиди, пов'язані з транспортуванням;
- застосування перекриттів пониженої висоти (більш матеріаломістке рішення, що містить збільшені приєднані викиди під час будівництва) зменшує будівельну висоту поверху, а отже, витрати на опалення і кондиціонування;
- підвищений антикорозійний захист конструкції, що додає на початку будівництва більше приєднаних викидів, подовжує строк її безремонтної експлуатації протягом життєвого циклу, а отже, зменшує викиди, приєднані до ремонтних робіт під час експлуатації, та відтерміновує заміну елементів.

Отже, для всіх **підсистем архітектурної, конструктивної форм будівлі і для підсистем забезпечення функції будівлі** має бути здійснений раціональний вибір з точки зору життєвого циклу. Оскільки **вибір** за визначенням – це відсіювання менш досконалих варіантів розвитку та дій, **проектування** може бути представлено як послідовність пов'язаних між собою виборів сукупності складових будівельної системи, які здійснює проєктувальник із метою отримання її заданих параметрів. Цей процес є унікальним, обмеженим за часом, ресурсами, термінами діяльності і спрямований на відповідність певному заданому функціоналу. Отже, проектування можна представити як вибір архітектурної та конструктивної форми будівлі для забезпечення її функції. Цей вибір здійснюється за допомогою критеріїв, що представляють собою згортку, сукупність вимог. Як інструменти досягнення мети проєкту, ці критерії мають на увазі певні принципи проектування – набори концептуалізованих правил, що дозволяють досягти кращих результатів. З іншого боку, зовнішні умови накладають **вимоги і обмеження** на цільову функцію вибору каркасу будівлі: архітектурні, конструктивні, технологічні, економічні, експлуатаційні.

Для несучих каркасів комерційних будівель основними шляхами **зменшення вуглецевого сліду і підвищення економічності** можуть бути заходи та методи, що розглядатимуться далі з розподілом по стадіях життєвого циклу.

1. Стадія А1-А3. Продукт.

1.1. Спосіб виготовлення сталі на всьому ланцюжку має бути дружнім до довкілля і містити якомога менше приєднаних викидів. Щоб досягти цього, є можливим та доцільним перехід на більш екологічні джерела енергії та методи виробництва сталі.

Нині сталь в Україні виготовляється переважно шляхом багатостадійного металургійного застарілого процесу. Першим етапом є переробка залізної руди в агломерат та виготовлення коксу з вугілля. Далі попередньо оброблену руду разом із коксом завантажують до доменних печей, в яких відбувається плавка. Кокс використовується як хімічний реагент (для відновлення заліза), а також частково як паливе в доменному процесі. В результаті отримується чавун, який використовується у ливарному виробництві або формується у заготовки для подальшої переробки. Щоб отримати сталь з потрібними властивостями, чавун переплавляють з додаванням спеціальних домішок [6.28]. Кокс виробляється з коксівного вугілля у так званих коксових батареях – рядах печей, які заповнюються вугіллям і нагріваються без доступу кисню до повного випаровування води та летких органічних сполук, що містяться у вугіллі. Коксівне і доменне виробництва спричиняють значну кількість приєднаних викидів, оскільки вони покладаються на вугілля – найбрудніший вид викопного палива, який містить найбільше забруднюючих речовин та вуглецю, що викидається в атмосферу, і є головним чинником глобального потепління. Ці виробництва інтенсивно забруднюють довкілля різноманітними небезпечними та токсичними речовинами – від парникових газів до канцерогенів, а також продукують великі обсяги твердих та рідких промислових відходів. Атмосферне повітря забруднюється оксидами сірки та азоту, токсичними органічними сполуками та зольним пилом [6.51].

В Україні найбільшу частку сталі (близько 76% у 2020 році) виплавляють на інтегрованих заводах з доменно-конвекторним процесом (BF-BOF), а частка електродугового переплаву (EAF) є дуже малою (менше ніж 6% у 2020 році). При цьому ще продовжується виплавка сталі в мартенах (19% у 2020 році). [6.63]. Така структура суттєво вирізняє Україну поміж її основних конкурентів та впливає на її конкурентоздатність (рис. 6.1) і фактично визначає відносно високі значення питомих прямих викидів CO₂ на одиницю готової металургійної продукції.

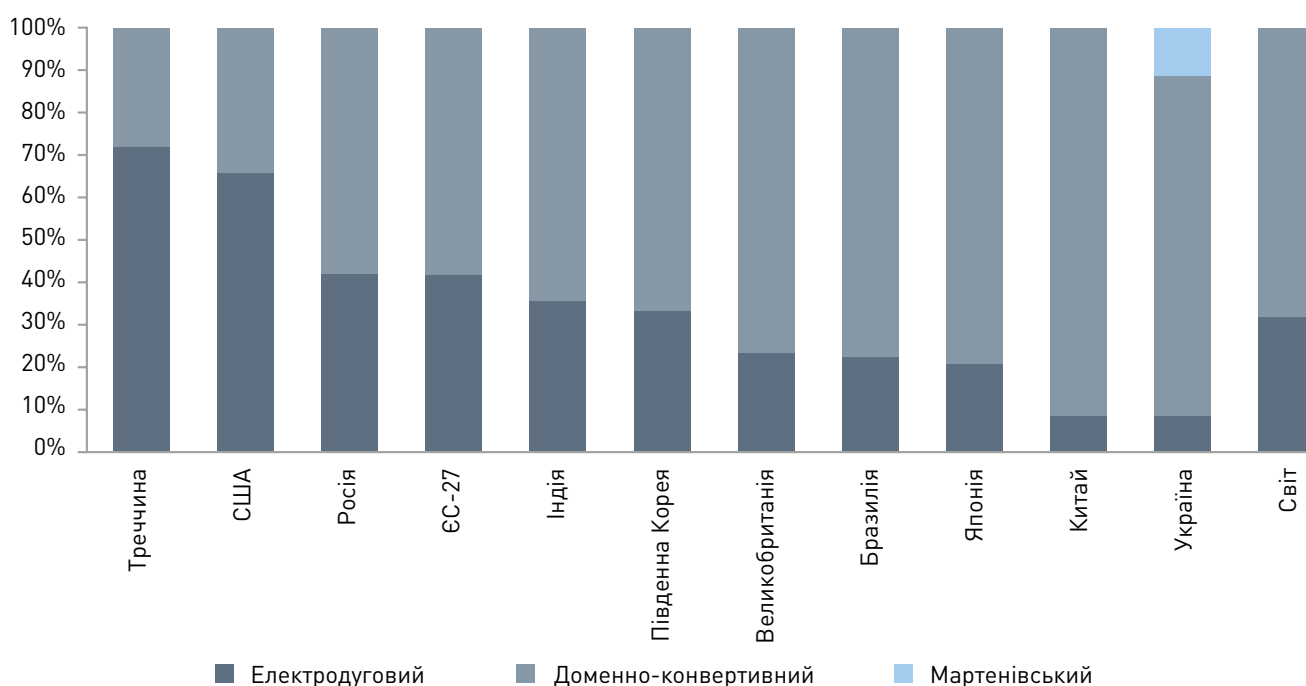


Рис. 6.1. Структура виплавки сталі за способом в окремих країнах [6.50]

Згідно з даними національного кадастру викидів парникових газів, зі звітною статистичною інформацією про викиди CO_2 , звітами виробників та експертними судженнями, у 2019-2020 роках в Україні середні прями пов'язані питомі викиди CO_2 для чавуну оцінюються на рівні 2,12 т CO_2 /т чавуну; сталі – 2,01 т CO_2 /т сталі; прокату – 2,08 т CO_2 /т прокату. Оскільки повний виробничий ланцюг чавуну, сталі та прокату складається з багатьох переділів, то для консервативної оцінки прийнято можливу невизначеність прямих пов'язаних питомих викидів CO_2 на рівні + 5%, що дає верхню межу цього показника – 2,22; 2,11 та 2,19 т CO_2 /т відповідно [6.12].

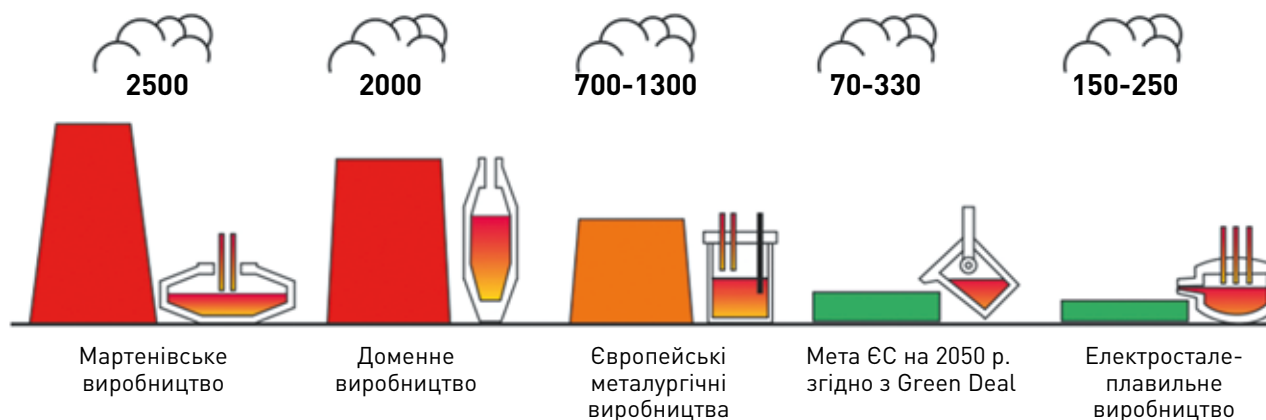


Рис.6.2. Усереднені приєднані викиди під час різних способів виробництва сталі, кг CO_2 /тонну сталі [6.144]

Водночас у Європі вже декілька компаній вже працюють над новим способом виробництва сталі з низьким рівнем викидів. Зокрема, три компанії (SSAB, LKAB та Vattenfall) об'єднали зусилля та співпрацюють для промислового впровадження «першої у світі технології виготовлення сталі, яка не використовує викопного палива і практично не має вуглецевого сліду» під назвою HYBRIT [6.144]. Ідея HYBRIT полягає в тому, щоб замість коксу та вугілля використовувати водень, який отримується електролізом води з використанням відновлюваних джерел енергії. Водень реагує з киснем, що міститься у залізній руді, забезпечуючи хімічний процес прямого відновлення заліза. Замість CO_2 побічним продуктом є вода, викиди інших забруднюючих речовин, які утворюються в традиційних металургійних процесах через використання вугілля, також усуваються.

Концерн SSAB оголосив, що планує почати виробляти таку «чисту» сталь до 2026 року. SSAB скоротить свої викиди CO_2 у Швеції на 25% вже до 2025 року шляхом переобладнання металургійного комбінату Оксельсунд. У період між 2030 та 2040 роками також планується переобладнання виробництв у містах Лулео (Швеція) та Раахе (Фінляндія) для ліквідації викидів CO_2 . Загалом SSAB планує повністю декарбонізувати своє виробництво сталі до 2040 року [6.108]. У 2020 році в Німеччині у місті Зальцгіттер побудовано завод для виробництва сталі на зеленому водні. Необхідну електроенергію виробляють 7 вітрогенераторів загальною потужністю 30 МВт, а потужність електролізної установки з протонно-обмінною мембраною становить 2,2 МВт [6.143] (рис. 6.3).

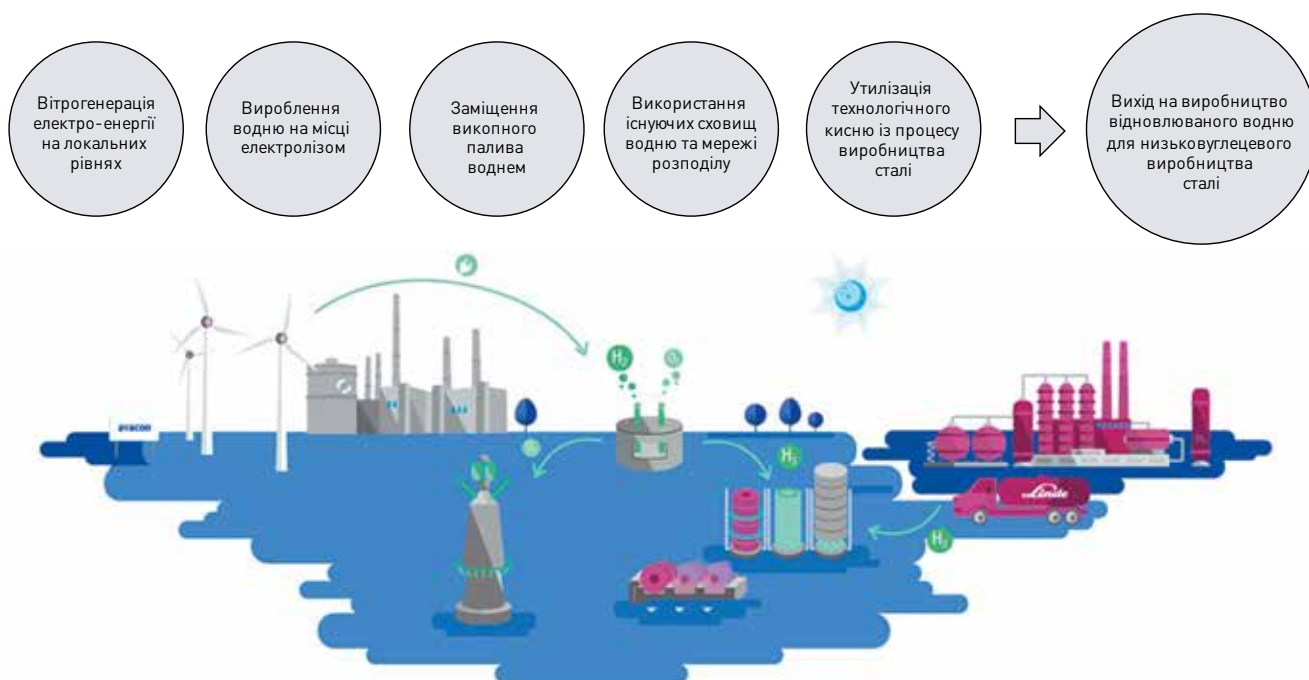


Рис.6.3. Один з варіантів екологічного способу виробництва сталі за допомогою водню [6.143]

Більш енергоощадні методи виплавки в електропечах із живленням електроенергією з відновних джерел дозволяють також знизити вартість і підвищити конкурентоспроможність прокату. У партнерстві з компанією OneSteel дослідний центр SMaRT (Sustainable Materials Research and Technology) при Університеті Нового Південного Уельсу в кінці 2000-х років розробив зелений металургійний процес, в якому для виготовлення сталі в якості функціональної альтернативи коксу використовуються відходи пластику та автомобільні шини, в яких закінчився строк експлуатації. Новий виробничий процес Polymer Injection Technology, також відомий як Green Steel, сьогодні вже комерціалізований для електродугових печей в Австралії та чотирьох інших країнах, включаючи Південну Корею, Таїланд, Велику Британію та Норвегію [6.108]. Досвід проектів «Green Steel» показав, що таке інноваційне виробництво є комерційно успішним. Новий технологічний процес дозволив підвищити ефективність електродугових печей та знизити їх питомі витрати електроенергії під час виплавки сталі. Також підприємства отримало додаткове джерело прибутку від плати за утилізацію відходів, замість витрат на кокс. Це принесло значні фінансові результати для промисловості та водночас продемонструвало успішне впровадження досліджень у виробництво. Але головне те, що це дозволило скоротити промислове забруднення та захистити здоров'я та життя людей.

Щоб повністю усунути викиди CO₂ на виробництві, компанія ArcelorMittal розробила технологічну **стратегію з низьким рівнем викидів, яка спрямована не тільки на використання альтернативної сировини та знешкодження викидів CO₂, але й на пряме уникнення вуглецю (Carbon Direct Avoidance або CDA)**. Також ArcelorMittal має намір запустити новий проект на заводі в Гамбурзі, щоб вперше використовувати водень у промислових масштабах для прямого відновлення залізної руди в процесі виробництва сталі, і у найближчі роки планується побудувати пілотний завод. Інші світові металургійні компанії, наприклад, Thyssenkrupp, TATASteel, Posco, Nippon Steel, United States Steel тощо – вже у 2021 році оголосили про перехід до 2050 року до вуглецево-нейтрального виробництва. Суміщені вітро-водневі, сонячно-водневі станції дозволяють застосувати екологічні джерела енергії для електролізного отримання водню. Іншими перспективними технологіями є захоплення, збереження і перенаправлення вуглецю на екологічні цілі. Зокрема двоокис вуглецю дозволяє більш ефективно вирощувати рослини

у теплицях, водорості, газувати напої тощо [6.96], а також може перероблятися у синтетичний метан із застосуванням технології Power-to-Gas [6.124]. Різноманітні технології екологізації металургії поволі стають все більш доступними (рис.6.4).

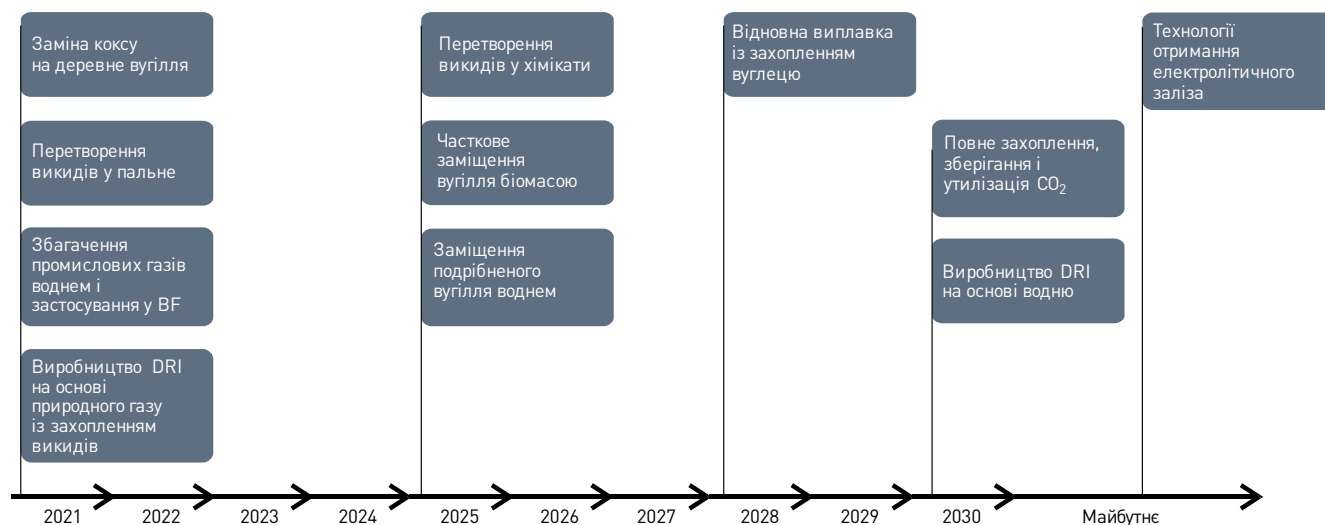


Рис. 6.4. Перспективні технології екологізації виробництва сталі, які очікувано стануть комерційно доступними до 2030 року. DRI - Direct reduced iron, гарячебрикетоване залізо [6.26].

Також у ланцюжку виготовлення сталі необхідне масове впровадження відновних джерел енергії (ВДЕ), новітні способи видобутку сировини, законодавство і контроль, які стимулюють виробника до інвестицій у екологізацію. **В Україні поки що є лише поодинокі, але позитивні кейси. Наприклад, виробник трубного прокату «Інтерпайп» вже закрив усі мартенівські виробництва та перейшов на електродугові печі, зменшивши викиди у 10 разів і значно скоротивши свої операційні витрати.**

1.2. Збільшене використання вторинної сировини в процесі виробництві сталі і вибір продуктів із меншим значенням вмісту первинної залізно-рудної сировини дозволяє значно знизити приєднані викиди CO₂. **У такий спосіб одна тонна брухту економить понад 740 кг вугілля, а місцевий брухт зменшує приєднані викиди ще більше.**

У 2018 році в ЄС для виробництва сталі було використано 93,8 мільйонів тонн металобрухту, що становить близько 60% від загального виплавленого обсягу 168,1 мільйонів тонн. Притому, що ЄС є нетто-експортером металобрухту – експортовано близько 19 мільйонів тонн у 2018 році [6.103]. Більша частина експорту металобрухту з ЄС надходила до Туреччини, звідки після EAF-процесу поверталась назад до ЄС у вигляді як напівфабрикатів, так і готової продукції [6.54]. Для порівняння: в 2020 році в Україні було використано для виробництва сталі до 6 мільйонів тонн металобрухту (заготівля та оборотний металобрухт металургійних заводів) або до 20-25% від виробленої сталі [6.71]. Це є одним з найнижчих показників серед країн-конкурентів на ринку ЄС, де у виробництві сталі використовують понад 50% металобрухту, а деякі марки сталей вже містять до 98% вторинної сировини (рис. 6.5). Саме велика частка повернення металобрухту в процес виробництва сталі та EAF-процес сьогодні є, та в середньостроковій перспективі буде залишатися основним елементом кругової економіки в металургії ЄС. Підраховано, що ЄС міг би заощадити до 630 мільярдів доларів США щороку, впроваджуючи принципи кругової економіки.

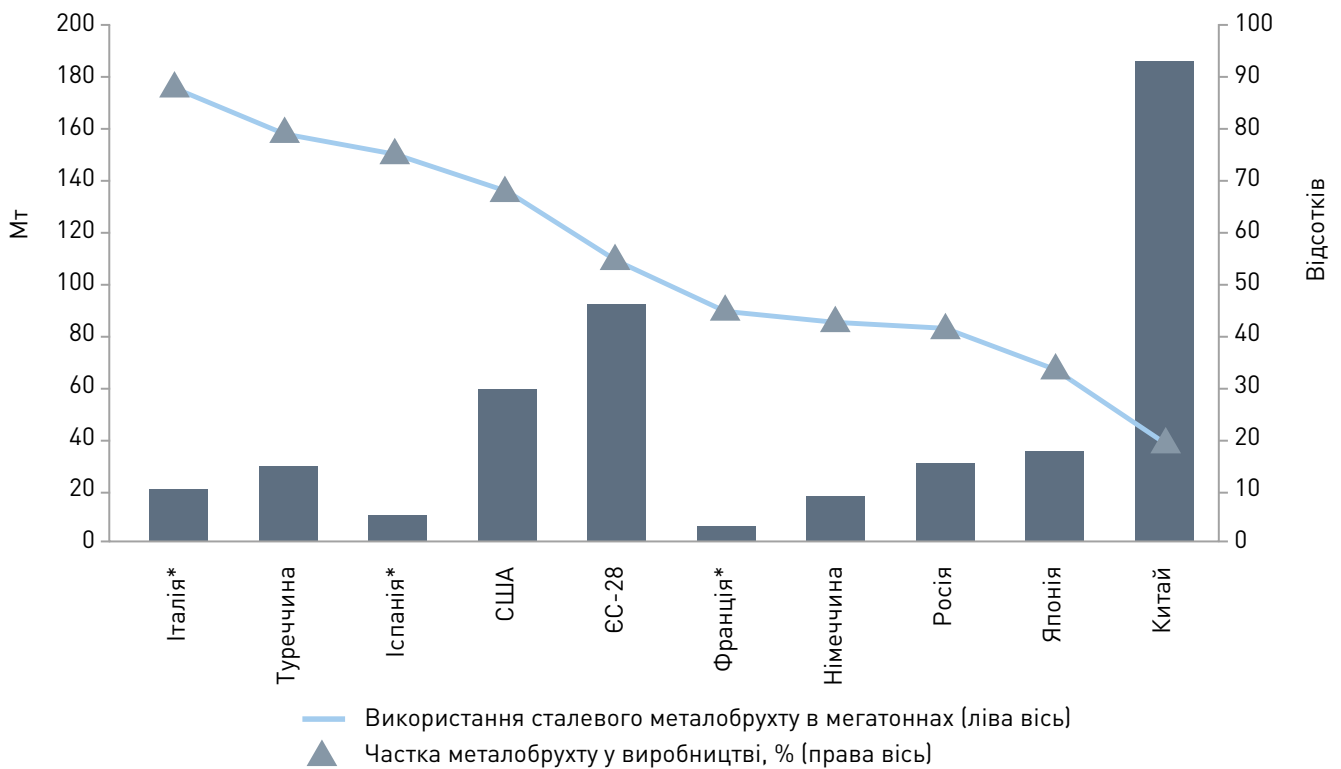


Рис. 6.5. Використання металобрухту під час виробництва сталі в окремих країнах в 2018 («*» позначені дані за 2017 рік) [6.104]

В Європі вже є заводи, які виробляють позиції металургійної продукції, в яких частка брухту сягає практично 100%. Інтенсифікація використання і збереження сталевих виробів у життєвому циклі значно зменшує питомі викиди, приєднані до них. Завдяки цьому тільки за період від 1970 року до 2005 року європейська сталева індустрія зменшила викиди CO₂ на 60%. Між 1990 і 2005 роками таке зменшення склало 21% [6.103], притому, що водночас виробництво сталі зросло на 11,5% [6.144].

Перехід до процесу виплавки сталі PEF-BOF (primary energy melter, basic oxygen furnace, киснево-конверторний спосіб із прямим плавленням), пов'язаного з використанням в киснево-конвертері **гарячого металу, розплавленого брухту і звичайного твердого брухту**, дає змогу скоротити викиди, **приєднані до 1 тони сталі, до 1200 кг CO₂**, а також значно зменшити енерговитрати [Технологія PEF дала ArcelorMittal змогу скоротити викиди CO₂ на 25% [6.84].

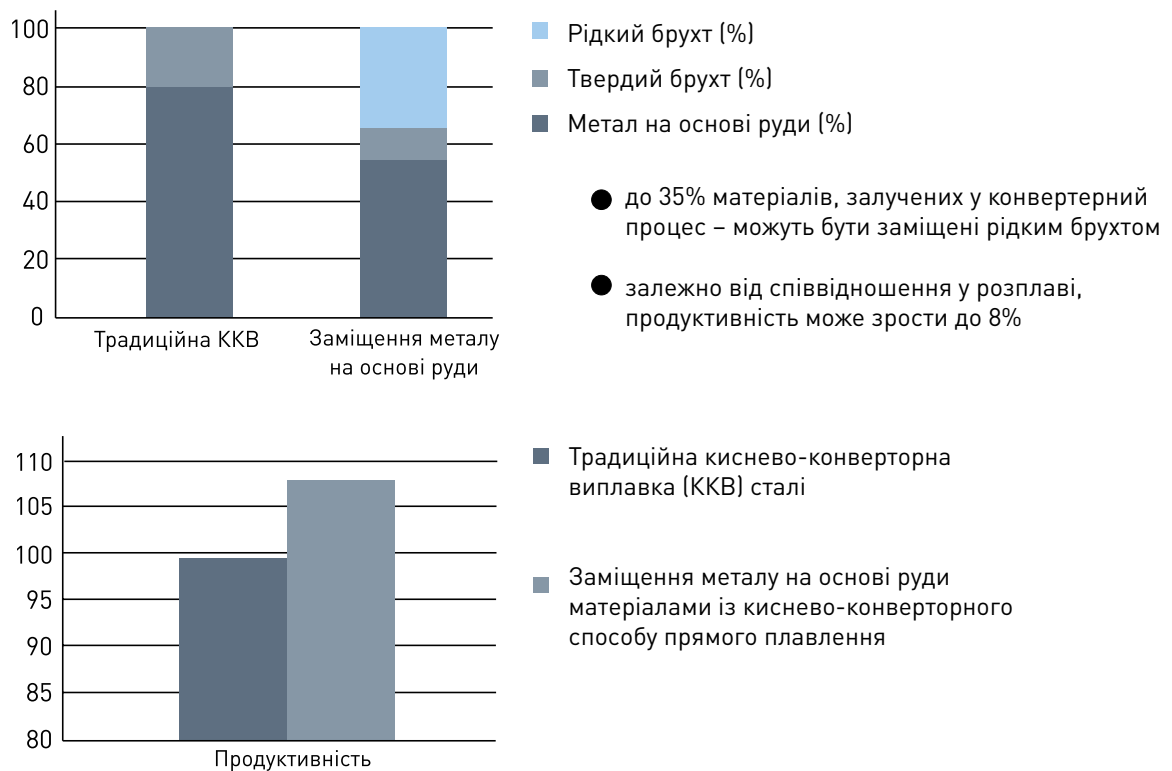


Рис. 6.6. Ефекти зменшення вуглецевого сліду від застосування сучасних методів виплавки сталі з використанням брухту, дані SMS group [6.84].

1.3. Під час виробництва сталі та конструкцій має використовуватися переважно місцева сировина і матеріали, має бути розвинена низькоемісійна логістика. Відносно добре диверсифікована мережа заводів з виробництва металоконструкцій в Україні та замкнений у країні ланцюжок виробництва сталевих виробів дає змогу в перспективі значно покращити параметри життєвого циклу для вітчизняної сталевих продукції.

Зараз перевезення конструкцій і сировини для їх виготовлення здійснюються переважно автовантажним способом. Більший розвиток водного і залізничного транспорту; розвиток електротранспорту (за умови екологічності джерел енергії і розвиненої інфраструктури зарядки та реутилізації акумуляторів тощо) – все це може надати як статус екологічності для української продукції, так і безперечні фінансові переваги на зовнішньому ринку.

1.4. Ефективні сортаменти прокату та застосування високоміцних сталей. В Україні доки не виробляються власні сортаменти прокатних широкополочкових, колонних двотаврів тощо, зокрема зі сталей підвищеної міцності. Збільшення фізико-механічних характеристик сталі шляхом застосування новітніх технологій здатне значно зменшити приєднані викиди [6.144]. Зокрема використання сталей підвищеної міцності та високоміцних знижує металоємність каркасів будівель, а отже, приєднані викиди до них. До сталей підвищеної міцності відносяться сталі S255, S275, S355, S420, S460. Високоміцними вважаються сталі зі значеннями нормативного опору текучості, вищими за 550 МПа [6.144]. Сучасне виробництво сталей підвищеної і високої міцності досягається за допомогою термомеханічного прокату з охолодженням (Thermo-mechanically Controlled Processed, ТМСП [6.6]). Такі новітні технології отримання кращих міцнісних параметрів сталі самі собою є більш енергоощадними за традиційні способи виготовлення (рис.6.7, а).



а)

Сталь, товщина	Ціна, у. о./тонна
Лист S235JR, товщини: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14 мм	1086
Лист S235JR, товщини: 16, 20 мм	1145
Лист S235JR, товщини: 21-100 мм	1256
Лист S275JR, товщини: 10-15 мм	1076
Лист S275JR, товщини: 16-20 мм	1135
Лист S275JR, товщини: 21-50 мм	1147
Лист S355JR/J0/J2, товщини: 4, 5, 6, 8, 16, 18, 22, 30 мм	1127
Лист S420ML, товщини: 10-15 мм	1305
Лист S420ML, товщини: 16-20 мм	1364
Лист S420ML, товщини: 21-50 мм	1376
Лист S460M, товщини: 10-15 мм	1152
Лист S460M, товщини: 16-20 мм	1211
Лист S460M, товщини: 21-50 мм	1223

б)

Рис. 6.7. Еволюція процесів термічної обробки прокату в напрямку випуску високоміцних сталей і сталей підвищеної міцності; синій графік – загартування з відпуском, червоний – ТМСП (а); порівняння роздрібної ціни листового прокату звичайної та підвищеної міцності (б) [6.75]

Додаткова економія ресурсів та зменшення викидів в процесі використання сталей підвищеної міцності та високоміцних також досягається шляхом зменшення транспортних витрат [6.133, 6.110].

Точних даних стосовно різниці приєднаних викидів до тонни сталі між ТМСП та усталеним типом виробництва в Україні допоки немає, але навіть якщо прийняти їх однаковими, то тільки внаслідок економії матеріалів можна досягти значної екологічності.

Такі компанії, як ArcelorMittal та SSAB, проводять наразі масштабні дослідження із розробки більш чистих виробничих процесів і екологічно чистих сталевих продуктів, включаючи **надвисокоміцні сталі** (Ultra-high-strength steels, UHSS) і **сталі з наднизькими приєднаними викидами CO₂** (Ultra-Low CO₂ Steelmaking, ULCOS), щоби зробити виробництво сталі більш стійким і допомогти зменшити власний вплив на навколишнє середовище, а також своїх клієнтів. До **надвисокоміцних** відносять **сталі** зі значеннями нормативного опору текучості, вищими за 780 МПа. Це сталі S690, S890, S960 тощо. Також серед **надвисокоміцних виділяють гігапаскальні сталі** – зі значеннями нормативного опору текучості вище 1000 МПа.

В Україні із 2013 року є виробничий потенціал і досвід виготовлення сталей S420, S460, S690, S890 і навіть S960 у листовому прокаті, який може бути застосований в каркасах будівель і значно зменшити викиди, приєднані до них [6.6]. Виробництво продукції з високою доданою вартістю має бути стратегічним напрямом для України, яка, крім вигідного геополітичного розташування, досі має значний інтелектуальний і виробничий потенціал.

1.5. Зварні перерізи попри потребу у довших термінах виробництва і дещо більшу питому собівартість тонни конструкцій та завдяки більшій номенклатурі листів і їхньому крою, дозволяють більш економічно і компактно запроектувати несучі елементи, ніж за умови використанні прокату, який обмежений дискретністю сортаменту, наявністю позицій на металобазах і можливими типами сталей. Компонування з листових і фасонних деталей розширює можливості і спеціалізує конструкцію під конкретну функцію, що підвищує її ефективність.

1.6. Залежно від кожної проектної ситуації, у будівлі можуть бути використані профілі і елементи вторинного використання. Це відповідає чинному в Україні європейському нормативу [6.32], де базовою вимогою для будівельних споруд щодо сталого використання природних ресурсів має бути особлива увага до утилізації будівельних споруд, їхніх матеріалів та частин після знесення, довговічності будівельних споруд та використання екологічно чистої сировини та вторинних матеріалів у будівельних спорудах [6.22].

В Україні величезні фонди застарілих будівель із застосуванням металоконструкцій, які можуть бути використані повторно. Очевидно, що застосування профілів вторинного використання тягне за собою додаткові витрати із конструктивного і функціонального пристосування під нові вирішення, а також певні затрати на обстеження, очищення, перевірку хімічного складу і фізико-механічних властивостей. Проте ці рішення все одно є ефективними, оскільки середня ціна двотаврових прокатних балок, що були у застосуванні, коливається на ринку України в межах 550-600 у.о. /тонну, що наближено вдвічі дешевше, ніж у нової балки з металобазу. Власне, саме можливість вторинного використання і створює потенціал для сталі як основи світової кругової економіки у будівельній галузі.

1.7. Застосування композитних рішень (див. також розділ 3.4) дозволяє знизити металоємність на 20-30%, а отже і викиди, приєднані до маси металу в каркасі будівлі. Швидкість будівництва і малоелементність таких рішень складають додаткові переваги під час аналізу вартості життєвого циклу (див. нижче). У прикладі 6.1 показана ефективність композитного рішення.

1.8. Застосування перфорованих балок і балок перемінного перерізу (див. розділ 3.4) дозволяє знизити викиди як шляхом зменшення металоємності, так і шляхом зниження будівельної висоти, що призводить до меншої вартості експлуатації.

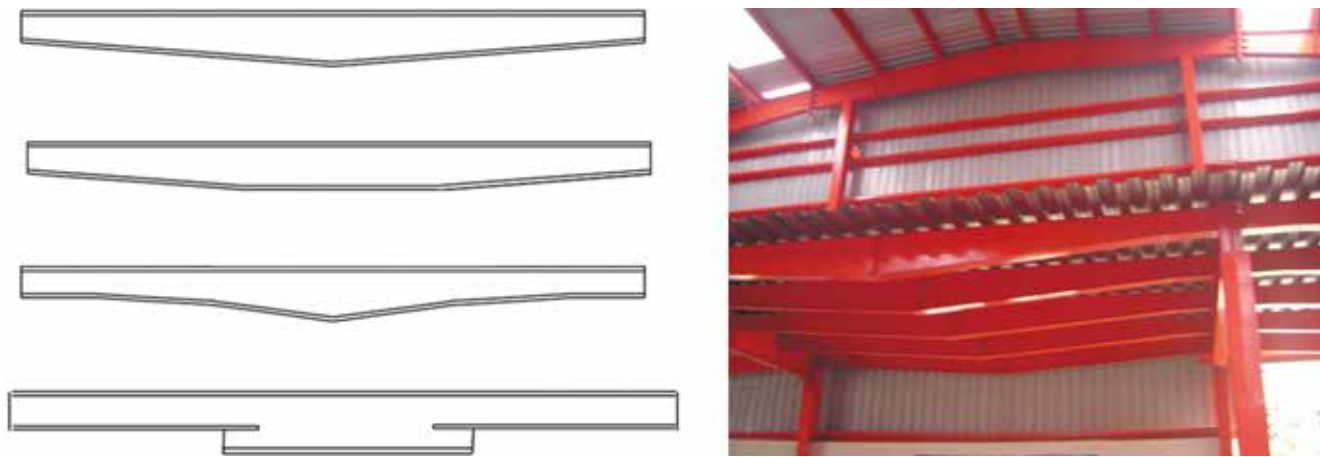


Рис. 6.8. Приклади балок зі змінним по висоті перерізом

1.9. Урахування в конструкціях, де це можливо, обмежених пластичних деформацій зменшує необхідну кількість металу, а отже, і приєднані викиди. Таким чином можна досягти скорочення витрат сталі близько 10-12%, що надає пряму екологічну та економічну ефективність життєвого циклу. При цьому слід враховувати, що обмежені пластичні деформації можна використовувати тільки для окремих прольотних конструкцій у разі статичних навантажень згідно з ДБН В.2.6-198.

1.10. Використання у пролітних елементах будівельного підйому – це стандартний прийом конструювання, який дозволяє підбирати конструкції тільки за міцністю перерізів та от-

римати максимальну вигоду від застосування сталей збільшеної міцності. Крім надлишкових прогинів, у разі застосування будівельного підйому можна усунути ефект так званого «запрудження», який проявляється через вигин балки під час бетонування під вагою суміші для плит, що призводить до додаткових витрат бетону і власної ваги перекриття.

У разі потреби за допомогою будівельного підйому можна забезпечити дотримання ухилів перекриттів і покриттів, наприклад, для відведення води в паркінгах. Будівельний підйом використовується як у фермах прольотами понад 24 метри, так і в розрізних шарнірно опертих балках з прольотами 12 і більше метрів. У разі використання будівельного підйому особливу увагу слід приділяти умовам транспортування і складування елементів, щоб виключити відхилення від заданої геометрії. Будівельний підйом повинен компенсувати собою прогин від силових дій, які будуть присутні в конструкції у будь-якому випадку. Тому величина будівельного підйому приймається рівною величині прогину від постійних навантажень.

Будівельний підйом може задаватися конструктивно, механічно і нагріванням. Конструктивно будівельний підйом задають зазвичай у фермах шляхом конструювання відповідних вузлів у монтажних стиках відправних марок.

Для балкових конструкцій на практиці найчастіше використовується механічний вигин в холодному стані. Щоб отримати такий вигин, для суцільностінчатих елементів використовують промислове обладнання і спеціальні стенди для гнуття, як показано на рисунках 6.9 (а) та 6.9(б). У випадку з перфорованими балками гнуття частіше виконується на етапі стикування двотаврових елементів, для чого потрібні значно менші зусилля, що забезпечуються струбцинами і регульовальними гвинтами, як показано на рисунку 6.9 (в).



а)

б)

в)

Рис.6.9. Приклади надання балкам будівельного підйому (пояснення див. у тексті).

Комбіноване використання сталей підвищеної міцності та будівельного підйому в довгопрольотних схемах компонування каркасів здатне забезпечити зниження металоємності до 12-20%, що вигідно навіть з урахуванням збільшення вартості виготовлення конструкцій через додаткові технологічні операції з їхнього гнуття.

1.11. Одним із додаткових шляхів зменшення вуглецевого сліду і підвищення економічності на першій стадії є комплексна оптимізація каркасу або його елементів.

Вибір оптимального конструктивного вирішення може бути здійснений ще на стадії варіантного проектування, коли розглядаються кардинально відмінні конструктивні і архітектурні форми будівлі.

Ретельний техніко-економічний аналіз та розгляд інноваційних рішень дозволяють вибрати найбільш ефективні складові будівельних систем, які забезпечать економічність та екологічність життєвого циклу [6.22]. Вибір оптимального конструктивного вирішення на стадії варіантного проектування з урахуванням конструктивних, технологічних, економічних та екс-

платуаційних вимог є важливою та актуальною задачею, особливо в умовах впливу часових та фінансових факторів, якими обмежений проектувальник [6.3].

Проектування має бути професійне та ефективне, ощадне за витратами матеріалів, а елементи і матеріали, що обираються, – доцільними.

Сучасні спеціальні інструменти комп'ютерної оптимізації металевих конструкцій [6.7] дозволяють досягти високого ступеня використання перерізів у каркасі без втрати надійності та експлуатаційної придатності. Оскільки практично кожне перекриття і майже всі фундаменти містять бетонні монолітні чи збірні елементи, оптимізаційний аналіз має торкатися і зменшення екологічного сліду у них теж, насамперед, шляхом зменшення ваги і заміни цементу. Раціональна уніфікація у разі дотримання всіх нормативних і конструктивних вимог у каркасі також є однією із запоруок його економічності і екологічності.

1.12. Вибір раціональних шляхів і засобів транспортування до заводу металокопструкцій. Як вже було зазначено вище, вибір залізничного і водного транспорту та близькість будівельного майданчика до заводів-виробників металокопструкцій значно зменшують витрати та викиди на етапі транспортування. Централізовані та комплексні поставки, політика завчасних планувань на рівні замовника і на заводі, а також диверсифікована система металобаз можуть також зменшити як приєднані вуглець та енергію, так і накладні витрати на транспорт (див. також п. 1.3 вище).

Слід також зазначити, що зменшенню як накладних витрат, так і приєднаних викидів **сприяє висока організація виробничих процесів** на заводі-виробнику, що включає використання BIM-технологій (див. розділ 4), впровадження систем менеджменту якості, ощадного управління ресурсами тощо. Це зазвичай зменшує і питому вартість тонни металокопструкцій, що впливає на загальний аналіз вартості життєвого циклу.

Приклад 6.1. Розрахунки параметрів вартості та екологічності життєвого циклу для балкового перекриття із застосуванням інструментів оптимізації.

Розглядається типове прольотне перекриття над холодним переходом між двома об'ємами у будівлі торгового центру (рис. 6.10, а). Місце будівництва – місто Київ. Проліт головної балки – 14,3 м. Крок балок – 7 м. Тимчасове корисне характеристичне навантаження – 4,5 кН/м². Конструкції категорії відповідальності А. Клас наслідків будівлі – СС2. Категорія вогнестійкості будівлі – IIIа.

Архітектурне обмеження по висоті балки – 820 мм. Комунікації проходять в просторі балок у поодиноких перфораціях, що не впливає істотно на розрахунок та параметри життєвого циклу.

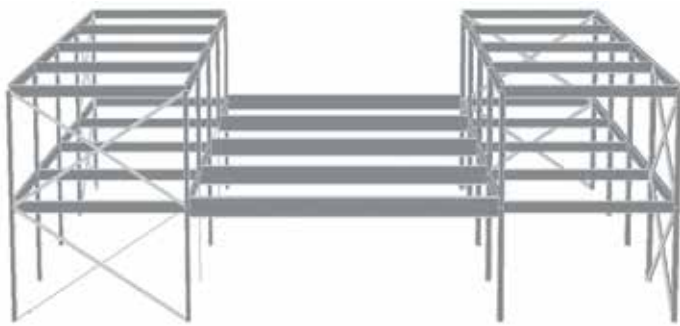
Оскільки під балкою знаходиться холодний перехід, різниця висоти конструктивів не впливає на витрати опалення чи кондиціонування під час оцінки життєвого циклу, і може бути застосований рівень аналізу 1. Розцінки листового і фасонного прокату були взяті з загальнодоступних джерел (станом на 09.12.2021 рік). У критерії собівартості сталевих конструкцій в ділі враховано розробку креслень КМ та КМД, виготовлення, транспортування і монтаж. Віддаль доставки конструкцій, яка впливає на приєднані викиди і вартість, прийнята 30 км. Додаткові витрати на улаштування конструктивного підйому 1/200 прольоту для однієї балки експертно прийняті близько 80 у. о., а збільшення від цього GWP – в межах 5%. Різниця у витратах на пофарбування елементів різного перерізу умовно не врахована. Для елементів зі сталей підвищеної міцності взято до уваги удорожчання їхньої обробки та зварювання на заводі. Улаштування композитного варіанту перекриття розраховане за умови товщини плити по профлисту 150 мм із полегшеного бетону, з анкерними упорами висотою 120 мм, діаметром 19 мм, поздовжній крок – 300 мм із однорядним розташуванням. Враховано вартість матеріалів і робіт з улаштування упорів, а також викиди, приведені до їхньої ваги, як до

ваги зварних балок. Усі параметри екологічності життєвого циклу взяті аналогічно прикладу 5.2. В оптимізації враховано технологічні обмеження виготовлення заводів, торцювання, товщини плазмового різку та відповідний раціональний розкрій листів з мінімізацією відходів. Оптимальний підбір виконано алгоритмічно методом повного направленої перебору [6.3]. Всього було розраховано 8 варіантів вирішення перекриття. Результат розрахунків показано у табличній формі у **таблиці 6.1**.

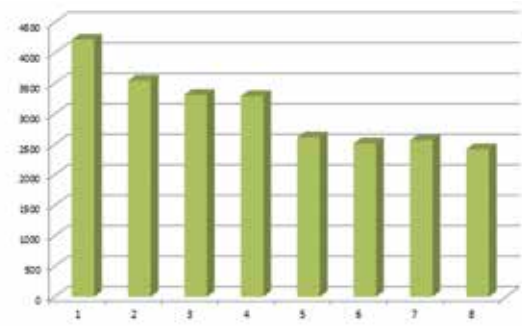
Табл.6.1.

Результати розрахунків вартості і екологічності життєвого циклу балок під час застосування різних інструментів оптимізації

№	Застосований інструмент, сталь	Підібраний переріз	Погонна вага, кг/м. пог.	Вага елемента, кг	Собівартість у ділі, грн	Приєднані викиди CO ₂ -еквівалента, кг
1	Звичайний підбір прокатного перерізу, С255	70Ш5*, загальна висота 725 мм	294,9	4217	233 204	4217,07
2	Підбір зварного перерізу, S275	80БС2, стінка 755x18 мм, полички 300x30 мм, загальна висота 815 мм	248	3546,4	195 442	3546,40
3	Підбір зварного перерізу, S355	70БС4, стінка 645x16 мм, полички 320x30 мм, загальна висота 705 мм	231,7	3313,31	191 195	3313,31
4	Підбір зварного перерізу, S355, улаштування конструктивного підйому	60БС5, стінка 545x16 мм, полички 320x30 мм, загальна висота 605 мм	219,2	3134,56	187 462	3291,29
5	Підбір зварного перерізу, S355, оптимізованого	Стінка 738x14 мм, полички 162x40 мм, загальна висота 818 мм	182,84	2614,61	150 876	2614,61
6	Підбір зварного перерізу, S355, композитне вирішення, без оптимізації та урахування технологічних обмежень	Стінка 720x10 мм, полички 270x28 мм, загальна висота 776 мм	175,21	2505,5	150 593	2514,74
7	Підбір зварного перерізу, S420ML, оптимізованого	Стінка 738x12 мм, полички 280x25 мм, загальна висота 818 мм	179,51	2566,99	166 829	2566,99
8	Підбір зварного перерізу, S460M, оптимізованого	Стінка 739x10 мм, полички 177x40 мм, загальна висота 819 мм	169,17	2419,13	150 409	2419,13



а)



б)

Рис.6.10. Ілюстрації до прикладу 6.1:

просторова схема каркасу будівлі та головного перекриття посередині **(а)**, приєднані викиди CO₂-еквівалента (кг) для різних варіантів вирішення перекриття з таблиці 6.2 **(б)**.

Як видно з таблиці 6.2, у розглянутому прикладі застосування сталей підвищеної міцності вкупі з композитними вирішеннями, а також оптимізацією дозволяє зменшити собівартість у ділі конструкцій більше ніж в 1,55 разів, а приєднані викиди – більше ніж в 1,74 рази (рис. 6.10, б). Це свідчить як про ефективність інструментів оптимізації, так і про необхідність розгляду багатьох доступних варіантів на стадії попереднього проектування з метою вибору найкращого з точки зору економічності та екологічності.

2. Стадія А4-А5. Спорудження.

2.1. Застосування ефективних малоелементних рішень, зокрема при збільшених прольотах чарунок у разі композитних рішень тощо (див. вище), дозволяє знизити кількість елементів каркасу, що впливає на транспортування і тривалість монтажу.



а)



б)

Рис.6.11. Укрупнення конструкцій ферм **(а)** та раціональне розбиття колон на відправні марки по два поверхи **(б)** для зменшення витрат і викидів на стадіях життєвого циклу А4-А5.

2.2. Вибір раціональних шляхів і засобів транспортування, оптимізація логістики під час доставки конструкцій на майданчик мінімізує приєднані викиди і зменшує витрати на каркас через швидкість спорудження та прискорює повернення інвестицій. Раціональне розбиття конструкцій на відправні марки з урахуванням наявних засобів і способів транспортування і монтажу також належить до даного пункту (див. рис. 6.9).

На стадії проектування можливо закласти диференційований вогнезахист. Нові нормативні документи [6.13, 6.15, 6.21] дозволяють диференційований підхід до вогнезахисту сталевих конструкцій залежно від **форми перерізів і кількості сторін, які піддаються нагріву у разі пожежі, та ступеню завантаженості елементів**. Дані норми містять чисельні методики визначення вогнестійкості незахищених і захищених сталевих елементів та **визначення критичної температури сталевих елементів**. Практичний посібник [6.34], затверджений Мінрегіоном, містить приклади таких розрахунків. Впровадження даного методу показало його ефективність та доцільність застосування у практиці проектування. Як приклад, можна навести двоповерхову будівлю каркасного типу: металоємність – 3 400 тонн; площа під вогнезахист – 63 000 м²; ступінь вогнестійкості – II. Під вогнезахист підпадають наступні конструктивні підсистеми: колони з необхідним ступенем вогнестійкості R120, балки перекриття (R45), балки покриття (R30), в'язі (R30, R45). Як видно з порівняльного результату (табл. 6.2), застосування методу критичних температур дозволяє скоротити витрати на вогнезахисні матеріали [6.5]. Для таблиці 6.2 було прийнято, що металоконструкції перекриття, покриття і в'язей пофарбовані вогнезахисною фарбою, на колони нанесена вогнезахисна штукатурка; колона з критичною температурою 413°C порахована з витратами для температури 500°C. Показники приєднаних викидів GWP прийнято за зведеними показниками виробників 2,31 CO₂-еквівалента/кг продукту [6.111]. Як видно з таблиці, диференційований вогнезахист дозволяє скоротити вагу захисних матеріалів та приєднаних до них викидів на більше ніж 25%.

Табл.6.2.

Зменшення витрат матеріалів і приєднаних до них викидів при диференційованому вогнезахисті сталевих каркасу

Елементи	Вогнезахисні матеріали, витрати, кг		Різниця, кг	Різниця, кг CO ₂ -еквівалента
	при критичній температурі 500°C	при розрахунковій критичній температурі		
Балки перекриттів	83 061	61 522	21539	49755,1
Балки покриття	4 099	2 838	1261	2912,9
Колони	113 705	113 705	0	0
В'язі	2 460	2 386	74	170,9

3. Стадія В1-В7. Експлуатація.

3.1. Використання перекриттів пониженої висоти (див. розд. 3), перфорованих балок та інших **вирішень, які знижують габарит конструкцій**, дозволяє знизити опосередковані витрати, пов'язані з каркасом не напряду, а залежні від нього. Це витрати на опалення і кондиціонування, які присутні у більшості комерційних будівель, тобто коли будівельна висота має практичне значення.

3.2. Раціональний вибір засобів вогнезахисту і антикорозійного захисту, здійснений на етапі проектування і під час поточних ремонтів та обслуговування, дозволяє рідше проводити поновлення спеціальних покриттів. **Дбайлива експлуатація зберігає фонди металоконструкцій, як подовжуючи термін їхньої експлуатації, так і сприяючи їхній подальшій реутилізації.**

3.3. Форма конструкцій, яка менш піддається корозії чи/та дії вогню під час імовірної пожежі, легка для періодичних оглядів тощо, дозволяє зменшити як експлуатаційні витрати, так і приєднані викиди. Також замкнені, коробчасті профілі, перекриття пониженої висоти та інші вирішення з мінімізацією відкритого периметру перерізів зменшують витрати на антикорозійні і протипожежні суміші, які потребують періодичного оновлення.

4. Стадія С1-С4. Закінчення експлуатації. Або стадія D. Реновація.

4.1. Можливість **майбутніх розширень і реконструкцій** має бути закладена на стадії проектування у розташуванні будівлі, у її формі, об'ємно-планувальних вирішеннях та зокрема у конструктивних рішеннях каркасу. Це дозволяє економити ресурси і органічно розширювати, видозмінювати функцію будівлі за необхідності в майбутньому. Отже, адаптивність є елементом сталого розвитку – як в соціально-економічному аспекті, так і в екологічному.

Адаптивне переоснащення будівлі насамперед забезпечується великопрольотністю і безколонними просторами. Має бути передбачена фізична можливість підсилення конструкцій у разі зміни навантажень в процесі експлуатації, передбачена здатність до реконструкції, добудови, зміни функціоналу будівлі.

Добрим прикладом прогностичного закладення **адаптивного переоснащення** є нові корпуси дослідницького комплексу НАСА (рис. 6.12)[6.89], які враховують майбутні добудови та інші фактори. Такий підхід до проектування відповідає усім основним цілям сталого розвитку.



Рис. 6.12. Енергопасивні корпуси НАСА зі сталевим каркасом, що враховує майбутні добудови (США, 2011 рік)

4.2. Конструктивні параметри будівлі мають сприяти **можливості підсилення елементів** у разі збільшення навантажень тощо, а також має бути **дотримана необхідна живучість**, що подовжує витривалість каркасу під час аварійних ситуацій різного характеру, до яких зокрема відносяться пожежі, вибухи, удари тощо [6.8, 6.9].

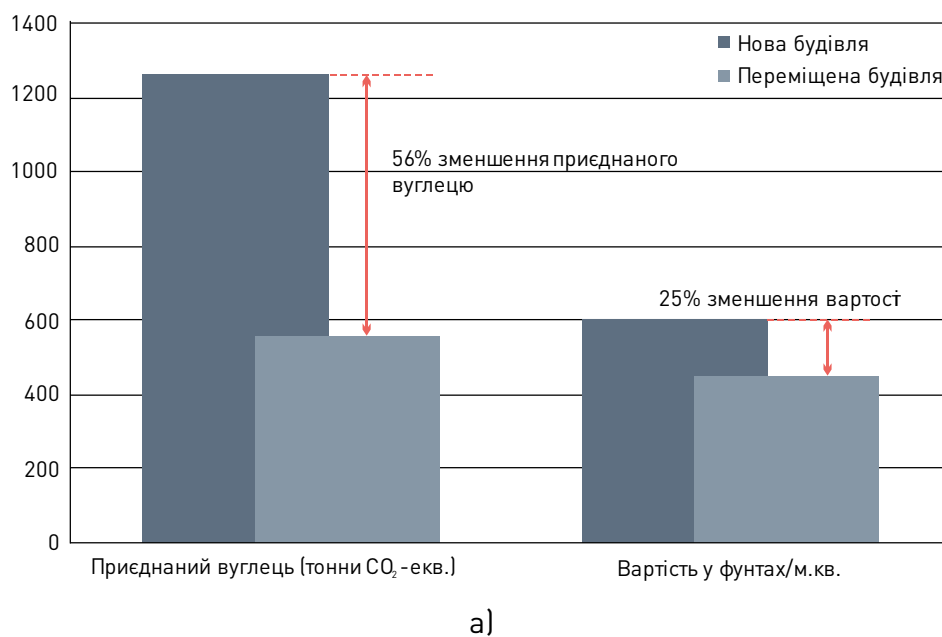
4.3. За умови, якщо використані перерізи каркасу типові і застосування обетонованих елементів мінімізоване, більшість балок і колон **підлягають повторному використанню**.

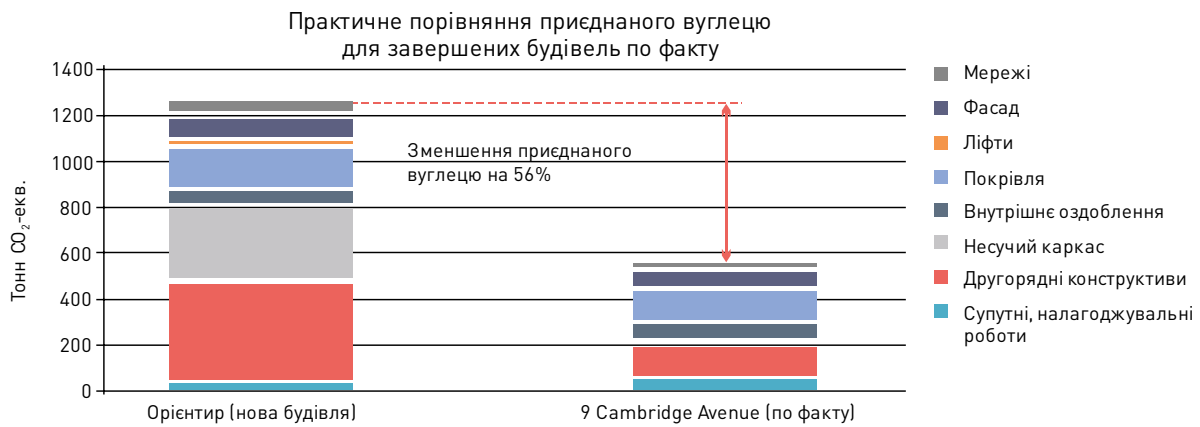
4.4. Перенесення здійсниме і для **всього каркасу**. Як кейс, можна навести офісно-складську будівлю з металевим каркасом на 9 Cambridge Avenue (Slough, Great Britain), яку внаслідок аналізу життєвого циклу було вирішено перемістити і використати повторно замість сценарію знесення і утилізації, зі зведенням на цьому місці нової будівлі (рис. 6.13) [6.87].



Рис. 6.13. Внаслідок оцінки життєвого циклу було вирішено перемістити і використати виробничу будівлю у м.Слау, ВБ повторно замість знесення і утилізації (а); схема генерації вартості проекту (б).

Усю будівлю загальною площею 3 180 м² офісних та складських приміщень демонтували та перенесли на нове місце приблизно на одну милю. Це дозволило зекономити понад 25% грошових витрат у порівнянні з можливим з демонтажем і новобудовою, а зменшення вуглецю становило близько 700 тонн CO₂, що складає більше ніж 56%. Це приблизно еквівалентно обсягам викидів CO₂ за п'ять років експлуатації цієї будівлі. Додатковим бонусом є практична відсутність відходів під час перенесення будівлі, оскільки навіть деякі опоряджувальні шари у ній можуть бути використані повторно (рис. 6.14). Безумовно, на оцінку життєвого циклу у разі перенесення будівель істотно впливає віддаленість нової локації, оскільки від цього зростають транспортні витрати і приєднані до них викиди. Тому варто обирати такі нові ділянки, які максимально наближені до теперішнього розташування будівлі.





б)

Рис. 6.14. Кількісні параметри LCA для прикладу на рис. 6.13. Перенесення будівлі у порівнянні з еквівалентом новобудови: загальний приєднаний вуглець та фактична вартість **(a)**; вуглець, приєднаний до різних підсистем будівлі **(б)**.

Як вітчизняний приклад, можна навести будівлю виставкового центру «КиївЕкспоПлаза», яка завдяки вирішенням у рамному металокаркасі була у короткі строки цілком перенесена з густонаселеного району Києва до нової локації в с. Колонщина Київської області (рис. 6.15).



Рис. 6.15. Металевий каркас виставкового комплексу «КиївЕкспоПлаза» (Київ), що був повністю переміщений з міста до передмістя під час реновації.

Яскравим прикладом глибокої реутилізації є недіючий сталеплавильний цех 1956 року побудови у Lackenby (Teesside, England) [6.118], близько 400 км від Лондона. Будівля мала довжину 330 м, висоту 39 м і ширину понад 70 м. Зал був частиною металургійного заводу до його закриття у 1976 році. Після цього через великі простори, вільні від колон, приміщення колишнього заводу використовували тільки як склади. Загальна вага металокаркасу будівлі становила близько 20 000 тонн сталі (рис. 6.16, а). У 2004 році будівля втратила свою складську функцію, та було вирішено її розібрати. Враховуючи необхідність переміщення значних обсягів сталі, було вирішено реутилізувати металеві елементи будівлі колишнього заводу шляхом застосування у нових спорудах неподалік. Так, конструкційна сталь з каркаса цеху у Lackenby була

застосована для Термінала 5 аеропорту Heathrow і для нової трибуни на Oval Cricket Ground в Лондоні. Сталеві листи були використані для мосту на вокзалі Paddington в Лондоні і для балок автомобільного мосту A249 на острів Шеппі. Окрім того, сталеві оцинковані смуги були використані для спорудження каркасних будинків. Неймовірно, але частина сталі від розбирання будівлі була використана для автомобільних деталей і навіть Королівським монетним двором Великої Британії для виробництва монет номіналом 1 і 2 фунти стерлінгів (рис. 6.16, б, в, г).



а)



б)



в)



г)

Рис. 6.16. Стара будівля з металевим каркасом Lackenby steelmaking shop у м. Лондон, ВБ **(а)**, зібрані з її конструкцій будівлі Термінала 5 аеропорту Heathrow **(б)**, залізничної станції Paddington **(в)** і трибун стадіону Oval Cricket Ground **(г)**.

У Євросоюзі запроваджена програма **From Reduce to Repair, from Repair to Create** («Від зменшення викидів і витрат у будівлях до ремонту, а від ремонту – до створення» [6.126], яка для реконструкції і реновації будівель передбачає наступні переваги:

- зменшення пошкодження наявних природних ділянок, унікальних і ключових місць;
- зменшення потреб в новій інфраструктурі;
- зменшення впливу на природні об'єкти та екосистему ділянки під час будівництва;
- зменшення потенційної шкоди навколишньому середовищу від викидів і відходів;
- зменшення внеску у глобальну шкоду довкіллю;

- зменшення використання ресурсів – енергії, води, матеріалів;
- мінімізацію дискомфорту мешканців будівлі;
- мінімізацію можливостей появи шкідливих речовин та забруднень всередині будівель.

Програма також передбачає підвищення цінності природного середовища шляхом:

- створення нової дружньої до довкілля інфраструктури;
- покращення природних особливостей та екології ділянки під час будівництва;
- відшкодування екологічної шкоди від викидів і відходів;
- сприяння глобальному відновленню довкілля;
- створення нових джерел енергії, чистої води та матеріалів підходами кругової економіки;
- підвищення комфорту і самопочуття мешканців будівлі;
- спрямування будівель на створення функціональної корисності в глобальному сенсі.

Такі макроцілі можуть бути досягнуті зокрема шляхом застосування інструментів життєвого циклу, викладених у звіті Спільного дослідницького центру Європейської Комісії [6.117]. В даному документі розглядаються наступні ключові кроки:

1. Збільшення довговічності шляхом планування терміну служби будівлі та елементів, забезпечення великого середньо- та довгострокового проектного ресурсу основних будівельних елементів, а також пов'язаних з ними циклів обслуговування та заміни.

2. Забезпечення адаптивності шляхом продовження терміну служби будівлі в цілому, тривалого використання за призначенням і урахування можливих майбутніх змін у використанні – з акцентом на заміну та реконструкцію.

3. Зменшення кількості відходів і сприяння високоякісному поводженню з відходами шляхом кругового використання будівельних елементів, компонентів і деталей, підтримка виробництв із меншою кількістю відходів та можливостями повторного використання або переробки основних будівельних елементів під час подальшої деконструкції. Це включає заходи на усьому ланцюжку створення вартості будівлі, спрямовані на:

- повторне використання або переробку ресурсів і матеріалів таким чином, щоби більшість їх цінності зберігалася та відновлювалася в кінці терміну служби будівлі;
- проектування компонентів і використання різних методів зведення з закладеними можливостями відновлення, повторного використання або реутилізації, щоб уникнути складної та енергоємної переробки і пов'язаних викидів. В ЄС, наприклад, прийняте рішення зберігати на сміттєзвалищах не більше ніж 10% відходів. Цих показників планують досягти вже до 2030 року.

Цільова група	Цільові характеристики будівлі		
	Надійність	Адаптивність	Зменшення відходів
Користувачі будівель, менеджери із експлуатації, власники	[Redacted]		
Проектні команди	[Redacted]		
Підрядники та будівельники	[Redacted]		
Виробники (будівельних продуктів)	[Redacted]		
Компанії демонтажу і розбирання будівель	[Redacted]		[Redacted]
Інвестори, девелопери та страхувальники	[Redacted]		
Уряд/регулятори/місцева влада	[Redacted]		

Рис. 6.17. Зацікавлені і залучені сторони для реалізації комплексних заходів з подовження життєвого циклу будівлі.

Принципи кругової економіки для проектування екологічно чистих будівель (рис. 6.17) містять також взаємодію з усіма учасниками ланцюга створення вартості будівель, включаючи користувачів, інвесторів та регуляторів; сприяння розумінню та використанню чинних стандартів, схем і прикладів, які дають змогу забезпечити більш цілісне проектування та коригувати бізнес-моделі для включення кругових принципів у будівництво; застосування відповідних стандартів ISO для планування і визначення складу робіт, зокрема [6.46], а також здійснення обстеження перед початком робіт та інших рекомендацій [6.18] тощо.

За межами системи аналізу життєвого циклу іншими заходами підвищення екологічності та економічності будівель є можливі регуляторні інструменти для зменшення експлуатаційних викидів будівель, які через свою комплексність та актуальність для сучасних ринкових умов України варті окремого розгляду.

6.2. МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ І ЕКОНОМІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬ.

Вільний ринок наразі не здатен дійти до екологічності рішень у тих строках і обсягах, що диктує нагальність проблематики сьогодення, оскільки отримання прибутку завжди є локальною задачею у порівнянні з глобальним добробутом людства і планети [6.27]. Відтак, збільшення екологічності продукції у вільному ринку можливе тільки внаслідок:

- зростання свідомості споживачів та виробників в напрямку екологічного і ощадного використання ресурсів та добровільного обмеження споживання;
- тотальної зміни тенденцій моди і закріплення екологічності як надзагального тренду, наукових революцій – наприклад, відкриття нових джерел енергії чи вдосконалення способів отримання наявних, як то сонячна енергетика;
- соціально-економічних умов переходу – наприклад, вичерпання або втрата рентабельності видобутку ресурсів зі значними приєднаними викидами CO₂.

Слід відзначити, що останнім часом світ поволі рухається у напрямку екологічної свідомості та усвідомленого споживання, проте настання відчутного ефекту описаних умов, на жаль, поки є довгостроковою перспективою, тоді як дії зі стабілізації клімату мають бути вчинені вже зараз. Тож з метою реалізації цілей сталого розвитку мають впроваджуватися економічні політики держави як регулятора і гаранта суспільного добробуту. Основними регуляторними інструментами держави для зменшення викидів можна назвати:

- **адміністративні інструменти** – обов'язкова стандартизація; маркування продуктів; вимоги щодо інформування споживачів про продукт; встановлення системи контролю тощо.
- **Економічні інструменти** – податки і мита; припинення дотацій екологічно шкідливих і недоцільних галузей, підприємств і продуктів; економічне заохочення, стимулювальне квотування мінімальної долі ринку і дотації для галузей, підприємств і продуктів, які сприяють сталому розвитку; введення стягнень за порушення.
- **Правові інструменти** – законодавчі обмеження і заборони; встановлення граничних рівнів приєднаних викидів тощо; впровадження системи відповідальності.

Синхронно з регуляторними інструментами мають проводитися інформаційні кампанії, роз'яснення для підняття екологічної свідомості, ініціаторами яких можуть виступати як державні, так і громадські, приватні організації тощо.

Одним з дієвих **економічних регуляторних механізмів** держави є **екологічне оподаткування**. Слід усвідомити: зволікання із запровадженням кліматоохоронних заходів в теперішній час призводить до того, що у майбутньому потрібно буде досягати більш високих темпів ско-

рочень викидів, а це призведе як до технічних, так і до фінансових ускладнень. З економічної точки зору найвигідніше починати скорочувати викиди парникових газів якомога раніше, активізуючи цей процес за допомогою регуляторних механізмів та інструментів, як-от **податок на двоокис вуглецю** [6.52].

Вперше **вуглецевий податок** був запропонований професором Массачусетського технологічного інституту (США) Девідом Вілсоном (David Gordon Wilson) в 1994 році [6.91]. Центр вуглецевого податку (Carbon Tax Centre, організація, що заснована в січні 2007 року в Нью-Йорку (США) з метою стримування процесу глобального потепління) для просування ідеї впровадження оподаткування викидів двоокису вуглецю, а також метану та інших парникових газів, визначає його як **«податок на вміст вуглецю у викопному паливі»** [6.141].

Наразі в Україні також діє податок на викиди CO_2 . Він був введений в 2011 році як **фіскальний інструмент скорочення викидів парникових газів для стаціонарних джерел** [6.31]. Але в частині CO_2 ним обкладаються лише ті суб'єкти господарювання та інші юридичні особи, що здійснюють викиди понад 500 тонн CO_2 на рік (а це лише близько 60% суб'єктів), тобто окремі сектори та суб'єкти, зокрема будівельна галузь, взагалі не сплачують податок за викиди CO_2 . При цьому податкові надходження від сплати вуглецевого податку «розчиняються» у державному та місцевих бюджетах, що відбувається через відсутність належного контролю та верифікації поданих даних про викиди CO_2 .

З 01.01.2019 року ставку податку за викиди двоокису вуглецю стаціонарними джерелами було підвищено з 0,41 грн за тонну до 10 грн за тонну, проте і таке значення є одним з найнижчих у світі, наприклад, у 386 разів нижчим, ніж у Швеції. У світовій практиці величина ставки податку на двоокис вуглецю становить від 10 до 150 доларів США за тонну CO_2 [6.56], що пояснюється різницею у величині дисконтної ставки, врахуванням або неврахуванням вартості заподіяної екосистемам шкоди, різними механізмами оподаткування секторів економіки, суб'єктивною оцінкою галузевими фахівцями технологічних можливостей тощо. Водночас в більшості країн, які ввели податок на двоокис вуглецю, визначення його розміру є результатом, з одного боку, економіко-політичного, а з другого – соціально-екологічного компромісу. Заплановане зростання податку на викиди CO_2 – до 30 грн/тонна, але це також вкрай мало для стимулювання руху економіки в бік екологічності. В Україні заплановано створити державний Фонд декарбонізації, куди планують направляти 50% коштів від оподаткування, які заплановано витратити виключно на проекти зі скорочення викидів CO_2 [6.78]. Утім все одно цього явно недостатньо для стимулювання масової декарбонізації українського ринку, а окрім того, для утворення грошового значення вуглецевого податку бракує аналітичного підґрунтя і поточне значення не пов'язане із реальними фінансовими потребами на розв'язання екологічних проблем в Україні.

У 2019 році Міжнародний валютний фонд (МВФ) висловився за ідею запровадити податок на викиди двоокису вуглецю в **повітря на рівні 70 доларів США за тонну викидів, що є «найбільш ефективним інструментом», аби до 2030 року скоротити на одну третину рівень викидів** в атмосферу двоокису вуглецю і втілити у життя цілі Паризької угоди [6.74] (див. розділ 1). Інша комісія з питань встановлення ціни на викиди CO_2 також дійшла висновку, що «ціна на викиди CO_2 , яка відповідає досягненню цілей Паризької угоди, має становити щонайменше 40-80 доларів США за тонну з перспективою збільшення до 50-100 доларів США за тонну до 2030 року, щоб досягти цілі Паризької угоди та не допустити зростання глобальної температури на понад +1,5 °C [6.109].

Спостерігається позитивна тенденція зростання кількості держав, що застосовують вуглецевий податок, зокрема провели відповідні зміни в своїх бюджетно-податкових системах Японія, Південна Корея, Південно-Африканська Республіка. Продовжуються активні наукові розробки щодо, по-перше, удосконалення адміністрування та визначення розміру ставки вуглецевого податку; по-друге, проблематики його еколого-економічної та соціальної ефективності; а по-третє – щодо найбільш дієвих шляхів застосування вуглецевого податку для протидії змінам клімату [6.48]. Аналогічні питання протягом останніх десятиріч вивчають і українські

науковці [6.1, 6.24, 6.64, 6.67, 6.76]. Водночас слід звернути увагу на серйозну нестачу вітчизняних фахових досліджень теоретико-методологічних і прикладних аспектів застосування вуглецевого податку в Україні, попри доведену його високу еколого-економічну ефективність [6.90].

Отже, ставка вуглецевого податку в Україні недостатньо висока як для зменшення викидів CO₂ господарюючими суб'єктами і стимулювання інвестицій у енергозберігаючі технології, так і щоб забезпечити значущі для бюджету податкові надходження. Для порівняння: ринкова вартість викопного джерела вуглецю – вугілля-антрациту – на внутрішньому ринку України станом на 2021 рік складає 7-8 тис. грн за тонну. Через низький рівень поточної ставки вуглецевий податок не спрацьовує як фінансово важливий податковий інструмент в Україні, на який владні структури не звертають належну увагу в контексті необхідності збільшення обсягу надходжень від екологічного оподаткування та, відповідно, нарощення дохідної бази для державних природоохоронних витрат [6.11].

В тому числі завдяки екологічному оподаткуванню на двоокис вуглецю, за результатами 2018 року, викиди CO₂ у Європейському союзі скоротилися на 2,5% у порівнянні з 2017 роком. Викиди скоротилися у 20 країнах, найбільше – у Португалії (9%). Далі йдуть Болгарія (8,1%) та Ірландія (6,8%). Збільшення викидів відбулося переважно у країнах, що розвиваються, або мають нелінійну динаміку викидів [6.113]. Податки на CO₂ у ЄС невинно зростають кожного року (рис. 6.18).

В Україні також присутній і екологічний податок, ставки якого є дуже різними залежно від забруднюючих речовин. Наприклад, ставки за викиди в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення на час написання даної книги варіюються від 92,37 грн за 1 тонну викиду (для хлористого водню, окису вуглецю, твердих речовин) до 3121217,74 грн за 1 тонну викиду (для бензопірену). Що ж до скидів забруднюючих речовин у водні об'єкти, тут різниця між речовинами менш відчутна. Ставка коливається від 46,19 грн за тонну (для завислих речовин, сульфатів, хлоридів) до 9 474,05 грн за тонну. Частка у ВВП екологічного податку в Україні у 2008-2019 роках коливалася від 0,12% у 2008 і 2009 роках до 0,30% у 2019 році. Для порівняння: в середньому в ЄС природоохоронні податки та збори становлять 2,4% ВВП [6.102].

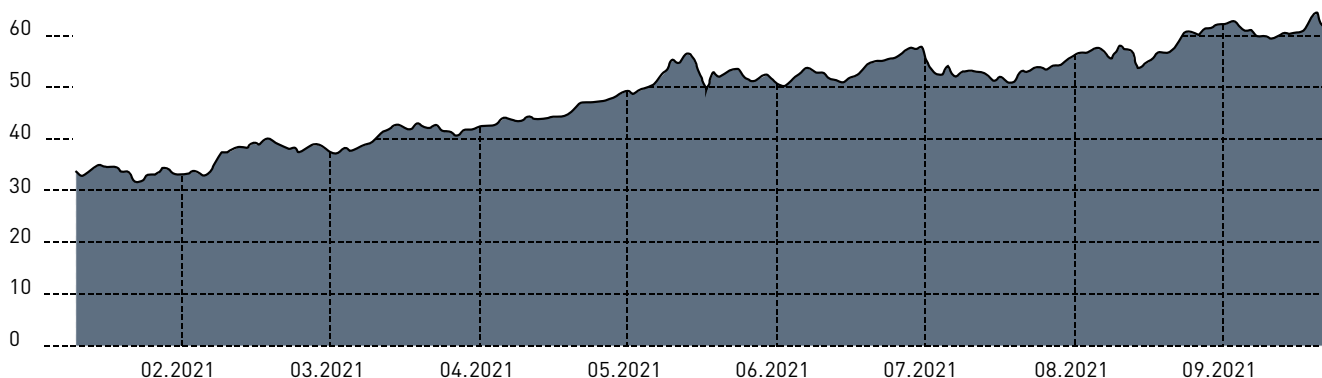


Рис. 6.18. Зміна значення податку на двоокис вуглецю у ЄС, євро/тонна [6.148]

У Податковому кодексі України наразі відсутні положення щодо порядку обчислення та адміністрування оподаткування викидів двоокису вуглецю та інших видів парникових газів – метану та закису азоту [6.31]. Крім того, у складі загальної системи законодавчих та нормативно-правових актів у галузі охорони атмосферного повітря, зокрема в системі правових і організаційних основ й екологічних вимог регулювання викидів забруднюючих речовин, не виділяються за будь-якими ознаками викиди парникових газів або сектори/категорії джерел, встановлені Рамковою конвенцією ООН зі зміни клімату (РКЗК ООН), а розрахунок фактичних викидів парникових газів і обрахунок на його підставі бази оподаткування двоокису вуглецю здійснюється на основі методичного алгоритму, який не має правового закріплення [6.62]. Окрім того, далеко не весь

зібраний податок іде на фінансування природоохоронних заходів – значна частина його залишається в загальному бюджеті. Наприклад, у 2019 році на національному рівні у загальний бюджет було спрямовано 4 млрд грн, тоді як на природоохоронні заходи – тільки 0,4 млрд грн.

Очевидно, що й екологічний податок в Україні не мотивує менше забруднювати і скорочувати викиди, щоби, відповідно, менше платити. Для прикладу, екологічний податок у ЄС у 2017 році був зібраний у сумі **369 млрд євро**, що склало **6,1% усіх доходів від податків та зборів, або 2,4% всього ВВП ЄС**. З 2002 року до 2017 року загальний дохід від екологічного податку в ЄС зростав на 2,2% щороку. Найбільшу частку має Латвія (11,2%), Словенія та Греція (по 10,2%), Хорватія та Болгарія (по 9,1%). Найменше грошей екологічний податок приносить Люксембургу (4,4%), Німеччині (4,6%), Швеції (4,9%), Франції та Бельгії (по 5%) [6.92].

Ставки екологічного податку в ЄС також відрізняються від українських. За кордоном вони набагато більші. Так, ставка податку за тону відходів в Україні менша, ніж у Великій Британії **майже у 143 рази**, ставка за викиди аміаку в повітря – менша у 7 разів, а вуглеводнів – майже у 6 разів.

Податки на викиди CO₂ – найбільш ефективний інструмент зменшення викидів двоокису вуглецю від викопних видів палива і дозволяє встановити єдині зрозумілі для всіх правила. Інший механізм – **CO₂-ціноутворення** (організована торгівля «дозволами» на викиди). Окрім згаданих, існує підхід встановлення спеціального акцизу для товарів і послуг, рівень викидів на одиницю товару або послуги при виробництві яких перевищує певну норму. Плюс держава має можливість змінити регулювання в бік встановлення вищих стандартів щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферу для їхнього зменшення та оптимізації [6.72]. Очевидно, що введення жорстких екологічних, і, насамперед, вуглецевого податків у всіх розвинених країнах світу є питанням часу.

Використання економічних інструментів на користь довкіллю у ЄС було запроваджено ще у 2000 році. Класифікація природоохоронних заходів та витрат **ЄС налічує 9 природоохоронних доменів: охорона атмосферного повітря та клімату; менеджмент стічних вод; менеджмент відходів; захист та відновлення ґрунтів, підземних та поверхневих вод; пом'якшення шуму та вібрації** (за винятком захисту робочих місць); **захист біорізноманіття та ландшафтів; захист від радіації** (виключаючи зовнішню безпеку); **дослідження та розвиток та інші природоохоронні заходи**. Для того, щоб заходи вважались природоохоронними, охорона довкілля повинна бути їхньою **головною метою**.

Політичний курс ЄС European Green Deal (див. розділ 2) передбачає не тільки зміни в країнах-членах Євросоюзу, але й створення навколо ЄС більш чистого простору країн-сусідів шляхом оподаткування «CO₂-вмісту» імпортованих в ЄС продукції та сервісів. В зв'язку з цим у липні 2021 року Європейська комісія оприлюднила перший проект регламенту ЄС про механізм вуглецевого коригування імпорту. Ним передбачено запровадження податкового механізму вуглецевого коригування імпорту (**Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM**). Такий податок являє собою плату, що стягується при ввезенні товарів до Євросоюзу, виходячи з обсягів викидів CO₂ в процесі їхнього виробництва. Існує низка економічних та екологічних передумов для впровадження такого інструменту, як СВАМ, особливо у тих країнах чи економічних об'єднаннях, де присутня цілісна та дієва внутрішня система вуглецевого ціноутворення. Головною (з точки зору обох міркувань) причиною є ризик так званого «витоку вуглецю» (carbon leakage). Витік вуглецю, головним чином, означає перенесення виробництва з високою вуглецеємністю в інші країни (юрисдикції), що є наслідком різниці у рівні плати за викиди CO₂ та інших парникових газів.

СВАМ чітко позиціонується як механізм, що має на меті стати «одним із ключових інструментів досягнення кліматичної нейтральності ЄС до 2050 року». З цієї точки зору, СВАМ слугуватиме двом основним цілям: скороченню викидів парникових газів в ЄС через застосування вуглецевого ціноутворення до всіх секторів економіки ЄС та запобігання збільшення викидів парникових газів у третіх країнах шляхом усунення ризику витоку вуглецю [6.52]. СВАМ – це не лише мито чи податок, а комплекс норм, що регулюватимуть імпорт окремих вуглецеємних то-

варів до ЄС, включаючи особливий порядок ввезення таких товарів, декларування імпортованих товарів, методи розрахунку та вимоги до верифікації пов'язаних викидів, механізм визначення ціни сертифікатів СВАМ та їхнього обороту (купівлі, продажу, зарахування). Очікується, що СВАМ почне повноцінно функціонувати з 2026 року. До того часу всі його адміністративні механізми (реєстрація імпортерів, декларування товарів та викидів у них, звітність) будуть вже відпрацьовані у перехідний період (2023-2025 роки). Система торгівлі викидами разом із СВАМ мають стати ключовими інструментами досягнення кліматичної нейтральності ЄС до 2050 року. Розрахунок пов'язаних викидів парникових газів – один з найскладніших елементів СВАМ. **Пов'язані викиди – це викиди парникових газів, які включають як прямі викиди, які мали місце під час виробництва товару, так і прямі викиди, які мали місце айд час виробництва інших товарів-прекурсорів, що використані для виробництва цього товару.**

Для регульованих товарів, як то сталь або цемент, у СВАМ в першу чергу застосовується метод розрахунку фактичних пов'язаних викидів, а за відсутності можливості отримати фактичні дані – з використанням стандартних питомих значень. Для розрахунку питомих фактичних пов'язаних викидів у простих товарах на конкретному виробництві до уваги беруться лише прямі викиди. Питомі фактичні пов'язані викиди розраховуються як співвідношення прямих викидів до обсягу продукції, виробленої на конкретній установці за звітний період. Для складних товарів розрахунок питомих фактичних пов'язаних викидів здійснюється як співвідношення суми пов'язаних викидів на виробництві (як для простих товарів) та пов'язаних викидів у товарах-прекурсорах до обсягу виробленої продукції. **За відсутності моніторингових даних про фактичні викиди, Європейською комісією можуть бути встановлені стандартні питомі показники на основі різних джерел. Європейська комісія вповноважена адаптувати стандартні показники (для всіх регульованих товарів) для цілей конкретного регіону чи району у третій країнах з метою врахування географічних, ринкових, енергетичних та інших особливостей. Розрахунок пов'язаних викидів, що подаються у СВАМ-декларації, має бути верифікований. Верифікацію має забезпечити декларант, окрім викидів на «зареєстрованих установках». Верифікацію здійснюють лише акредитовані суб'єкти.**

Вуглецеве коригування імпорту – один з неминучих елементів майбутньої системи вуглецевого ціноутворення у світі, який не обмежиться торгівлею з ЄС. **Запропонований Європейською комісією механізм СВАМ з часом лише буде посилюватись** як у напрямку включення непрямих викидів парникових газів, так і розширення сфери застосування.

Чавун та сталь займають найбільшу частку в структурі українського експорту СВАМ-товарів – більше ніж 85% у 2017-2020 роках, тому вплив СВАМ саме на експорт чавуну та сталі буде першочергово визначати загальні наслідки для України (рис. 6.19). Україна входить до десятки найбільших експортерів до ЄС за основними товарними групами – плоским та довгомірним прокатом. Для українських виробників ринок ЄС відіграє дуже важливу роль, оскільки близько 26% виробленої ними продукції постачається саме до ЄС [6.94].

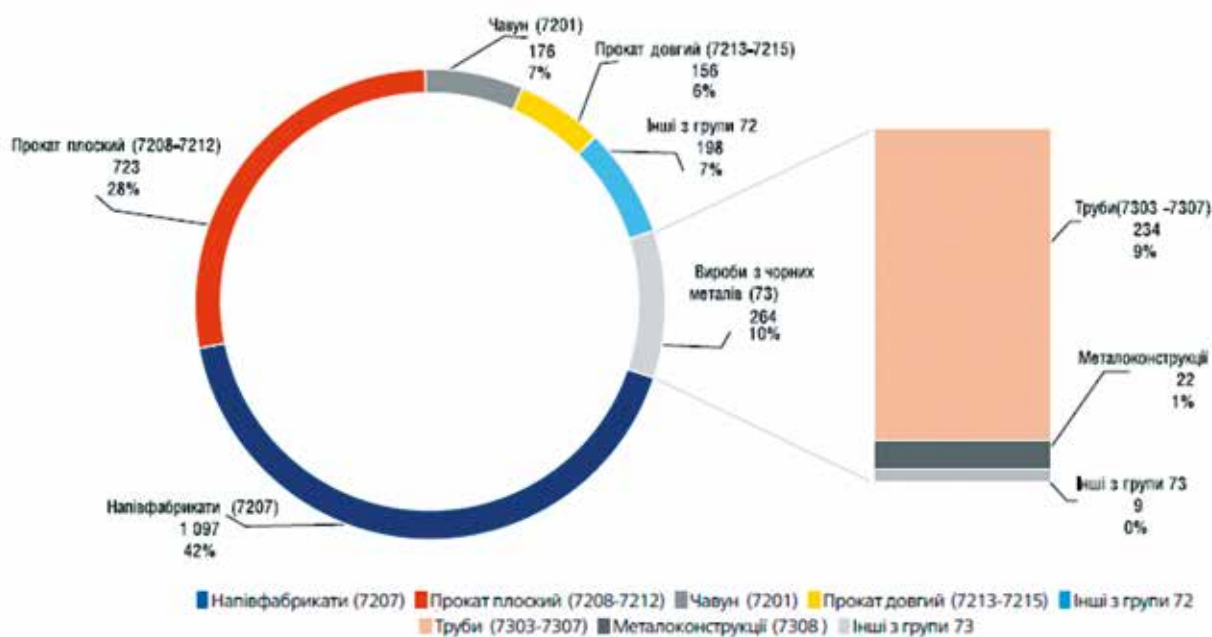


Рис. 6.19. Імпорт чорних металів до ЄС з України в розрізі товарних категорій, в середньому за період 2017-2020 рр., млн євро, дані – Євростат [6.12]

За даними Joint Research Centre (JRC) [6.50], собівартість виробництва гарячекатаного плоского прокату в Україні є найвищою серед тих країн, які аналізувалися та які одночасно є основними конкурентами на ринку ЄС, та становила 477 євро за тону. Хоча в Україні одні із найнижчих витрат на сировинні матеріали, які становлять найбільшу частку в собівартості, високі витрати на енергетичні матеріали (кокс, вугілля, газ та електроенергію) та низький рівень економії та корисного використання на власні потреби чи реалізації супутніх субпродуктів (виробленої електроенергії, промислових газів, використання металолому, шлаку, пари та теплової енергії тощо) призводять до найвищої собівартості поміж основних конкурентів. У 2019 році вона була на 19 євро за тону вищою, ніж в середньому у виробників ЄС та на 103 євро за тону вищою, ніж у виробників з Росії, при середній митній вартості гарячекатаного плоского прокату, імпортованого до ЄС з України, 539 євро за тону та середній ціні реалізації плоского прокату в ЄС 741 євро за тону. Абсолютні додаткові фінансові витрати в секторі «Чорна металургія» в Україні на купівлю СВМ-сертифікатів за цінами в діапазоні 25-75 євро за тону будуть значними – від приблизно 300 млн євро до 900 млн євро на рік за умови річних обсягів українського експорту товарів чорної металургії до ЄС на рівні 5,5 млн тонн або 10-30% від середнього обсягу їхнього експорту у 2017-2019 роках. При структурі українського експорту, яка спостерігалася протягом останніх років, майже 60% платежів за викиди потрібно буде сплатити за імпорт напівфабрикатів та чавуну, а 40% – за прокат та готову продукцію [6.12].

За наявними даними, в ЄС пов'язані питомі викиди CO₂ для сталі, виробленої за інтегрованим доменним та конвертерним процесом, становить близько 1,9 тонн CO₂/тону сталі, а для сталі, виробленої за технологією EAF – 0,45 тонн CO₂/тону сталі [6.40]. За умов цілісного та синхронного регулювання EU ETS та СВМ з боку ЄС українські виробники сталі за інших рівних умов будуть мати більші витрати на придбання вуглецевих одиниць в порівнянні з європейськими, які працюють за BF-BOF-процесом, виходячи із різниці в питомих викидах на рівні 0,21 тонн CO₂/тону сталі, а в порівнянні з виробниками, які працюють за EAF-процесом – на рівні 1,66 тонн CO₂/тону сталі. Якщо ціна викидів складатиме 25-75 євро за тону, це призведе до більших витрат під час виводу сталі та готової продукції українського виробництва на ринок ЄС у порівнянні з витратами виробників ЄС на придбання дозволів на викиди в EU ETS на 5-16

євро за тону сталі (1,1-3,3% від собівартості, зазначеної вище) та 41-124 євро за тону сталі (9-26% від собівартості) для BF-BOF- та EAF-процесів відповідно (рис. 6.20).

З одного боку, якщо порівнювати українських та європейських виробників за BF-BOF-процесом, то приріст собівартості не є великим у відносних показниках, хоча і поглиблює розрив між ними за собівартістю з 19 до 24-35 євро за тону. Водночас він не виглядає критичним у порівнянні з чинним розривом між українськими та російськими виробниками, який, як було зазначено, становить 103 євро за тону та зміниться менш ніж на 10% у разі запровадження СВМ, оскільки питомі викиди в Україні, Росії чи Китаї знаходяться приблизно на одному рівні, і їхні конкурентні позиції на ринку ЄС будуть визначатися іншими факторами.

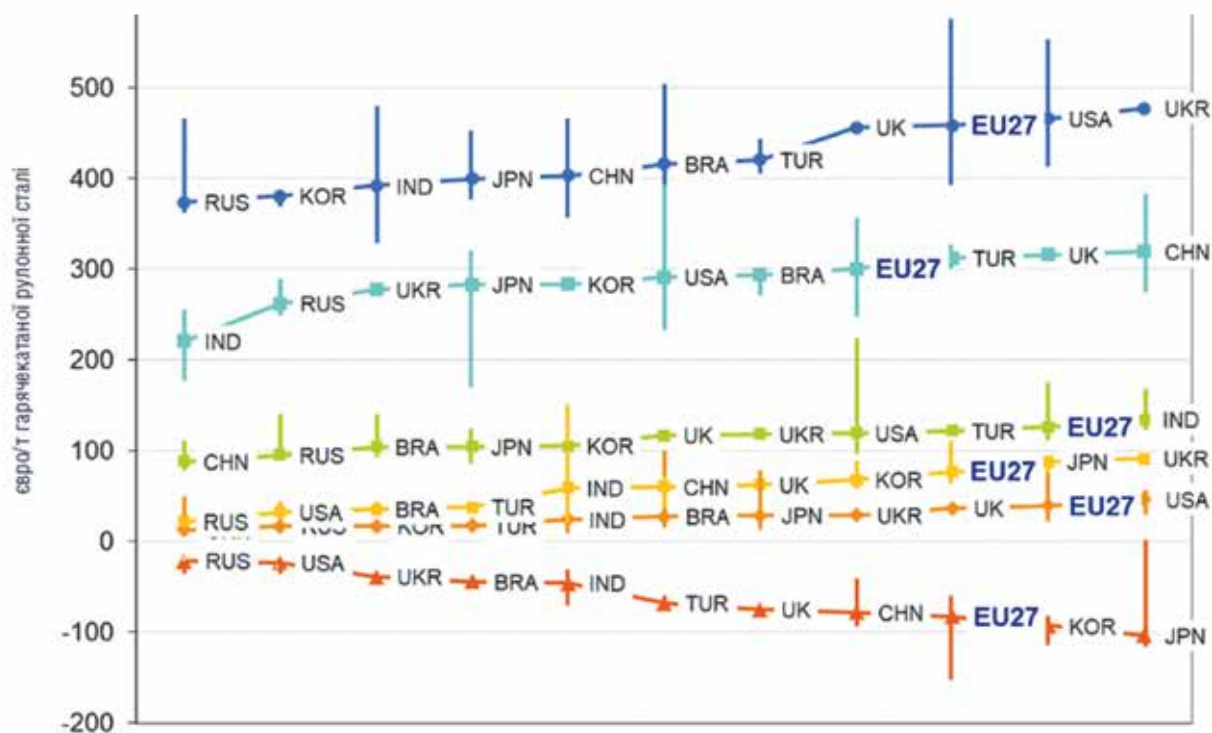


Рис. 6.20. Собівартість виробництва гарячекатаного плоского прокату за умов доменно-конвертерного виробництва в окремих країнах у 2019 році [6.50].

З іншого боку, запровадження СВМ суттєво збільшує тиск на виробників сталі, виробленої за BF-BOF-процесом у порівнянні з EAF, за яким виробляється більше 40% в ЄС та близько 70% в Туреччині, яка є найбільшим експортером сталі та готової продукції до ЄС. Водночас для EAF-процесу, а відповідно і досягнення низьких питомих викидів CO₂, критичним є доступ до металобрухту та дешевої низьковуглецевої електроенергії у достатніх обсягах [6.54].

Водночас у довгостроковій перспективі слід очікувати, що металургія ЄС загалом буде рухатися в напрямку тих способів виробництва сталі, які базуються на безвуглецевій електроенергії з відновлюваних джерел, а також на водні та метані з використанням технології захоплення та захоронення вуглецю (CCS) з метою скорочення викидів CO₂ на 95% у 2050 році в порівнянні з 1990 роком [6.49]. При цьому повернення металобрухту в процес виробництва сталі буде залишатися ключовим елементом стратегії скорочення викидів за будь-якого сценарію розвитку. Такий перехід буде потребувати колосальних інвестицій в повну перебудову не лише самої металургійної галузі ЄС (більше 50 млрд євро до 2050 року), а й суміжних галузей – насамперед побудову нових ланцюгів постачання низько- та безвуглецевих електроенергії та горючих газів. Крім цього, необхідне впровадження принципів кругової економіки для збільшення обсягів повернення сталі та її вторинної переробки.

СВАМ суттєво не змінить конкурентну позицію українських виробників чавуну та сталі у порівнянні з виробниками із Росії чи Китаю, проте суттєво погіршить її відносно виробників з ЄС та Туреччини. Серед товарів чорної металургії, які експортуються з України до ЄС, найбільший відносний вплив СВАМ відчують ті виробники, які постачають на ринок ЄС чавун та напівфабрикати. Українські виробники, які виробляють сталь за технологією електродугового переплаву можуть отримати певні переваги. Для збереження конкурентоздатності на ринку ЄС у довгостроковій перспективі знадобиться повна технологічна перебудова української чорної металургії, що потребуватиме розвитку виробництва безвуглецевої електроенергії, зокрема з відновлюваних джерел та безвуглецевих горючих газів (водню). При цьому одночасного розвитку будуть потребувати інші сегменти: виробництво безвуглецевої електроенергії та водню. Синергетичний розвиток металургії та енергетики як суміжних галузей виглядає більш привабливим, ніж експорт безвуглецевої енергії до ЄС, оскільки дозволить створити більшу додану вартість в Україні [6.12].

Як кейс ефективного впливу вуглецевого податку на рівень викидів парникових газів та на економічний стан регіону варто розглянути канадську провінцію Британська Колумбія [6.137]. Вона започаткувала свій податок на вугільну продукцію з 1 липня 2008 року зі ставкою 10 канадських доларів на тонну двоокису вуглецю. Податок збільшувався на 5 доларів за тону щорічно, досягаючи за дослідний період рівня 30 доларів за тону CO_2 у липні 2012 року.

З 2008 по 2011 рік викиди двоокису вуглецю та інших оподатковуваних парникових газів на душу населення в Британській Колумбії зменшилися, продовжуючи тенденцію до зниження, яка почалася у 2004 році. Середні значення по обсягах викидів від спалювання викопного палива на душу населення за період з 2008 по 2013 рік у Британській Колумбії були на 12,9% нижче середнього в іншому досліджуваному періоді (2000-2007 роки), тоді як середнє скорочення показника по всій Канаді склало лише 3,7%, як показано на графіках рис. 6.21 нижче.



Рис. 6.21. Приклад ефективності впровадження вуглецевого податку у Британській Колумбії (Канада) – динаміка зменшення викидів у порівнянні з динамікою у державою в цілому: у відсотковому відношенні **(a)**; у абсолютних значеннях впродовж років **(б)**.

Зниження викидів на душу населення в Британській Колумбії відбувалося втричі швидше, ніж у решті Канади, що пов'язано з загальними економічними і технічними трендами у країні на той час. Це свідчить про те, що податок на двоокис вуглецю сприяв стрімкішому зменшенню викидів, ніж воно було б без такого податку. **Що стосується загальних викидів (не на душу населення), то в Британській Колумбії викиди CO_2 та інших парникових газів, на які поширюється податок на вуглець (але за винятком сектору електроенергії), у 2008-2013 роках в середньому були на 6,1% меншими, ніж у 2000-2007 роках.** Також було виявлено, що податок

на двоокис вуглецю у Британській Колумбії, як видається, **не завадив економічній активності в провінції**. З 2008 по 2013 роки зростання ВВП в Британській Колумбії трохи перевищило зростання у країні в цілому, при середньому річному рості у 1,55% на рік у Британській Колумбії та на 1,48% за межами провінції. Збільшення викидів після 2012 року вказує на необхідність підняття податку на вугілля. Однак, як видно з рис. 6.20 вище, викиди парникових газів у Британській Колумбії зросли у 2012 році, а також у 2013 році не тільки в абсолютних показниках, а й на душу населення. Це говорить про те, що податок на вуглець повинен враховувати щорічний ріст промисловості та інфляційні процеси [6.39].

Впровадження системи соціально-відповідального оподаткування, тобто оподаткування невідновлюваних ресурсів (енергії та сировини) та звільнення від податків відновлюваних, до яких належить і людська праця, виявилось б величезним стимулом для розвитку економіки замкнутого циклу. Другим важливим аспектом соціально-відповідального оподаткування може бути застосування податку на додану вартість лише щодо операцій, у ході яких додана вартість справді утворюється. Оскільки у разі операцій, які здійснюються в рамках економіки замкнутого циклу, такого не відбувається, то про застосування ПДВ і не може йтися.

Безумовно, впровадження будь-яких нових інструментів викликає період адаптації та змін технологічного оснащення, способів і засобів господарювання, що може тимчасово призвести навіть до незначного зростання викидів. Для цього вбачається необхідним дотримання галузевих норм та кращих практик під час модернізації та заміни виробничих потужностей (в першу чергу висновків НДТМ – європейських настанов щодо найкращих доступних технологій та методів управління), етапність впровадження оподаткування, а також стимули та програми підтримки для декарбонізації виробництва.

При цьому вітчизняне екологічне оподаткування має **враховувати всі речовини, які присутні у оподаткуванні ЄС**. Також варто підкреслити, що кошти, зібрані як екоподаток, мають спрямовуватись насамперед на природоохоронні заходи. В ЄС, де екологічний податок складає 2,4% всього ВВП, найбільша частина – третина – йде на прямі природоохоронні заходи, а решта спрямовується в тому числі на супутні заходи – наукові розробки, засоби контролю викидів тощо.

Мала база оподаткування вуглецевим податком в Україні додатково нівелює різницю між особливостями товарного виробництва, зокрема і у будівельній галузі. Врахування прямих викидів двоокису вуглецю тільки під час виробництва не є достатнім і вичерпним регуляторним механізмом, оскільки, наприклад, основний вуглець може бути приєднаний у матеріалі і вивільнятися в процесі життєвого циклу – під час обслуговування, утилізації, у разі потреби у витратних супутніх матеріалах тощо. Окрім того, у деяких галузях основними парниковими газами можуть бути метан, закис азоту абощо, які поки в Україні ніяк не обліковуються податком на CO₂.

Водночас запровадження інструментів коригування вуглецю на кордоні – це не єдиний спосіб реагування на ризик витоку вуглецю. Варіантів зниження потенційних негативних наслідків витоку вуглецю багато, проте всі їх можна об'єднати в категорію «Державна підтримка» окремих секторів, яка надається на основі певних критеріїв чи умов. Можливі заходи державної підтримки можна поділити на дві групи: інтегровані в систему вуглецевого ціноутворення (наприклад, безкоштовні квоти на викиди в європейській системі торгівлі викидами) та додаткові (наприклад, повернення податків, пряма державна підтримка заходів з декарбонізації чи енергоефективності). Така державна підтримка сьогодні надається у багатьох країнах, включаючи ЄС, США (Каліфорнія), Австралію, Казахстан, Південну Африку, Південну Корею та Китай [6.51].

Наприклад, введення в Україні обов'язкової екологічної сертифікації будівельної продукції, такої як **Environmental Product Declaration (EPD)** згідно з ISO 14025 (див. також [6.17] та розділ 2), дозволить диверсифікувати оподаткування пропорційно викидам, а споживач матиме відкриту інформацію про екологічний слід товару (зокрема вуглецевий), що дасть змогу йому

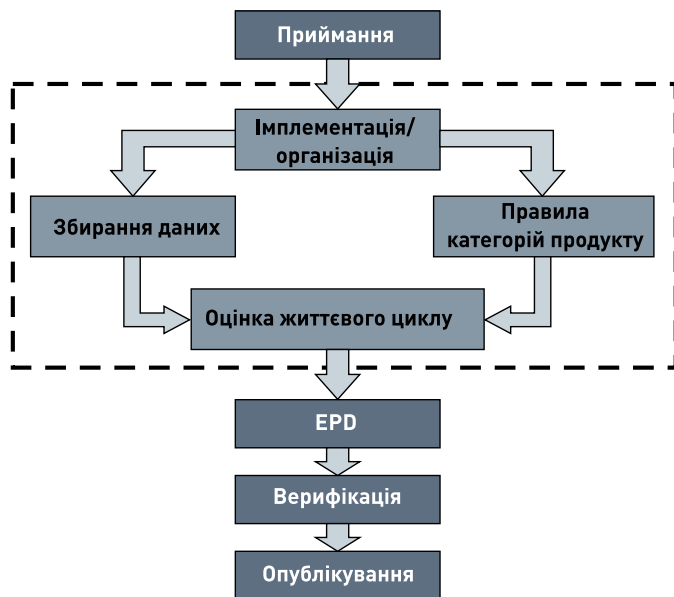
вибирати усвідомлено і розуміти причину різниці у кінцевій вартості. Також слід впровадити нормою розрахунки вартості повного життєвого циклу продукції на рівні держави. Тоді не буде недалекоглядних та шкідливих бізнесових рішень на кшталт міграції в Україну заборонених в ЄС хутряних ферм або вивезення з України металобрухту. Аналіз життєвого циклу дозволить як відстежувати продукти із умисним запланованим дочасним старінням, так і вживати фіскальних заходів щодо їх виробників. Безумовно, лєвова частина коштів від екологічного оподаткування має бути спрямована на захист і відновлення довкілля, а також на вдосконалення систем моніторингу стану навколишнього середовища, скорочення наявних рівнів забруднення і супутні програми (рис. 6.13).

Наразі декларації EPD можуть містити лише окремі показники, які постачають виробники, і на основі яких не можна отримати повний екологічний профіль. Деякі виробники, зокрема ArcelorMittal, вже отримали Environmental Product Declaration, зокрема на профілі HISTAR® [6.101] (рис. 6.22).

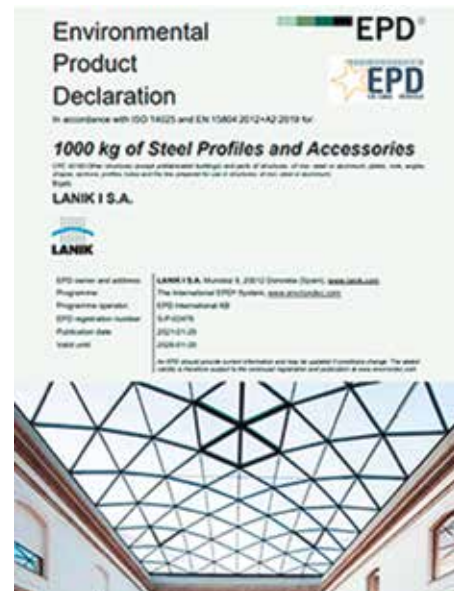
23 вересня 2020 року уряд України ухвалив три підзаконні акти, спрямовані на створення в країні системи моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів (МЗВ): «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів»; «Про затвердження переліку видів діяльності, викиди парникових газів у результаті здійснення яких підлягають моніторингу, звітності та верифікації»; «Про затвердження Порядку верифікації звіту оператора про викиди парникових газів» [6.68]. Прийняті підзаконні **акти покликані забезпечити запуск системи моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів у 2021-2022 роках. Цей крок максимально наблизив Україну до створення системи торгівлі квотами на викиди парникових газів. Після запуску цієї системи наша країна встала на шлях до успішного виконання своїх зобов'язань щодо імплементації Директиви 2003/87/ЄС.** З початку 2021 року на виконання Закону України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» від 12.12.2019 № 377-ІХ почала діяти нова система моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів [6.82].

Цифровізація є важливим аспектом, що може допомогти покращити доступність інформації про характеристики продуктів [6.129]. Наприклад, електронний паспорт товару може містити інформацію про походження товару, склад, можливості ремонту та демонтажу та переробки під час закінчення терміну експлуатації. Такі норми вже впроваджуються у країнах ЄС, зокрема передбачені Європейською зеленою угодою [6.58].

Отже, **є практично всі передумови для формування Національної державної бази по викидах**, приєднаних до товарів і продукції, в тому числі будівельної. Відкрита інформація про екологічність – це можливість включення національних продуктів у міжнародні бази даних, що значно збільшить їхню конкурентоспроможність. Очікується, що подальший стрімкий розвиток систем сертифікації будівель **(див. розділ 2) відчутно стимулюватиме використання екоматеріалів та нових методів проектування.**



а)



б)

Рис. 6.22. Екологічні декларації на продукцію (EPD) дозволяють проєктанту вибрати матеріали несучих і огорожувальних конструкцій, що зменшують приєднані викиди і експлуатаційні витрати будівлі: зв'язок LCA та EPD **(а)**; вигляд сертифікату **(б)** [6.136]

Отже, основними кроками для поширення практики оцінок життєвого циклу та екологізації будівельної галузі вбачаються наступні:

1. Вільний доступ до нормативних документів і методик оцінки, їхня подальша розробка, уточнення і універсалізація.
2. Запровадження вільних баз даних, їхня деталізація і розширення на всі процеси та продукти.
3. Поширення екологічних декларацій на продукцію.
4. Поступове впровадження повних оцінок життєвого циклу (whole building life cycle assessment).
5. Розробка широкодоступних безкоштовних програмних додатків і автоматизованих інструментів для аналізу життєвого циклу.
6. Затвердження відповідних процедур і стимулювання проведення оцінки на законодавчому рівні.
7. Визначення обов'язків щодо проведення оцінок життєвого циклу під час прийняття рішень в будівництві.

Проєктувальнику мають бути доступні дружні до користувача актуальні інструменти для екологічної оцінки будівель, які б враховували національні особливості та бази по викидах. Відтак необхідна широка розробка програмних додатків і автоматизованих інструментів для аналізу життєвого циклу.

Зменшенню обсягів і запобіганню утворення відходів може сприяти й розробка нормативно-правових актів щодо запровадження розширеної відповідальності виробників товарів, які мають кінцевий строк споживання та використовують для збільшення обсягів продажів так зване плановане застарівання [6.127]. Так, фіскальні інструменти можуть бути диференційовані відносно строків життєвого циклу виробів, що заохотить виробництво продукції з подовженими термінами експлуатації без обслуговування та з більшою ремонтпридатністю, зменшивши тиск планованого старіння на споживачів та довкілля. У 2015 році Національна асамблея Франції встановила штраф до 300 000 євро та термін ув'язнення до двох років для виробників, які заздалегідь планували вихід з ладу своєї продукції. Це правило має значення не лише через санкції,

які воно встановлює, а й тому, що законодавчий орган вперше визнав наявність запланованого застарівання. Ці прийоми можуть включати «навмисне введення дефекту, слабкість, заплановану зупинку, технічне обмеження, несумісність чи інші перешкоди для ремонту» [6.128]. Європейський Союз також переймає цю нормативно-регуляторну практику. Європейський економічний та соціальний комітет (ЄЕСК), дорадчий орган ЄС, заявив у 2013 році, що вивчає «повну заборону запланованого застарівання». Комітет визначив, що постійна заміна продуктів, які створені, щоби припинити роботу протягом двох-трьох років після придбання і бути замінені на нові, є марною витратою енергії та ресурсів і генерує забруднення [6.128]. У 2014 році ЄЕСК організував у Мадриді круглий стіл, який закликав стале споживання бути споживчим правом у законодавстві ЄС. Консультативна комісія ЄЕСК з питань промислових змін [6.29] підтримує запровадження такої системи маркування, яка свідчить про довговічність пристрою, щоби споживач міг вибрати, чи бажає він купувати дешевий товар чи більш дорогий, довговічніший продукт.

Більш інтелектуальне маркування будівельної продукції, цифровізація та інтернет речей може не тільки прискорити декарбонізацію і зробити більш сталим та надійним будівництво, а й послужити для покращення умов експлуатації, діагностики з визначенням технічного стану споруди та навіть майбутнього розбирання каркасу.

Додатково можуть бути застосовані адміністративні регуляторні інструменти: прописані вимоги щодо екодизайну упаковки продукції – мінімалістичності, функціональності, обов'язковості використання вторинної сировини тощо. Однакові комплексні вимоги для всіх гравців ринку забезпечать їхнє рівне виконання, дозволять не збільшувати, або навіть зменшувати, вартість для кінцевого споживача, збільшать конкурентоспроможність малих і середніх виробництв. Локальність продукції та створення місцевих робочих місць автоматично будуть заохочені через інструменти обчислення екологічних параметрів, що охоплює показники викидів на доставку сировини і компонентів.

З огляду на вищенаведене, з метою забезпечення соціальної та політичної підтримки заходів з декарбонізації економіки доцільною уявляється модифікація вуглецевого податку, що надасть змогу не збільшувати сукупного податкового навантаження шляхом одночасного зниження ставок податку на доходи фізичних осіб чи працю [6.25]. Видається також доцільним зростаючі ставки податку на двоокис вуглецю диференціювати для промисловості та населення, як заведено в країнах Євросоюзу (Німеччині, Швеції, Норвегії, Данії, Польщі). Важливо наголосити, що податкові надходження від сплати вуглецевого податку мають гарантовано використовуватись за цільовим призначенням, а саме на підтримку заходів зі скорочення викидів та фінансування планів адаптації до змін клімату. Орієнтовні результати розрахунків ефекту від запровадження в Україні заходів з декарбонізації економіки вказують на те, що вони можуть надати змогу до 2050 року отримати позитивний вплив на темпи зростання ВВП країни, який збільшиться більше ніж на 36% [6.70]. Отже, реалізація заходів національної політики щодо протидії зміні клімату може мати значний позитивний ефект від активного структурного і технологічного оновлення економіки України на основі новітніх світових стандартів, створення виробництв на енергоощадних технологіях. Для цього потрібен чіткий та продуманий план дій для втілення стратегії низьковуглецевого розвитку України [6.83], сформований за участю всіх основних суб'єктів соціально-економічного процесу – органів державної влади та управління, бізнес-структур, громадських організацій, наукових інститутів, незалежних експертів.

Для стимулювання господарюючих суб'єктів до енергоефективності, використання відновлюваних джерел енергії та скорочення викидів парникових газів в сучасній економічній ситуації можливе запровадження низки пільг, які можуть, зокрема, передбачати:

- введення нульової ставки ввізного мита для матеріалів, обладнання, устаткування, комплектуючих до них та товарів, які будуть використовуватися для скорочення викидів парникових газів;

- тимчасове, на кілька років, звільнення від оподаткування податком на додану вартість операцій із закупівлі та імпорту окремих критично важливих для технологічної модернізації товарів і супутніх послуг (проведення пусконаладжувальних робіт, навчання персоналу тощо), які будуть використовуватися для скорочення викидів парникових газів;
- тимчасове, виключення зі складу валових доходів, що підлягають оподаткуванню, коштів та/або вартості майна, отриманих платником податку на доходи для реалізації проекту скорочення викидів парникових газів [6.62].

Отже, диференціація і збільшення вуглецевого податку залежно від екологічних показників будівельного матеріалу, цільового функціонального призначення продукту і тривалості його життєвого циклу, пропорційне поширення на інші, окрім двоокису вуглецю, види парникових газів може дати змогу розширити податкову базу, забезпечити бюджетні надходження для фінансування масштабних цільових програм і створити системну мотивацію для зменшення викидів всіма істотними учасниками основних ринків. Врахування під час оподаткування структури парникових викидів у готовому продукті створить більш органічні умови для розвитку, зокрема для будівельної галузі. Відповідно до засадничих принципів національного права, екологічний податок має направлятися насамперед **на реалізацію прямих природоохоронних заходів (ПЗ)** – тобто спрямованих безпосередньо на об'єктивне вимірюване покращення стану довкілля.

Інформація про вміст приєднаних викидів має бути загальнодоступна на основі національних баз даних по викидах, а також через **екологічне маркування будівельних матеріалів та продукції**, яке має містити дані про вміст вуглецевого еквівалента для різних елементів життєвого циклу, які можуть бути обраховані. Це може надати споживачу більшу інформацію щодо екологічних і економічних переваг продукції, в тому числі для конструкційних виробів, сприяти ствердженню екологічної свідомості та сталому економічному зростанню.

6.3. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАДЗАГАЛЬНИХ КРИТЕРІЇВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Аналіз життєвого циклу не обмежується розглянутими вище стадіями. Більш надзагальні рівні аналізу можуть містити як глибше деталювання, так і ширше охоплення складових, які беруться до уваги.

Глибше деталювання означає, що раніше укрупнені показники розкладаються на окремі юніти, для кожного з яких проводиться аналіз життєвого циклу, простежуються потоки ресурсів та викиди. Наприклад, різні методи монтажу одних і тих самих конструкцій можуть потребувати різних пристосувань і механізмів, а отже, мати різні приєднані викиди та вартість. Ширше охоплення складових – це залучення до аналізу життєвого циклу тих складових, які первинно не були прийняті через їхню прогнозовано малу значимість або однаковість для конкретної задачі порівняння альтернатив. Наприклад, внутрішні мережі за умов різних конструктивних рішень можуть мати різні схеми і комплектність, відрізняючись у показниках життєвого циклу. Так само врахування витрат, пов'язаних із забезпеченням комфортних та безпечних умов роботи працівників, адмініструванням майданчика тощо – можуть бути описані у моделі життєвого циклу.

Точніші значення аналізу життєвого циклу дозволяють на етапі передпроектної або проектної стадії оптимізувати включені складові та екологічність і економічність об'єкту в цілому. Рішення, прийняті зважено на стратегічному організаційному рівні, можуть створити значну додану вартість для об'єкта нерухомості та сприяти визначенню найбільш економічно ефективного режиму експлуатації та технічного обслуговування. Окрім того, аналіз життєвого циклу може бути здійснений під час самого будівництва або постфактум за реальними економічними та екологічними показниками. Це дає змогу скоригувати проект під час реалізації або провадити більш точний аналіз для майбутнього аналогічного спорудження. До аналізу можуть бути долучені також варіанти бездіяльності, зокрема, у разі реконструкції (рис. 6.23).

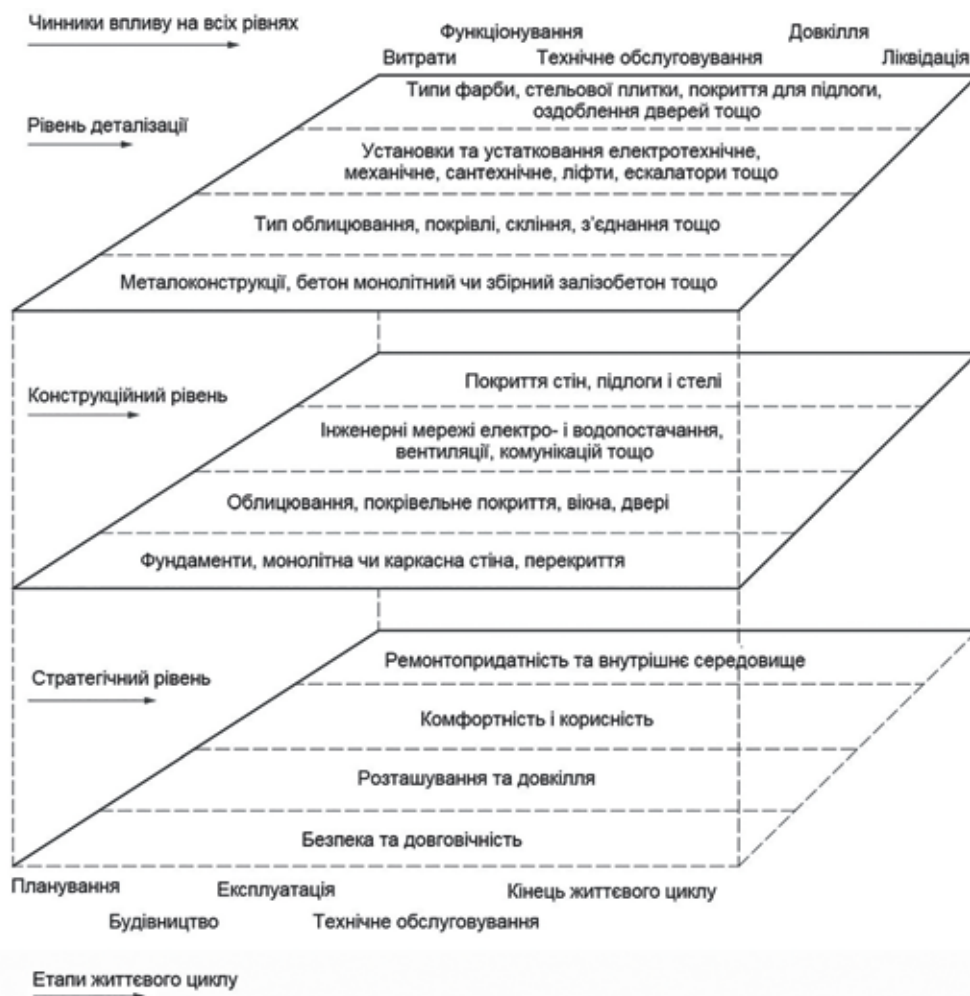


Рис. 6.23. Рівні аналізу на різних етапах життєвого циклу [6.20]

Більш розгалужені та всеосяжні критерії життєвого циклу можуть включати додаткові показники, що враховують взаємозв'язки, викиди, витрати та доходи як всередині системи, так і за її межами. Зокрема, детальніші моделі можуть включати **моделі деградації [6.44], диференційовані залежно від типів і призначення елементів і конструкцій, опорядження та оснащення тощо.** Для урахування невизначеності та ризику, пов'язаних з конкретним аналізом LCC, можна застосовувати методи аналізу чутливості, перевіряючи як неістотна варіативність вихідних даних впливає на кінцевий результат та інші моделі [6.19].

У моделях аналізу життєвого циклу може бути враховано моральний знос, оскільки він спричиняє незаплановане закінчення строку експлуатації або зміну режиму використання об'єкта нерухомості. Відмови та відповідне завершення строку експлуатації можуть бути пов'язані з функціональним, естетичними чи економічними аспектами функціонування будівлі або відбуватися внаслідок передбаченого змінення вимог чи технологій.

Комплексний показник сталого розвитку об'єкта за межами системи визначеного оцінювання життєвого циклу містить технічні та функціональні показники, а також **соціальні, економічні та екологічні ефекти**, що впливають один на одного. Вони є необхідними елементами системного підходу для визначення сталості використання і розвитку архітектурно-будівельних систем (АБС).

Як технічні та функціональні вимоги до конкретної АБС для її зведення можуть ставитися, наприклад, вимоги до безпеки конструкції, до пожежної безпеки, вимоги до якості повітря

замкнених приміщень, служби безпеки, адаптаційної гнучкості, доступності, ремонтпридатності, довговічності та терміну служби будівлі або будівельної конструкції. Попри те, що оцінка технічних та функціональних показників об'єкта не входить до сфери застосування серії стандартів EN 15643 [6.43], розгляд їхнього взаємозв'язку з екологічними, соціальними та економічними показниками необхідний для оцінки сталого розвитку об'єкта. Деякі з технічних і функціональних вимог включають в категорії оцінки соціальних параметрів [6.22]. Загальна структура показників сталості об'єкта наведена на рис. 6.24.

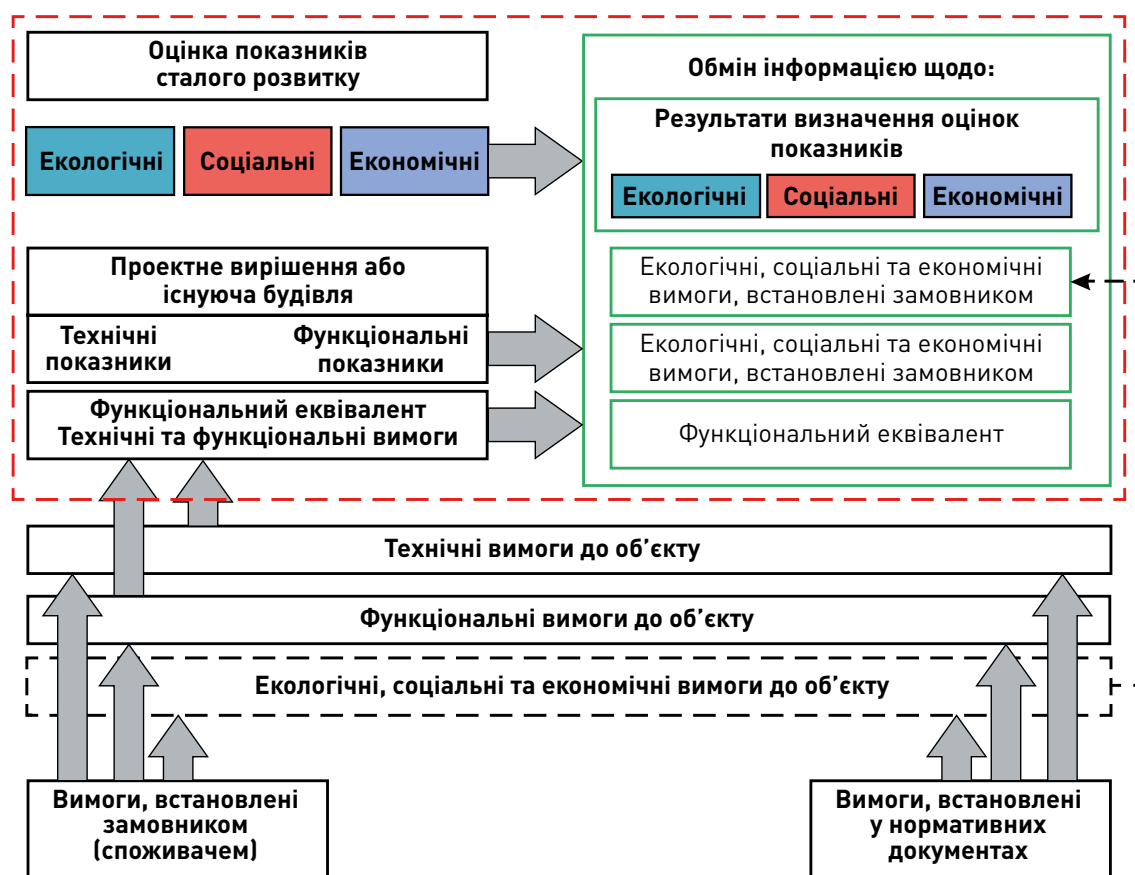


Рис. 6.24. Структура визначення оцінки показників сталого розвитку будівельного об'єкта. Зовнішнім блоком, зазначеним пунктиром, є область стандартизації технічного комітету CEN/TC 350.

Соціальний аспект (social aspect) – це характеристика будівельних робіт або їх частин, процесів або послуг, пов'язаних з їхнім життєвим циклом, які можуть спричинити зміни у суспільстві або якості життя. Соціальні аспекти стосуються впливу на майбутні покоління і мають враховувати невід'ємну цінність екосистем, традицій та культур [6.18]. Аналіз життєвого циклу є методом збалансованого впровадження цілей сталого розвитку будівництва як складової частини загальносуспільної мети. Вимушена міграція, бідність, безробіття, війни та інші форми нестабільності належать до **соціальних ефектів**, тоді як додаткові витрати на медичне забезпечення, відновлення екосистем та інші – **до економічних**. Врахування впливу на довкілля запланованих інвестицій може сприяти прийняттю рішень, заснованих на цілях сталого розвитку. Інші рекомендації стосовно LCA викладено в ISO 14040 та ISO 14044, а в ISO 21931-1 – Sustainability in building construction – встановлено основоположні принципи застосування методів оцінювання екологічних показників будівель.

Екологічні збитки можуть виникати через втрати біорізноманіття, зменшення екосистемних послуг (природних благ, які населення отримує від природи), змін характеру землекористу-

вання [6.23] тощо (див. нижче). Оцінка екологічних впливів та особливостей будівельного об'єкта може проводитися на місцевому, регіональному та міжнародному рівнях, а сценарії життєвих циклів повинні бути реалістичними та відповідати технічним та функціональним вимогам. Інформація щодо подальшого повторного застосування, рециклінгу ресурсів, рекуперації енергії та інших відновлювальних заходів, що можливо первинно не входять до чисельного аналізу життєвого циклу будівельного об'єкта, можуть бути включені до звіту про оцінку як додатковий текстовий опис. Також **існують невизначені втрати**: наприклад, втрати наукових можливостей відкриття нових ліків на основі біохімічних властивостей рослин та тварин, що зникають, які не мають визначеної ринкової ціни. Наразі екологічні аспекти, що не мають очевидних економічних наслідків, зазвичай не монетизують, але враховують у компенсуючих заходах під час проектування.

Соціальні, економічні та екологічні аспекти слід розглядати відповідно до їхніх коротко-, середньо- та довгострокових наслідків, а також впливу на сусідні спільноти, культури та екосистеми.

Соціально-економічні ефекти від приєднаних викидів є найбільш оцінюваними. Однією з найбільш поширених форм оцінювання є так звана «соціальна вартість вуглецю» (social cost of carbon, SCC). Це граничні затрати, які викликає емісія додаткових парникових газів у перерахунку на тону CO_2 -еквівалента, включаючи неринкові наслідки для довкілля і здоров'я людини [6.131]. Соціальна вартість вуглецю – це розрахункова величина, покликана інформувати та мотивувати вжиття коригувальних заходів щодо недопущення таких змін клімату, які б призвели до однієї з форм «провалу ринку», тобто розходження виробничих та комерційних планів із загальними інтересами суспільства та держави. До цієї величини входить вплив на здоров'я людини, що вимірюється сумою заподіяної шкоди та витратами на її усунення [6.125].

Отже, тільки у 2017 році зміна клімату спричинила посилення екстремальних погодних явищ, які завдали збитків щонайменше на 100 мільярдів доларів США. Загалом за останні 20 років в результаті екстремальних погодних явищ загинуло близько півмільйона людей і було втрачено 3,5 трильйона доларів США. Експертна оцінка майбутніх збитків від змін клімату наразі коливається від 2% до 10%, або більше за світовий ВВП на рік [6.64].

Найкращі оцінки SCC були отримані від інтегрованих моделей оцінки (Integrated Assessment Models, IAM) [6.115], які передбачають наслідки зміни клімату за різними сценаріями та дозволяють розрахувати монетизовані збитки. Однією з найбільш широко використовуваних IAM є динамічна інтегрована модель клімату та економіки (Dynamic Integrated Climate-Economy model, DICE) [6.115]. Соціальна вартість вуглецю використовується, щоб допомогти визначити, чи виправдані витрати та вигоди від запропонованої політики стримування зміни клімату. Вища SCC зазвичай означає, що переваги конкретної кліматичної політики щодо скорочення викидів CO_2 виправдовують її вартість [6.126]. Безумовно, SCC має недоліки, оскільки **економічні наслідки зміни клімату** географічно різні і неоднаково впливають на різні країни, соціальні групи тощо. Отже, за оцінками, SCC є дуже високим в Індії, Китаї, Саудівській Аравії та США [6.38]. Міжурядова група експертів зі зміни клімату припустила, що соціальна ціна вуглецю 135-5 500 доларів США у 2030 році і 245-13 000 доларів США за тону приведенного CO_2 у 2050 році буде необхідною, щоби глобальне потепління залишилося нижче межі $1,5^\circ\text{C}$ [6.42]. Великі дослідження, проведені останнім часом, оцінюють соціальну вартість вуглецю від 54 [6.130] до 417 доларів США за тону CO_2 [6.60]. У дослідженні 2021 року «Соціальна вартість вуглекислого газу в умовах зворотного зв'язку клімат-економіка та мінливості температури» [6.47] значення SCC визначено на рівні понад 3 000 доларів США за тону CO_2 . Широкий діапазон оцінок пояснюється переважно невизначеністю в науці, включаючи чутливість клімату, яка є мірою швидкості глобального потепління, різними ставками дисконтування, медичними і екологічними компенсаціями збитків тощо. По суті, ставка переважно відображає економічний

поріг, що стимулює потенційне джерело викидів до їх зменшення, але все ж є підйомним для ринку чи галузі, аніж реальну вартість відновлення природних систем та ліквідацію збитків. До того ж деякі втрати, як то втрата біорізноманіття, є переважно незворотними. Загальна структура можливих екологічних та соціально-економічних втрат наведена на рис. 6.25.

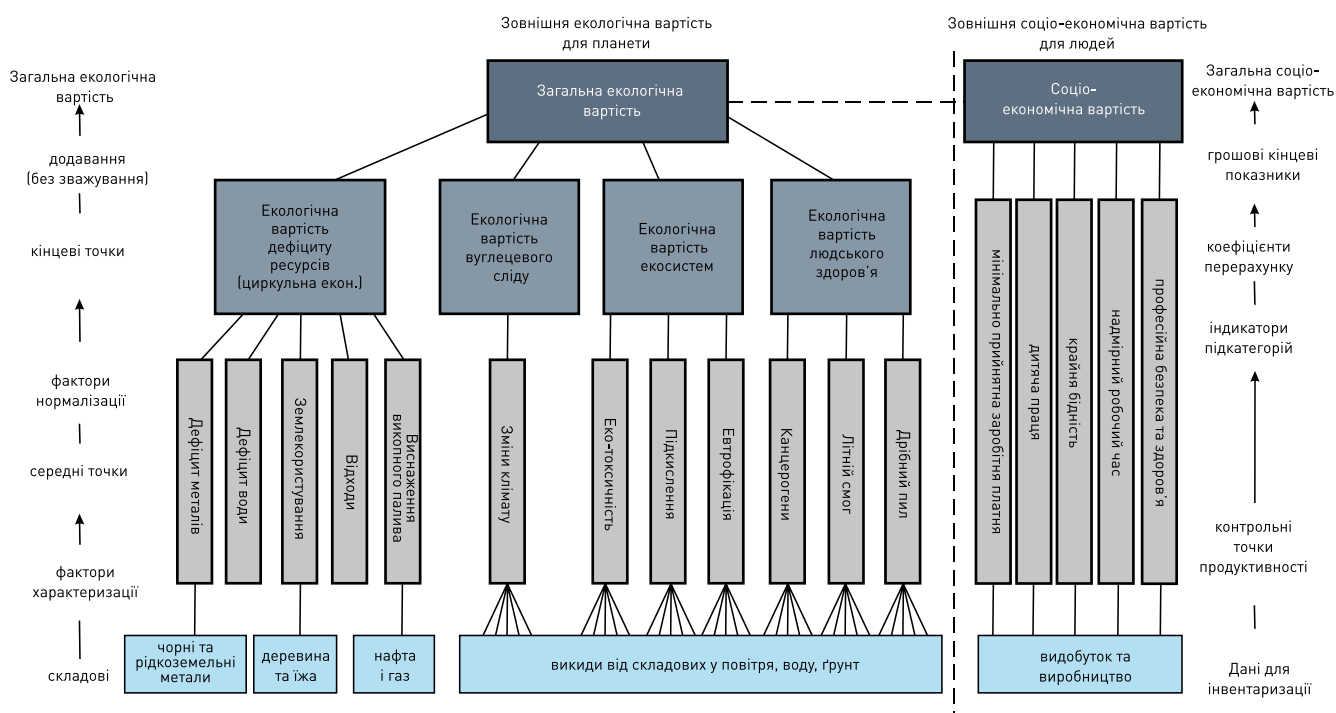


Рис. 6.25. Загальна структура екологічних та соціально-економічних втрат [6.99]

У 2020 році компанія McKinsey & Company опублікувала звіт про поточний і майбутній вплив змін клімату на економіку. У звіті йдеться, що сотні мільйонів життів знаходяться під загрозою, а загроза змін клімату має сильно вплинути на рішення керівників бізнесу та уряду [6.55]. За оцінкою McKinsey, соціально-економічний вплив глобального потепління може збільшитися у 2-20 разів порівнюючи з сучасним рівнем до 2050 року, а вартість річних збитків сягнути трильйонів доларів США [6.61]. Корелятивно у США в 2021 році соціальна вартість викидів 1 тонни CO₂ була підвищена до 51 у. о., для CH₄ її було окремо встановлено на рівні 1 500 у. о., а для N₂O – на рівні 18 000 у. о. [6.95].

Організації, які використовують інтегрований підхід до управління, використовують SCC, щоб допомогти оцінити інвестиційні рішення, керувати плануванням та повною мірою розглянути вплив їхньої діяльності на суспільство та навколишнє середовище. Особи, які приймають рішення, можуть використовувати SCC для розширення традиційних інструментів прийняття фінансових рішень і створення нових показників для вимірювання короткострокових і довгострокових наслідків та результатів своїх дій [6.98].

Слід зазначити, що заходи із попередження та зменшення викидів, окрім зменшення негативних соціально-економічних наслідків, мають додаткові позитивні наслідки, як-от зростання загального добробуту та здоров'я населення, поява нових спеціальностей та робочих місць, розвиток наукомістких технологій, збільшення знань про довкілля тощо. Окремі показники можуть бути виміряні або розраховані кількісно, а в інших випадках використовують експертне або якісне оцінювання.

Загалом розрахунки соціального ефекту та переваг збереження природи у глобальному сенсі наразі лишаються предметом дискусій та наукових досліджень.

Екологічні витрати розцінюють наразі як витрати на запобігання екологічному навантаженню продукту. Це витрати, які необхідно зробити, щоб зменшити забруднення довкілля та виснаження ресурсів у світі до рівня, який відповідає спроможності Землі витримувати наше екологічне навантаження. Наприклад, на кожні 1000 кг викидів CO₂ потрібно інвестувати 116 євро у морські вітряні парки, або в інші системи зниження CO₂ за цією ціною. Отже, якщо це буде зроблено, загальні викиди CO₂ у світі зменшаться на 65% порівняно з викидами 2008 року, і в результаті глобальне потепління стабілізується. Коротко кажучи: екологічні витрати на 1000 кг CO₂ становлять 116 євро. Екологічні витрати є зовнішніми відносно структури вартості життєвого циклу, оскільки вони здебільшого поки не інтегровані в реальні витрати життя виробничих ланцюгів, тобто у вартість життєвого циклу, та їх слід розглядати як приховані зобов'язання [6.99]. Екологічні витрати на продукт – це сума всіх екологічних витрат на викиди та використання ресурсів протягом життєвого циклу «від колиски до колиски». Перевага екологічних витрат полягає у тому, що вони можуть бути виражені у грошовій оцінці. Крім того, розрахунок є прозорим і відносно простим порівняно з моделями на основі пошкоджень екосистем, недоліком яких є надзвичайно складні розрахунки з суб'єктивним зважуванням різних аспектів загального екологічного тягарю. Концепція екологічних витрат була введена в дію із загальними базами даних Делфтського технологічного університету та описана на [6.114] і є частиною більшої моделі співвідношення еко-витрати/вартість, EVR [6.59]. Для деяких основних викидів токсичних речовин екологічні витрати на запобігання чинників глобального потепління показані у таблиці 6.3.

Табл.6.3.

Компенсувальні екологічні витрати [6.99]

Компенсувальні екологічні витрати на запобігання:	Еквівалент
підкисленню ґрунтів	8,75 €/кг SO _x -еквівалента
евтрофікації	4,17 €/кг фосфатного еквівалента
екотоксичності	340,0 €/кг Cu-еквівалента
токсичності для людини	3 754 €/кг бензо(а)піренового еквівалента
літньому смогу (респіраторним захворюванням)	6,0 €/кг NO _x -еквівалента
утворенню дрібного пилу	35,0 €/кг дрібного пилу PM2,5
глобальному потеплінню, GWP на 100 років	0,116 €/кг CO ₂ -еквівалента

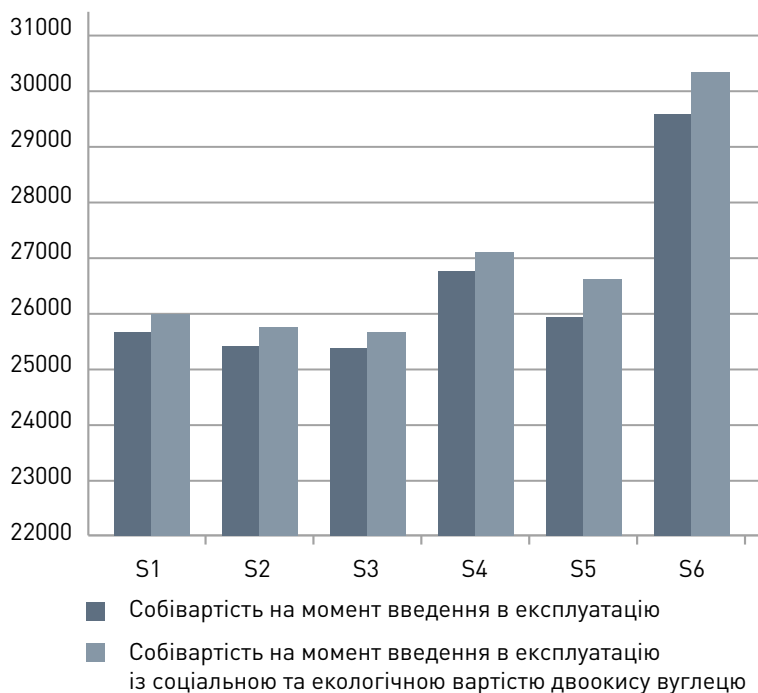
Екологічні витрати у таблиці 6.3 розраховані для ситуації в ЄС, але в принципі застосовні в усьому світі у разі рівних умов для бізнесу та за принципом розумної застережності та зважання на локальні ситуації. На додаток до вищезгаданих екологічних витрат на викиди, існують розрахунки і для деяких інших екологічних витрат – на запобігання виснаження ресурсів, втрати біорізноманіття тощо. Існують також інші системи обрахунку екологічних витрат, зокрема розроблені у Нідерландах та Японії [6.99].

Приклад 6.2. Використання критеріїв соціальної та екологічної вартості вуглецю

Розглянемо приклади 5.4 і 5.5 з попереднього розділу, провівши розрахунки економічної оцінки рішень LCC під час нового будівництва з урахуванням соціальної вартості порохваних раніше викидів. В даній роботі використано значення соціальної вартості викидів у 51 долар США та екологічних витрат у 0,116 € (0,13 доларів США на кінець 2021 року) за 1 тону CO₂ (див. вище). Результати розширеного розрахунку наведені у таблиці 6.4.

Економічна оцінка рішень LCC під час нового будівництва з урахуванням соціальної і екологічної вартості викидів з прикладів 5.4 і 5.5.

Альтернатива	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Разом фундаменти і каркас, викиди, кг CO ₂ -еквівалента	6097895	6125039	6209493	6411531	12744080	13581319
Соціальна та екологічна вартість CO ₂ на фундаменти і каркас, дол. США	311785	313173	317491	327822	651605	694413
Собівартість каркасу, дол. США	5671028	5735715	6024170	6642355	5369064	6062137
Собівартість каркасу, з соціальною та екологічною вартістю CO ₂ , дол. США	5982813	6048888	6341661	6970177	6020669	6756550
Собівартість на момент введення в експлуатацію, тис. дол. США	25657	25419	25348	26752	25930	29577
Собівартість на момент введення в експлуатацію з соціальною і екологічною вартістю CO ₂ , тис. дол. США	25969	25732	25666	27079	26582	30271



а)



б)

Рис. 6.26. Собівартість на момент введення в експлуатацію альтернатив S1-S6 з прикладу 5.4, тис. дол. США, з урахуванням соціальної вартості CO₂ **(а)**; загальний вигляд каркасу для альтернатив S1, S2 **(б)**.

Отже, як бачимо з таблиці 6.4 і графіку на рис. 6.26 (а), використання критеріїв соціальної та екологічної вартості вуглецю поглиблює розбіжності у витратах між різними конструктивними вирішеннями. Якщо собівартість каркасу є найменшою для короткопрольотного залізобетонного вирішення (альтернатива **S5**), то у разі урахування в собівартості фундаментів і каркасу соціальної та екологічної вартості приєднаних викидів CO₂-еквівалента найменшу вартість має короткопрольотне вирішення з металевих конструкцій (альтернатива **S1**). Урахування соціальної та екологічної вартості приєднаних до каркаса і фундаментів викидів в собівартості будівлі на момент введення в експлуатацію також показує перевагу сталевих конструкцій.

В даному прикладі до уваги взяті тільки викиди, **що приєднані до матеріалів і роботи машин та механізмів**. Можна очікувати, що урахування витрат на опалення та кондиціонування для різних за висотою конструктивів у залізобетонному та металевому вирішенні, а також додаткові витрати на комунікації, фасадні системи тощо збільшать економічну різницю соціальної та екологічної вартості приєднаних викидів між альтернативами.

Наведений розрахунок фактично моделює можливе урахування податку на приєднані викиди в цінах будівельних матеріалів. Урахування прогнозних значень матиме все більший вплив на промисловість України і будівельну галузь зокрема, оскільки як соціальна та екологічна вартість, так і вуглецевий податок зростатимуть.

Екологічні рішення наразі поступово стають трендом у розвинених країнах, і спроби створити будівлю з нульовими приєднаними викидами здійснюються у багатьох установах світу. Наприклад, компанією ENDIS (**Energy Neutral and Sustainable in Steel, «енергетична нейтральність та сталість у сталі»**) розроблено прототип цілковито вуглецево-нейтральної будівлі зі сталевим каркасом *Duurzaam bouwen met staal* (екологічна будівля зі сталі), в якій оптимально гармонізовані функціонал, архітектура, конструктив, будівельна фізика та технології монтажу [6.100]. Для забезпечення у будівлі більшої функціональної гнучкості та адаптивності було використано сітку колон 7,5 x 7,5 м, що збільшує перспективу довгого економічного терміну служби. Також у проекті широко застосовано відновлювальну енергетику та системи енергозбереження, що забезпечує вуглецеву нейтральність впродовж всього життєвого циклу до утилізації будівлі (рис. 6.27).

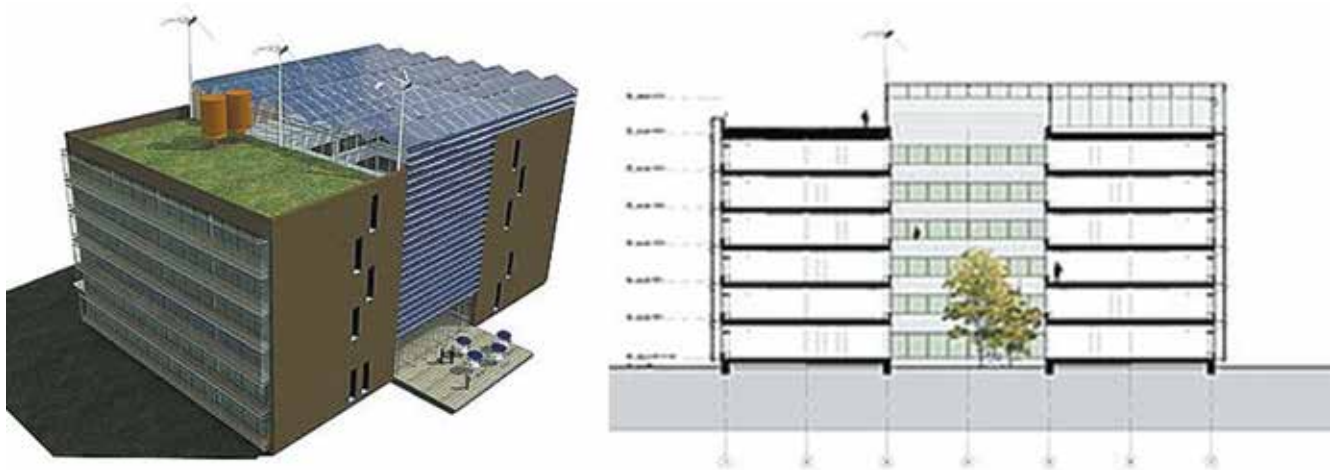


Рис. 6.27. Прототип цілковито вуглецево-нейтральної будівлі зі сталевим каркасом: вигляд тривимірної моделі та розріз [6.100]

У деяких країнах будівлі з нульовим енергоспоживанням вже досягли рівня якості та економічності, який дозволяє грати вагомий роль в будівництві та формуванні ринку нерухомості [6.144].

12 травня 2021 року Європейська комісія прийняла план дій Zero Pollution Action Plan («Нульове забруднення»), що покликаний зробити всі країни Євросоюзу кліматично нейтральними до 2050 року [6.95]. Кліматична нейтральність (net zero) людської діяльності передбачає баланс між антропогенними, геохімічними, біогенними викидами та сукупним поглинанням парникових газів у біосфері землі. Для окремої країни це означає, що її економічна діяльність має спричинити не більше викидів вуглецю, ніж здатні поглинути природні та штучні поглиначі – плантації швидкоростучих дерев, природні біоми, установки уловлювання CO₂ тощо на її території.

Іншим перспективним напрямком екологізації будівництва є збільшення темпів реконструкції будівель, що існують [6.4]. У 2020 році у ЄС стартував проект A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives («Хвиля оновлення для Європи – озеленення наших будівель, створення робочих місць, покращення життя»). Дана програма спрямована на 220 мільйонів будівель, побудованих до 2001 року, які становлять 85% будівельного фонду ЄС. Підраховано, що 85-95% будинків, які існують сьогодні, будуть імовірно стояти й у 2050 році. Тож для досягнення цілі скорочення викидів на 55% (до 2030 року проти 1990 року), ЄС має скоротити викиди парникових газів, приєднаних до експлуатації наявних будівель на 60%. Тому у ЄС вирішили нагально зосередитися на тому, як зробити будівлі більш енергоефективними, більш екологічними та більш сталими протягом усього їхнього життєвого циклу. Застосування принципів кругової економіки під час реконструкції будівель може дозволити відчутно зменшити викиди парникових газів, пов'язані з матеріалами, для сектору будівель. Очікується, що до 2030 року у ЄС буде модернізовано понад 35 мільйонів будівель [6.88].

Також комісія ЄС планує до 2023 року переглянути «Положення про будівельну продукцію» [6.32] і розробити дорожню карту до 2050 року для скорочення викидів вуглецю протягом усього життєвого циклу в будівлях. Планується прискорити роботу з організаціями зі стандартизації щодо стандартів кліматичної сталості будівель, а до кінця 2024 року переглянути цільові показники утилізації матеріалів, встановлені законодавством ЄС для відходів під час спорудження і знесення, та запровадити заходи щодо розширення платформ повторного використання, переробки та підтримки внутрішнього ринку вторинної сировини. Як нове будівництво, так і реконструкції, ремонти та інші поліпшення будівель повинні підвищувати безпеку людей, покращувати умови їхньої праці та життєдіяльності, поліпшувати мікроклімат та ергономіку, що так само призводить до покращення здоров'я, зменшення захворюваності, травматизму тощо. Це ж стосується міського середовища та інфраструктури загалом.

Такий підхід покликаний сприяти гармонізації штучного середовища з природним, адже кругові життєві цикли характерні матерії в цілому в термінах ентропії/негентропії для незамкнених систем із гравітацією [6.10, 6.30]. Передовий сучасний рівень наукового усвідомлення розглядає Землю в економічному та екологічному аспекті як цілісний організм, «космічний корабель» [6.2, 6.37]. Диференціація рівнів розвитку цивілізацій при цьому визначається ступенями творення, усвідомленості та сталості [6.2, 6.35]. Тож провідні наукові пошуки сконцентровані на урахуванні все більш всеосяжних факторів, як-от **планетарні межі (planetary boundaries)** – тобто глобальні характеристики Землі, які можуть визначити можливість існування людства [6.53]. Облік компонентів планетарних меж, а саме: економічних втрат від руйнування озонового шару стратосфери, від виснаження запасів прісної води, від втрати біорізноманіття, від зростання хімічного забруднення тощо – породжує нові ланцюжки прийняття рішень і створення цінностей для товарів і послуг у світовому господарстві (рис. 6.28).



Всепланетні процеси	Межі перейдено
1. Зміни клімату	Так, у 1,2 рази
	Так, більш ніж у 3 рази
2. Втрати біорізноманіття	Так, більш ніж у 10 разів
3. Біогеохімічні зміни	Так, у 3,5 рази
	Ні, 80%
4. Ацидифікація океанів	Ні, 95%
5. Використання земель	Ні, 78%
6. Прісні води	Ні, 65%
7. Виснаження озонового шару	Ні, 98%

Рис. 6.28. Всепланетні процеси людського господарювання і планетарні межі станом на 2021 рік [6.53]

Будівництво, як і будь-яка людська активність, також здійснюється в рамках цих меж і має їх враховувати. Економічні та екологічні критерії є цільними для оцінки рішень та призводять до поняття необхідності **кругової економіки замкнутого циклу** як регенеративної системи, в якій використання ресурсів, відходи, викиди і необхідність отримання енергії з зовнішніх джерел мінімізовані шляхом застосування уповільнених, замкнутих і обмежених ланцюжків руху матерії та енергії. В будівництві це може бути отримано в результаті впровадження прогностичності проектування і планування, довгострокового використання, своєчасних ремонтів, повторного застосування, реутилізації, реконструкції та переробки створюваних будівель та їхніх компонентів [6.45].

Поширення детальних розширених економічних моделей в прийнятті рішень неминуче. Зелена сертифікація та аудит будівель, зростання екологічної свідомості, інформатизація світу, вдосконалення комплексних інструментів прогнозування та економічного аналізу є ключовими факторами, які впритул наближають до реалізації концепції кругової економіки як моделі стійкого економічного розвитку, заснованої на відновленні й раціональному використанні ресурсів. В результаті економіка стане більш прозорою, передбачуваною, а її розвиток – сталим і системним. Уже зараз багатофакторне порівняння та аналіз рішень з кардинально різними архітектурними формами, конструктивами для забезпечення однакової функції будівлі все більше спирається на параметричні моделі, росте доступність і поширюється нормативне регулювання засобів оцінки життєвого циклу [6.7]. Це дозволяє також зберігати ресурси і вибирати оптимальні стратегії довгострокового інвестування. Скорочення споживання сировини, повторне використання та рециркуляція матеріалів є невід'ємною частиною глобальної кругової економіки і фундаментальною перевагою використання сталі в будівлях і спорудах.

Відтак, у Світі протягом останніх років все більше шириться концепція **мислення життєвого циклу (life cycle thinking)**. Це процес врахування під час ухвалення рішень прогнозованих обсягів споживання ресурсів, навантажень на довкілля і людину, пов'язаних з повним життєвим циклом продукту [6.120]. Згідно з цією концепцією, соціально-економічний ефект від реалізації проекту може бути також порахований як уникнення збитків та економія витрат, пов'язаних зі зменшенням ймовірності негативних наслідків для підприємства і держави в цілому в зв'язку з відшкодуванням втрат працездатності, відрахуваннями на компенсацію збитків і недоотриманого ВВП, або ж навпаки – у формі додаткової генерації ВВП. Наприклад, збільшення термінів будівництва через непродуману логістику або велику вагу матеріалів, що постачаються на майданчик, веде до непродуктивних витрат, зменшуючи питомі показники ВВП, а інтенсифікація й оптимізація процесів та конструкцій збільшує питомі показники ВВП. З іншого боку, ВВП наразі не розглядається як абсолютна міра успішності і добробуту людства, а загальне зростання економіки обмежене спроможністю екосистем та вичерпністю ресурсів [6.27].

Для будівель мислення життєвого циклу включає врахування потреб в адаптації до змін клімату на етапі планування будівництва. Це дозволяє скоротити ризики та збитки, пов'язані з наслідками змін клімату, а також досягти довгострокової сталості функціонування будівель та підвищення строків експлуатації. Разом із застосуванням додаткових спеціальних технічних та проектних рішень мислення життєвого циклу дозволяє успішно долати виклики, що пов'язані з необхідністю адаптації до змін клімату.

Наразі поки не існує остаточних методів оцінки сталості в будівлях, тож пошук інтегральних критеріїв оцінки якості споруджуваного середовища, розробка їх чисельних моделей і застосування до будівництва є актуальним предметом подальших досліджень [6.18]. Можливо оцінювання життєвого циклу ніколи не буде повним в нашому складному багатофакторному світі, але врахування максимуму факторів на етапі прийняття рішень завжди краще, ніж їх ігнорування, а розрахунки і дослідження з визначення і моніторингу викидів дешевші для світової економіки, ніж пізні спроби усунення руйнівних наслідків від несвідомого споживання та господарювання, які можуть бути непоправними.

6.4. ПІСЛЯМОВА

Надзвичайна кліматична ситуація потребує надзвичайних дій. Збитки від стихійних лих у світі у 2021 році досягли 280 мільярдів доларів США. Якщо не вживати ніяких заходів, Україна може постраждати найбільше в Європі, її клімат зміниться від +2,4°C до +4,3°C [6.66]. Це призведе до місцевих негативних явищ, як-от посух, повеней та затоплень узбережних зон через підняття рівня моря. За останні 20 років в Україні вже висохло більше ніж 10 000 малих річок, а у грошовому еквіваленті через зміни клімату тільки за 2020 рік Україна втратила 26 мільярдів гривень.

Світові процеси демонструють певний поступ у напрямку координації з запобігання змінам клімату. У листопаді 2021 року у Глазго пройшли Міжнародні кліматичні перемовини ООН COP26. Делегати з 197 країн включно із Україною домовилися щодо основних питань міжнародної кліматичної політики, щоб обмежити глобальне потепління на рівні 1,5°C відносно до-індустріального рівня і скоригувати національні кліматичні цілі вже до кінця 2022 року – на три роки раніше, ніж планувалося перед тим. Крім того, учасники погодилися щодо міжнародних механізмів, які забезпечать повне введення в дію Паризької угоди. У Глазго також відбувся ряд історичних зрушень на рівні міжнародних ініціатив у сфері декарбонізації економік. Зокрема, понад 450 фінансових організацій та інвестфондів, які сукупно представляють активи на 130 трильйонів доларів США, створили «Фінансовий альянс Глазго за нульові викиди» (Glasgow Financial Alliance for Net Zero, GFANZ) [6.107], метою якого є мобілізація приватного фінансування для досягнення вуглецевої нейтральності у світі. Підписанти повинні взяти на себе зобов'язання досягнути нульових викидів вуглецю до 2050 року у своєму бізнесі, а також встановити та невідкладно виконувати проміжні цілі до 2030 року. Очевидно, що ці інвестиційні можливості будуть доступні тим країнам, які на законодавчому рівні, а не лише на рівні заяв та декларацій, будуть готові впроваджувати європейські норми у регуляцію енергетичного та промислового ринків. Для цього Європа та весь світ наразі працює над посиленням законодавчого регулювання викидів CO₂ та інших забруднювальних речовин. Україна, як найбільша країна Європи, має долучитися до цих процесів, зокрема ухвалити рамкове екологічне законодавство, яке покликане дати поштовх модернізації промисловості та іншим кліматичним ініціативам відповідно до умов Угоди про асоціацію із ЄС [6.85]. Також у жовтні 2021 року Україна приєдналася до коаліції Powering Past Coal Alliance, запланувавши відмову від вугілля до 2035 року, і до всесвітньої ініціативи Global Methane Pledge, що має на меті скорочення викидів метану в світі до 2030 року щонайменше на 30% від рівня 2020 року та зменшення потепління щонайменше на 0,2°C до 2050 року [6.80].

Під час COP26 провідні світові компанії, міста, регіони, фінансові, наукові та освітні установи підтримали Глобальну кампанію ООН Race to zero [6.125], заявивши про мобілізацію своїх ресурсів для рішучих негайних заходів зі скорочення глобальних викидів парникових газів вдвічі до 2030 року та створення більш здорового, справедливого та безпечного світу. Race to Zero закликає підприємства, міста, регіони та окремих інвесторів взяти на себе зобов'язання досягти нульових викидів не пізніше 2050 року. Отже, ініціативи, проголошені на COP26, дають старт новій промисловій революції, яку передбачив природничо-орієнтований економіст Дженрі Ріфкін [6.33, 6.73].

На COP26 Рада з зеленого будівництва Великобританії (UK Green Building Council, UKGBC) оприлюднила свою дорожню карту політичних цілей та дій Net Zero Whole Life Carbon Roadmap for the Built Environment, які необхідні для обмеження глобального потепління до 1,5°C. Всесвітня рада з екологічного будівництва (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) також опублікувала свій бізнес-маніфест щодо відновлення клімату. В документі окреслено пріоритетні напрямки звітування про викиди та надана інформація про їхнє скорочення та нейтралізацію. Маніфест рекомендує компаніям у будівельному секторі встановити цілі з декарбонізації будівель та впровадити енергетичні норми, щоб зменшити викиди вуглецю

та підвищити їх сталість. Оновлені «Зобов'язання щодо нульових викидів вуглецю в будівлях» від World Green Building Council (WorldGBC) вимагають від 143 підписантів звітувати про весь життєвий цикл будівель з 1 січня 2023 року. Як заявлено, це надасть пріоритет ефективному використанню низьковуглецевих матеріалів та будівельних процесів, зменшить залежність від викопного палива в будівництві та підтримає перехід до повністю декарбонізованого будівельного середовища [6.122].

Напередодні COP26 був також створений фонд Built by Nature для надання грантів і нова мережа лідерів промисловості та клімату Laudes Foundation, створена для підтримки ініціатив з розробки низьковуглецевої сталі та цементу і масового дерев'яного будівництва. 13 листопада 2021 року було схвалено фінальний Кліматичний пакт Глазго [6.106], який вимагає від країн зменшити залежність від вугілля, скасувати субсидії на викопне паливо і переходити на відновлювані джерела енергії. В документі визнається необхідність знизити глобальні викиди CO₂ на 45% до 2030 року проти рівня 2010 року та до нуля – до середини століття. До 2024 року всі країни повинні надати детальні дані про викиди, на основі яких можна буде оцінювати майбутні скорочення парникових газів. Усі ці зобов'язання взяла на себе й Україна. Через десять років викиди парникових газів у нас мають скоротитися на 7% відносно поточного рівня, а до 2060 року Україна має досягти вуглецевої нейтральності.

І у питанні екологізації одним із ключових напрямлень є будівельна галузь: використання АБС із низьким рівнем приєднаних викидів, зведення нових будівель з близьким до нуля рівнем енергоспоживання та реновація тих, що існують, нові стандарти використання електроенергії на підприємствах тощо. Також в Україні заплановано поступово запровадити систему торгівлі квотами на викиди. Очікується, що ринок вуглецевих квот почне діяти з 2025 року, а система моніторингу та верифікації парникових викидів вже запущена з початку 2021 року [6.65].

Сталеве будівництво може стати локомотивом екологічного переходу для України, оскільки сталь має локальне походження і повністю замкнений життєвий цикл на території держави. Проте без технічного переоснащення та впровадження нових технологій поразка у міжнародній конкурентній боротьбі неминуча, адже металургійне виробництво вже починає змінюватися в умовах декарбонізації провідних економік, а саме ЄС, Китаю та США. Вже очевидно, що металургійна галузь зазнає фундаментальних перетворень протягом наступних двох десятиліть. Замість експлуатації неекологічних застарілих металургійних виробництв та нарощування експорту залізородної сировини й напівфабрикатів, що відбувається в останні роки, Україна могла б вигідно використовувати переваги зростаючого споживчого попиту на низьковуглецеву сталь в Європі, інтегруватися у нові ланцюги постачання та вже сьогодні впроваджувати інноваційні технології, інвестуючи у майбутнє. Для екологізації галузі коксохімічні потужності, експлуатація яких планується після 2028 року, мають бути приведені у відповідність з найкращими доступними технологіями та методами управління для металургійної галузі, а ті, що вичерпали нормативний термін експлуатації (до 30 років), повинні бути закриті.

Інвестиційний цикл у металургійній промисловості становить близько 20 років. Тому рішення щодо впровадження тих чи інших технологій декарбонізації для досягнення поставлених цілей мають бути прийняті вже зараз. Українські металургійні компанії виявляють інтерес до технологій декарбонізації: Центральний ГЗК («Метінвест») і Полтавський ГЗК (Ferrexpo) запустили виробництво DR-пелет, які є сировиною для виробництва чавуну прямого відновлення (DRI). Деякі українські компанії вже оголосили про плани інвестицій, що необхідні для досягнення поставлених екологічних цілей: «Арселор Міттал» (Кривий Ріг) оголосив про те, що досягне вуглецевої нейтральності до 2050 року і планує інвестувати в екологізацію у 2022-2032 роках 1 мільярд доларів США; «Метінвест» планує інвестувати в екологізацію у 2019-2025 роках 670 мільйонів доларів США. У ЄС, для прикладу, наразі вже передбачено близько 100

мільярдів доларів США інвестицій у виробництво зеленої сталі [6.116]. Сталь сама собою не екологічна. Вона стає такою тільки у разі застосуванні засад кругової економіки. В майбутньому ступінь реутилізації сталі дозволить значно знизити видобуток руди, а в деяких галузях повністю замкнути цикл.

На початкових етапах екологічність у будівництві прийшла як наслідок еволюції підсистем будівлі, насамперед огорожувальної оболонки, вентиляції, опалення, кондиціонування та освітлення, а також з обмеженості ресурсів та бажання власників зменшувати експлуатаційні витрати. Така орієнтованість була закладена і в норми для будівель з метою поліпшення умов безпеки і комфорту перебування людей у них. Наступний рівень мотивації для впровадження елементів сталого розвитку стосується сертифікації класів нерухомості, які є факторами ціноутворення на ринку, а також виконання як обов'язкових, так і рекомендованих нормативних вимог. Сучасний підхід до поняття екологічності в будівництві базується насамперед на усвідомленні довгострокового життєвого циклу і глобальних цілей зменшення впливу на довкілля протягом життя будівлі та її складових.

Однак перехід до кругової будівельної індустрії – це процес, що відбувається далеко не одночасно, позаяк будівництво набагато складніше, ніж багато інших галузей. Будівельна продукція не схожа на роздрібну, для неї застосовується зовсім інша бізнес-модель. Будівля слугує значно довше, ніж інші продукти, але також будівельна галузь одна із найбільш традиційних в економіці та господарстві. Основні матеріали лишаються тими ж самими впродовж років. Тож будівельний сектор може стати одним з піонерів у досягненні кругової економіки. У круговій економіці традиційний лінійний процес «бери-роби-утилізуй» перетворюється на замкнутий цикл, де жоден ресурс не витрачається даремно, а все використовується повторно або переробляється (рис. 6.29). Швейцарський архітектор В. Штахель вперше сформулював економічні переваги економіки замкнутого циклу в середині 1970-х років [6.93]. Вже зараз підраховано, що ЄС міг би заощаджувати до 630 мільярдів доларів США щороку, впроваджуючи принципи кругової економіки.

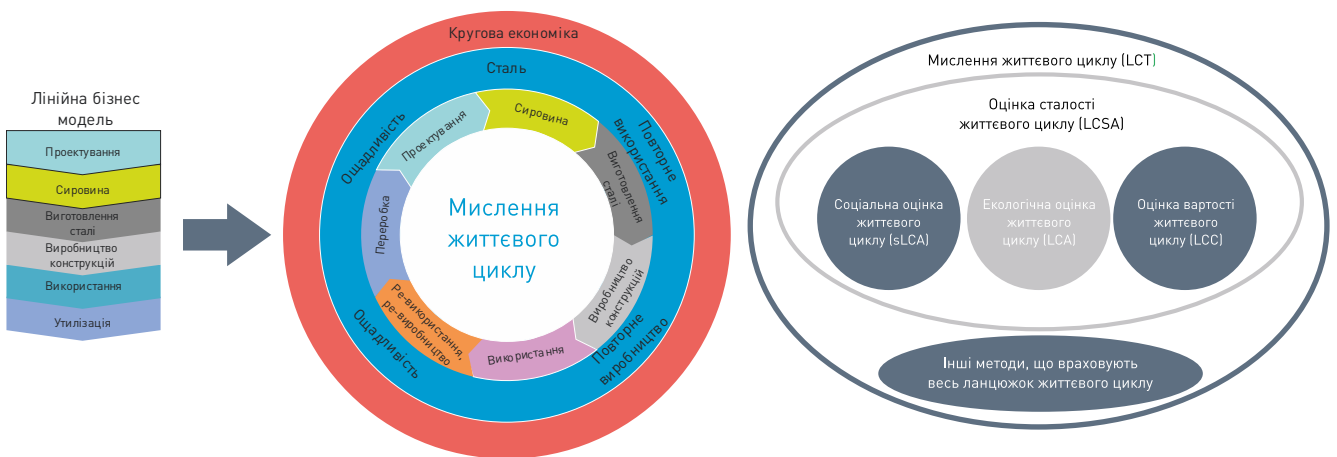


Рис. 6.29. Перехід від лінійних бізнес-моделей до господарювання і мислення життєвого циклу

Сегментація нерухомості за функціональним призначенням впливає на структуру приєднаного вуглецю, розподіленого по основних процесах проектування, виробництва, спорудження, реалізації, використання і реновації або знесення. За об'єкт досліджень було вибрано комерційну нерухомість – офісні та адміністративні будівлі, паркінги, торговельні центри – оскільки вона має в Україні помітний потенціал для розвитку і відповідає за значну частку приєднаного вуглецю у будівництві. Також комерційний сегмент є більш чутливим і мобільним та швидше впроваджує інновації, ніж доволі інерційні сегменти житла та важкої промисловості.

Оскільки несучі системи містять найбільшу кількість приєднаних викидів на початковій фазі зведення будівель комерційного призначення, вони були обрані за предмет розгляду. Приклади у розділах 5 та 6 даної книги показують, як різні варіанти конструктивних і компонувальних схем будівлі істотно впливають на її вартісні та експлуатаційні показники під час проведення економічного та екологічного оцінювань рішень.

Основними проблемами у визначенні екологічної оцінки рішень можна назвати відсутність єдиних методик оцінки, складність вартісної оцінки відшкодувань довкіллю і практичні труднощі з отриманням та перевіркою реальних значень приєднаних викидів. Розроблені у світі бази даних щодо приєднаних викидів і енергії досі не є достатньо повними щодо можливих варіацій матеріалів, виробів та здійснюваних процесів, що застосовуються у проектах. Також в них відсутні дані щодо України. Під час використання запропонованої методики екологічної оцінки рішень для обрахунку прикладів поки що застосовуються закордонні показники приєднаних викидів. Тому вказано на необхідність розробки вітчизняних баз даних екологічних параметрів. Введення екологічної сертифікації будівельної продукції, запропоноване у даній роботі, дозволить почати вести облік приведенного приєданого вуглецю, енергії та інших показників для точніших розрахунків, що дозволить приймати більш зважені рішення, а також збільшить експортний потенціал металевого прокату і конструкцій.

У даній публікації показано, що в Україні існує достатнє підґрунтя для впровадження аналізу життєвого циклу у будівельній галузі та методик визначення її впливу на довкілля. Це вимагає також відповідних змін у вітчизняних нормах і стандартах, в екологічному законодавстві тощо. Деякі описані необхідні зміни вже були внесені до законодавства і затверджені під час роботи над цією книгою, зокрема зміни до ДБН А.2.2.3. Дана книга також може використовуватися як посібник до Настанови з ресурсозбереження [6.22], яка була написана у 2020-2021 роках, зокрема завдяки представленим в книзі дослідженням. Безумовно, багато наведених даних щодо статистики викидів та нормативного регулювання вже до моменту виходу книги зміняться. Проте в ній продемонстрована насамперед методика обрахунку життєвого циклу та її частини (див. у розділі 4 та інших), що можуть бути використані для **всіх елементів будівель. Також методика застосовна до об'єктів будівельного середовища, інфраструктури, внутрішнього оснащення тощо – в принципі, до будь-яких об'єктів, де можливо виділити ресурсобіг, процеси життєвого циклу та обрахувати дані щодо одиничних викидів.** Показані розрахунки LCA та LCCA підходять не тільки до будівель приватного сектору економіки, а й до державного, де зазвичай немає прямих доходів від оренди, але є капітальні витрати на зведення і вартість утримання, які підлягають оптимізації.

Розрахунки й параметри екологічної оцінки життєвого циклу в Україні можуть стати ключовими відомостями для створення і наповнення національної бази даних, що безперечно надасть змогу накопичувати досвід і підвищувати ефективність проектування будівель з роками.

Водночас, на нашу думку, головним драйвером процесу впровадження методів оцінки життєвого циклу для додаткових критеріїв в тендерних закупівлях має виступити держава. Державні бази даних, таблиці з параметрами життєвого циклу матеріалів, зокрема щодо приєданого вуглецю, а також затвердження методик розрахунку створять однакові умови для всіх учасників ринку, в тому числі під час проведення тендерів. Включення LCA та LCCA у нормативні оцінки надасть значну допомогу проектувальникам у створенні нового покоління екологічно сталих і ощадних будівель. Також всі виробники та постачальники предмету закупівель зможуть заздалегідь розраховувати компоненти життєвого циклу як необхідні показники якості товарів і послуг, включені до тендерних вимог.

Оцінка життєвого циклу під час тендерних торгів може стати ефективним інструментом руху вітчизняної економіки, зокрема будівельної галузі, до екологічності й зменшення впливу на довкілля. Експериментальне впровадження оцінки елементів життєвого циклу може бути

здійснене спочатку для вибраних груп товарів і послуг, де вартість експлуатації та утилізації вже є відомою – як то є для деяких компонентів будівель. **Внесення елементів життєвого циклу до критеріїв вибору тендерних пропозицій насамперед на державному рівні надасть змогу регулювати екологічність проектів на початковій стадії та підвищити їхню відповідність цілям сталого розвитку.** Європейська зелена угода [6.58] пропонує законодавчі акти та вказівки щодо зелених державних закупівель, що мають на меті забезпечувати їхню екологічність.

Показано, що сучасна інформатизація процесів життєвого циклу будівель призводить до накопичення даних, що можуть бути використані в моделях оцінки ефективності проектів та прийняття рішень. Детальний аналіз компонентів життєвого циклу декількох альтернативних варіантів каркасу ще на етапі попереднього проектування дає змогу вибрати оптимальний варіант і заощадити значні ресурси. Додаткові можливості щодо екологічності дають системи електронного та інтелектуального управління підсистемами будівель. **Застосування будівельних інформаційних моделей і автоматизованих методів аналізу дозволяє зменшити вартість внесення змін до проекту. Для цього доцільним вбачається зробити обов'язковим внесення екологічної інформації у стандарти BIM та у відповідні типи ДБН щодо різних будівель.** Широке впровадження цифровізації будівельних об'єктів потребує також підготовки кваліфікованих кадрів з BIM у вищій школі та в профільних установах. Зрештою, це веде до створення для планети «цифрової екосистеми» [6.138], яка буде здатна забезпечити прозорість та аналізувати ризики в управлінні природними ресурсами. Принципово важливим для створення такої системи було б інтегрування приватних та державних ініціатив задля можливості неперервно вести моніторинг стану довкілля на планеті, використовуючи новітні цифрові технології. Приклад тому – робота Інституту світових ресурсів (World Resources Institute, WRI) [6.145]. Цей аналітичний центр працює з низкою партнерів над такими проектами, як «Глобальний моніторинг лісів» [6.105] та «Моніторинг ресурсів» [6.121], які допомагають зрозуміти, що відбувається на нашій планеті в режимі реального часу.

В книзі обґрунтовано можливість і необхідність регулювання будівельної продукції за допомогою **екологічного оподаткування** як дієвого інструменту сталого розвитку. Воно може бути диверсифікованим і гнучким відносно параметрів матеріалів і способів їх отримання та застосування. Наступним логічним кроком може стати **екологічне маркування будівельних матеріалів та продукції** з зазначенням **кількості приєднаних викидів вуглецевого еквівалента й енергії** для різних елементів життєвого циклу, які можуть бути обраховані. Це може надати споживачу більшу інформацію щодо екологічних та економічних переваг, зокрема конструкційних виробів, сприяти ствердженню екологічної свідомості та економічному зростанню. У зв'язку із цим необхідна національна база екологічних показників матеріалів та конструкцій, а також потенціалів глобального потепління.

В розрахункових прикладах нашого дослідження показано, як при новому будівництві та реконструкції обчислюється економічна і екологічна оцінка несучого каркаса комерційних будівель. **Результати аналізу свідчать про ефективність застосування сталевих конструкцій у несучих каркасах.** Виявлено, що урахування соціальної та екологічної вартості вуглецю, приєднаного до каркасів, значно впливає на повну вартість життєвого циклу будівлі в цілому. Додатково наведено перелік організаційно-технологічних і конструктивних заходів для збільшення екологічної і економічної ефективності життєвого циклу вирішень каркасів на всіх етапах.

Актуальним також є виокремлення спеціалізації незалежного консультанта або експерта з питань сталого розвитку. Кардинальні рішення, прийняті з залученням експертів зі сталого розвитку на передпроектній стадії, однозначно сприятимуть цілісній екологізації будівель протягом всього життєвого циклу. Розділ «Забезпечення ощадного використання ресурсів, принципів кругової економіки та сталого розвитку» має стати обов'язковим у проектах будівель.

Статистика, підрахована у Великій Британії та імовірно чинна для інших країн Європи, демонструє, що 32% сміття на полігонах надходить від будівництва та знесення будівель, а 13% витратних та інших матеріалів, що поставляється на будівельні майданчики, відправляється на полігон без використання у будівлі [6.97]. Зменшення витратних матеріалів, подовження строку служби будівельної техніки та інструменту, зменшення на майданчику монолітних робіт, що потребують змінної опалубки та подовження її циклу, – частина розв'язання цієї проблеми. Зменшити утворення пилу та викидів під час будівництва можливо і шляхом встановлення систем моніторингу й уловлювання забруднювальних речовин.

Стандартизація обрахунків вартості життєвого циклу прискорить інтеграцію українського будівельного ринку у світовий рух до кругових економік. Тому одним з актуальних завдань є зробити здійснення розрахунків LCA і LCCA доступним для учасників будівельного сектору. Для цього мають бути застосовані автоматизовані програми з відкритим загальним доступом, що призначені для визначення параметрів життєвого циклу, аналізу та оцінки компонентів конструкцій з точки зору їхнього впливу на довкілля. Розробка спеціально для українського ринку інструментів розрахунку параметрів життєвого циклу, які враховуватимуть локальні особливості регіонів, дозволить спростити і прискорити підготовку інформації для участі у тендерах. Інструменти та методики за умови підтримки державою дозволять створити рівні правила гри для всіх учасників ринку, а також стрімко збільшити кількість об'єктів, які можуть пройти міжнародну екологічну сертифікацію та вивести українську будівельну галузь на якісно новий рівень. За методикою, представленою у даній роботі, розроблено прототип калькулятора для обрахунку життєвого циклу нескладних регулярних каркасів будівель. У майбутньому методика екологічної та економічної оцінки життєвого циклу може бути частиною оцінки комплексного показника будівельного об'єкта. Оцінка може також включати сусідні споруди, а також міську забудову.

Як підсумок, можна виокремити **ключові ознаки цілковито вуглецево-нейтральної будівлі, яка відповідає принципам кругової економіки**. У такій будівлі:

- мінімізовано залучувані ресурси;
- на всі матеріали і складові будівлі є екологічні паспорти продукції та сценарії реутилізації, протоколи переробки, рішення і матеріали безпечні для довкілля;
- у вирішеннях оптимізовано ключові компоненти в результаті аналізу життєвого циклу на всіх етапах;
- передбачені довговічні, економічні та екологічні рішення за критеріями життєвого циклу;
- форма конструкцій передбачає мінімум площ складування, можливість компактного перевезення, та застосування стандартних пристроїв монтажу;
- процеси транспортування і зведення мінімізовані та/або екологізовані, під час виконання рішення не потребують надмірно трудомістких операцій;
- з метою мінімізації транспортних витрат матеріали мають переважно локальне походження, а місця утилізації відходів знаходяться на відносно недалекоких відстанях;
- мінімізовано залучення тимчасових елементів впродовж будівництва, або вони мають високий ступінь повторного використання на інших будовах чи включені потім у постійне використання в будівлі і не виїжджають з майданчика;
- у проекті максимально використано компоненти високої заводської готовності, передбачено модульність та уніфікацію конструкцій, сумісність і взаємозамінність рішень у разі використання за необхідності для іншого призначення;
- забезпечено адаптивність використання будівлі впродовж життєвого циклу у разі зміни її призначення, передбачені сценарії адаптації, реконструкції, мінімізовано колони у просторі тощо;
- у проекті враховано розвиток території та прилеглих ділянок, району, зберігається баланс озеленення, максимально використано існуюче озеленення та збережені екосистеми;

- передбачена доступність конструкцій, вузлів, з'єднань для огляду і обстежень в процесі експлуатації, обміри та діагностичні виміри не потребують значних демонтажів, легкість очищення і обслуговування конструкцій;
- в каркасі забезпечена одинична живучість завдяки багатов'язності, відсутності ключових уразливих місць, організації простору тощо;
- реновації, надбудови і перебудови, ремонти та переоснащення мереж, зміна призначення відносно легкі, потребують тільки стандартизованих, доступних елементів та не вимагають значних змін та демонтажів, істотних зупинок експлуатації;
- монтажні з'єднання у каркасі, фасадах тощо переважно відкриті, на болтах;
- мінімізоване монтажне зварювання;
- передбачена доступність заміни елементів в кінці життєвого циклу, є фізична можливість повторного використання елементів або цілих будівель чи каркасів в кінці експлуатації, перенесення будівлі на нове місце із мінімальними витратами;
- передбачені рішення, що забезпечують мінімізацію впливу факторів корозії – злитність перерізів, відповідність марок сталі, відповідний АКЗ;
- оптимізований вогнезахист;
- інженерні мережі, оснащення та устаткування забезпечують мінімальні витрати впродовж експлуатації та інших стадій життєвого циклу, мають високий ступінь надійності та ремонтпридатності;
- огорожувальна оболонка, рішення з опалення, сонцезахисту, вентиляції, кондиціонування тощо – сприяють економії ресурсів та ощадній експлуатації;
- інформація про використані матеріали і викиди впродовж життєвого циклу накопичується та зберігається завдяки маркуванню елементів та BIM-технологіям;
- спеціальні системи під час спорудження та експлуатації будівлі збирають інформацію про прямі та приєднані викиди у довкілля, що дає змогу робити зважені рішення і вносити коригування у системи будівлі впродовж життєвого циклу в режимі реального часу.

З системами моніторингу кожна будівля стає по суті живим експериментом, надаючи статистику, яка дозволяє коригувати вирішальні правила, виходячи з оцінок і оптимальних вирішень нових будівель. Наведені вище пункти по суті є розширеним чек-лістом відповідності проекту будівлі цілям сталого розвитку [6.16, 6.22]. Прототипи будинків, які відповідають більшості зазначених вище пунктів, уже розробляються у світі. Наприклад, будівля The Circular Building з можливістю стовідсоткової реутилізації, що розроблена бюро Arup у 2016 році. Інформація про виробництво, матеріали, наступне повторне використання чи переробку кожного елемента даної будівлі зібрана у базу даних, що відстежується за допомогою QR-кодів. Зведення зайняло всього два тижні, а сталевий каркас забезпечив також здійсненність на обмеженому місці в Лондоні (рис. 6.30).



Рис. 6.30. Будівля The Circular Building з можливістю стовідсоткової реутилізації, ВБ, 2016 рік [6.135]

Комплексні зелені будівлі наразі стають дедалі поширенішими через ефективні показники життєвого циклу, зменшені експлуатаційні витрати, більш здорове, озеленене середовище та дружність до довкілля. Прогнозують, що це знаменує нову еру у проектуванні та призведе до перегляду існуючої концепції міст в цілому [6.146, 6.57]. В ній **будівля – це сцена, місце наших історій**, а архітектори, інженери та залучені експерти виступають сценаристами життєвого циклу, взаємодій у ньому. Розгляд будівлі як **цілісної системи, вузлового елемента міста** і перетворювача потоків енергії у глобальному сенсі дозволяє в майбутньому перейти до неперервних оцінок життєвого циклу, масштабованих до рівня міської забудови, регіону, держави, зрештою планети в цілому.

Всі описані вище кроки дозволять наблизити економіку нашої держави до концепції сталого розвитку, а в ширшому розумінні – до побудови стійких спільнот замкнених циклів (рис. 6.31).

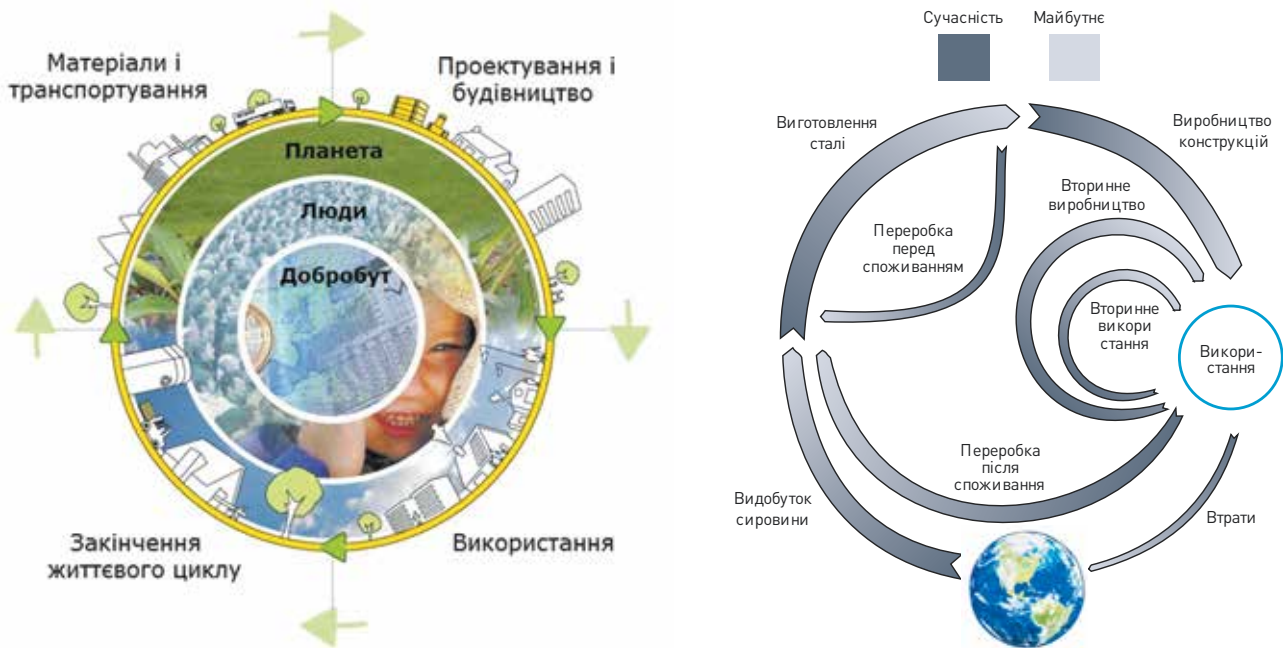


Рис. 6.31. Інтегральні рівні кругової економіки та будівельна галузь [6.134]

Сталість – це стан, який вимагає, щоб люди здійснювали свою діяльність таким чином, щоб захищати функції екосистеми Землі в цілому. Екосистема Землі включає рослини та тварин, а також людей та їхнє спільне фізичне середовище існування. Загальна мета сталості – мінімізувати негативні наслідки та максимально збільшити корисний вплив, забезпечуючи при цьому необхідну екологічну, економічну, соціальну та культурну цінність. Це потребує цілісного підходу, який об'єднує глобальні проблеми, а також цілі сталого розвитку та вимоги з точки зору функціональності, ефективності та економічності продукції. Сталий розвиток у контексті будівництва має на меті досягти необхідної продуктивності та функціональності, не зменшуючи довгострокову спроможність та стійкість природного середовища, одночасно заохочуючи покращення економічних та соціально-культурних аспектів на місцевому, регіональному та глобальному рівнях [6.18].

Запобігання глобальній екологічній кризі можливе тільки за умови об'єднання зусиль людства в екологічній перебудові суспільного матеріального виробництва з тим, щоби всі технології являли собою замкнені екологічні цикли і базувалися на природоохоронних і коеволюційних принципах. Земля – дуже чутлива система, у якій одна зміна ініціює багато інших, а наші методи моделювання і прогнозування все ще далекі від осягання складних багатфакторних процесів Природи, в які ми втручаємося. Максимальна економія всіх ресурсів має забезпечити раціональне природокористування і оптимальний розвиток екосистем. Іntenсифікація та безвідходне виробництво – це дві сторони єдиного процесу екологічного розвитку людства [6.35]. Але для нього потрібна як усвідомленість кожного, так і політична воля, індивідуальні і колективні системні рішення на рівні спільнот, держав, об'єднань.

Залишається все менше часу до точки незворотності масштабних кліматичних змін, які торкнуться кожного. За оцінками ООН, станом на 2022 рік, у нас лишилося менше ніж 8 років, щоби скоротити викиди парникових газів майже вдвічі: скласти плани, запровадити політичні заходи, реалізувати їх і, у результаті, забезпечити скорочення [6.86]. Світ повинен усвідомити неминучу небезпеку, з якою ми стикаємося як вид. Знані цивілізації минулого загинули насамперед через незбалансованість між способами господарювання і спроможностями екосистем, а також через сакралізованість технологій [6.41, 6.2]. Отже, ми маємо будувати сталу цивіліза-

цію на Землі, а технології повинні бути загальнодоступними та спрямованими на забезпечення гармонії штучного та природного середовищ. Тільки так ми можемо досягти космічного майбутнього, забезпечити сталість та круговість на інших планетах та зоряних системах.

Будь-який крок до сталого розвитку слід розглядати як частину більшого шляху до задоволення та збалансування глобальних потреб. Використання цілісного підходу до сталого розвитку передбачає, що протягом життєвого циклу будівельних робіт постійно відбувається розгляд екологічних, економічних та соціальних аспектів, пов'язаних з цією діяльністю. **Настає час відповідальної архітектури, коли екологічні критерії мають враховувати всі учасники ланцюжку життєвого циклу будівель.**

Ми – невід'ємна частина Природи, і тому покликані жити в гармонії з нею. Кращі зразки нашого проектування визнаються такими, оскільки несуть відбиток істинної першоприроди. Ми не можемо повністю копіювати Природу, тому що наші запити до функцій штучного середовища і наші наміри поки що далекі від її комплексної досконалості. Але прагнення й усвідомлений шлях до цього і є становленням людства як відповідальних творців.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 1:

- 1.1. Білик А.С. Сталь у реконструкції будівель – К.: УЦСБ, 2018 – 176с.
- 1.2. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление – М.: Наука, 1991 – 271с.
- 1.3. Гор Ал. Земля у рівновазі. Екологія і людський дух /Інститут сталого розвитку. – К.: Інтелсфера, 2001. – 404с.
- 1.4. Дані Всесвітньої організації охорони здоров'я / «More than million died due air pollution china one year», Газета «The Guardian», 27-09-2016
- 1.5. ДСТУ ISO 14040:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO 14040:2006, IDT)
- 1.6. ДСТУ ISO 14050:2016 Екологічне управління. Словник термінів (ISO 14050:2009, IDT)
- 1.7. Енергетична стратегія України до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розп. Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р
- 1.8. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 р.
- 1.9. Межі зростання. 30 років потому / Рандерс Й., Медоуз Д., Медоуз Д., Rabulum 2018 р. – 464с.
- 1.10. Огляд ринку металоконструкцій за 2020 рік, - К: УЦСБ. – 40с.
- 1.11. Регламент про управління Енергетичним Союзом /ЄС, 11.12.2018. – 74с.
- 1.12. Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації» № 111/2021
- 1.13. Розпорядження КМУ № 878-р «План заходів щодо виконання Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 р.»
- 1.14. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року – К: Мін. екології та природних ресурсів України, 2018. – 79с.
- 1.15. Урсул А.Д., Рубцов В.В., Абдуллаев А.В. и др. Освоение космоса и проблемы экологии. – Кишинев: «Штиинца», 1990. – 272с.
- 1.16. Франчук Г.М., Запорожець О.І., Архіпова Г. І. Урбоекологія і техноекоекологія: підручник – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2011. – 496с.
- 1.17. Цілі Сталого Розвитку: Україна. Національні консультації – К.:2016 – 6с.
- 1.18. Чиста планета для всіх – Європейське стратегічне довгострокове бачення процвітаючої, сучасної, конкурентоспроможної та кліматично нейтральної економіки COM (2018) 773 / «Суспільство і довкілля», 2021. – 23с.
- 1.19. Чорней Н.Б., Чорней Р.К. Теорія систем і системний аналіз: К.: МАУП, 2005. – 256с.
- 1.20. Aschwanden A., Fahnstock M., Truffer M. et al. Contribution of the Greenland Ice Sheet to sea level over the next millennium Science Advances / 2019, Vol. 5, no. 6, eaav9396 DOI: 10.1126/sciadv.aav9396
- 1.21. Bare J. Fava J. et al. AoP, Areas of Protection / The International Journal of Life Cycle Assessment 7(2):94 /Jan. 2002
- 1.22. Bras B. Current Educational Status, Interaction with Industry, and the Future of Sustainable Development, 1996/ NTVA-report 2: Industrial Ecology and Sustainable Product Design, The Norwegian Academy of Technological Science, Norway

- 1.23. Butlin J. Our common future. By World commission on environment and development. / London, Oxford University Press, 1987. – 383p.
- 1.24. ECSC Report 'LCA for steel construction'. Document RT913. July 2002. Steel Construction Institute
- 1.25. Erickson P., Tempest K. Keeping cities green: Avoiding carbon lock-in due to urban development', C40 and SEI, 2015. – 28p.
- 1.26. Gardiner & Theobald, consultant Peter Brett Associates (PBA) and contractor Mace. Height of innovation /2012. – P.25-33
- 1.27. Gary L. P. Depopulation in Some Rich Nations: Good News for Planet Earth? Yearbook of the Association of Pacific Coast Geographers Vol. 74 /2012. – P.122-140
- 1.28. Kates R., Parris T., Leiserowitz A. What is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, and Practice. – Environment: Science and Policy for Sustainable Development, № 3. – P.8-21
- 1.29. Life Cycle Design An Experimental Tool for Designers: F.Thiebat 2019. – 170p.
- 1.30. Lovelock J. The Vanishing Face of Gaia: A Final Warning: Enjoy It While You Can – Allen Lane, 2009 – 208p.
- 1.31. Paris Agreement. United Nations Treaty Collection. 8 July 2016. – 7p.
- 1.32. The European Green Deal, Brussels, 11.12.2019 COM, 2019. 640 final. – 24p.
- 1.33. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector //Global Status Report 2017 UNEP. – 48p.
- 1.34. Trabucco D., Wood A., Popa N., Vassart O., Davies D. Life Cycle Assessment of Tall Building Structural Systems. Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Chicago, 2015. – 191p.
- 1.35. Walter Z., Sillanpää M. Systems engineering as a holistic approach to life cycle designs/ John Wiley & Sons, 2019. – 528p.
- 1.36. Xu Y. et al. Global warming will happen faster than we think, Nature, 2018 /564 (7734). – P.30-32
- 1.37. 4 факти про те, як глобальне потепління позначиться на українському сільському господарстві /2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://businessviews.com.ua/ru/strategies/id/globalne-poteplinnja-i-ukrajina-1899>
- 1.38. Будівельна галузь увійшла у трійку лідерів за об'ємами вкладених інвестицій за підсумками 2018 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unn.com.ua/uk/news/1787647-budivelna-galuz-uviyshla-u-triyku-lideriv-za-obyemami-vkladenikh-investitsiy-za-pidsumkami-2018-roku>
- 1.39. Голубцов О., Біатов А. та ін. Вода близько: підвищення рівня моря в Україні внаслідок зміни клімату: Звіт – К.: Екодія, 2018. – 69 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2018/11/voda_blyzko_report_full-c.pdf
- 1.40. Дані Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами ПГ в Україні за 1990–2015 роки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://merg.gov.ua>
- 1.41. Доля строительства в ВВП / ООН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://w3.unesc.org/PXWeb/ru/Table?IndicatorCode=8#last-period-0>
- 1.42. Доповідь ООН щодо змін клімату [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/presscenter/articles/2019/UN_Climate_Action_Summit_2019.html

- 1.43. Ейл-Маззегга М.-А., Матьє К. Аналітична записка. Розробка національного плану з енергетики та клімату України: основні цілі, стратегічні питання та варіанти» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://lowcarbonukraine.com/wp-content/uploads/2019/03/PP2_03_2019_NECP_UKR.pdf
- 1.44. Екосистемні послуги. Чому зберігати природу вигідно [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uncg.org.ua/zberihaty-pryrodu>
- 1.45. Ефективність державного інвестування є особливо важливою для України, зазначає Світовий Банк [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2013/03/21/efficiency-in-public-investment-is-essential-for-ukraine-says-the-world-bank>
- 1.46. Звіт «Недостатність циркульності», 2021 /Circularity Gap Report 2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.circularity-gap.world/2021>
- 1.47. Інститут космічних досліджень ім. Годдарда в НАСА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp>
- 1.48. Кліматична криза. Природа демонструє Характер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unian.ua/longrids/climate-crisis>
- 1.49. Макрат М. Зміна клімату: 18 місяців, щоб врятувати планету [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-49102769?SThisFB&fbclid=IwAR0t27lb8L4KGOhZoObVW5DpUwSpkUDQQPNumIRbY-UULX-HRLAYPiQloWA>
- 1.50. На саміті «великої сімки» голова ООН об'явив «надзвичайну кліматичну ситуацію» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://news.un.org/ru/story/2019/08/1361831>
- 1.51. Порядок денний екологічної безпеки для України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ecoagenda2019.org.ua/?fbclid=IwAR390t956nV2cAfHlCHk8QlV0hJoTPN2HD2g4NcwxVbPb9vU_RQ3bF5iT1A
- 1.52. Резолюція Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний в області сталого розвитку на період до 2030 року» / Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- 1.53. Скільки зобов'язань має виконати Україна відповідно до Угоди про асоціацію? І коли? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://navigator.eurointegration.com.ua/tasks?type=chapter&id=environment>
- 1.54. Смертність від забруднення повітря вдвічі перевищує оцінки, – дослідження [Електронний ресурс]. –Режим доступу: https://espreso.tv/news/2019/03/12/smertnist_vid_zabrudnennya_povitrya_vdvichi_perevyschuye_ocinky_doslidzhennya
- 1.55. Угода про асоціацію між ЄС та його державами-членами, з одного боку, та Україною, з іншого боку Стаття 365 Додаток XXXI до глави 6 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://trade.ec.europa.eu/>
- 1.56. Через кліматичні зміни Україна «змістилася» на 400 кілометрів на південь [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://www.unian.ua/ecology/ecologyclimate/2185799-cherez-klimatichni-zmini-ukrajina-zmistilasya-na-400-kilometriv-na-pivden.html>
- 1.57. 2021 was one of the hottest years on record - and it could also be the coldest we'll ever see again [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://economictimes.indiatimes.com/news/international/world-news/2021-was-one-of-the-hottest-years-on-record-and-it-could-also-be-the-coldest-well-ever-see-again/articleshow/89011720.cms>

- 1.58. 65 Must-Know Construction Statistics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bigrentz.com/blog/construction-statistics>
- 1.59. A «Fit for 55» package based on Environmental Integrity and Solidarity [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agora-energie-wende.de/en/publications/a-fit-for-55-package-based-on-environmental-integrity-and-solidarity>
- 1.60. Architecture 2030 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.buildinggreen.com/feature/urgency-embodied-carbon-and-what-you-can-do-about-it>
- 1.61. Chamberlin L. The Closed-Loop or Circular Economy / Aspects of environmental research, Imperial College London 2013 <https://blogs.imperial.ac.uk/cepresearch/2013/01/31/the-closed-loop-or-circular-economy/>
- 1.62. Climate emergency declaration [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_emergency_declaration
- 1.63. Climate Migrants Might Reach One Billion by 2050 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://reliefweb.int/report/world/climate-migrants-might-reach-one-billion-2050>
- 1.64. Construction Industry Statistics to improve productivity /2021 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://blog.plangrid.com/2018/08/construction-industry-statistics-to-improve-productivity>
- 1.65. Energy intensity [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>
- 1.66. Energy Community [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.energy-community.org>
- 1.67. Environmental migration [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://simple.wikipedia.org/wiki/Environmental_migration
- 1.68. Eurostat [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=cei_srm030&plugin=1
- 1.69. Global CO2 measurement hits record high in May despite pandemic /4 June 2020 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://news.trust.org/item/20200604111705-6k2qf>
- 1.70. Global Construction 2030 / Oxford Economics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.cvf.or.kr/uploads/bestpractice/GlobalConstruction2030_ExecutiveSummary_WEB\(0\).pdf](http://www.cvf.or.kr/uploads/bestpractice/GlobalConstruction2030_ExecutiveSummary_WEB(0).pdf)
- 1.71. Global fires are up 13% from 2019's record-breaking numbers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.independent.co.uk/climate-change/news/climate-crisis-fires-global-heating-amazon-california-eu-a9690146.html>
- 1.72. Global venture capital investments hit record high [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.reuters.com/business/finance/global-venture-capital-investments-hit-record-high-2021-07-21/>
- 1.73. Global warming of 1.5°C / An IPCC Special Report – 26p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf
- 1.74. Going climate-neutral: expert-group recommendations to help energy-intensive industries contribute to the EU's 2050 target /28.11.2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_6353

- 1.75. How much CO2 reduction, how much does it cost, and what's it worth? A Detailed Primer /2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://climatediscovery.org/how-much-co2-reduction-how-much-does-it-cost-and-whats-it-worth-a-detailed-primer>
- 1.76. Mayors of 140 of World's Largest Cities Express Commitment to Paris Goals/ UNFCCC, 23 June 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://newsroom.unfccc.int/parisagreement/the-cities-of-the-world-proclaim-the-montreal-declaration>
- 1.77. Monthlyconstructsteelupdate [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://constructsteel.org/newsletter/march-2021-constructsteel-newsletter/>
- 1.78. More Ambitious Climate Plans Needed Ahead of COP27 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://unfccc.int>
- 1.79. Nature Geoscience [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/s41561-021-00699-z>
- 1.80. NASA/JPL-Caltech [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.jpl.nasa.gov>
- 1.81. Net-Zero Emissions Must Be Met by 2050 or COVID-19 Impact on Global Economies Will Pale Beside Climate Crisis, Secretary-General Tells Finance Summit /12.11.2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.un.org/press/en/2020/sgsm20411.doc.htm>
- 1.82. Open Letter to Global Leaders – A Healthy Planet for Healthy People / 26 March 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://clubofrome.org/impact-hubs/climate-emergency/open-letter-to-global-leaders-a-healthy-planet-for-healthy-people/?fbclid=IwAR0xd0PVBVMvK0upe9YoPf54dEwhiQvcCmFfwAYMr3wk5-pMo-RppeqEzWVM>
- 1.83. Quantifying the Economic Costs of Air Pollution from Fossil Fuels – 14p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2020/02/Cost-of-fossil-fuels-briefing.pdf>
- 1.84. Renewables in Cities 2021 Global Status Report/ REN21 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ren21.net/report-renewables-in-cities-2021>
- 1.85. RetroFirst /Architect's Journal. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.architectsjournal.co.uk/news/retrofirst>
- 1.86. Share of deaths from air pollution [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ourworldindata.org/grapher/share-deaths-air-pollution?time=2017>
- 1.87. Sustainable consumption and production / ООН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>
- 1.88. The Causes of Climate Change [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://climate.nasa.gov/causes/>
- 1.89. The global construction market was estimated to be around \$17140 billion as of 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-global-construction-market-was-estimated-to-be-around-17140-billion-as-of-2017-300713756.html>
- 1.90. Urgent: Zero-Carbon Buildings Needed [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.buildinggreen.com/newsbrief/urgent-zero-carbon-buildings-needed>

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 2:

- 2.1. ДБН А.2.2-1:2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд» з урахуванням Зміни №1 від 1 липня 2010 року
- 2.2. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво
- 2.3. ДБН В.1.2-5:2007. СНББ. Науково-технічний супровід
- 2.4. ДБН В.1.2-11:2008. Основні вимоги до будівель і споруд. Економія енергії
- 2.5. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд
- 2.6. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель
- 2.7. ДСТУ Б А.2.2-8:2010. Проектування. Розділ Енергоефективність,
- 2.8. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична Ефективність Будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні
- 2.9. ДСТУ Б EN 15459:2014. Енергетична ефективність будівель. Процедура економічної оцінки енергетичних систем будівель
- 2.10. Директива 85/337/ЄЕС. Про оцінку впливу окремих державних і приватних проектів на навколишнє середовище. Зі змінами та доповненнями, внесеними Директивами 97/11/ЄС, 2003/35/ЄС та 2009/31/ЄС
- 2.11. Директива Ради Європи 89/106/ЄЕС, що передбачає застосування адаптованої до законодавства України версії Регламенту (ЄС) № 305/2011 в якості Закону України
- 2.12. ДСТУ XXX:202_ Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд / К.: ДП «УкрНДНЦ». – 94с.
- 2.13. ДСТУ ISO 14025:2008. Екологічні маркування та декларації. Екологічні декларації типу III. Принципи та процедури (ISO 14025:2006, IDT)
- 2.14. ДСТУ ISO 14040:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO 14040:2006, IDT)
- 2.15. ДСТУ ISO 14044:2013. Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Вимоги та настанови (ISO 14044:2006, IDT)
- 2.16. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8.11.2017 № 820-р. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року
- 2.17. BS ISO 15686-5. Buildings and constructed assets Service-life planning Part 5: Life-cycle costing – 56p.
- 2.18. ECSC Report 'LCA for steel construction'. Document RT913. July 2002. Steel Construction Institute
- 2.19. EN 15643-1:2010. Sustainability of construction works. Part 1. General framework (Сталий розвиток в будівництві. Частина 1. Загальні положення)
- 2.20. EN 15643-2:2011. Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance (Сталий розвиток в будівництві. Оцінка сталого розвитку будівельних об'єктів. Частина 2. Принципи оцінки екологічних показників)

- 2.21. EN 15643-3:2012. Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 3: Framework for the assessment of social performance (Сталий розвиток в будівництві. Оцінка сталого розвитку будівельних об'єктів. Частина 3. Принципи оцінки соціальних показників)
- 2.22. EN 15643-4:2012. Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 4: Framework for the assessment of economic performance (Сталий розвиток в будівництві. Оцінка сталого розвитку будівельних об'єктів. Частина 4. Принципи оцінки економічних показників)
- 2.23. EN 15804+A2. Sustainability of construction works -Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products
- 2.24. EN 15978:2011. Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method
- 2.25. ISO 15392:2019. Sustainability in buildings and civil engineering works – General principles (Сталий розвиток будівель та будівельних робіт - Загальні принципи)
- 2.26. ISO/TS 21929-2:2015. Sustainability in building construction – Sustainability indicators – Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering works (Сталість у будівництві будинків – Показники сталості – Частина 2: Основні положення для розробки показників для будівельних робіт)
- 2.27. ISO 21930:2017. Provides the principles, specifications and requirements to develop an environmental product declaration (EPD) of construction products and services
- 2.28. ISO 21931-1:2010. Sustainability in building construction – Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works – Part 1: Buildings (Сталий розвиток у будівництві. Структура методів оцінки екологічної характеристики будівельних робіт. Частина 1. Будівлі)
- 2.29. Методика визначення енергетичної ефективності будівель. Прийнята 11.07.2018 / Із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства розвитку громад та територій № 261 від 27.10.2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/z0822-18#n14>
- 2.30. Методика розрахунку питомих викидів двоокису вуглецю при виробництві електричної енергії на теплових електростанціях та при її споживанні, затверджена Національним Агентством Екологічних Інвестицій України від 21.03.2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0039825-11#Text>
- 2.31. Мировой отчет по зеленому строительству [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/d-ru/dv/d-ru_20110502_06_/d-ru_20110502_06_en.pdf
- 2.32. Постанова КМУ від 03 березня 2021 р. № 179 Національна економічна стратегія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-natsionalnoyi-eko-a179>
- 2.33. Розпорядження «Про імплементацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони». №847-р. Кабінет Міністрів України. 17.09.2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/847-2014-%D1%80>

- 2.34. Середньостроковий план діяльності Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України на 2020-2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua>
- 2.35. Україна 2050: кліматично нейтральна чи вугільно оптимальна? Чому бездіяльність обійдеться Україні дорожче, ніж кліматична нейтральність / А.Акерманн [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/03/10/671766>
- 2.36. Award: Tally, an App for Assessing Environmental Impact [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.architectmagazine.com/awards/r-d-awards/award-tally-an-app-for-assessing-environmental-impact_o
- 2.37. BIM-driven Approach Enhances ROI on Midfield Terminal at Abu Dhabi Airport [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://informedinfrastructure.com/12971/bim-driven-approach-enhances-roi-onmidfield-terminal-at-abu-dhabi-airport>
- 2.38. Building life-cycle impact reduction / LEED BD+C: Health care v4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.usgbc.org/credits/healthcare/v4-draft/mrc1>
- 2.39. European Patent Office in Rijswijk /Overview [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.skyscrapercenter.com/building/european-patent-office/19500>
- 2.40. Guide to Sustainable Building Certifications / Realdania and The Dreyer Foundation. – 156p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sbi.dk/Assets/Guide-to-sustainable-building-certifications/Guide-to-sustainable-building-certifications-August-2018-e-bog.pdf>
- 2.41. One Click LCA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/database>

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 3:

- 3.1. Адріанов В. Перспективи BIM – Виступ на Архітектурному клубі УЦСБ / 04.12.2019
- 3.2. Аналітичний звіт. Огляд ринку металоконструкцій – К.: УЦСБ, 2019. – 42с.
- 3.3. Білик А., Беляєв М. BIM – моделювання. Огляд можливостей та перспективи в Україні
Промислове будівництво та інженерні споруди №2/2015. – С.9-16
- 3.4. Билык А., Лоусон М. Стальные конструкции в архитектуре – К.: УЦСБ, «НПП Інтерсервіс», 2014. -135с.
- 3.5. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво
- 3.6. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва
- 3.7. ДСТУ ISO 19650-1. Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання.
- 3.8. ДСТУ XXXXX:202X. Правила виконання проектної документації металевих будівельних конструкцій
- 3.9. Енгель Х. Несучі системи: монографія /пер.с нем. Л.Андреєвої. – М.: АСТ: Астрель, 2007. – 344с.
- 3.10. Методика проведення державної експертизи інвестиційних проектів / Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України 13.03.2013 № 243

- 3.11. Нерухоме майно (нерухомість) //Словник фінансово-правових термінів / за заг. ред. д. ю.н., проф. Л. К. Воронової. – 2-е вид., переробл. і доповн. – К.: Алерта, 2011 – 558с.
- 3.12. Поддубний А. Нормотворення у галузі BIM – Виступ на Архітектурному клубі УЦСБ / 04.12.2019
- 3.13. Федорович В.А., Патрон А.П., Заварухин В.П. США: Федеральная контрактная система: механизм регулирования государственного хозяйствования – М.: Наука, 2010. – 1055с.
- 3.14. Фрідріх М. Використання чотиривимірної інформаційної моделі будівлі для ідентифікації часово просторових загроз безпеки в будівництві // «Geodesy, Architecture & Construction 2011» (GAC-2011), 24-26 November 2011, Lviv, Ukraine – С.78-79
- 3.15. Чорней Н.Б., Чорней Р.К. Теорія систем і системний аналіз: навч. посібник – К.: МАУП, 2005. – 256с.
- 3.16. Шлепаков Л.Н. Системы с базами данных по решению задач распознавания и классификации информационных сообщений // Интеллектуализация сист. обраб. инф. сообщ. – К.: НАНУ, Ин-т матем., 1995. – С.11-38
- 3.17. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages // Automation in Construction Volume 18, Issue 2, March 2009. – P.153-163
- 3.18. Eastman C., Fisher A. et al. An Outline of the Building Description System. Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University. The use of computers instead of drawings in building design. Journal of the American Institute of Architecture. 1975, March Issue. – P.46-50
- 3.19. Khajehpour S., Grierson D.E. Profitability versus safety of high-rise office buildings // Struct Multidisc Optim 25, 2003. – P.279-293
- 3.20. Khan A., Ali M., Moon K. (1980, 2007), СТБУН « Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects,» Architectural Science Review, Volume 50.3. – P.205-223
- 3.21. Trabucco D., Wood A., Popa N., Vassart O., Davies D. Life Cycle Assessment of Tall Building Structural Systems. Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Chicago, 2015. – 190p.
- 3.22. Van Nederveen G.A., Tolman F.P. (1992). Modelling multiple views on buildings. Automation in Construction 1 (3): 215-24. doi:10.1016/0926-5805(92)90014-B
- 3.23. Violette E. «Building Life Cycle» Balancing the Equation of Total Ownership Cost/ With our Clients AIAT Green Day Workshop 2015 – 32p.
- 3.24. Бью М., Ричардс М. BIM Task Group [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://digital-built-britain.com>
- 3.25. Вакантность столичных бизнес-центров достигла десятилетнего минимума/ «НВ», квіт.2019. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://biz.nv.ua/consmarket/negde-razvernutsya-vakantnost-stolichnyh-biznes-centrov-dostigla-desyatiletneho-minimuma-50015024.html>
- 3.26. Гармонізація системи державних закупівель в Україні зі стандартами ЄС. Збірник директив ЄС з питань державних закупівель. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dn.gov.ua/storage/app/sites/1/zakupivli/dodatok-31dyrektyvy-yes-po-zakupivlyah-1.pdf>
- 3.27. Граждан О. Шлях самурая: чи зруйнує ДІАМ корупцію ДАБІ у містобудуванні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ucap.io/shlyah-samuraya-chy-zrujnuye-diam-korupcziyu-dabi-u-mistobuduvanni>

- 3.28. Закон України «Про публічні закупівлі» № 922 від 25 грудня 2015 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19>
- 3.29. Колесніченко О. Як криза позначилася на торговельній та комерційній нерухомості і яким буде майбутнє офісних працівників [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2020/10/15/666251>
- 3.30. Король М. Британцы сообщили миру, что такое BIM уровня 3: это – Digital Built Britain [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17570
- 3.31. Матеріали АРСС [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.steel-development.ru>
- 3.32. Настанови з питань публічних закупівель // Підготовлено проектом ЄС «Гармонізація системи державних закупівель в Україні зі стандартами ЄС» – 74с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://eupublicprocurement.org.ua/wp-content/uploads/2017/10/Guidelines_UKR_interactive_pages.pdf
- 3.33. Нацбанк дав прогноз по ринку нерухомості України /2020 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://100realty.ua/uk/articles/nacbank-dav-prognoz-po-rinku-neruhomosti-ukraini-novobudovi-rizikovani-dla-investoriv>
- 3.34. Пількевич А. Гойдалки пандемії: які тенденції намітилися на ринку нерухомості [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mind.ua/openmind/20226903-gojdalki-pandemiyi-yaki-tendenciyi-namitilisya-na-rinku-neruhomosti>
- 3.35. Правила проведення тендеру в Україні. Українська універсальна біржа [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tender.uub.com.ua/pro-prozorro/pravila-provedennya-tendera-v-ukraini-scho-potribno-znaty>
- 3.36. Україна офіційно приєдналася до Угоди СОТ про державні закупівлі /2016 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/249038943>
- 3.37. Azhar S., Brown J., Faroouqi R. BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ascpro.ascweb.org/chair/paper/CPRT125002009.pdf>
- 3.38. Bew M., Richards M. (2008). BIM Maturity Diagram Model: BuildingSmart, Construction Product Information Committee (CPIC) /BIM4M2 Task Group (2014) Bim for Manufacturers and Manufacturing [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.bim4m2.co.uk>
- 3.39. BIM / Wikipedia [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling
- 3.40. Chung-Suk C., Don C., Sungkwon W. Building Information Modeling (BIM)-Based Design Of Energy Efficient Buildings// [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/S31-1.pdf>
- 3.41. Cold-Formed Steel Framing to Be Used in Over 25,000 Pre-Fabricated Multi-Family Homes To Reduce Carbon Footprint [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.buildsteel.org/projects/multi-family-residential/cold-formed-steel-framing-to-be-used-in-over-25000-pre-fabricated-multi-family-homes-to-reduce-carbon-footprint>
- 3.42. Iron & steel sector of Ukraine: investments in the future [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/wp-content/uploads/2021/12/2021_GMK-Invest-Eng.pdf
- 3.43. Global Construction Report 2025 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Global_Construction_2025
- 3.44. Life-cycle costing [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm>

- 3.45. Sustainable public procurement [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.green-economies-eap.org/topics/sustainablepublicprocurement/>
- 3.46. SWOT Analysis: Discover New Opportunities, Manage and Eliminate Threats» 2016. Retrieved 24 February 2018 [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.mindtools.com
- 3.47. The Surest Way Is Steel / Report [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.steelconstruction.info
- 3.48. What is BIM? Part 2 – Building Information Modelling and BIM Maturity Levels [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.architect-bim.com/what-is-bim-part-2-building-information-modelling-and-bim-maturity-levels/#.VUNnjPntmkp>
- 3.49. WorldSteel Association «Life Cycle Assessment methodology report», Brussels, Belgium 2017 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Life-cycle-inventory-methodology-report.pdf>

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 4:

- 4.1. Білик А.С. Визначення оптимальних конструктивних рішень ферм у експертній системі одностадійного оптимального проектування / Зб. наук. пр. УкрНДІПСК ім. В. М. Шимановського, 2009. – Вип. 4. – С.119-132
- 4.2. Білик А.С., Пікуль А.В. Вибір оптимального вирішення сталевих конструкцій за критерієм вартості життєвого циклу в умовах реконструкції/ Зб. мат. конф. «II Międzynarodowa Polsko-Ukraińska Konferencja Naukowo-Techniczna APKM 2014». – С.65-68
- 4.3. Билык А., Бурган Б. Сравнительный анализ стоимости многоэтажных коммерческих зданий. – К.: УЦСБ, 2014. – 77с.
- 4.4. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво
- 4.5. ДСТУ Б Д.2.2-6:2016. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Бетонні та залізобетонні конструкції монолітні (Збір. №6)
- 4.6. ДСТУ ISO 15686-1:2020 (ISO 15686-1:2011, IDT). Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 1. Основні принципи та методологія
- 4.7. ДСТУ ISO 15686-2:2020. Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 2. Методи прогнозування терміну служби
- 4.8. ДСТУ ISO 15686-3:2020. Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 3. Аудит і перевіряння експлуатаційних показників
- 4.9. ДСТУ ISO 15686-4:2020. Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 4. Планування терміну служби з використанням будівельного інформаційного моделювання
- 4.10. ДСТУ ISO 15686-5:20XX. Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування строку експлуатації. Частина 5. Оцінювання вартості життєвого циклу (ISO 15686-5:2017, IDT)
- 4.11. ДСТУ ISO 15686-7:2020. Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 7. Оцінювання характеристик для зворотного зв'язку стосовно даних про термін служби, отриманих на практиці
- 4.12. ДСТУ ISO 15686-8:2020. Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 8. Нормативний термін служби та обчислення терміну служби
- 4.13. ДСТУ ISO/TS 15686-9:2020. Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 9. Настанова з оцінювання даних про термін служби (ISO/TS 15686-9:2008, IDT)

- 4.14. ДСТУ ISO 15686-10:2020. Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 10. Періодичність оцінювання функціональних характеристик
- 4.15. ДСТУ ISO 14025. Екологічні маркування та декларації. Екологічні декларації типу III. Принципи та процедури (ISO 14025:2006, IDT)
- 4.16. ДСТУ ISO 14040. Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO 14040:2006, IDT)
- 4.17. ДСТУ XXX:202_ Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд / К.: ДП «УкрНДНЦ». – 94с.
- 4.18. ATHENA Sustainable Materials Institute, 2002, Cradle-to-gate Life Cycle Inventory: Canadian and US Steel Production by Mill Type, Ottawa: s.n
- 4.19. Bilyk A. Kurashev R., Burgan B., Khmel'nitska A. First Ukrainian cost study experience of commercial multistory buildings with concrete and steel frame / Design, Fabrication and Economy of Metal Structures. International Conference Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, Apr.24-26. Jarmai K., Farkas J. (eds) Springer. – P.511-517
- 4.20. Bowyer Dr.J., Fernholz K., Bratkovich Dr.St. et al / Life Cycle Cost Analysis Of Non-Residential Buildings Dovetail Partners 2013. – 22p.
- 4.21. BS-8544-2013. Guide for life cycle costing of maintenance during the in use phases of buildings. – 104p.
- 4.22. Chapman R.E., Huang, A.L., Thomas D.S. A Life-Cycle Cost Comparison of Exit Stairs and Occupant Evacuation Elevators in Tall Buildings//Atlas Specialty Metals Vol.48. – P.155-172
- 4.23. Dhillon B. Life Cycle Costing: Techniques, Models and Applications , 1989/ DOI:10.4324/9780203823682 Corpus ID: 107426518
- 4.24. E 917-02. An American National Standard: «Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems»
- 4.25. EN 15804+A1. Sustainability of construction works -Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products
- 4.26. EN 15978:2011. Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method
- 4.27. EN 15643-1:2010. Sustainability of construction works. Part 1. General framework (Сталий розвиток в будівництві. Частина 1. Загальні положення)
- 4.28. EN 15643-2:2011. Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance (Сталий розвиток в будівництві. Оцінка сталого розвитку будівельних об'єктів. Частина 2. Принципи оцінки екологічних показників)
- 4.29. EN 15643-3:2012. Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 3: Framework for the assessment of social performance (Сталий розвиток в будівництві. Оцінка сталого розвитку будівельних об'єктів. Частина 3. Принципи оцінки соціальних показників)
- 4.30. EN 15643-4:2012. Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 4: Framework for the assessment of economic performance (Сталий розвиток в будівництві. Оцінка сталого розвитку будівельних об'єктів. Частина 4. Принципи оцінки економічних показників)

- 4.31. EN 15643. Sustainability of construction works. Sustainability assessment of buildings and civil engineering works Part 5: Framework on specific principles and requirement for civil engineering works (Сталий розвиток в будівництві. Оцінка сталого розвитку будівельних об'єктів. Частина 4. Основні принципи та вимоги до будівельних робіт)
- 4.32. Fay R., Treloar G.J., Iyer-Raniga U. 2010 Life-cycle energy analysis of buildings: A case study / Building Research and Information 28(1) DOI:10.1080/096132100369073
- 4.33. Flanagan R., Norman G., Meadows J., Robinson G. Life Cycle Costing: Theory and Practice / 1989. Oxford: BSP Professional Books
- 4.34. Hammond G.P., Jones C.I. Embodied energy and carbon in construction materials , Dep. of Mechan. Engineering, Univ. of Bath, UK, ICE Publishing, 2008. 10.1680/ener.2008.161.2.87
- 4.35. Hicks S.J., Lawson R.M., Rackham J.W., Fordham P. Comparative Structure Cost of Modern Commercial Buildings (Sec.Ed.) / SCI P137, 2004. – 85p.
- 4.36. Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources, Blackwell Publishing, Oxford, UK, 2008. 10.1002/9780470696224. – 224p.
- 4.37. Hong T., Jang M., Ji C. Hybrid LCA model for assessing the embodied environmental impacts of buildings in South Korea, 2014 / Environmental Impact Assessment Review 50:143–155 DOI:10.1016/j.eiar.2014.09.010
- 4.38. Kibert C.J. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery, 4th Edition, ISBN: 978-1-119-05517-4, 2016 – 608 p.
- 4.39. Kishk M., Al-Hajj A., Pollock R., Aouad G., Bakis N., Sun M. Whole Life Costing in Construction: A State of the Art Review/ 2003, RICS Foundation, London
- 4.40. Khajehpour S., Grierson D.E. Profitability versus safety of high-rise office buildings / Struct Multidisc Optim 25, 2003. – P.279-293
- 4.41. Leontief W. The Structure of American Economy /Cambridge, Mass.: Harvard University Press. 1941. – 181p.
- 4.42. LCCA Procedures Manual State of California Department of Transportation Pavement Standards Team & Division of Design, 2013. – 158p.
- 4.43. Martinez-Alier J. Ecological Economics: Energy Environment and Society. Oxford: Basil Blackwell/1990. ISBN 978-0631171461. – 286p.
- 4.44. Oldfield P. Embodied Carbon and High-Rise /CTBUH Technical Paper, Conference Proceeding, CTBUH 9th World Congress, Shanghai, 2012
- 4.45. Park H.S., Kwon B., Shin Y. et al. Cost and CO2 Emission Optimization of Steel Reinforced Concrete Columns in High-Rise Buildings /Energies 2013, v.6, doi:10.3390/en6115609. – P.5609-5624
- 4.46. Running S.W. A measurable planetary boundary for the Biosphere // Science, 2012/V. 337. – P.1458-1459
- 4.47. Schade J. Life cycle cost calculation models for buildings Department of Civil, Mining and Environmental Engineering Luleå University of Technology, Luleå, Sweden – INPRO, 2007, v.9. – P.8
- 4.48. Towards a common European methodology for Life Cycle Costing (LCC) – Literature Review May 2007 Final Review Davis Langdon Management Consulting. – 133p.
- 4.49. Trabucco D., Wood A., Popa N., Vassart O., Davies D. Life Cycle Assessment of Tall Building Structural Systems. Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Chicago, 2015. – 190p.

- 4.50. Treloar G.J., Love P.E.D., Faniran O.O., Iyer-Raniga U. A hybrid life cycle assessment method for construction, *Construction Management & Economics*, 18:1, 2000. DOI: 10.1080/014461900370898 – P.5-9
- 4.51. Закон «Про відходи» зі змінами Документ 187/98-ВР Редакція від 16.10.2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80#Text>
- 4.52. Основи інженерії та технології сталого розвитку. Оцінювання життєвого циклу продукційних систем, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 47с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/37717/1/oitsr-lca.pdf>
- 4.53. American Society for Testing Materials [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.astm.org>
- 4.54. Atkins Carbon Critical Master Planning Tool / Methodology to calculate embodied carbon of materials 1st edition, information paper IP32/2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.igbc.ie/wp-content/uploads/2015/02/RICS-Methodology_embodied_carbon_materials_final-1st-edition.pdf
- 4.55. Block M., Schouten N., Dasnois M. On the journey to a circular economy, don't forget your materials passport [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.metabolic.nl/news/circular-economy-materials-passports/?utm_source=facebook&utm_medium=referral&utm_campaign=materialspassport
- 4.56. Circular construction: new income models for construction industry /2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.abnamro.com/en/news/circular-construction-new-income-models-for-construction-industry>
- 4.57. Climate Change – Fourth Assessment Report /IPCC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4>
- 4.58. Directive 5000.1, «The Defense Acquisition System /DoD USA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.acq.osd.mil/drap/Docs/dodd5000-1-chg-1-010401.pdf>
- 4.59. EcoInvent, 2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ecoinvent.org>
- 4.60. Embodied carbon of structures. Methodology&Database [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.carbondeqo.com>
- 4.61. LIPASTO unit emissions database [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/indexe.htm>
- 4.62. Moles P., Terry N. The handbook of International Financial Terms, Oxford University Press, 1997. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.oxfordreference.com/views/ENTRY.html?subview=Main&entry=t181.e4104>
- 4.63. Plattform ÖKOBAUDAT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://oekobaudat.de>
- 4.64. SERT / Sustainable Energy Research Team [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bath.ac.uk/teams/sustainable-energy-research-team>
- 4.65. Smullen J., Hand, N. (2005) A Dictionary of Finance and Banking, Oxford University Press [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.oxfordreference.com/views/ENTRY.html?subview=Main&entry=t20e2493>
- 4.66. Water footprint and virtual water. The Water Footprint Network. Retrieved 9.04.2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.waterfootprint.org

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 5:

- 5.1. Білик А.С. Вибір оптимальних конструктивних рішень сталевих ферм покриттів - Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук – К., КНУБА. – 220с.
- 5.2. Білик А.С. Дискретна оптимізація топології та експертне моделювання маси стрижневих конструкцій //Тези доп. наук. конф. мол. вч., асп. і студ. КНУБА 17-19.10.2006р. – К.: КНУБА. – 172с. – С.22
- 5.3. Білик А.С., Шупик А.В., Худайберенов А.А. Інструменти аналізу вартості життєвого циклу при відновленні будівель після пожежі на прикладі Будинку спілок у м. Києві // Промислове будівництво та інженерні споруди, 2020, № 1. – С. 12-21
- 5.4. Білик А.С. Оптимальний вибір конструкцій з дискретно змінною схемою навантаження // Зб.наук. пр. Укр.Інст.стал. констр. ім. В.М. Шимановського. – Вип. 14, 2014. – С. 70-78
- 5.5. Калафат К., Вахитова Л. Аналитический обзор средств огнезащиты стальных конструкций 2019-2020 – К.: УЦСБ, 2019. – 202с.
- 5.6. Калафат К.В., Білик А.С., Біляєв М.А., Ковалевська Е.А. Розрахунок сталевих конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 3. Практичний посібник до ДСТУ-Н EN 1993-1-2:2010 – К.: УЦСБ, 2017. – 81с.
- 5.7. ТУ У 01412851.001-95. Двутавры сварные. Сортамент
- 5.8. Bilyk A., Kurashev R., Burgan B., Khmelniiska A. First Ukrainian cost study experience of commercial multistory buildings with concrete and steel frame // Design, Fabrication and Economy of Metal Structures/International Conference Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, Apr.24-26. Jarmai K., Farkas J. (eds) Springer – P.511-517
- 5.9. Haapio J., Jokinen T., Heinisuo M., Laasonen M. Feature-Based Cost and CO2 Equivalent Optimization of Semi-Rigid Steel Frames // Design, Fabrication and Economy of Metal Structures/International Conference Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, Apr.24-26. Jarmai K., Farkas J. (eds) Springer – P.11-17
- 5.10. Khajehpour S., Grierson D.E. Profitability versus safety of high-rise office buildings // Struct Multidisc Optim 25, 2003. – P.279-293
- 5.11. Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures/ Case studies, June 2014 – 41 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://sustainable-steel.eu/downloads/uk/LVS3_CaseStudies_v04.pdf
- 5.12. Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures BACKGROUND DOCUMENT on LCA February 2014– 119 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sustainable-steel.eu/downloads/uk/Background%20document.pdf>
- 5.13. Trabucco D., Wood A., Popa N., Vassart O., Davies D. Life Cycle Assessment of Tall Building Structural Systems. Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Chicago, 2015. – 190р.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 6:

- 6.1. Авраменко Н.Л., Бабиц А. С., Олійник Л. В. Екологічні податки і парниковий ефект: точки дотику // Екологічні виклики і сталий розвиток: економічні, правові та екологічні аспекти: Зб.матер.міжн.наук.-практ.конф. за заг. Ред..В.В. Назарова, М.О. Дей. – Київ: ТОВ «Форматт», 2016. – С.13-19.
- 6.2. Аномальні явища: методологія і практика досліджень: зб. наук. праць / під заг. ред. А.С. Білика. – К.: Знання, 2020 – 206с.

- 6.3. Білик А.С. Вибір оптимальних конструктивних рішень сталевих ферм покриттів / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук – К.: КНУБА – 220с.
- 6.4. Білик А.С. Сталь у реконструкції будівель – К.:УЦСБ, 2018 – 176с.
- 6.5. Білик А.С. «Як знизити вартість сталевих проекту?» Доповідь на національній конференції учасників сталевих будівництва – К.: 2017
- 6.6. Білик А.С., Курашев Р.В., Горбатенко В.В., Коваленко Г.Н. Применение термомеханически упрочненного листового проката в сварных металлических конструкциях / Промислове будівництво та інженерні споруди №4/2013. – С.2-5
- 6.7. Білик А.С., Терновий М.І., Хмельницький С.В. Алгоритмічна оптимізація каркасів багатоповерхових будівель за критерієм металоємності / Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського / під ред. О.В. Шимановського.-Київ : Вид-во «Сталь»,2015.-№Вип. 15. – С.103-111
- 6.8. Білик А., Дауров М. Забезпечення живучості сталевих каркасів висотних будівель при пожежі / Містобудування та територіальне планування науково-техн. збірник №66/ 2018 – К. КНУБА , відп. ред. М.М. Осетрін (695 с.). – С.134-141
- 6.9. Білик А.С., Коваленко А. І. Сучасні методи моделювання прогресуючого руйнування будівель і споруд / Строительство. Материаловедение. Машиностроение : сб. научн. тр.- Днепропетровск. 87/2016 – С.35-41
- 6.10. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация: М.: Книжный дом «Либроком», 2010. – 272с.
- 6.11. Веклич О.О. Оцінювання фіскального потенціалу податку на двоокис вуглецю при змінній базі та ставці оподаткування / О.О. Веклич, О.П. Маслюківська // Фінанси України. – 2008. – №6. – С.63-69
- 6.12. Вплив механізму вуглецевого кори-гування імпорту (СВАМ) на торгівлю України з ЄС. Аналітичний документ. – Хабатюк О., Андрусевич А. – Ресурсно-аналітичний центр «Суспільство і довкілля» (2021)». – 53с.
- 6.13. ДБН В.1.1-7. Пожежна безпека об'єктів будівництва
- 6.14. Джигирей І., Журавчак Р., Марченко А., Минько О. Мислення життєвого циклу в контексті розбудовування «зеленої» економіки та сталого розвитку держави / Матеріали конференції V Всеукраїнського з'їзду екологів, 23-26 вересня 2015 р. – ВНТУ, 2015. – 261с.
- 6.15. ДСТУ-Н Б В.2.6-211. Проектування сталевих конструкцій Розрахунок конструкцій на вогнестійкість
- 6.16. ДСТУ ISO 14004-2016. Системи екологічного управління. Загальні настанови щодо запровадження
- 6.17. ДСТУ ISO 14025:2008 Екологічні маркування та декларації. Екологічні декларації типу III. Принципи та процедури (ISO 14025:2006, IDT)
- 6.18. ДСТУ ISO 15392:202 (ISO 15392:2019, IDT) Сталість в будівлях та будівельних роботах. Загальні принципи
- 6.19. ДСТУ ISO 15686-1:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 1
- 6.20. ДСТУ ISO 15686-5:2020 Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 5. Оцінювання вартості життєвого циклу (ISO 15686-5:2017, IDT)

- 6.21. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі
- 6.22. ДСТУ XXX:202_ Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд / К.: ДП «УкрНДНЦ» – 94с.
- 6.23. Екосистемні послуги. Огляд / О. Василюк, Л. Ільмінська «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України», 2020, – 84с.
- 6.24. Маслюківська О.П. Використання податку на викиди діоксиду вуглецю як інструмент енергозбереження в Україні // Економіка природокористування та охорони довкілля / Зб. наук праць РВПС України НАН України. – К.: РВПС України НАН України, 2007. – С.174-180
- 6.25. Маслюківська О.П. Фінансування заходів по енергозбереженню від надходжень від податку на двоокис вуглецю // Вісник Львівського ун-ту, 2009. – Серія економічна. Вип. 41. – С.391-397
- 6.26. Матеріали Міжнародного Форуму «Декарбонізація сталевих індустрій: виклик для України», К.: 14.07.2021
- 6.27. Межі зростання. 30 років потому / Рандерс Й., Медоуз Д., Медоуз Д., Rabulum 2018 р. – 464с.
- 6.28. Металургійна кухня / Ю.Риженков, В.Горбатенко, А.Білик та ін. - К.: Метнівест 2019 – 120с.
- 6.29. Парк, М. «Виклик застаріванню», 2010. In Cooper T (ed) Longer Lasting Products: Alternatives to the Throwaway Society. Гауер, Фарнхем, ВБ
- 6.30. Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики - М.: Едиториал УРСС, 2003. – 339с.
- 6.31. Податковий кодекс України / Стаття 243 Розділу VIII
- 6.32. Регламент (ЄС) № 305/2011 Європейського парламенту та Ради від 09.03.2011 року
- 6.33. Рифкин Дж. Третья промышленная революция. Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир, М.: Альпина нон-фикшн, 2014 – 410с.
- 6.34. Розрахунок сталевих конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 3. Практичний посібник до ДСТУ-Н EN 1993-1-2:2010 / К.В. Калафат М.А. Біляєв Ковалевська Е. А., К.УЦСБ, 2017. – 81с.
- 6.35. Урсул А.Д., Рубцов В.В., Абдуллаев А.В. и др. Освоение космоса и проблемы экологии. Кишинев: «Штиинца», 1990 – 272с.
- 6.36. Anthoff D.; Emmerling J. Inequality and the Social Cost of Carbon/ Journal of the Association of Environmental and Resource Economists. 2019, №6 (2): – P.243-273
- 6.37. Boulding Kenneth E. «The Economics of the Coming Spaceship Earth» // H. Jarrett (ed.) 1966. Environmental Quality in a Growing Economy, Baltimore, MD: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press – P.3-14.
- 6.38. Eilperin J.; Dennis B. Biden is hiking the cost of carbon. It will change how the U.S. tackles global warming. The Washington Post. Retrieved 2021-02-26.
- 6.39. Hammond G., Jones C.: Inventory of carbon energy (ICE). Version 1.6a. Sustainable Energy Research Team (SERT). Department of Mechanical Engineering. University of Bath, UK
- 6.40. Towards competitive and clean European steel. SWD(2021) 53 final. Brussels, 5.5.2021

- 6.41. Collapse: How Societies Choose to Fail or Survive / Diamond J., Penguin Books, 2005
- 6.42. Coninck de H.; Revi A. et al. (2018). «Chapter 4: Strengthening and Implementing the Global Response» (PDF). IPCC SR15 2018. – P.313-443
- 6.43. EN 15643:2021. Sustainability of construction works - Framework for assessment of buildings and civil engineering works
- 6.44. Gaspar P.L. & de Brito J. Assessment of the overall degradation level of an element, based on field data, TT8-68, Conference Paper /April 2005 DOI: 10.13140/RG.2.1.2685.2563
- 6.45. Geissdoerfer M; Savaget P et al. «The Circular Economy – A new sustainability paradigm?». (2017-02-01). Journal of Cleaner Production. №143, – P.757-768
- 6.46. ISO 20887 «Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance»
- 6.47. Kikstra J.S.; Waidelich P.; Rising J. et al. (2021-09-06). «The social cost of carbon dioxide under climate-economy feedbacks and temperature variability». Environmental Research Letters. 16 (9): 094037
- 6.48. Kotlikoff L., Kubler F. et al. Making carbon taxation a generational Win-Win /IER, Volume62, Issue1, 2021 – P.3-46
- 6.49. Low carbon roadmap. Pathways to a co2-neutral european steel industry. The European Steel Association, 2019
- 6.50. Medarac H., Moya J.A., Somers J. Production costs from iron and steel industry in the EU and third countries. JRC, 2020
- 6.51. Partnership for Market Readiness, Carbon Leakage: Theory, Evidence, and Policy, PMR Technical Note 11. World Bank, Washington, DC. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO
- 6.52. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism, COM(2021) 564 final, 14.07.2021
- 6.53. Running S.W. A measurable planetary boundary for the Biosphere // Science, 2012/V. 337. – P.1458-1459
- 6.54. Scrap bonus. External Costs and Fair Competition in the Global Value Chains of Steelmaking. Fraunhofer-Institute for Microstructure of Materials and Systems IMWS, 2020
- 6.55. Stevens P. 'Urgent' need for businesses to adapt to growing threat from climate change, McKinsey says. CNBS. Retrieved 29 March 2020
- 6.56. Sumner J. Carbon Taxes: A Review of Experience and Policy Design Considerations / J. Sumner, L. Bird, and H. Smith / Technical Report NREL/TP-6A2-47312. – National Renewable Energy Laboratory. – 2009. – 38p.
- 6.57. The Economics of Biophilia. Why Designing with Nature in Mind Makes Financial Sense/ Terrapin Bright Green 2012
- 6.58. The European Green Deal, Brussels, 11.12.2019, COM(2019) 640 final – 24p.
- 6.59. Vogtländer J.G.; EVR, LCA-based assessment of sustainability, VSSD, 2010
- 6.60. Wang P.; Deng X.; Zhou H.; Yu S. Estimates of the social cost of carbon: A review based on meta-analysis / Journal of Cleaner Production. Journal of Cleaner Production 209 (2019) 1494-1507. 209: 1494–1507

- 6.61. Woetzel J.; Pinner D.; Samandari H.; et al. Climate risk and response Physical hazards and socioeconomic impacts. Mckinsey. p. 7. Retrieved 29 March 2020
- 6.62. Веклич О. О. Пропозиції щодо посилення дієвості застосування в Україні податку на викиди двоокису вуглецю «Ефективна економіка» №9/2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/9_2018/3.pdf
- 6.63. Вплив СВAM на металургійну галузь України. GMK Center, 2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gmk.center/ua/opinion/vpliv-cbam-na-metalurgiju>
- 6.64. Гайдуцький І.П. Мотиваційний потенціал глобального антивуглецевого податку/ Економіка та держава. – 2016. – №1. – С.31-34 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecde_2016_1_8
- 6.65. Гордійчук Д. Загоруйчик А. Уникнути катастрофи: як світ рятуватиме від перегріву Землю. Підсумки Глазго [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/11/15/679754>
- 6.66. Зміна клімату найсильніше вдарить по 5 областях України – дослідження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://greendeal.org.ua/zmina-klimatu-najsylishe-vdaryt-po-5-oblastyah-ukrayiny-doslidzhennya>
- 6.67. Іваненко Н. П., Сас Д. П. Оцінка вразливості та можливі шляхи адаптації енергетичного сектора України до зміни клімату / Проблеми загальної енергетики. – 2011. – Вип. 2. – С.54-56 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2011_2_11
- 6.68. Кабмін ухвалив одразу три постанови про ринок парникових квот [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gmk.center/ua/news/kabmin-uhvaliv-odrazu-chotiri-postanovi-pro-rinok-parnikovih-kvot>
- 6.69. Кліматичні зміни: скільки коштувало людству глобальне потепління у 2018 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-46697228>
- 6.70. Княжанський В. Енергетиці потрібна декарбонізація. Профільний комітет ВРУ пропонує концепцію низьковуглецевого розвитку української економіки // День, 2016, №9-10 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.day.kiev.ua/uk/article/ekonomika/energety-ci-potribna-dekarbonizaciya>
- 6.71. Кому потрібен збалансований ринок металобрухту? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/07/26/676249>
- 6.72. Конкурентоздатність чи новий порядок: чому Україні потрібна політика CO₂ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecotown.com.ua/news/Konkurentozdatnist-chi-noviy-poryadok-chomu-Ukraini-potribna-politika-CO>
- 6.73. Маркіллі П. Третя промислова революція: цифрові технології змінять виробництво до невпізнанності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tyzhden.ua/Economics/50466>
- 6.74. МВФ пропонує запровадити вуглецевий податок у всьому світі на рівні \$70 за тону викидів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecoprostir.com/2019/05/05/mvf-proponuye-zaprovadyty-vugletsevyj-podatok-u-vsomu-sviti-na-rivni-70-za-tonnu-vykydiv>
- 6.75. Метінвест СМЦ прайс лист станом на 09-12-21 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metinvest-smc.com>
- 6.76. Найденко О.Є. Проблеми екологічного оподаткування та шляхи їх вирішення / Економіка і суспільство. – 2016. – № 1. – С.31-34. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.economyandsociety.in.ua/journal/8_ukr/105.pdf

- 6.77. Постанова КМУ «Про затвердження переліку видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1147-96-%D0%BF>
- 6.78. Рада зареєструвала законопроект про Фонд декарбонізації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gmk.center/ua/news/rada-zareiestruvala-zakonoproekt-pro-fond-dekarbonizacii>
- 6.79. Регламент ЄС 305: нові процедури для виробників будівельної продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/reglament-yes-305-novi-procedury-dlya-vyrobnykiv-budivelnoyi-produkcziyi>
- 6.80. Савицький О. Кліматичні переговори ООН у Глазго дають старт новій промисловій революції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/11/19/679928>
- 6.81. Савицький О. Як лобі металургійного ринку стріляє собі в ногу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/07/7/675688>
- 6.82. Система моніторингу,звітності та верифікації викидів парникових газів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://techmedia.com.ua/sites/default/files/pages/lid_ebp_mzv.pdf
- 6.83. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mepr.gov.ua/files/docs/Projekt/LEDS_ua_last.pdf
- 6.84. Технологія PEM дала ArcelorMittal змогу скоротити викиди CO₂ на 25% [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gmk.center/ua/news/tehnologiya-pem-dala-arcelormittal-zmogu-skorotiti-vikidi-so2-na-25>
- 6.85. Успіх кліматичних переговорів у Глазго розвертає світову економіку у бік декарбонізації – ООН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecotown.com.ua/news/Uspikh-klimatichnikh-peregovoriv-u-Glazgo-rozverta-svitovu-ekonomiku-u-bik-dekarbonizatsii-OON/>
- 6.86. ЮНЕП: в цьому сторіччі глобальна температура може піднятися на 2,7 градуси [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://news.un.org/ru/story/2021/10/1412572>
- 6.87. 9 Cambridge Avenue: case [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.steelconstruction.info/9_Cambridge_Avenue
- 6.88. A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives Brussels, 14.10.2020 COM(2020) 662 final [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en
- 6.89. Ames Green Building [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nasa.gov/centers/ames/greenspace/ames-green-building.html>
- 6.90. Appetite for change. Global business perspectives on tax and regulation for a low carbon economy / Pricewater house Coopers report [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pwc.co.uk/assets/pdf/appetite-for-change.pdf>
- 6.91. Carbon tax // Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_tax
- 6.92. Carbon Taxes in Europe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://taxfoundation.org/carbon-taxes-in-europe-2021>

- 6.93. Circular economy - construction renewed [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.enviromate.co.uk/blog/circular-economy-construction-renewed>
- 6.94. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/1013 of 17 July 2018 imposing provisional safeguard measures with regard to imports of certain steel products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018R1013-20181115>
- 6.95. Cost of Carbon Pollution Pegged at \$51 a Ton [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.scientificamerican.com/article/cost-of-carbon-pollution-pegged-at-51-a-ton>
- 6.96. Danieli green metal B-carbon capture CSSU [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.danieli-environment.com/en/14699>
- 6.97. Demonstrating the practicality of reuse in construction [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldsteel.org/circulareconomy/case-studies/reuse>
- 6.98. Economic impacts of climate change [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Economic_impacts_of_climate_change#Marginal_impacts
- 6.99. Eco-costs [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Eco-costs>
- 6.100. Energie Neutraal en Duurzaam bouwen In Staal [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.duurzaaminstaal.nl/upload/File/05_vrins_s.pdf
- 6.101. Environmental Product Declaration. Structural steel sections in HISTAR® grades / ArcelorMittal [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://constructalia.arcelormittal.com/files/EPD-ARM-20170033-Sections_in_HISTAR_EN--2464068373d83c012c35ae5bfe4855b1.PDF
- 6.102. Environmental tax statistics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Environmental_tax_statistics#Environmental_taxes_in_the_EU
- 6.103. European Steel in Figures 2021. The European Steel Association [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eurofer.eu/publications/archive/european-steel-in-figures-2020>
- 6.104. Fraunhofer-Institute, 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/annual_reports/fraunhofer-ise-annual-report-2020-2021.pdf
- 6.105. Forest Monitoring Designed for Action [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.globalforestwatch.org>
- 6.106. Glasgow Climate Pact [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma3_auv_2_cover%20decision.pdf
- 6.107. Glasgow Financial Alliance for Net Zero – GFANZ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gfanzero.com>
- 6.108. Green steel' manufacturing turns tyre trash into treasure. – Australian Academy of Sciences [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.science.org.au/curious/technology-future/turning-old-wheels-new-steel>
- 6.109. Here's How the EU Could Tax Carbon Around the World / Krukowska E. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-02-18/here-s-how-the-eu-could-tax-carbon-around-the-world-quicktake>
- 6.110. High-strength steel is climate friendly [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www oulu.fi/university/news/high-strength-steel>

- 6.111. How to calculate embodied carbon [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.istructe.org/IStructE/media/Public/Resources/istructe-how-to-calculate-embodied-carbon.pdf>
- 6.112. HYBRIT – Towards Fossil-Free Steel. – LKAB [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lkab.com/en/about-lkab/technological-and-process-development/research-collaborations/hybrit--for-fossil-free-steel>
- 6.113. In 2018, CO2 emissions in the EU decreased compared with 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9779945/8-08052019-AP-EN.pdf/9594d125-9163-446c-b650-b2b00c531d2b>
- 6.114. Indicator system ecocost [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ecocostsvalue.com
- 6.115. Integrated Assessment Models (IAMs) for Climate Change /Zili Y., Yi-Ming W., Zhifu M. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199363445/obo-9780199363445-0043.xml>
- 6.116. Iron & steel sector of Ukraine: investments in the future [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/wp-content/uploads/2021/12/2021_GMK-Invest-Eng.pdf
- 6.117. JRC Technical Reports (2017) «Level(s) – A common EU framework for core sustainability indicators for office and residential buildings», Part 3, p. 69 and further. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/Efficient_Buildings/docs/170816_Levels_EU_framework_of_building_indicators.pdf
- 6.118. Lackenby open hearth steel plant [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.steelconstruction.info/Lackenby_open_hearth_steel_plant
- 6.119. Level(s): Final-Circular-Economy-Principles-for-buildings-design [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/Final-Circular-Economy-Principles-for-buildings-design.pdf>
- 6.120. Life Cycle Thinking for the Building and Construction Sector [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gdrc.org/uem/green-const/sbc-lca.html>
- 6.121. Monitoring the Planet's Pulse [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://resourcewatch.org>
- 6.122. Net Zero Whole Life Carbon Roadmap for the Built Environment [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukgbc.org/ukgbc-work/net-zero-whole-life-roadmap-for-the-built-environment>
- 6.123. Newbold S. Summary of the DICE model. Retrieved February 19, 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://yosemite.epa.gov/ee/epa/erm.nsf/vwan/ee-0564-114.pdf/\\$file/ee-0564-114.pdf](http://yosemite.epa.gov/ee/epa/erm.nsf/vwan/ee-0564-114.pdf/$file/ee-0564-114.pdf)
- 6.124. Power-to-gas: Fix for all problems or simply too expensive? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/power-gas-fix-all-problems-or-simply-too-expensive>
- 6.125. Race to zero [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://racetozero.unfccc.int>
- 6.126. Refuse, Reduce, Reuse, Repair & Recycle [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.52climateactions.com/refuse-reduce-reuse-repair-recycle/full>
- 6.127. Planned obsolescence [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Planned_obsolescence

- 6.128. Prindle D. New French law tells consumers how long new appliances will last /3-2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.digitaltrends.com/home/france-planned-obsolence-law>
- 6.129. Shaping Europe’s digital future [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-countries-commit-leading-green-digital-transformation>
- 6.130. Social cost of carbon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Social_cost_of_carbon
- 6.131. Social cost of carbon fact sheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-12/documents/social_cost_of_carbon_fact_sheet.pdf
- 6.132. Social Cost of Carbon: What Is It, and Why Do We Need to Calculate It? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.climate.columbia.edu/2021/04/01/social-cost-of-carbon>
- 6.133. Sperle J.-O., Hallberg L. Environmental advantages of using high strength steel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sperle.se/referenser/pdf/artiklar/05_environmental.pdf
- 6.134. Steel in the circular economy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://circulareconomy.worldsteel.org>
- 6.135. Steel prototype building demonstrates sustainable approach [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.newsteelconstruction.com/wp/steel-prototype-building-demonstrates-sustainable-approach-2>
- 6.136. Sustainable Steelmaking /AISC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.steel.org/sustainability>
- 6.137. The BC Carbon Tax – Environmental and Economic Success [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://below2c.org/2014/12/bc-carbon-tax-environmental-economic-success>
- 6.138. The Case for a Digital Ecosystem for the Environment, 2019, UN - 37p <https://un-spbf.org/wp-content/uploads/2019/03/Digital-Ecosystem-final-2.pdf>
- 6.139. Yohe, G.W.; et al. (2007). 20.6 Global and aggregate impacts; 20.6.1 History and present state of aggregate impact estimates». In M.L. Parry; et al. (eds.). Perspectives on climate change and sustainability. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch20s20-6.html
- 6.140. Ultra-High Strength Steels (UHSS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ssab.com/brands-and-products/docol/ultra-high-strength-steel>
- 6.141. What is a Carbon Tax? Carbon Tax Centre, 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.carbontax.org/introduction/#what>
- 6.142. Why do carbon dioxide emissions weigh more than the original fuel?». Retrieved 31 May 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=82&t=11>
- 6.143. WindH2: Salzgitter, E.ON and Linde to Produce Green Hydrogen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energyindustryreview.com/renewables/windh2-salzgitter-e-on-and-linde-to-produce-green-hydrogen>
- 6.144. Worldsteel Construction Conference 17.4.2018 / Vassart O. Sustainable advantage of steel solutions Pres. – 23p. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://constructsteel.org>

- 6.145. WRI develops practical solutions that improve people's lives and protect nature [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wri.org/our-work>
- 6.146. World of the Green Building Initiative: A Rising Trajectory [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.constructiontuts.com/benefits-of-green-building>
- 6.147. Zero pollution action plan. – European Commission [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/environment/strategy/zero-pollution-action-plan_en
- 6.148. Zero-carbon power is a key milestone on the route to net-zero [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ember-climate.org>

УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР СТАЛЕВОГО БУДІВНИЦТВА

Український Центр Сталевого Будівництва (УЦСБ) – асоціація учасників ринку сталевих будівництва, учасниками якої є провідні виробники та дистриб'ютори сталевих прокату, заводи по виробництву металоконструкцій, покрівельних і фасадних систем, галузеві проектні і наукові організації, монтажні і будівельні компанії.

Місією Українського Центру Сталевого Будівництва є просування сталевих конструкцій як кращого матеріалу будівництва шляхом створення ефективних, інноваційних рішень для клієнтів.

Як асоціація, Український Центр Сталевого Будівництва розвиває свою діяльність в наступних напрямках:

Інженерний

- Дослідження в області ефективного проектування об'єктів нерухомості
- Розробка концептів проектів із застосуванням сталевих конструкцій
- Проектування вогнезахисту

Технічний

- Створення типових проектів і прототипів будівель із застосуванням різних видів металевих конструкцій
- Розробка каталогів проектних рішень
- Зміна нормативної бази з метою впровадження нових технологій у виробництві, проектуванні та монтажу металевих конструкцій

Інформаційний

- Представлення галузі сталевих будівництва в ЗМІ
- Популяризація сталевих рішень серед замовників будівництва
- Впровадження світового технічного досвіду

Навчальний

- Проведення технічних семінарів
- Інформування учасників галузі про зміни у законодавчій базі

Нормативний

- Впровадження передової нормативно-технічної бази в будівництві
- Гармонізація європейських норм на виготовлення, проектування і монтаж металевих конструкцій



Україна, 02002, м. Київ, вул. Є.Сверстюка 2А, оф. 606, БЦ «Лівобережний»,
тел. +38-044-465-76-39, +38-097-357-23-39 | info@uscc.ua | www.uscc.ua

Підп. до друку 09.12.2022. Формат 60x84/16


Папір офсетний. Друк цифровий.

Ум. друк. арк. 30,69. Зам. № 0912-22.

Наклад 300 прим.

Видавець і виготовлювач ТОВ «7БЦ». 03067, м. Київ, вул. Олекси Тихого, 84
e-mail: 7bc@ukr.net, тел: (044) 592-00-80.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №5329 від 11.04.2017



«Еколого-економічні проблеми виходять зараз на передній план питань сталого існування людської цивілізації. В ракурсі сучасних наукових досліджень Земля все більше відкривається як система із багатьох взаємопов'язаних елементів, де кожна локальна дія в тій чи іншій мірі відгукується у глобальному сенсі. Даний посібник висвітлює принципи проектування будівельних несучих конструкцій через призму комплексного підходу до них як до продукту, що включений в ланцюжки обігу життєвого циклу матерії та енергії. Викиди забруднюючих речовин, споживання природних ресурсів та енергії у багатьох сучасних виробничих циклах можуть бути виміряні та обчислені, щоби стати керуючим фактором прийняття рішень. Будівництво – один із найбільш розгалужених, розвинених секторів світової економіки, відповідальний за значну частину впливу на довкілля. У книзі розроблена і описана методика аналізу життєвого циклу несучих каркасів будівель комерційного призначення, показано екологічні і економічні переваги металевих конструкцій як матеріалу для будівництва. Запропоновано показники для вибору раціональних і оптимальних рішень при будівництві та наведено приклади їх визначення на різних рівнях будівельних систем».



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЕВОГО
БУДІВНИЦТВА