



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



CLIMAN

ОСВІТА, НАУКА ТА ПРОМИСЛОВІСТЬ НА ШЛЯХУ ДО ЗАПОБІГАННЯ, АДАПТАЦІЇ ТА ПОМ'ЯКШЕННЯ ЗМІН КЛІМАТУ

МОНОГРАФІЯ

Українське видання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ОСВІТА, НАУКА ТА
ПРОМИСЛОВІСТЬ НА ШЛЯХУ
ДО ЗАПОБІГАННЯ, АДАПТАЦІЇ
ТА ПОМ'ЯКШЕННЯ ЗМІН
КЛІМАТУ**

Харків, 2023

УДК504.062

*Рекомендовано до друку вченою радою
Дорожньо-будівельного факультету Харківського національного автомобільно-
дорожнього університету
(протокол № 4 від 07 грудня 2023 р.)*

Рецензенти:

Анатолій ГРИЦЕНКО – доктор географічних наук, професор, директор Науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», Україна

Юлія ЗГУРСЬКА – заступник директора Департаменту міжнародного співробітництва Харківської міської ради, Україна

Міра ПУКАРЕВИЧ – професор, декан Факультету захисту навколишнього середовища, Університет Educons, Сербія

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату : колективна монографія (укр. видання) / за заг. ред. Н. Внукової, Г. Желновач. К: Вид-во «Смугаста типографія», 2023. 166 с.

ISBN

Колективна монографія підготовлена вченими-дослідниками університетів-партнерів міжнародного ERASMUS+ проекту «Синергія освітніх, наукових, управлінських та промислових компонентів для управління кліматом і запобігання змінам клімату / CLIMAN» 619119-EPP-1-2020 -1-NL-EPPKA2-SBHE-JP. У виданні висвітлено результати власних досліджень щодо загальної проблематики та витоків глобальних кліматичних змін, галузевої проблематики забезпечення сталого розвитку, впровадження природних рішень, застосування інноваційних підходів щодо енергетичного забезпечення розвитку транспорту, сільського господарства та утилізації відходів.

Монографія розрахована на широке коло читачів, які цікавляться проблемами глобальної зміни клімату, а також шляхами щодо можливого запобігання, адаптації та мінімізації наслідків зміни клімату.

УДК504.062

ISBN

© Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2023

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

ВСТУП

Зміна клімату, спричинена діяльністю людини, визначається в сучасних умовах як один із найбільш значущих викликів для країн, урядів, бізнесу та окремих людей із масштабними наслідками для гуманітарної системи та природної екосистеми. На 21-й сесії Конференції ООН зі зміни клімату 12 грудня 2015 року було прийнято Паризьку угоду, яка спрямована на виконання резолюції Генеральної Асамблеї ООН «Трансформація нашого світу: Порядок денний сталого розвитку до 2030» та на підтримку екологічної цілісності, відновлюваних джерел енергії, зеленої економіки, передачі високоефективних технологій, пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації до мінливого клімату. У відповідь на цю глобальну тенденцію сьогодні розробляються та впроваджуються ініціативи щодо обмеження концентрації парникових газів (ПГ) в атмосфері Землі. Такі ініціативи базуються на оцінці, моніторингу, сповіщенні та верифікації викидів парникових газів та/або ліквідації викидів. Тому не викликає сумнівів актуальність положення про необхідність консолідації професійно-орієнтованої діяльності у сфері запобігання, адаптації та пом'якшення наслідків зміни клімату, у тому числі шляхом підготовки висококваліфікованих спеціалістів у сфері кліматичного контролю, кліматичних ініціатив і кліматичного менеджменту.

Для вирішення цього завдання було створено, розроблено та впроваджується міжнародний проект Erasmus+ «Синергія освітніх, наукових, управлінських та промислових компонентів для управління кліматом і запобігання змінам клімату / CLIMAN» 619119-EPP-1-2020-1-NL-EPPKA2-SBHE-JP.

Тривалість проекту: 15.11.2020-14.11.2024

Мета проекту полягає в тому, щоб допомогти університетам Грузії та України стати центрами розвитку досліджень управління кліматом для прискорення інтеграції в глобальний кліматичний ринок і відповідати глобальним кліматичним вимогам регулювання шляхом отримання найкращих європейських практик у сфері запобігання змінам клімату, адаптації та пом'якшення наслідків.

Цілі проекту:

1. Оновити існуючі магістерські програми шляхом розробки міждисциплінарного навчального модуля «Кліматичний менеджмент».
2. Створити консультаційні Центри управління кліматом в університетах-партнерах та забезпечити їх сталий розвиток.
3. Сприяти розвитку та зміцненню інституційної спроможності університетів-партнерів з метою розробки рекомендацій для промислового, транспортного, енергетичного, туристичного секторів та місцевих органів влади у сфері запобігання змінам клімату, адаптації та пом'якшення наслідків.

Активності:

- вивчення досвіду ЄС у науково-практичній діяльності з управління кліматом;
- розробка навчального модуля «Кліматичний менеджмент» в університетах-партнерах;
- впровадження оновленої магістерської програми в університетах-партнерах;
- створення Центру кліматичного менеджменту;
- управління якістю;
- поширення та сталість;
- управління проектом.

Очікувані результати:

- Оновлена магістерська програма шляхом розробки та впровадження навчального модуля «Кліматичний менеджмент».
- Навчений персонал.
- При університетах-партнерах створені консультаційні Центри кліматичного менеджменту.
- Розроблено «дорожню карту» співпраці промислового, транспортного, аграрного та туристичного секторів з місцевою владою щодо реалізації політики управління кліматом.
- Кваліфіковані менеджери з клімату.

Партнери проекту:

Координатор проекту: Нідерландська бізнес-академія, Нідерланди.

Співкоординатор проекту: Університет КРОК, Україна.

- | | |
|--|---|
| • «NTW Berlin, Університет прикладних наук», Німеччина; | • НУ «Львівська політехніка», Україна; |
| • Університет Foggia, Італія; | • Кутаїський державний університет імені Акакія Церетелі, Грузія; |
| • Університет Міколаса Ромеріса, Литва; | • Батумський державний університет імені Шота Руставелі, Грузія; |
| • Університет Turība, Латвія; | • Західноукраїнський національний університет, Україна; |
| • Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна; | • Hultgren Nachhaltigkeitsberatung UG, Німеччина. |

Сайт проекту : <https://climancoordinator.wixsite.com/climan>



Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення зм

РОЗДІЛ 1

ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА ЗАХОДИ ПРОТИДІЇ

Ціцино Туркадзе
(Державний університет ім. Акакія Церетеллі, Грузія)

1.1. Глобальна зміна клімату

Погода та клімат – це пов’язані, але різні поняття, які описують різні аспекти атмосферних умов.

Погода – це короткостроковий стан атмосфери в певному місці, який зазвичай вимірюється годинами, днями або тижнями. Він описує поточні умови температури, вологості, опадів, швидкості вітру, хмарного покриву та інших атмосферних змінних. Погодні умови можуть швидко і суттєво змінюватися день від дня або навіть протягом одного дня. Прогнози погоди надають інформацію про очікувані погодні умови на певний період, як правило, на тиждень наперед.

Клімат відноситься до довгострокових середніх погодних умов, що спостерігаються в регіоні протягом більш тривалого періоду, як правило, 30 років або більше. Він представляє статистичну інформацію про погодні умови, включаючи середню температуру, режим опадів і сезонні коливання, для певної області. Клімат описує типові або очікувані погодні умови для певного регіону протягом тривалого періоду. Це допомагає нам зрозуміти кліматичні зони та загальні кліматичні характеристики різних частин світу.

Під кліматом розуміється усереднений стан нижніх шарів атмосфери і пов’язаних з ними вод і поверхні Землі. Показники, які описують клімат, включають середньорічну температуру, середньорічну максимальну та мінімальну температуру, річну кількість опадів тощо.

Всесвітня метеорологічна організація¹ радить оцінювати кліматичні дані за принаймні 30-річний період. Частіше для аналізу використовуються дані відносно тривалих періодів (століть, тисячоліття тощо). Таким чином, клімат описує середні погодні умови певного місця протягом тривалого періоду часу.

З часів промислової революції спостерігається чітка тенденція до підвищення середньої температури Землі. Численні наукові дослідження та оцінки, в

¹ <https://public.wmo.int/en>

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом’якшення змін клімату

тому числі проведені Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (IPCC) і Національним управлінням океанічних і атмосферних досліджень (NOAA), підтвердили цю тенденцію.

Зазначимо, що з початку XXI ст. температура зростає паралельно з концентрацією вуглекислого газу в атмосфері. Згідно з даними IPCC, з 2005 року по теперішній час середньорічне підвищення температури склало $0,87^{\circ}\text{C}$, що перевищує середньорічний приріст температури протягом усього XX ст. (рис. 1.1).

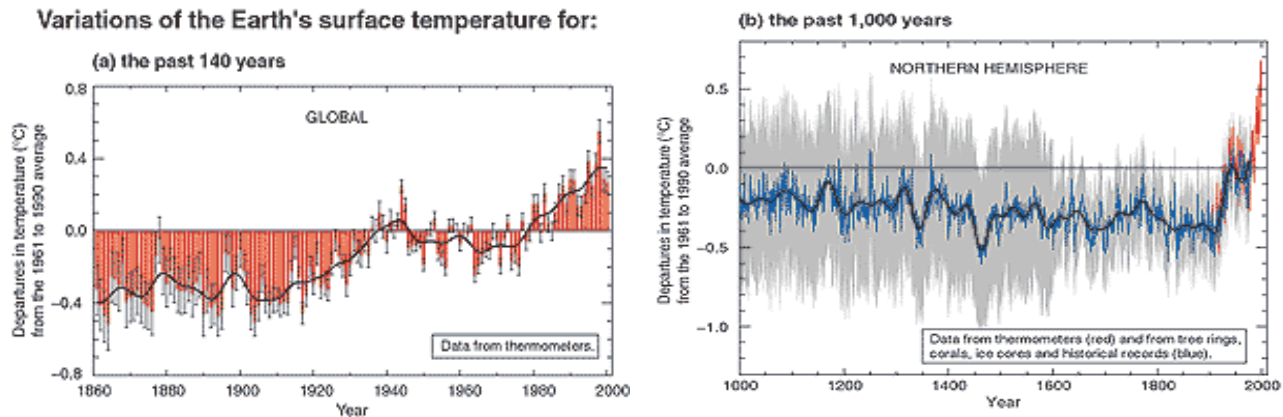


Рис. 1.1. Зміни температури земної поверхні (англ.)

Тенденція глобального потепління характеризується такими ознаками:

- історичне потепління: за останнє століття середня температура поверхні Землі піднялася приблизно на $1,1^{\circ}\text{C}$ (2 градуси Фаренгейта) порівняно з доіндустріальним рівнем (кінець XIX ст.). Це збільшення спостерігалось на багатьох континентах і в океанських регіонах;
- прискорення потепління: за останні десятиліття темпи глобального потепління прискорилися. У період з кінця XX ст. до сьогодні спостерігається більш швидке підвищення температури порівняно з попередніми періодами (рис. 1.2).

Регіональні відмінності: хоча середня глобальна температура зростає, потепління розподіляється на планеті нерівномірно. Деякі регіони, наприклад Арктика, зазнали значно більшого підвищення температури порівняно з середніми глобальними показниками. Це призвело до швидкого танення льодовиків, зменшення площі морського льоду та зміни екосистем (рис. 1.3).

Просторова та сезонна картина сучасного потепління: регіональне потепління за десятиріччя 2006–2015 рр. відносно 1850–1900 рр. для середньорічного значення (вгорі), середнього значення для грудня, січня та лютого (внизу ліворуч) і для червня, липня, і серпень (справа внизу).

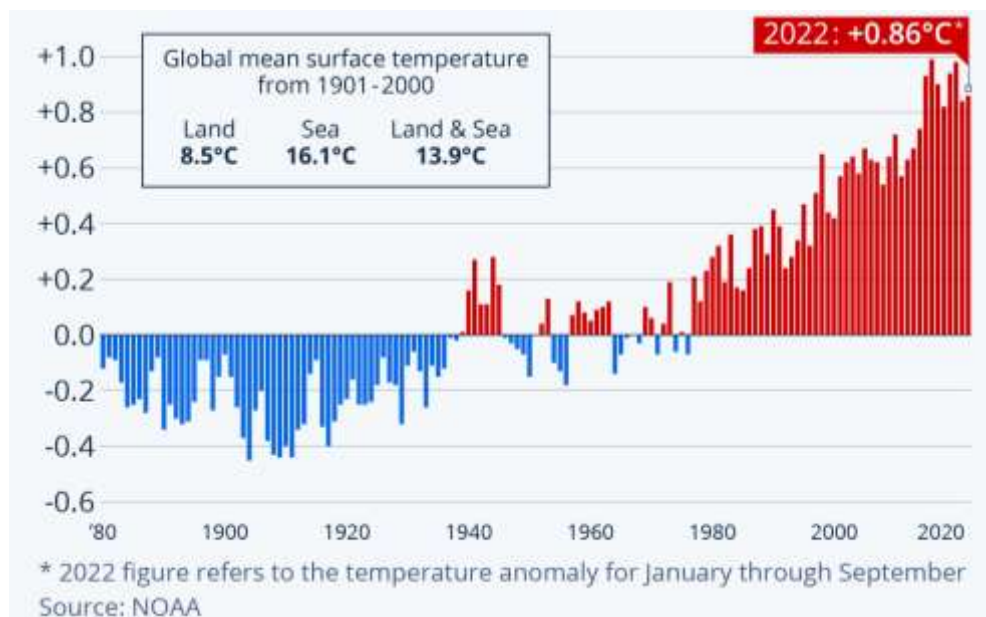


Рис. 1.2. Відноситься до температурної аномалії січня-вересня (англ.)

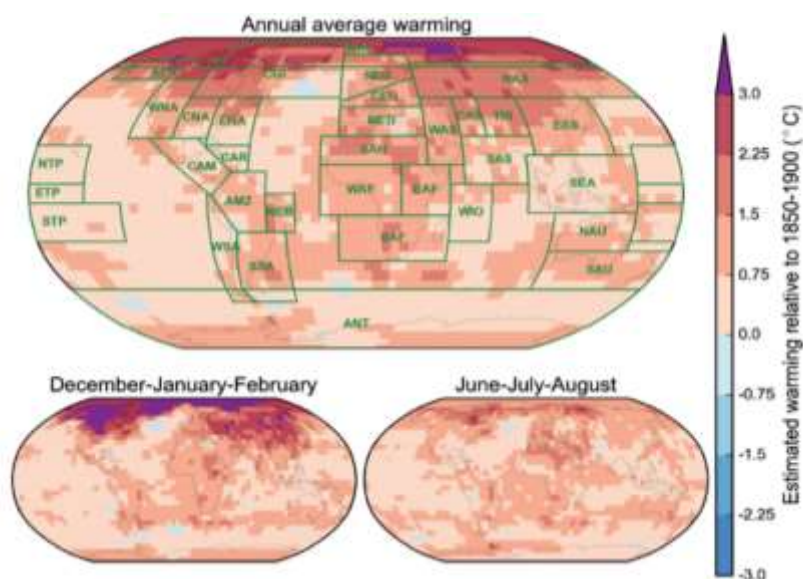


Рис. 1.3. Регіональне потепління у 2006-2015 рр. порівняно з доіндустріальним періодом (1850-1900 рр.) (англ.)

Як показує карта, глобальне потепління не означає, що температура всюди зростає з однаковою швидкістю. В одному регіоні температура може підвищитися на 5 °C, а в іншому – знизитися на 2 °C. Наприклад, надзвичайно холодна

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

зима в одному місці може бути врівноважена надзвичайно теплою зимою в іншій частині світу. Загалом потепління є більшим над сушею, ніж над океанами, тому що вода поглинає та віддає тепло повільніше (теплова інерція). Потепління також може суттєво відрізнятись в різних масивах суші та океанських басейнах. На зображенні нижче показано глобальні температурні аномалії у 2022 році, який став п'ятим найтеплішим роком за всю історію спостережень (рис. 1.4). Останні дев'ять років були найтеплішими з тих пір, як у 1880 році почали вести сучасний облік.

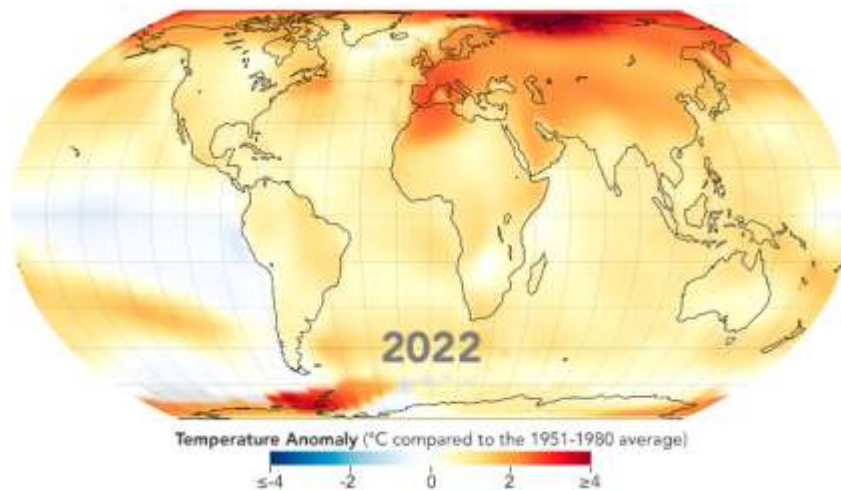


Рис.1.4. Температурна аномалія (англ.)

1.2. Склад атмосферного повітря і парниковий ефект

Атмосфера являє собою складну суміш газів, зважених часток і слідових кількостей різних сполук. Типовий склад атмосфери Землі такий:

- азот (N_2) –найпоширеніший газ в атмосфері, який становить близько 78 % від загального об'єму. Азот є неактивним газом і відіграє вирішальну роль у різних біологічних процесах;
- кисень (O_2) –становить приблизно 21 % атмосфери. Він необхідний для виживання багатьох організмів, у тому числі людини, оскільки бере участь у процесах дихання та горіння;
- аргон (Ar) – є інертним газом і становить близько 0,93 % атмосфери. Це переважно побічний продукт радіоактивного розпаду калію в земній корі;
- вуглекислий газ (CO_2) – є слідовим газом, присутнім в атмосфері, і становить приблизно 0,04 %. Він відіграє вирішальну роль у кліматичній системі Землі та вважається парниковим газом;

- неон (Ne), гелій (He), метан (CH₄) і криптон (Kr) – гази присутні в дуже малих кількостях, разом складають менше 0,02 % атмосфери (рис. 1.5).

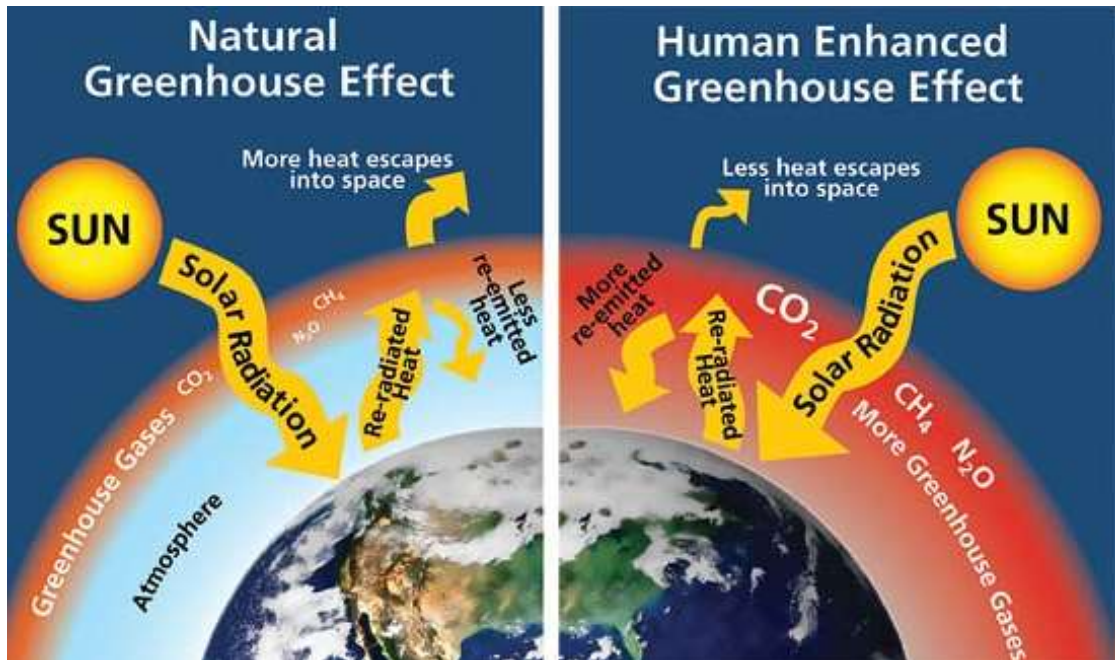


Рис. 1.5. Види парникових ефектів (англ.)

Окрім цих газів, атмосфера також містить різну кількість водяної пари (H₂O), яка є газоподібною формою води. Концентрація водяної пари може коливатися від майже 0 % до приблизно 4 % у вологих умовах.

Парниковий ефект означає процес, за якого певні гази в атмосфері Землі затримують і повторно випромінюють тепло, таким чином нагріваючи планету. Він відіграє вирішальну роль у підтримці температури Землі на рівні, придатному для життя. Без парникового ефекту Земля була б набагато холоднішою, що робить її негостинною для більшості форм життя.

Парниковий ефект працює в результаті наступних процесів:

- сонячне випромінювання від Сонця досягає атмосфери Землі, включаючи видиме світло та ряд інших довжин хвиль, таких як ультрафіолетове (УФ) та інфрачервоне (ІЧ) випромінювання;
- поверхня Землі поглинає частину сонячної радіації, що надходить, а атмосфера поглинає частину радіації, що залишилася;
- деякі гази в атмосфері, відомі як парникові гази, мають властивість затримувати частину тепла, що випромінюється поверхнею Землі. Ці парникові гази включають вуглекислий газ (CO₂), метан (CH₄), закис азоту (N₂O) та інші;
- поглинена поверхнею Землі енергія повторно випромінюється у вигляді теплового випромінювання (інфрачервоне випромінювання). Парникові гази в

атмосфері поглинають значну частину цього теплового випромінювання та повторно випускають його в усіх напрямках, у тому числі назад до поверхні Землі;

- повторне інфрачервоне випромінювання нагріває нижні шари атмосфери, підвищуючи її температуру. Цей процес схожий на те, як теплиця зберігає тепло, тому й пішов термін «парниковий ефект».

Діяльність людини, зокрема спалювання викопного палива (такого як вугілля, нафта та природний газ) і вирубка лісів, значно збільшили концентрацію парникових газів в атмосфері. Це збільшення парникових газів, особливо вуглекислого газу, посилює парниковий ефект, що призвело до явища, відомого як антропогенне або спричинене людиною глобальне потепління. Це посилене потепління має різні наслідки, включаючи підвищення глобальної температури, зміни погодних умов, підвищення рівня моря та зміни в екосистемах. Пом'якшення цих впливів і адаптація до них є серйозною проблемою, яка стоїть перед людством сьогодні.

Основними парниковими газами є:

- Вуглекислий газ (CO_2): є найбільш помітним парниковим газом з точки зору його загального внеску в глобальне потепління. В основному він виділяється через спалювання викопного палива, такого як вугілля, нафта та природний газ, а також через вирубку лісів та інші зміни у землекористуванні.

- Метан (CH_4): є сильним парниковим газом із вищим потенціалом зігрівання, ніж вуглекислий газ, хоча він існує у значно нижчих концентраціях. Він викидається з різних джерел, включаючи природні процеси, такі як викиди водно-болотних угідь, а також діяльність людини, наприклад тваринництво, вирощування рису, звалища, а також видобуток і транспортування викопного палива.

- Закис азоту (N_2O): є парниковим газом, який виділяється внаслідок природних процесів, таких як активність мікробів у ґрунтах і океанах, а також людської діяльності, наприклад сільськогосподарської та промислової діяльності, спалювання викопного палива та поводження з відходами. Він має більший потенціал зігрівання, ніж вуглекислий газ.

- Фторовані гази: фторовані гази, включаючи гідрофторвуглеці (ГФВ), перфторвуглеці (ПФВ) і гексафторид сірки (SF_6), є синтетичними сполуками, що використовуються в різних промислових цілях, таких як охолодження, кондиціонування повітря та електроніка. Вони є потужними парниковими газами зі значно вищим потенціалом зігрівання, ніж вуглекислий газ.

- Водяна пара: є важливим парниковим газом, хоча й не виділяється безпосередньо в результаті діяльності людини. Це найпоширеніший парниковий газ в атмосфері, і на його концентрацію впливають зміни температури. Хоча діяльність

людини безпосередньо не контролює рівень водяної пари, вона може опосередковано впливати на нього через викиди інших парникових газів (рис. 1.6).

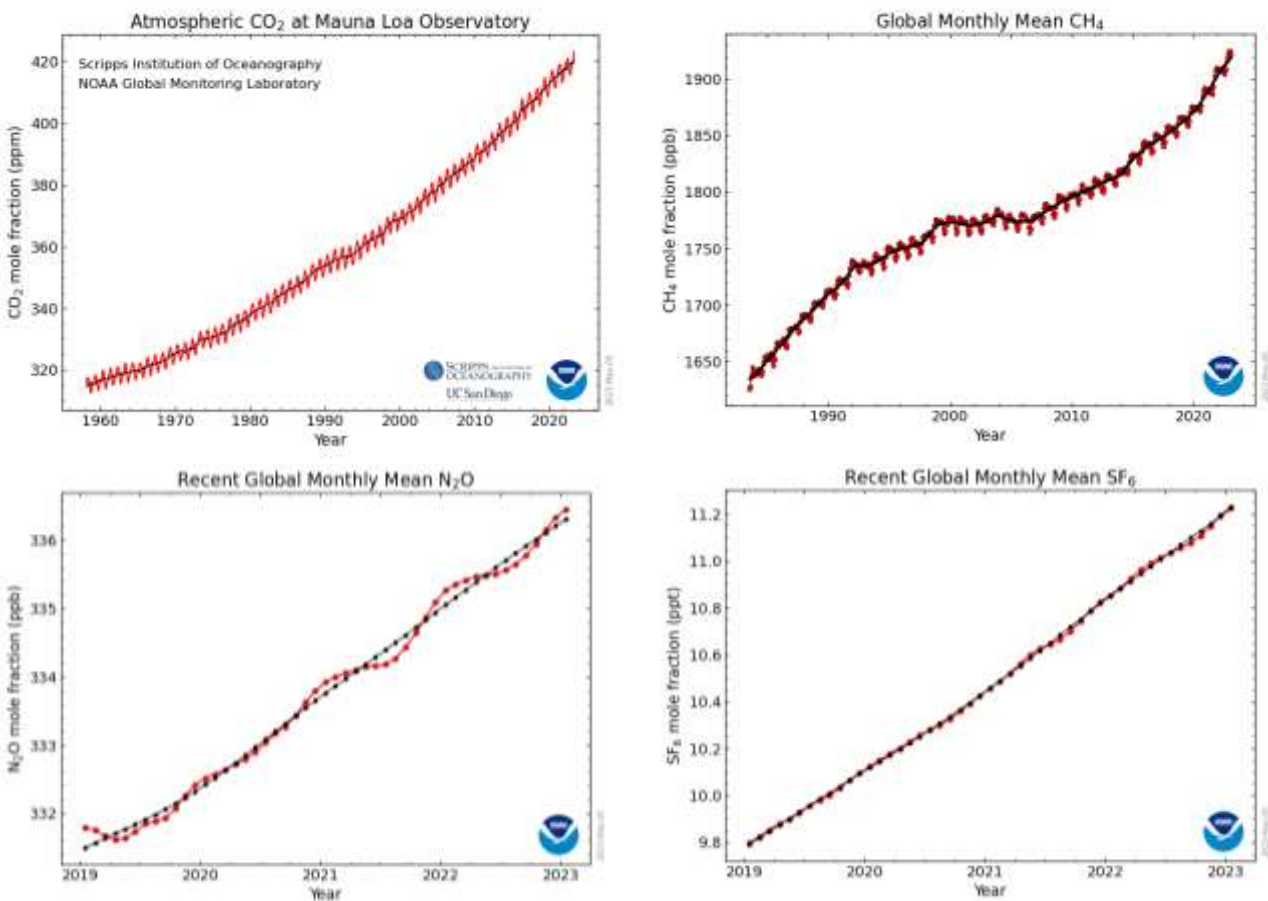


Рис. 1.6. Динаміка зміни концентрації основних парникових газів в атмосфері (англ.)

Концентрація парникових газів і потенціал потепління різняться, а їхній вплив на кліматичну систему залежить від їхніх викидів, тривалості життя в атмосфері та взаємодії з іншими компонентами кліматичної системи Землі.

Дані, опубліковані з 1980-х років, вказують на прямий зв'язок між збільшенням викидів CO_2 і глобальною зміною клімату. У 1975 році Кілінгом та його колегами були опубліковані перші дані (на основі інформації обсерваторії Мауна-Лоа та інших джерел), які показують, що лише концентрація CO_2 зросла майже на 42 % з доіндустріального періоду.

Дослідження показали, що поточна концентрація вуглекислого газу в атмосфері становить приблизно 420 частин на мільйон (ppm); на початку XVII ст. він становив 280 ppm. Збільшення концентрації CO_2 посилює парниковий ефект.

Дані, опубліковані Mann and Jones, підтверджують цю теорію. Їхні дані показують, що середньорічне підвищення температури за останні 200 років збігається зі збільшенням концентрації атмосферного CO₂.

З початком індустріальної ери викиди вуглекислого газу постійно зростали. Якщо 40-50 років тому викиди збільшувалися на 10-12 Гт на рік, то зараз цей показник знаходиться в діапазоні 35-38 Гт. Це значною мірою пов'язано зі зростанням світової економіки та появою нових економічних держав (наприклад, Китаю, Індії, Бразилії тощо), що, як наслідок, збільшує попит на ресурси.

Згідно з кліматичними моделями, без істотного скорочення викидів парникових газів глобальні середні температури продовжуватимуть зростати протягом ХХІ ст. Величина майбутнього потепління залежить від траєкторії викидів та ефективності заходів щодо пом'якшення.

1.3. Наслідки та майбутні впливи зміни клімату

Підвищення температури має далекосяжні наслідки. Вони сприяють змінам режиму опадів, збільшенню частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ, підвищенню рівня моря, порушенням екосистем і біорізноманіття, а також впливу на здоров'я людини, сільське господарство та водні ресурси.

Зміна клімату впливає на частоту, інтенсивність і тривалість екстремальних погодних явищ, таких як хвилі спеки, посухи, сильні дощі, урагани та лісові пожежі. Ці події можуть призвести до значних економічних і соціальних наслідків, включаючи пошкодження майна, загибель людей, порушення роботи сільського господарства та загрози інфраструктурі.

Зміна клімату впливає на структуру опадів, що призводить до зміни розподілу та інтенсивності опадів. Деякі регіони можуть відчувати збільшення кількості опадів і повеней, тоді як інші можуть зіткнутися з більш частими посухами та дефіцитом води. Ці зміни можуть вплинути на сільське господарство, водні ресурси, екосистеми та засоби до існування людей.

З підвищенням глобальної температури льодовики та крижані шапки тануть, що сприяє підвищенню рівня моря. Це створює ризики для прибережних громад, низинних територій і малих острівних держав, що призводить до посилення берегової ерозії, проникнення солоної води в джерела прісної води та ймовірності більш частих і сильних прибережних повеней під час штормів (рис. 1.7).

Дані та статистика / Факти та цифри:

- з 1880 року глобальний середній рівень моря піднявся на 21-24 см;
- у 2021 році глобальне підвищення рівня моря встановить новий рекорд у 97 мм порівняно з 1993 роком;
- швидкість глобального підвищення рівня моря прискорюється: 1,4 мм на рік протягом більшої частини 20 століття та 3,6 мм на рік у 2006-2015 роках;
- з 1880 по 2012 рік середня глобальна температура зросла на 0,85 °C;

- океани нагрілися, кількість снігу та льоду зменшилася, а рівень моря підвищився (з 1901 по 2010 рік піднявся на 19 см). Починаючи з 1979 року площа морського льоду в Арктиці зменшувалася з кожним десятиліттям;

- з 1990 року глобальні викиди вуглекислого газу (CO₂) зросли майже на 50 %;
- між 2000 і 2010 роками викиди зростали швидше, ніж за кожне з трьох попередніх десятиліть.

-

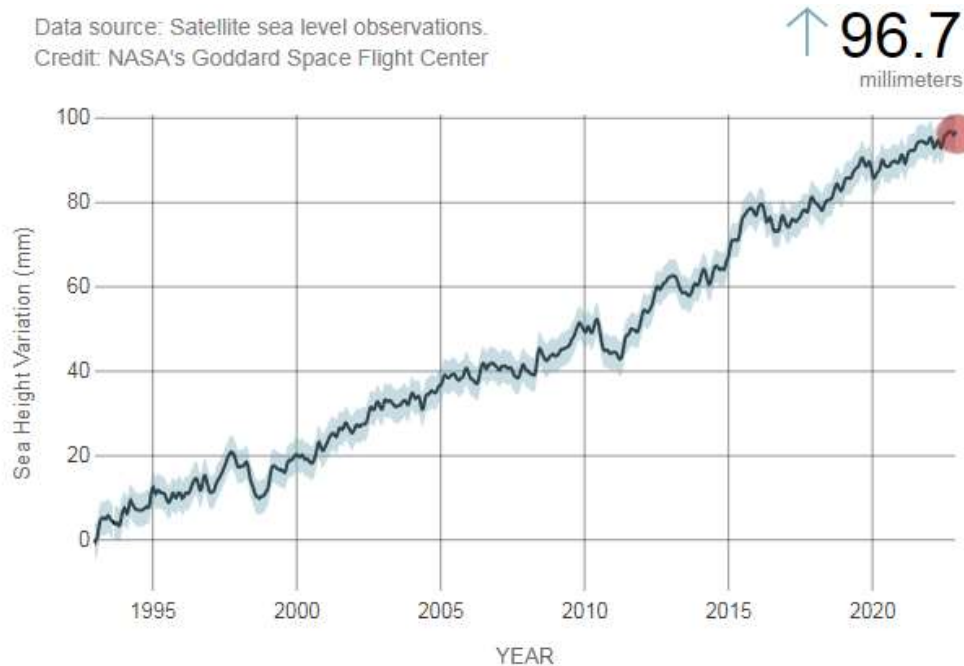


Рис. 1.7. Результати супутникових спостережень за зміною рівня моря (англ.)

Зміна клімату збільшує частоту та інтенсивність екстремальних погодних явищ, таких як хвилі спеки, посухи, повені та тропічні циклони, загострюючи проблеми управління водними ресурсами, скорочуючи сільськогосподарське виробництво та продовольчу безпеку, збільшуючи ризики для здоров'я, завдаючи шкоди критичній інфраструктурі та перериваючи надання основних послуг. водопостачання та санітарія, освіта, енергетика та транспорт.

Цілі, пов'язані з навколишнім середовищем:

- Цільова задача 13.1: посилення стійкості та здатності до адаптації до кліматичних небезпек і стихійних лих у всіх країнах.

- Цільова задача 13.2: Інтегрувати заходи щодо зміни клімату в національну політику, стратегії та планування.

- Цільова задача 13.3: покращити освіту, підвищення обізнаності та кадровий та інституційний потенціал щодо пом'якшення наслідків зміни клімату, адаптації, зменшення впливу та раннього попередження.

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

- Завдання 13.a: Реалізація зобов'язань, взятих розвиненими країнами-учасницями Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, щодо спільної мобілізації 100 мільярдів доларів США щорічно до 2020 року з усіх джерел для задоволення потреб країн, що розвиваються, у контексті суттєвих заходів щодо пом'якшення наслідків та прозорості впровадження, а також повного запровадження Зеленого кліматичного фонду шляхом його капіталізації якомога швидше.
- Завдання 13.b: Сприяти створенню механізмів підвищення потенціалу для ефективного планування та управління, пов'язаного зі зміною клімату, у найменш розвинених країнах і малих острівних державах, що розвиваються, у тому числі зосереджуючись на жінках, молоді, місцевих і маргіналізованих громадах (рис. 1.8, 1.9).

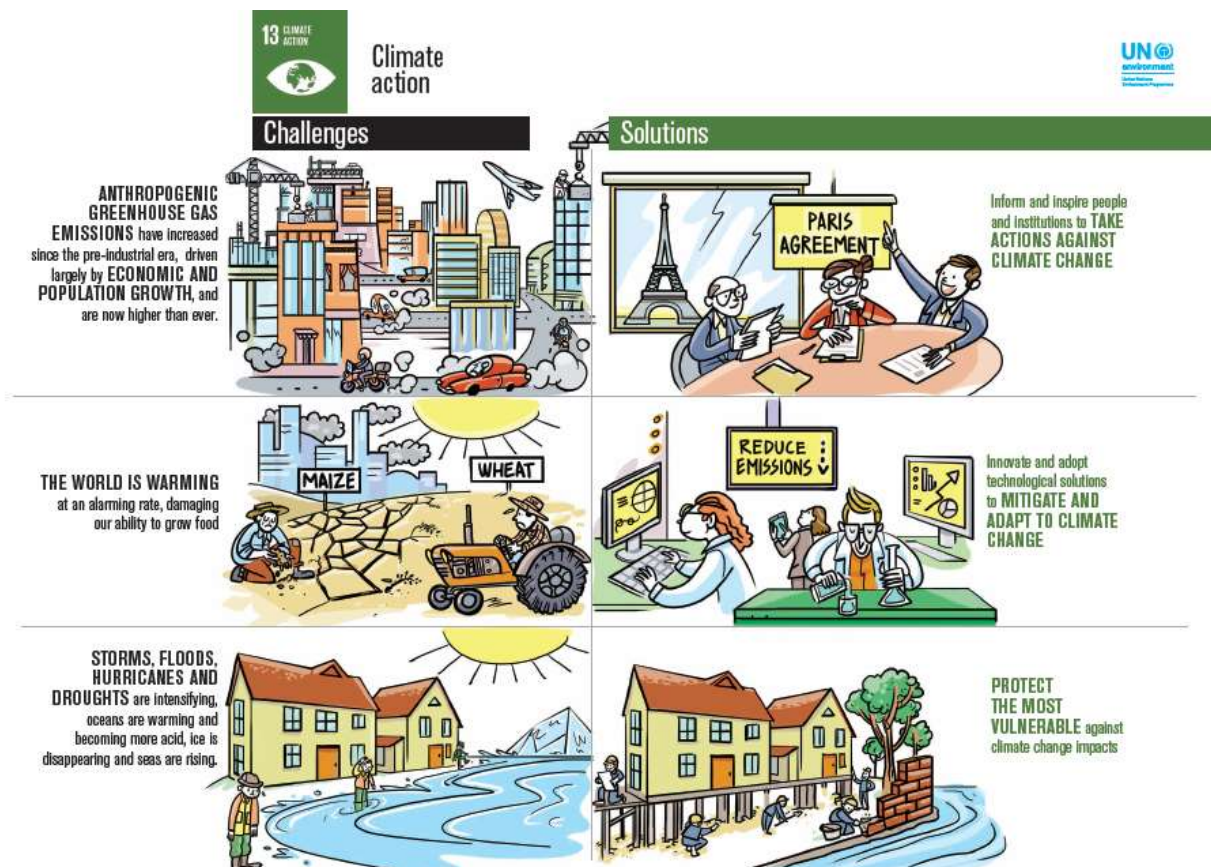


Рис. 1.8. Виклики та рішення в досягненні ЦСР 13 (англ.)



TAKE URGENT ACTION TO COMBAT CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACTS

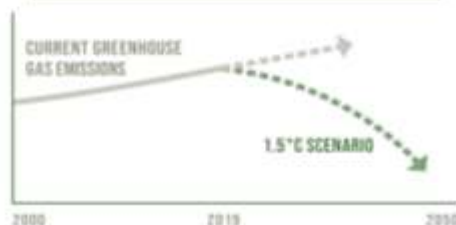
THE CLIMATE CRISIS CONTINUES, LARGELY UNABATED



2020 GLOBAL AVERAGE TEMPERATURE AT
1.2°C ABOVE PRE-INDUSTRIAL BASELINE

WOEFULLY OFF TRACK TO STAY AT OR BELOW
1.5°C AS CALLED FOR IN THE PARIS AGREEMENT

RISING GREENHOUSE GAS EMISSIONS REQUIRE SHIFTING ECONOMIES TOWARDS CARBON NEUTRALITY



CLIMATE FINANCE INCREASED



↑ 10%
FROM 2015-2016
TO 2017-2018,
REACHING AN
ANNUAL AVERAGE OF
\$48.7 BILLION

125 OF 154 DEVELOPING COUNTRIES
ARE FORMULATING AND IMPLEMENTING
NATIONAL CLIMATE ADAPTATION PLANS

HIGHEST PRIORITY AREAS INCLUDE



FOOD
SECURITY AND
PRODUCTION



TERRESTRIAL
AND WETLAND
ECOSYSTEMS



FRESHWATER
RESOURCES



HUMAN
HEALTH



KEY ECONOMIC
SECTORS AND
SERVICES

THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS REPORT 2021: [UNSTATS.UN.ORG/SDGS/REPORT/2021/](https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/)

Рис. 1.9 Тенденції кліматичних дій (англ.)

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Зміна клімату впливає на екосистеми та біорізноманіття. Види можуть зіткнутися з труднощами в адаптації до умов, що швидко змінюються, що призведе до зміни ареалу чи навіть до зникнення. Такі екосистемні послуги, як запилення, очищення води та накопичення вуглецю, можуть бути порушені, впливаючи на добробут людини та екологічний баланс (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Порівняння впливу зміни клімату зі збільшенням температури на 1,5 °C та на 2 °C

Зміна клімату впливає на деякі характеристики середовища	межа 1,5 °C	межа 2 °C
Підвищення рівня моря	48 см	56 см
Арктичний крижаний покрив	Без льоду раз на 100 років	Без льоду раз на 100 років
Танення льодовиків у XXI ст.	76 мм	89 мм
Підвищення рівня моря до 2100 року	0,26 – 0,77 m	0,30 – 0,83 m
Збільшення кількості спекотних днів	16 %	25 %
Середній період посухи	2 місяці	4 місяці
Населення під загрозою в прибережних зонах у разі підвищення рівня моря	271 млн	388 млн
Збільшення періодів спеки	31 – 69 млн	32 – 80 млн
Ймовірно зміни на -10/+10 % до 2100 року	17 днів	35 днів
Врожайність пшениці	84 %	73 %
Урожайність рису	+6 %	+6 %
Види, які втратять 50% середовищ існування:		
Рослини	8 %	16
Безхребетні	6 %	18 %
Хребетні	4 %	8 %
Комахи	6 %	18 %

1.4. Вплив зміни клімату на навколишнє середовище в Грузії ²

Процеси зміни клімату значно посилилися в Грузії з широким спектром несприятливих наслідків (МЕРА, 2020). Зокрема:

- У період з 1986 по 2015 роки, порівняно з 1956-1985 роками, середньорічна температура повітря підвищилася майже по всій території країни в межах до 1 °C із середнім підвищенням на 0,5 °C.

² Цей розділ є уривком із документа «Стратегія зміни клімату Грузії до 2030 року», 2021 рік.
Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

- Між 1986 і 2015 роками, порівняно з 1956-1985 роками, річна кількість опадів збільшилася в більшості районів західної Грузії, тоді як вона зменшилася в деяких районах східної Грузії. Зокрема, на значній частині західної Грузії було зафіксовано збільшення кількості опадів на 5-15 %. Тенденція до збільшення кількості опадів у західній Грузії, ймовірно, викликана збільшенням кількості опадів.

- На відміну від західної Грузії, кількість опадів зменшилася на 5-15 % у більшості районів східної Грузії за останні 30 років. На півдні і сході країни (особливо в Кахетії і Мцхета-Мтіанеті) показники опадів відображають зменшення кількості опадів за рахунок збільшення тривалості посушливих періодів.

- Відносна вологість підвищилася по всій країні, коливаючись від 1 до 5 %. Висока вологість спостерігається в зимові місяці в західній Грузії і повинна бути викликана надзвичайно вологими днями (10-12 днів на рік), причому тенденції до зниження найбільш інтенсивно спостерігаються на початку літа-восени.

- Середня швидкість вітру зменшилася по всій країні протягом усіх сезонів приблизно на 1-2 м/с. Слід зазначити, що спостереження показують найбільш значний спад у районах (гора Сабуеті, Поті), які в Атласі вітрів розглядаються як найбільш перспективні місця для розвитку вітроенергетики. У той час як середня швидкість вітру зменшується, кількість днів із сильним вітром збільшується в деяких районах, що слід пояснити збільшенням частоти таких днів за останні 15 років і найчастіше спостерігається в долині річки Мткварі (Горі, Тбілісі).

Очікувані негативні наслідки ще більше посиляться в майбутньому. Без розробки практик, стійких до зміни клімату, заходів щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та покращення готовності та можливостей країни найбільш чутливі до клімату сектори стануть більш вразливими, а інші негативні наслідки зміни клімату також посиляться, зокрема:

- збільшення частоти та інтенсивності екстремальних гідрометеорологічних явищ у контексті зміни клімату, тенденція, яка вже спостерігається в Грузії;

- збільшення масштабів і частоти зсувних/гравітаційних і селевих процесів, тенденція, яка вже спостерігається в Грузії;

- інтенсивне танення льодовиків, що вже спостерігається в Грузії;

- прискорення процесів затоплення та втрати прибережних територій внаслідок антропогенного впливу. Підвищення рівня моря – основний негативний вплив глобального потепління на прибережні райони, що робить узбережжя Грузії особливо вразливим;

- ерозія ґрунтів – одна з головних причин деградації сільськогосподарських, лісових і високогірних земель.

- підвищення температури впливає на тваринництво та його продуктивність, а також на багаторічні та зернові культури та біорізноманіття;

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

- підвищення температури сприяє скороченню водних ресурсів, тенденція, яка вже спостерігається в Грузії;
- несприятливий вплив клімату на ліси проявляється як у прогресуванні існуючих шкідників і хвороб, так і в появі нових шкідливих комах і хвороб.

1.5. Міжнародні аспекти кліматичної діяльності

Міжнародні аспекти діяльності з контролю клімату включають співпрацю та координацію між країнами для вирішення проблем зміни клімату в глобальному масштабі. Усвідомлюючи, що зміна клімату є транскордонною проблемою, яка вимагає колективних дій, країни об'єдналися, щоб розробити рамки, угоди та установи для пом'якшення викидів парникових газів, адаптації до наслідків зміни клімату та підтримки сталого розвитку. Ось деякі ключові міжнародні аспекти діяльності з контролю клімату.

Рамкова конвенція ООН про зміну клімату (РКЗК ООН).

РКЗК ООН, заснована в 1992 році, є глобальною угодою, яка забезпечує загальну основу для міжнародного співробітництва у сфері зміни клімату. Її метою є стабілізація концентрації парникових газів в атмосфері та запобігання небезпечному втручання людини в кліматичну систему. Договір закладає основу для подальших переговорів і угод, включаючи Паризьку угоду.

У 1992 році Організація Об'єднаних Націй прийняла Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату (РКЗК ООН), метою якої було стабілізувати концентрацію парникових газів в атмосфері. Такий рівень має бути досягнутий протягом часу, достатнього для того, щоб екосистеми могли природним чином адаптуватися до зміни клімату.

РКЗК ООН підписали та ратифікували 196 країн і 1 регіональна організація. РКЗК ООН є рамковою конвенцією, яка створює загальний режим боротьби зі зміною клімату. Конкретні та юридично обов'язкові цілі викладені в інших додаткових договорах – Кіотському протоколі 1997 року (набув чинності у 2005 році) та Паризькій угоді 2015 року (набрав чинності у 2016 році).

РКЗК ООН вимагає від сторін Конвенції, включно з Грузією, збирати інформацію та звітувати про такі гази:

- вуглекислий газ (CO_2);
- метан (CH_4);
- закис азоту (N_2O);
- гідрофторвуглеці (ГФВ);
- перфторвуглець (ПФУ);
- гексафторид сірки (SF_6).

Конвенція побудована на принципах справедливості та «загальної, але диференційованої відповідальності».

Це означає, що Конвенція пропонує різні режими викидів ПГ для окремих країн. Наприклад, він накладає більший тягар на розвинені країни; вони повинні

відігравати провідну роль у боротьбі зі зміною клімату та скорочувати викиди більшою мірою, ніж країни, що розвиваються. Вони називаються «країнами Додатку І» і включають усі розвинені країни, а також Туреччину, Чехію, Білорусь та Україну.

Київський протокол вимагав від 37 промислово розвинутих країн і Європейського Союзу скоротити викиди ПГ в середньому на 5 % нижче рівня 1990 року в період 2008-2012 років, тоді як країни, що розвиваються (включаючи Грузію), які входять до «країн Додатку II», отримали вибір добровільно виконувати вимоги та поступово готуватися до скорочення своїх викидів (рис. 1.10).

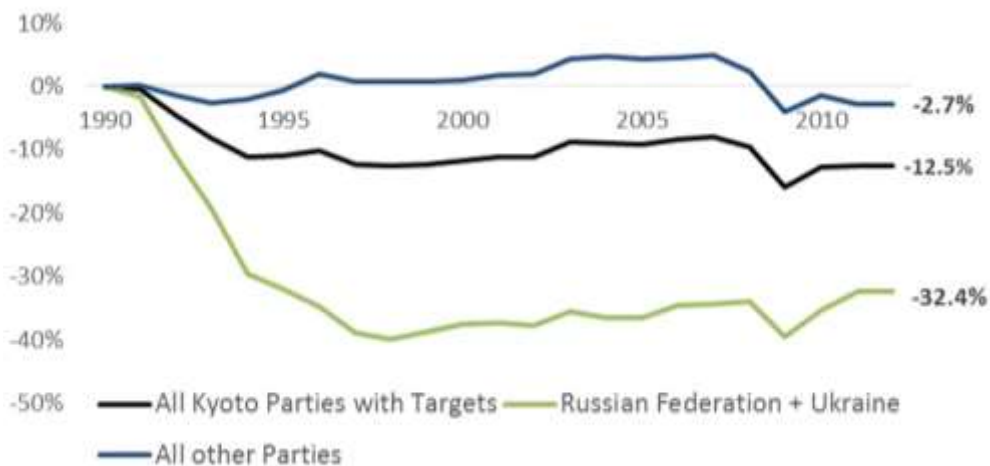


Рис. 1.10. Викиди за Київським протоколом, 1990-2012 (англ.)

Згідно з вимогами Протоколу, розвинені країни повинні були скоротити викиди парникових газів у середньому на 18 % до 2013-2020 років порівняно з рівнем 1990 року.

Спільне впровадження, визначене статтею 17 Протоколу, дозволило розвиненим країнам, які не можуть досягти своїх цілей, купувати кредити на викиди в країнах, що розвиваються. Це фактично дозволило розвиненим країнам обійти свої зобов'язання (рис. 1.11).

Початкова ідея полягала в тому, щоб спрямувати фінансування на найбільш економічно ефективні проекти, зберігаючи переваги для клімату. Звіт за 2015 рік показав, що близько 80 % проектів у рамках системи торгівлі викидами Київського протоколу мали низьку екологічну якість. Система спільного впровадження фактично збільшила викиди приблизно на 600 млн метричних т. Найбільше прибутоквали російські та українські компанії, які видали 90 % кредитів.

Київський протокол закінчується до 2020 року, тому за визначенням він не є довгостроковим рішенням. Завдяки цій угоді розвинені країни загалом скоротили свої викиди на 20 %, що похвально, але недостатньо.

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

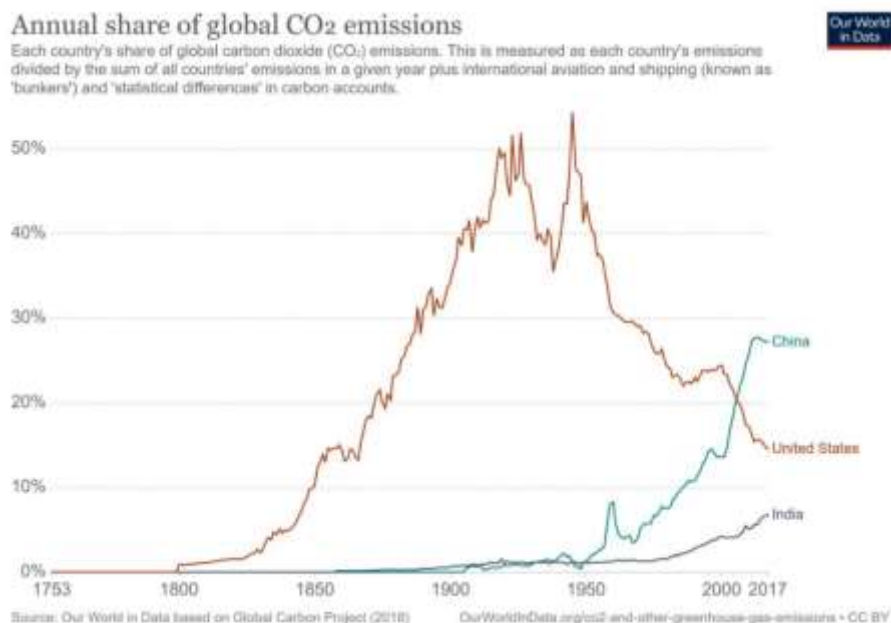


Рис. 1.11. Річна частка глобальних викидів CO₂ (англ.)

Як тоді оцінити його ефективність? Якби це було приголомшливим успіхом і повністю реалізувало свій потенціал, воно б скоротило викиди в США, Китаї та Індії на 20 % разом з іншими відданими країнам. Крім того, він застосовувався лише до промислово розвинутих країн, тобто не міг обмежити зростання тих, що перебувають у розвитку, на які разом припадає 75 % глобальних викидів (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Еволюція кліматичних ініціатив (англ.)

Паризька угода. Паризька угода, прийнята в 2015 році в рамках РКЗК ООН, є знаковою міжнародною угодою, яка має на меті обмежити глобальне потеп-

ління значно нижче 2 °C порівняно з доіндустріальним рівнем і продовжувати зусилля щодо обмеження підвищення температури до 1,5 °C. Вона встановлює основу для встановлення країнами власних національно визначених внесків (NDC) для зменшення викидів парникових газів, підвищення стійкості до зміни клімату та надання фінансової та технологічної підтримки країнам, що розвиваються. Угода була ратифікована більшістю країн і є значним кроком у глобальній кліматичній співпраці.

Кліматологи попереджають, що зобов'язання країн щодо скорочення викидів парникових газів, взяті наприкінці 1990-х років, а також заходи, вжиті досі, недостатні для запобігання подальшому підвищенню температури. Якщо країни продовжуватимуть поточні тенденції викидів парникових газів до 2100 року, середня глобальна температура може підвищитися на 4,1 до 4,8 °C⁸. Це призведе до незворотних змін у погодній системі, посилить танення льодовиків і крижаного покриву, посилить екстремальні погодні явища, прискорить інші негативні наслідки зміни клімату.

Саме посилення закликів до запобігання кліматичній кризі призвело до багаторічних переговорів щодо розробки нового курсу дій для боротьби зі зміною клімату. У 2015 році ці зусилля принесли результати, і міжнародне співтовариство об'єдналося, щоб виробити угоду, відому як Паризька угода, із більш суворим набором цілей. Паризька угода встановлює ціль обмежити підвищення глобальної температури до 2 °C і має намір продовжувати зусилля для обмеження цього підвищення до 1,5 °C. Якщо ціль буде досягнуто, ризики та наслідки зміни клімату будуть значно зменшені.

Досягнення цільових значень 2 °C і 1,5 °C значно зменшить ризики та наслідки зміни клімату порівняно з тим, щоб не вживати заходів. Станом на січень 2021 року Паризьку угоду підписали 197 сторін і ратифікувала 191 країна.

Серед інших ключових зобов'язань Паризької угоди:

- визначення національно визначених внесків (NDC) у боротьбу зі зміною клімату;
- розробка та впровадження довгострокових стратегій розвитку з низьким рівнем викидів (LT-LEDS); і
- створення глобальної системи вуглецевого ринку для переходу країн до економіки з низьким рівнем викидів.

Зміна клімату становить нагальну та потенційно незворотну загрозу для людського суспільства та планети. Визнаючи це, переважна більшість країн світу прийняли Паризьку угоду в грудні 2015 року, головною метою якої є продовження зусиль щодо обмеження глобального підвищення температури до 1,5 °C. Роблячи це, ці країни через Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату (РКЗК ООН) також запросили МГЕЗК надати спеціальний звіт про вплив глобального

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

потепління на 1,5 °C вище доіндустріального рівня та пов'язані з цим шляхи глобальних викидів парникових газів (рис. 1.13).

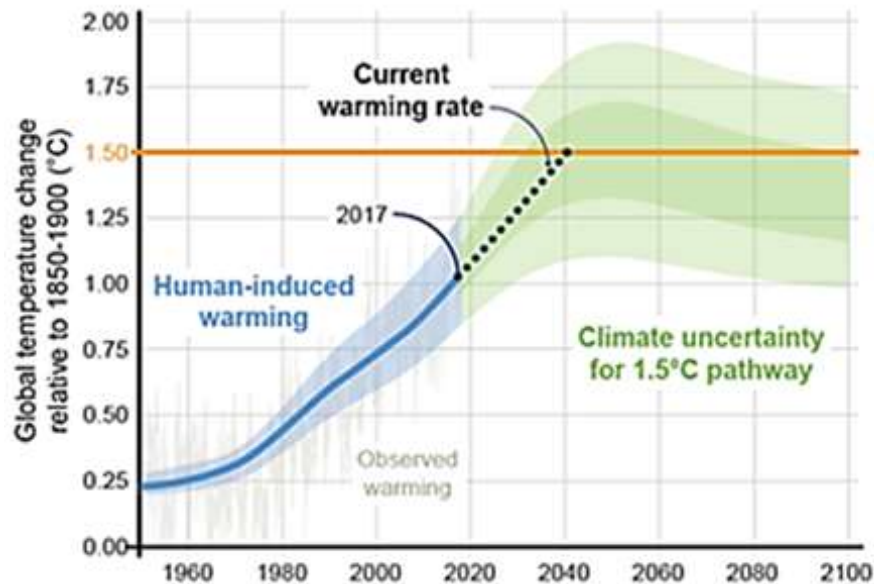


Рис. 1.13. Глобальні зміни температури відносно періоду 1850-1900 (°C) (англ.)

Дослідження ІРСС представляє попередні оцінки того, коли очікується підвищення глобальної температури в 1,5 рази порівняно з доіндустріальними часами. Якщо викиди парникових газів у світі продовжуватимуться, як завжди, то у 2040 році спостерігатиметься зростання в 1,5 рази.

Згідно з поточними прогнозами, очікується, що до кінця століття середньорічна температура зросте на 2-5-6 °C, залежно від того, збільшаться або зменшаться викиди. Якщо викиди CO₂ залишаться незмінними, то протягом наступних 100 років очікується найгірший сценарій розвитку подій, який передбачає підвищення середньорічної температури на 3-5 °C. Зменшення викидів може обмежити прогнозоване підвищення середньорічної температури приблизно до 1,5 °C. Цей сценарій закріплено в Паризькій угоді, яка закликає Сторони РКЗК ООН скоротити свої викиди ПГ (рис. 1.14).

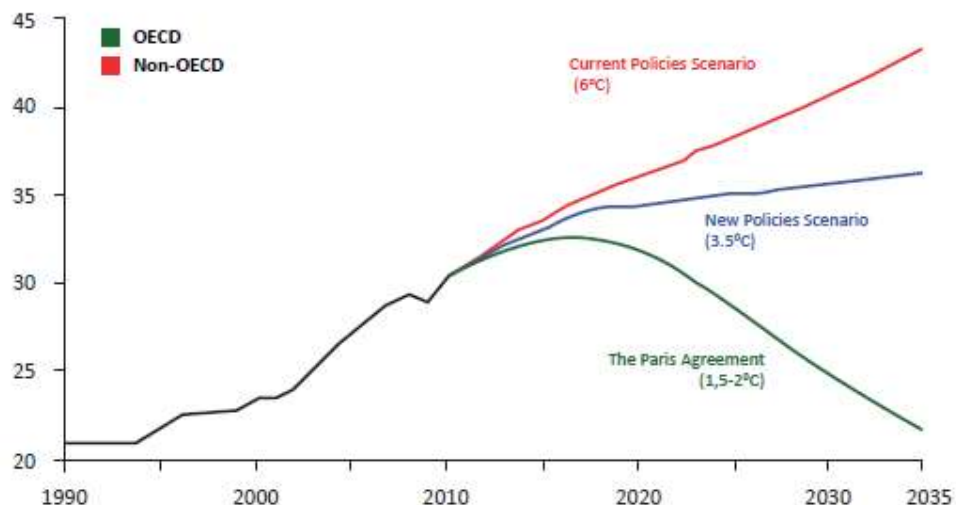


Рис. 1.13. Майбутні зміни температури на основі прогнозованих викидів парникових газів (англ.)

Сценарії підвищення середньорічної температури залежать від рівнів викидів CO₂: поточний сценарій політики призводить (червона лінія) до найгірших результатів, підвищуючи середньорічну температуру на 5-6 °C. Сині та зелені лінії відображають нові політичні сценарії, які включають заходи щодо скорочення викидів CO₂, обмежуючи підвищення середньорічної температури до 1,5-2 °C (рис. 1.15).

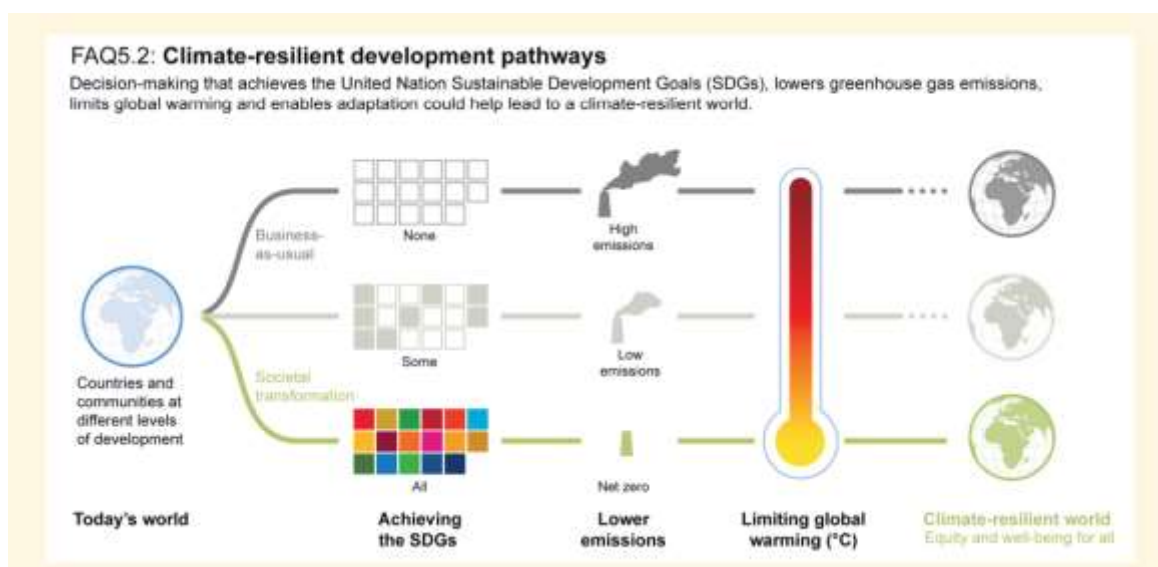


Рис. 1.15. Шляхи стійкого до клімату розвитку

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Міжнародні аспекти діяльності з контролю клімату мають важливе значення для сприяння співробітництву, справедливості та забезпечення узгодженості глобальних зусиль для ефективної боротьби зі зміною клімату. Постійне міжнародне співробітництво, посилення амбіцій та ефективна реалізація кліматичної політики мають вирішальне значення для досягнення сталого та стійкого майбутнього для всіх.

Національно визначені внески (NDC). Згідно з Паризькою угодою, кожна країна-учасниця зобов'язана подати свій NDC, який окреслює її самовизначені цілі та дії щодо боротьби зі зміною клімату. NDC включають цілі скорочення викидів, плани адаптації та стратегії сталого розвитку. Очікується, що регулярні оновлення та перегляди NDC відображатимуть зростаючі амбіції з часом.

Міжнародні кліматичні фонди. Було створено різні міжнародні кліматичні фонди для підтримки країн, що розвиваються, у їхніх зусиллях із пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації. Наприклад, Зелений кліматичний фонд (GCF) надає фінансові ресурси країнам, що розвиваються, для допомоги в їх кліматичних проектах і програмах. Інші фонди включають Адаптаційний фонд, Глобальний екологічний фонд (GEF) і кілька двосторонніх і багатосторонніх фондів, спрямованих на допомогу вразливим країнам у їхніх кліматичних діях.

Передача технологій та розбудова потенціалу. Міжнародне співробітництво передбачає обмін технологічними інноваціями, знаннями та передовим досвідом між країнами для прискорення кліматичних заходів. Розвинені країни часто підтримують країни, що розвиваються, у передачі технологій, нарощуванні потенціалу та доступі до кліматичного фінансування, що дозволяє їм ефективно впроваджувати заходи з пом'якшення та адаптації.

Конференції Сторін (COP). COP є вищим органом прийняття рішень РКЗК ООН. Вони скликається щороку, об'єднуючи представників країн-членів для оцінки прогресу, укладення угод і прийняття рішень з питань, пов'язаних із кліматом. Зустрічі COP забезпечують країни платформою для участі в переговорах, обміну досвідом і співпраці у вирішенні кліматичних проблем.

1.6. Заходи проти зміни клімату

Реагування на зміну клімату вимагає комплексного підходу, який пом'якшує основні причини зміни клімату (тобто скорочення викидів парникових газів) і запобігає або зменшує його негативний вплив. Ці два підходи відомі як пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптація.

Адаптація до зміни клімату стосується процесу адаптації та підготовки до наслідків зміни клімату з метою зменшення вразливості та підвищення стійкості.

Це передбачає вжиття проактивних заходів для передбачення, подолання та відновлення несприятливих наслідків зміни клімату для природних систем, людських суспільств та економіки (рис. 1.16).

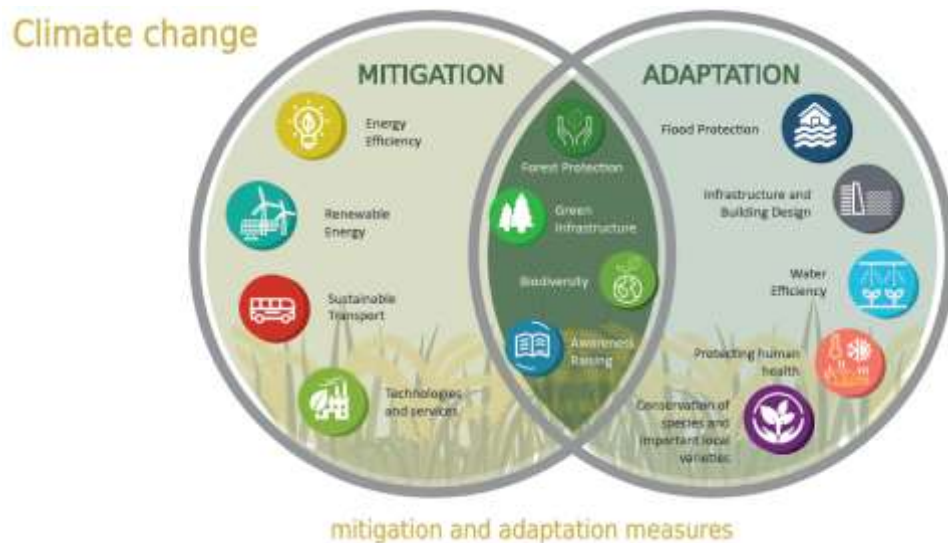


Рис. 1.16. Заходи з пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації (англ.)

Адаптація визнає, що певний рівень зміни клімату вже відбувається і, як очікується, продовжуватиметься в майбутньому, навіть якщо вжити заходів щодо зменшення викидів парникових газів. Вона зосереджена на управлінні ризиками та наслідками, пов'язаними зі зміною клімату, особливо в регіонах, де неможливо запобігти або повністю усунути ці наслідки.

Серед заходів адаптації до зміни клімату можна виділити кілька основних аспектів:

- Розуміння кліматичних ризиків. Оцінка поточних і майбутніх кліматичних ризиків, характерних для регіону чи галузі, має вирішальне значення. Це передбачає розуміння місцевих кліматичних моделей, прогнозів і потенційного впливу на різні системи, такі як водні ресурси, сільське господарство, інфраструктура, екосистеми та здоров'я людини.
- Підвищення стійкості – розробка стратегій і дій для підвищення стійкості до наслідків зміни клімату. Це включає в себе впровадження заходів, які зменшують вразливість, зміцнюють здатність до адаптації та покращують здатність відновлюватися після екстремальних подій.
- Планування інфраструктури та землекористування – врахування питань зміни клімату в проектуванні інфраструктури, плануванні землекористування та політиці розвитку. Це включає в себе проектування будівель та інфраструктури,

щоб протистояти мінливим кліматичним умовам, захист критичної інфраструктури від підвищення рівня моря або екстремальних погодних явищ, а також управління землекористуванням, щоб уникнути впливу кліматичних ризиків.

- Управління водними ресурсами – Адаптація методів управління водними ресурсами до зміни режиму опадів і збільшення нестачі води. Це може включати підвищення ефективності використання води, посилення заходів зі зберігання та збереження води, а також розробку стратегій боротьби з посухами та повенями.

- Адаптація сільського господарства – впровадження кліматично-розумних методів ведення сільського господарства для підвищення продовольчої безпеки та стійкості до мінливих кліматичних умов. Це може включати диверсифікацію культур, покращення управління водними ресурсами, впровадження стійких методів ведення сільського господарства та використання кліматичної інформації для кращого прийняття рішень.

- Адаптація на основі екосистеми – захист і відновлення природних екосистем для підвищення їх здатності протистояти впливу зміни клімату. Збереження лісів, водно-болотних угідь і прибережних територій може допомогти пом'якшити наслідки повеней, ерозії та забезпечити інші екосистемні послуги, які підтримують добробут людей.

- Здоров'я та соціальна адаптація – розгляд впливу зміни клімату на здоров'я людини, уразливі групи населення та соціальні системи. Це може включати розробку стратегій громадського здоров'я, покращення можливостей реагування на катастрофи та подолання соціальної нерівності, що посилюється зміною клімату.

- Обмін знаннями та інформацією – сприяння дослідженням, моніторингу та збору даних для покращення розуміння наслідків зміни клімату та стратегій адаптації. Обмін знаннями, найкращими практиками та досвідом між зацікавленими сторонами, включаючи уряди, громади та організації, може сприяти ефективним зусиллям з адаптації.

- Адаптація до зміни клімату – це постійний процес, який вимагає співпраці та координації між різними зацікавленими сторонами, включаючи уряди, громади, підприємства та неурядові організації. Активно адаптуючись до мінливого клімату, суспільства можуть мінімізувати несприятливі наслідки, захистити вразливі верстви населення та побудувати більш стійке майбутнє.

Пом'якшення наслідків зміни клімату вимагає колективних зусиль як на індивідуальному, так і на суспільному рівнях. Для скорочення викидів парникових газів і мінімізації впливу зміни клімату розглядаються наступні ключові заходи:

- Перехід до відновлюваної енергії – перехід від джерел енергії, що базуються на викопному паливі, до відновлюваної енергії, такої як сонячна, вітрова, гідро- та геотермальна енергія. Цей шлях повинен полягати у сприянні розробці

та впровадженню технологій чистої енергії для зменшення викидів парникових газів від виробництва електроенергії та транспортування.

- Енергоефективність – покращення енергоефективності в будівлях, транспорті та промислових процесах. Цього можна досягти за допомогою енергозберігаючих приладів, ізоляції, ефективних транспортних систем і промислових методів, які мінімізують витрати енергії.

- Сталий транспорт – заохочуйте використання громадського транспорту, їзду на велосипеді та пішки. Цьому також сприятиме впровадження електромобілів і розвиток інфраструктури для підтримки їх зарядки, а також зменшення залежності від транспортних засобів, що працюють на викопному паливі, і сприяння використанню палива з низьким вмістом вуглецю.

- Збереження та відновлення лісів – необхідно захистити і відновити ліси, оскільки вони діють як поглиначі вуглецю, поглинаючи та накопичуючи вуглекислий газ. Необхідно також впроваджувати методи сталого управління земельними ресурсами, зменшувати вирубку лісів і підтримувати зусилля з відновлення лісів для посилення секвестрації вуглецю.

- Стале сільське господарство – сприяйте сталим методам ведення сільського господарства, які зменшують викиди парникових газів, наприклад, органічному землеробству, агролісомеліорації та точному землеробству. Зведіть до мінімуму використання синтетичних добрив і сприяйте сталому веденню худоби.

- Управління відходами – запровадити ефективні системи управління відходами, які віддають перевагу технологіям переробки, компостування та використання відходів для отримання енергії. Зменшити утворення відходів і просувати принципи циклічної економіки, щоб мінімізувати викиди парникових газів зі звалищ.

- Практика зеленого будівництва – заохочуйте будівництво енергоефективних та екологічно чистих будівель. Сприяти використанню відновлюваних матеріалів, ефективної ізоляції, енергозберігаючих технологій і принципів екологічного проектування.

- Освіта та обізнаність – підвищення обізнаності громадськості про зміну клімату та її вплив. Просувати освітні та комунікаційні кампанії для заохочення стійкої поведінки, енергозбереження та відповідального споживання.

- Міжнародне співробітництво – заохочуйте глобальне співробітництво та співпрацю для вирішення проблеми зміни клімату. Підтримуйте міжнародні угоди та ініціативи, спрямовані на скорочення викидів парникових газів, сприяння чистим технологіям і надання фінансової допомоги країнам, що розвиваються, для адаптації до клімату та пом'якшення його наслідків.

- Політика та регулювання – запроваджуйте ефективні політики, правила та стимули для переходу до економіки з низьким вмістом вуглецю. Встановіть цілі

щодо скорочення викидів, установить механізми ціноутворення на викиди вуглецю та створить стимули для впровадження відновлюваної енергії та підвищення енергоефективності.

- Важливо відзначити, що для ефективного пом'якшення наслідків зміни клімату необхідні індивідуальні дії разом із колективними зусиллями урядів, компаній і громад. Вживаючи активних заходів для зменшення викидів парникових газів і сприяючи сталим практикам, ми можемо допомогти пом'якшити зміни клімату та побудувати більш стійке та стійке майбутнє.

1.7. Національна законодавча база Грузії у сфері запобігання зміні клімату, адаптації та пом'якшення її наслідків ³

У квітні 2021 року уряд Грузії схвалив оновлений Національно визначений внесок (NDC) і стратегію клімату до 2030 року та план дій на 2021-2023 роки (CSAP) як інструмент реалізації NDC.

Грузія планує виконати визначений на національному рівні внесок у наступне десятиліття. Зокрема, у період з 1 січня 2021 року по 31 грудня 2030 року.

Довгострокове бачення Кліматичної стратегії та Плану дій передбачає скорочення загальних викидів парникових газів до 2030 року на 35 % нижче рівня 1990 року для всіх ключових секторів економіки, пов'язаних із пом'якшенням наслідків зміни клімату.

З точки зору пом'якшення, оновлений NDC збільшив свої безумовні (35 %) та умовні (50-57 %) цілі щодо скорочення викидів парникових газів до 2030 року порівняно з 1990 роком; А з точки зору адаптації, вона зобов'язується покращити свою здатність адаптуватися до зміни клімату шляхом мобілізації внутрішніх і міжнародних ресурсів для секторів, які особливо вразливі до зміни клімату.

Крім того, NDC включає галузеві цілі пом'якшення наслідків, а також положення, пов'язані з гендерними проблемами та зміною клімату, щоб посилити роль жінок як агентів змін через їхню участь у процесах прийняття рішень. Він також планує заохочувати гендерний аналіз, розвиток потенціалу та обмін знаннями в проектах, пов'язаних зі зміною клімату.

Метою внеску, визначеного на національному рівні Грузії, є сприяння сталому та збалансованому розвитку країни, в рамках якого однаково розглядаються кліматичні, екологічні та соціально-економічні виклики. Внесок, визначений на національному рівні Грузії, виглядає наступним чином:

- Грузія бере на себе безумовне зобов'язання скоротити свої національні викиди парникових газів до 35 % нижче рівня 1990 року до 2030 року. Ця ціль не

³ Цей розділ складено на основі документа – Стратегія зміни клімату Грузії до 2030 року, 2021 рік
Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

включає викиди від землекористування, змін у землекористуванні та лісового господарства (LULUCF). Це означало б, що загальні національні викиди, за винятком LULUCF, повинні бути обмежені не більше ніж 29,25 МтCO₂ е у 2030 році.

- Грузія бере на себе умовне зобов'язання скоротити загальні національні викиди парникових газів на 50-57 % порівняно з рівнем 1990 року до 2030 року. У випадку, якщо світ слідуватиме сценарію обмеження підвищення середньої глобальної температури до 2 °C або 1,5 °C відповідно за міжнародної підтримки (рис. 1.17).

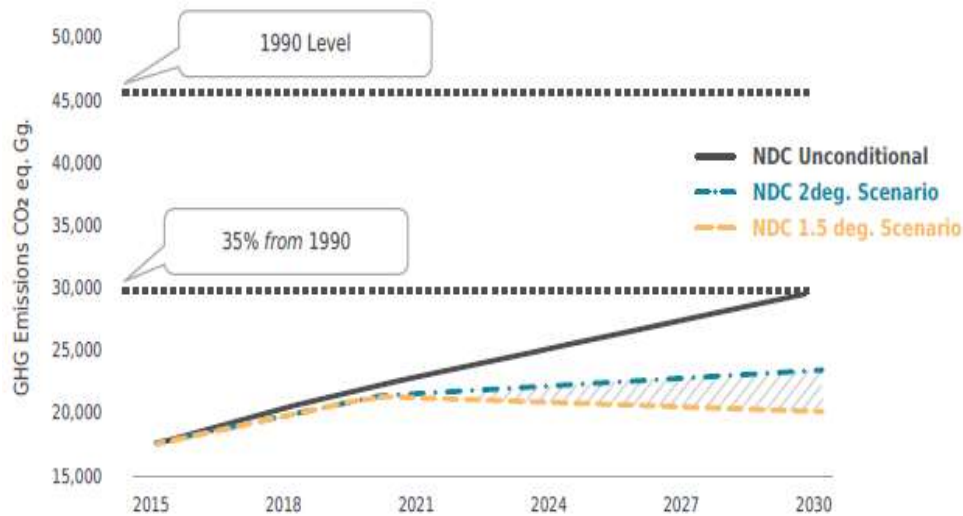


Рис. 1.17. Цільові показники оновленого документу визначеного внеску 2021 (англ.)

За даними за 2015 рік, викиди парникових газів у Грузії склали 17,6 МтCO₂е. Викиди парникових газів утворюються в семи секторах: виробництво та передача енергії, транспорт, будівництво, промисловість, сільське господарство, управління відходами та ліс. Тому Кліматична стратегія та План дій розділені відповідно до цих секторів. Цей поділ дещо відрізняється від категоризації джерел викидів, визначеної Національним кадастром парникових газів, який об'єднує всі викиди, пов'язані з енергетикою, в одну групу. Згідно з Кліматичною стратегією та Планом дій, енергетичний сектор поділяється на кілька ключових підкатегорій, оскільки більшість заходів Плану дій з питань клімату спрямовані на раціональне використання енергії, і, отже, структура сформульована відповідно до секторів виробництва та споживання енергії.

Генерація та передача енергії: МЕТА 1 – Зменшити до 2030 року викиди парникових газів у секторі виробництва та передачі енергії на 15 % нижче базового сценарію.

Цілі:

1.1. Підтримувати виробництво відновлюваної енергії (вітру, сонця, гідроенергії, біомаси).

1.2. Підвищити середню ефективність теплових електростанцій.

1.3. Посилити потенціал інтеграції відновлюваної енергії в мережу передачі Грузії.

1.4. Розробити нових програмних документів та законодавство для енергетичного сектору.

Інші пріоритетні напрямки на майбутнє:

- Подальше просування відновлюваної енергії (гідро, сонячна, вітрова);
- Техніко-економічне обґрунтування біогазової електростанції (рис. 1.18, 1.19).

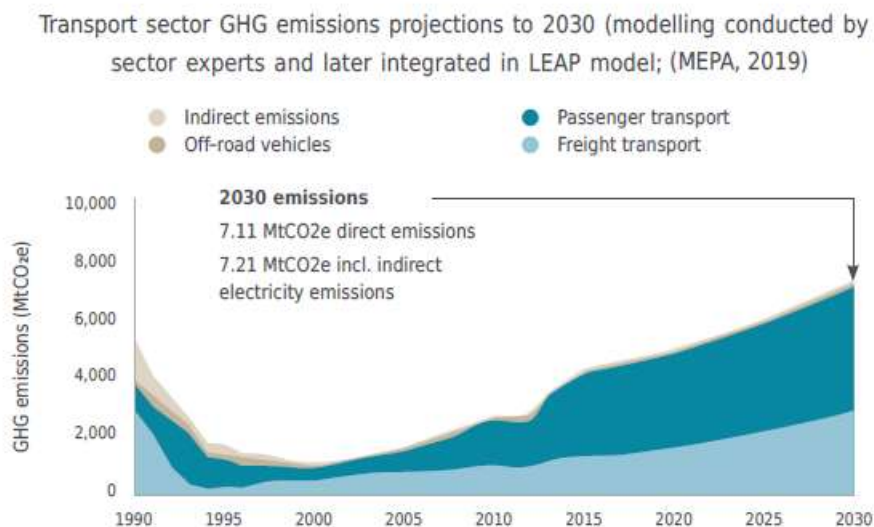


Рис. 1.18. Траєкторія викидів ПГ до 2030 року (англ.)

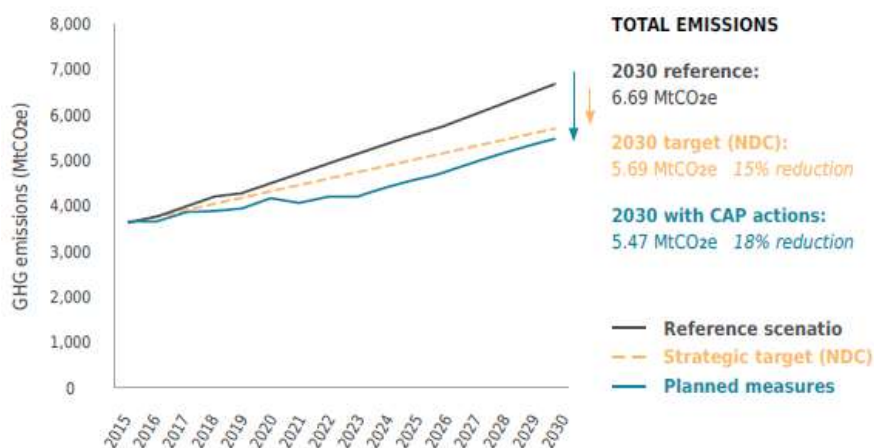


Рис. 1.19. Скорочення викидів парникових газів у секторі виробництва та передачі енергії до 2030 року за різними сценаріями (англ.)

Споживання енергії а транспорті: МЕТА 2 – до 2030 року скоротити викиди парникових газів у транспортному секторі на 15 % нижче, ніж прогнозований базовий сценарій.

Цілі:

2.1. Збільшити частку приватних транспортних засобів з низьким і нульовим рівнем викидів та придатних до експлуатації в автопарку.

2.2. Заохочувати скорочення попиту на викопне паливо та використання біопалива.

2.3. Просувати немоторизовані засоби пересування та громадський транспорт.

2.4. Впроваджувати інноваційні, засновані на фактичних даних ініціативи в транспортному секторі.

Інші пріоритетні напрямки на майбутнє:

- Заміна міського пасажирського транспорту на громадський та безмоторний транспорт;
- Заміна міжміського пасажирського транспорту на громадський;
- Підвищення енергоефективності приватного автотранспорту малої вантажопідйомності;
- Переведення вантажів з автомобільного на залізничний транспорт (рис. 1.20, 1.21).

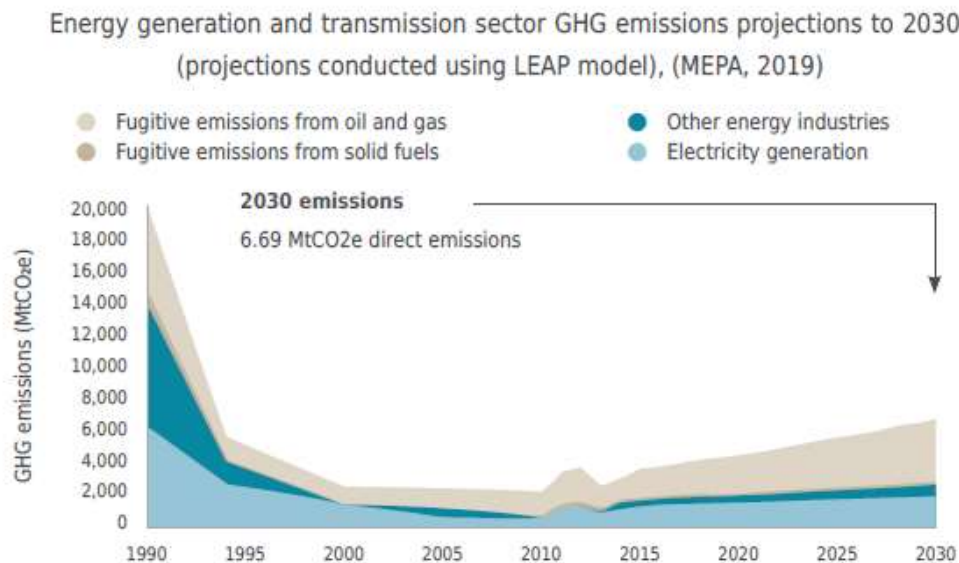


Рис 1.20. Проекти щодо викидів парникових газів у секторі виробництва та передачі енергії до 2030 року (англ.)

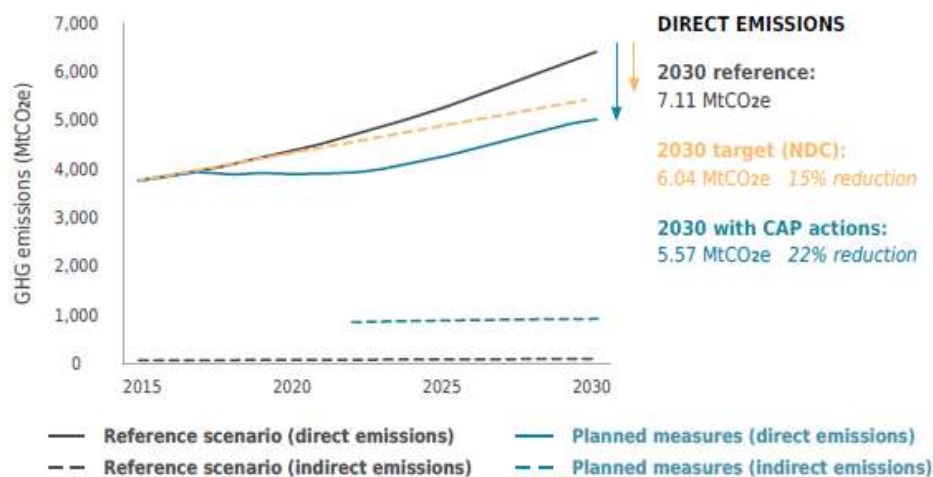


Рис. 1.21. Скорочення викидів транспортного сектору до 2030 року за різними сценаріями (англ.)

Споживання енергії у будівництві: МЕТА 3 – підтримувати розвиток підходів з низьким вмістом вуглецю в будівельному секторі шляхом просування екологічно розумних та енергоефективних технологій і послуг.

Цілі:

3.1. Розробити системи енергоефективної сертифікації будівель.

3.2. Підвищити обізнаність споживачів щодо енергоефективності.

3.3. Заохочувати застосування енергоефективних підходів та встановлення енергоефективного освітлення в житлових, комерційних та громадських будівлях.

3.4. Підтримувати використання сонячної енергії для нагріву води та використання енергозберігаючих печей.

3.5. Підготувати високопрофесійний персонал з енергоефективності.

Інші пріоритетні напрямки на майбутнє:

- Створення інформаційної системи енергоефективності будівель;
- Підвищення енергоефективності житлових будинків;
- Теплопостачання житлових будинків;
- Оновлення кліматичних стандартів будівництва;
- Впровадження енергоефективних підходів у туристичній сфері (рис. 1.22, 1.23).

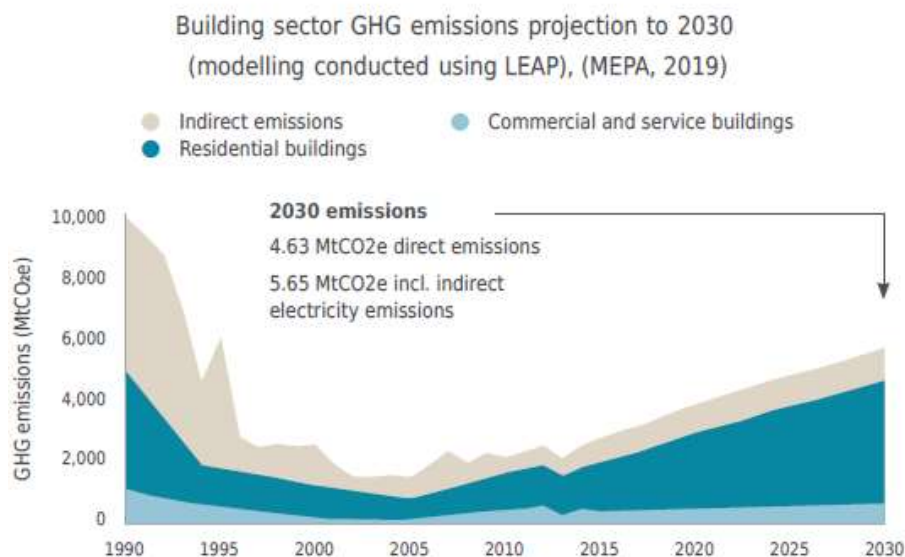


Рис. 1.22. Прогнозування викидів парникових газів у будівельному секторі до 2030 року (англ.)

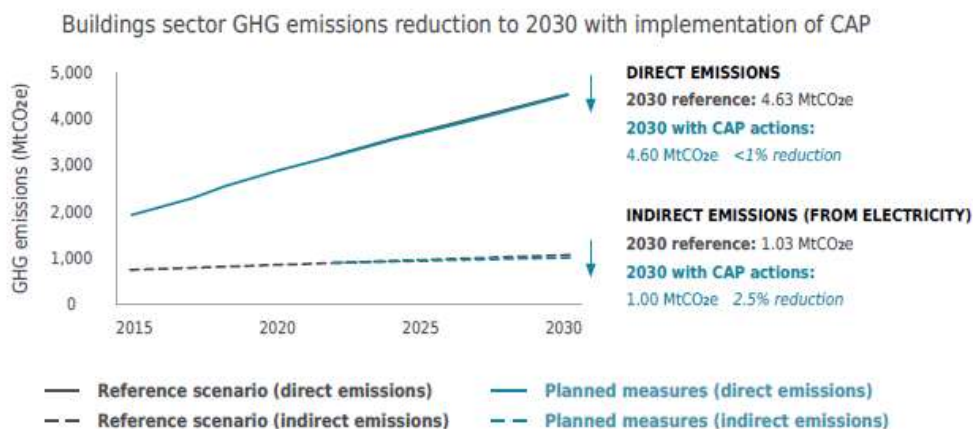


Рис. 1.23. Скорочення викидів парникових газів у будівельному секторі до 2030 року з впровадженням CAP

Енергоспоживання в промисловості та виробничих процесас: МЕТА 4 – підтримувати розвиток низьковуглецевих підходів у промисловому секторі шляхом просування екологічно розумних та енергоефективних технологій і послуг для скорочення викидів парникових газів до 5 % нижче прогнозів базового сценарію до 2030 року.

Цілі:

4.1. Зменшити рівень викидів парникових газів від промислових процесів та від енергоспоживання промислових об'єктів шляхом впровадження сучасних технологій.

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

4.2. Розробити систему для вивчення коефіцієнтів викидів у промисловому секторі та для управління даними.

Інші пріоритетні напрямки на майбутнє:

- заходи, пов'язані зі скороченням викидів від виробництва сталі або допоміжні заходи щодо запровадження енергоаудиту та схем сертифікації.
- переорієнтація цементної промисловості на ефективне використання відходів (для виробництва тепла) (рис. 1.24, 1.25).

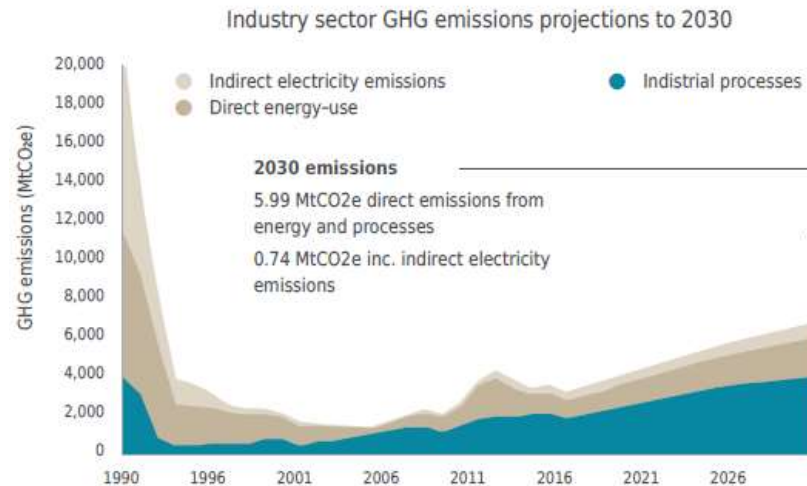


Рис. 1.24. Траєкторія викидів парникових газів промисловістю до 2030 року (англ.)

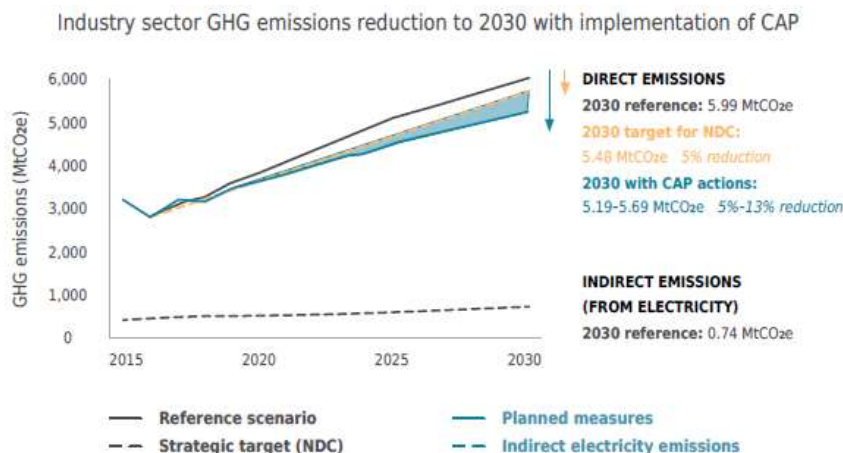


Рис. 1.25. Скорочення викидів парникових газів у промисловості до 2030 року (англ.)

Сільське господарство: МЕТА 5 – підтримувати розвиток сільськогосподарського сектора з низьким вмістом вуглецю, заохочуючи кліматично розумні та енергоефективні технології та послуги.

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Цілі:

5.1. Впроваджувати стале управління ґрунтами та пасовищами та підтримувати запровадження сталої практики годівлі домашніх тварин.

5.2. Розвивати спроможність генерувати наукові докази для розробки кліматично-розумних підходів у сільськогосподарському секторі.

Інші пріоритетні напрямки на майбутнє:

- Покращена система збору даних;
- Регулювання методів спалювання та пересадка вітрозахисних смуг;
- Регулювання практики зрошення;
- Регулювання надмірного випасу та нераціонального використання ґрунтів;
- Агролісомеліоративний напрям (рис. 1.26, 1.27).

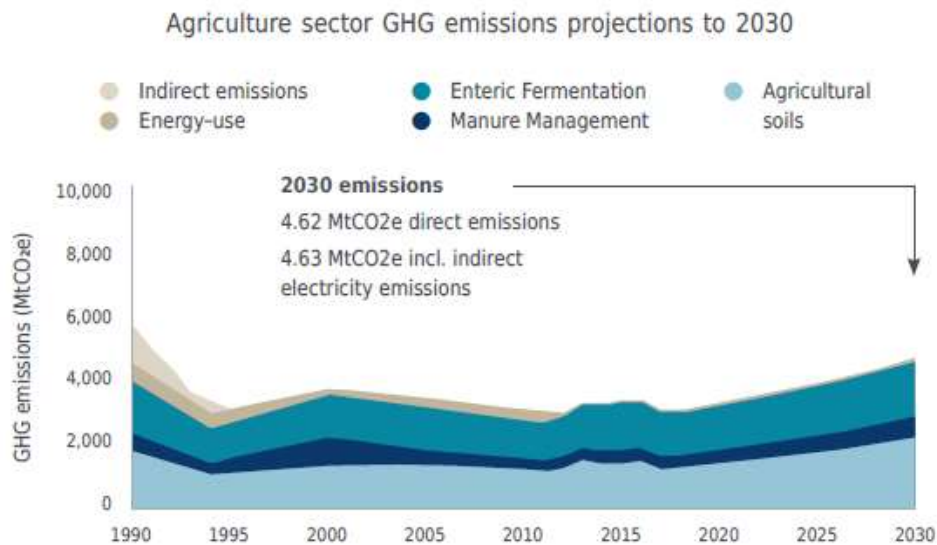
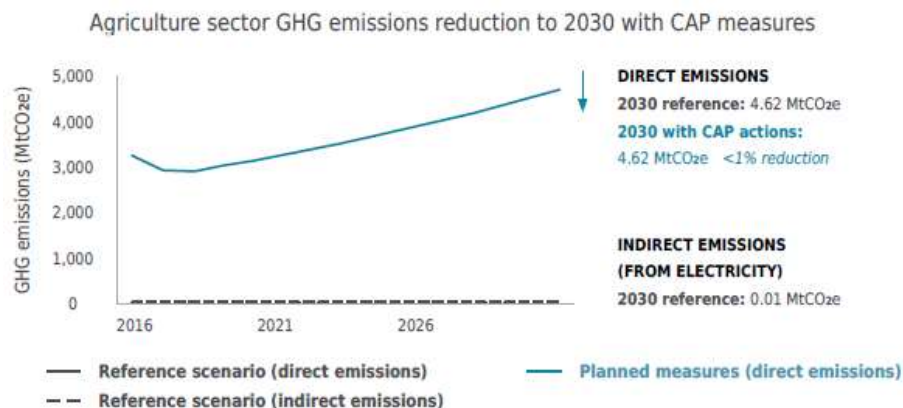


Рис. 1.26. Траєкторія викидів парникових газів у сільському господарстві до 2030 року (англ.)



Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Рис. 1.27. Скорочення викидів парникових газів у сільськогосподарському секторі до 2030 року за допомогою заходів (англ.)

Управління відходами: МЕТА 6 – підтримувати розвиток сектору утилізації відходів з низьким вмістом вуглецю, просуваючи екологічно розумні та енергоєфективні технології та послуги.

Цілі:

6.1. Зменшити викиди парникових газів з існуючих несанкціонованих сміттєзвалищ та нешкідливих звалищ.

6.2. Підтримувати переробки відходів.

6.3. Зменшити викиди парникових газів зі стічних вод.

6.4. Розробити систему управління відходами на основі даних.

Інші пріоритетні напрямки на майбутнє:

- Покращена система збору даних;
- Поводження з біорозкладаними відходами;
- Встановлення гранично допустимих норм (ГДН);
- Рух до скорочення та переробки (рис. 1.28, 1.29).

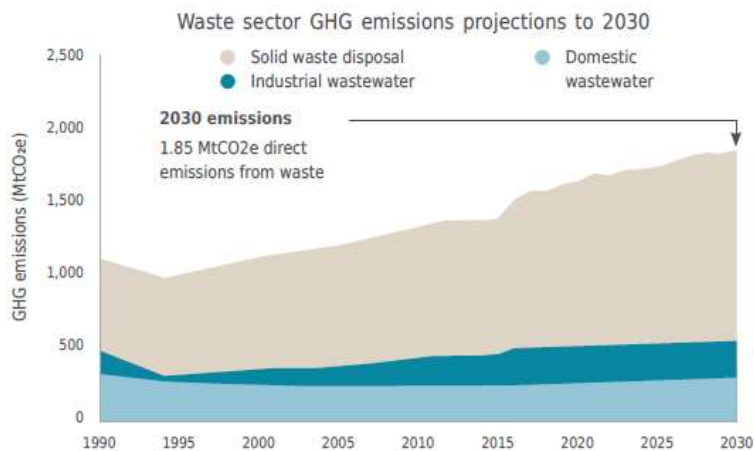


Рис. 1.28. Траєкторія викидів парникових газів до 2030 року для управління відходами (англ.)

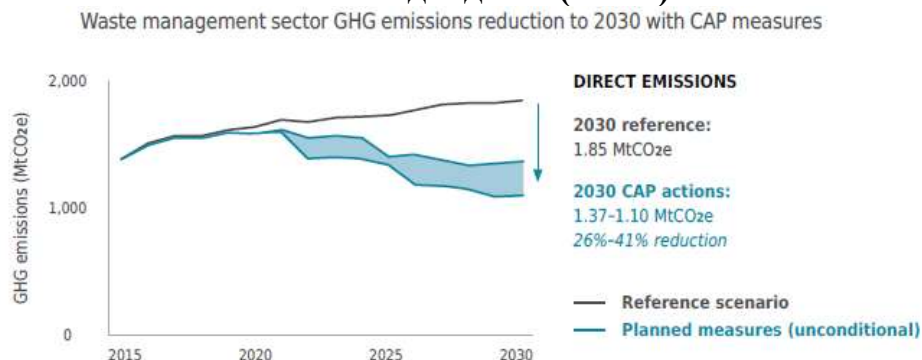


Рис. 1.29. Зменшення викидів парникових газів у секторі управління відходами до 2030 року за допомогою заходів (англ.)

Заліснення: МЕТА 7 – збільшити потенціал уловлювання вуглецю в лісовому секторі на 10 % до 2030 року порівняно з 2015 роком.

Цілі:

7.1. Відновити деградовані ліси.

7.2. Підтримувати стале управління лісами.

7.3. Розробити систему управління лісами, яка відповідає викликам зміни клімату.

Інші пріоритетні напрямки на майбутнє:

- Покращена система збору даних;
- Зменшення незаконних рубок;
- Доступ до альтернативних джерел енергії та технологій;
- Енергоефективні огорожувальні конструкції;
- Лісові пожежі (рис. 1.31, 1.31).

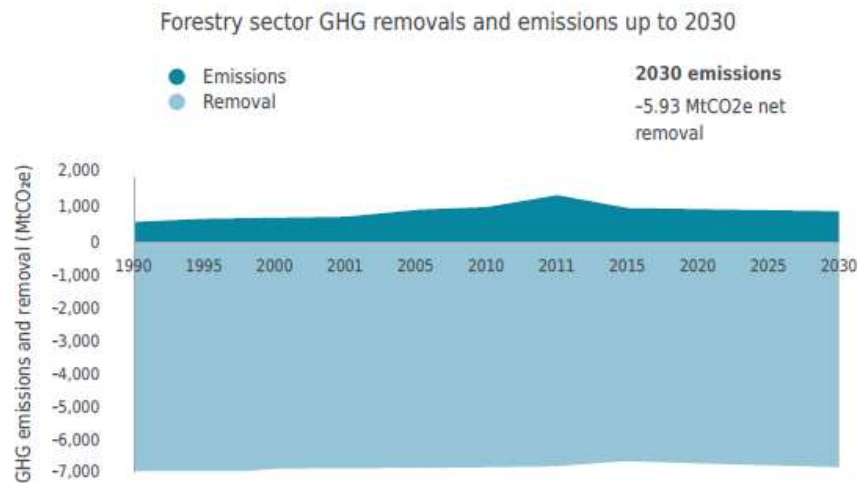


Рис. 1.30. Траєкторія викидів ПГ для лісового господарства до 2030 року (англ.)

Основною метою національно визначеного внеску Грузії є сприяння сталому та збалансованому розвитку країни, у процесі якого однаково враховуються екологічні та соціально-економічні виклики.

Важливо зазначити, що заходи з пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації до них створюють нові можливості для економічного зростання, створення робочих місць та покращення якості життя – наприклад, виробництво та встановлення теплоізоляційних матеріалів для будинків, поширення відновлюваних джерел енергії, впровадження водозберігаючих методів зрошення тощо. Це сприятиме економічному зростанню та створюватиме нові робочі місця.

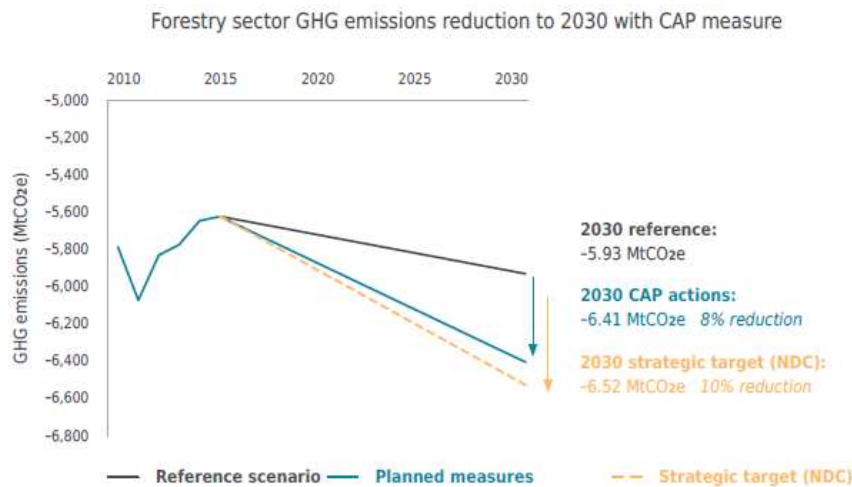


Рис. 1.31. Скорочення викидів парникових газів у лісовому секторі до 2030 року за допомогою заходів (англ.)

1.8. Базові компетенції фахівця в галузі управління кліматом

Цей посібник розроблено для підтримки впровадження модуля Climate Action Management (Управління кліматом).

Метою модуля управління кліматом є підготовка спеціаліста, застосовуючи такі результати навчання:

1. Обговорення проявів зміни клімату та її наслідки з наукової точки зору.
2. Обґрунтування та висловлення власні думки щодо адаптації до змін клімату та заходів щодо пом'якшення наслідків для різних галузей економіки та громадської діяльності.
3. Оцінка заходів та технологій управління кліматом за допомогою різних екологічних показників.
4. Вміння шукати, аналізувати, узагальнювати та оцінювати новини в галузі.
5. Ефективне подання матеріалів та наукової інформації широкій професійній аудиторії.
6. Оцінювання особливості власного навчального процесу в результаті самооцінки та самокритики та вміння правильно спланувати навчальний процес з їх урахуванням.

Модуль розроблено в рамках міжнародного ERASMUS+ проекту «Синергія освітніх, наукових, управлінських та промислових компонентів для управління кліматом і запобігання змінам клімату /CLIMAN» 619119-EPP-1-2020 -1-NL-EPPKA2-CBHE-JP.

Модуль надає випускникам-інженерам знання, навички та мотивацію для розробки, планування та впровадження технологій пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації до них у подальшому в їхній кар'єрі.

Посилання

1. IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

2. IPCC, 2019: Technical Summary. Special Report on Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

3. Climate change challenges and ways to overcome problems. 2021.

4. Contribution determined at the national level of Georgia. 2021.

5. 2030 Climate Change Strategy of Georgia. 2021.

6. The fourth national notification of Georgia to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Tb. 2021. p. 542.

7. *UN Climate Change Quarterly Report: Q1 2023 | UNFCCC*. (б. д.). <https://unfccc.int/about-us/reports/un-climate-change-quarterly-report-q1-2023#Reducing-Greenhouse-Gas-Emissions>

8. *World of Change: Global Temperatures*. (б. д.). NASA Earth Observatory - Home. <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures>

9. UNFCCC. URL: <https://unfccc.int/> (date of access: 09.11.2023).

10. *GOAL 13: Climate action*. (б. д.). UNEP - UN Environment Programme. <https://www.unep.org/explore-topics/sustainable-development-goals/why-do-sustainable-development-goals-matter/goal-13>

11. *SDG Climate Action Nexus tool (SCAN-tool)*. URL: https://ambitiontoaction.net/scan_tool/ (date of access: 09.11.2023).

12. *Climate Action Tracker*. URL: <https://climateactiontracker.org/> (date of access: 09.11.2023).

13. The Kyoto Protocol: Climate Change Success or Global Warming Failure? - Circular Ecology. *Circular Ecology*. URL: <https://circularecology.com/news/the-kyoto-protocol-climate-change-success-or-global-warming-failure> (date of access: 09.11.2023).

14. The Kyoto Protocol: Climate Change Success or Global Warming Failure? - Circular Ecology. *Circular Ecology*. URL: <https://circularecology.com/news/the-kyoto-protocol-climate-change-success-or-global-warming-failure> (date of access: 09.11.2023).

РОЗДІЛ 2

ЗМІНА КЛІМАТУ ТА ГРУЗІЯ

*Дареджан Джаші, Наргулі Асанідзе, Ціра Камададзе
(Батумський державний університет ім. Шота Руставелі, Грузія)*

Зміна клімату є глобальною проблемою, яка викликає утворення різноманітних природних, екологічних проблем, а в деяких випадках і катастроф. Саме катастрофи негативно впливають на порушення стабільного соціально-економічного життя країн та їх населення. Метою нераціональних впливів, що продукуються людською діяльністю на навколишнє середовище, є його адаптація до відповідних інтересів і цілей благополуччя суспільства, тобто між природою, людиною і соціально-економічний розвитком існує причинно-наслідковий зв'язок. Дія людини на цьому сполучному колі визначає масштаби негативних результатів, споживання енергії, зростання відходів. Створення нових промислових технологій і нераціонально реалізовуване сільське господарство супроводжуються викидом в атмосферу різноманітних речовин, у тому числі парникових газів, що є основною причиною глобального потепління та зміни глобального клімату та кліматичних зон, що сформувалися протягом років. На рубежі ХХІ ст. для більшої частини населення планети захист від стихійних лих, безпечна експлуатація сільськогосподарських та інженерних об'єктів, забезпечення сталого стану навколишнього середовища стали найважливішою соціально-економічною, політичною та екологічною проблемою. Відповідно, перед людством постає маса проблем. Найважливішими є виклики, які загрожують першому праву та цінності людини – життю через зростання та посилення катастроф у часі та просторі.

Життя є непорушним правом людини і охороняється законом (Конституція Грузії, ст. 10). Дійсно, клімат змінювався протягом історії людства, але це був послідовний і динамічний процес. Неконтрольований вплив людини на довкілля сприяв прискоренню процесу зміни клімату. У результаті активізувалося глобальне потепління, яке принесло значні негативні наслідки. В результаті глобального потепління світові запаси льоду, які становлять 70 % запасів питної води, тануть з безпрецедентною швидкістю. Що саме по собі зменшує доступ населення до питної води і, відповідно, призводить до значного зменшення частки суші на поверхні Землі.

Зміна клімату призводить до зміни природи та екосистем, збільшення ризику захворювань людства. Показово, що інтенсивність шкідливого впливу

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

«парникового ефекту» з кожним роком зростає, що робить необхідність вирішення проблеми ще більш актуальною. Очевидно, що Грузія не є винятком, і несприятливі наслідки зміни клімату болісно позначаються і на нашій країні.

27 червня 2014 року було підписано «Угоду про асоціацію Грузія-ЄС». Цією угодою Грузія зобов'язалася провести реформи та забезпечити поступове зближення законодавства країни з 300 правовими актами Європейського Союзу (поступово, відповідно до узгоджених термінів), у тому числі у сфері охорони навколишнього середовища та сталого розвитку. Посилений захист навколишнього середовища принесе користь громадянам і бізнес-сектору Грузії та Європейського Союзу, покращуючи здоров'я населення, зберігаючи природні ресурси, підвищуючи економічну та екологічну ефективність, сторони розвиватимуть і зміцнюватимуть співпрацю для подолання зміни клімату; Співробітництво здійснюватиметься на засадах рівноправності та взаємної вигоди з урахуванням інтересів сторін, з урахуванням взаємозалежності між двосторонніми та багатосторонніми зобов'язаннями у цій сфері.

Грузія, як держава-учасниця Рамкової конвенції ООН про клімат, Кіотського протоколу та Паризької угоди, зобов'язана враховувати принципи, визначені вищезазначеними міжнародними угодами, та виконувати зобов'язання, взяті на національному рівні. Глибокі зміни компонентів кліматичної системи Землі зумовлені безперешкодним викидом парникових газів. Аналіз результатів глобальних змін клімату показує, що з кінця минулого століття підвищення середньорічної температури і зміна режиму опадів у Західній Грузії справили певний вплив на лісову екосистему. У східній Грузії інтенсивність лісових пожеж і поширення шкідників зросла на тлі перепадів температур і, особливо, спекотних днів. Одним із найбільш негативних наслідків зміни клімату є збільшення частоти посух, виснаження водних ресурсів і деградація земель.

Основними викликами політики щодо зміни клімату в Грузії є: зменшення викидів парникових газів, які спричиняють зміну клімату, та підвищення адаптаційного потенціалу країни. За підтримки донорських організацій і країн у Грузії заплановано багато високобюджетних проектів для реалізації цілей пом'якшення кліматичних змін. Зміна клімату та захист навколишнього середовища набули ще більшої актуальності під час пандемії коронавірусу, яка наочно показала нам, що незважаючи на розвиток технологій, люди все ще не можуть швидко реагувати на виклики природи та нові захворювання. Грузія щодня відчуває на собі наслідки зміни клімату і її впливу на економіку країни та життя людей, що викликає тривогу. У Грузії спостерігається стрімке танення льодовиків і активізація зсувів. Повінь вже стала причиною відомих трагічних подій у Тбілісі 13 червня 2015 року, коли 20 людей втратили життя внаслідок катастрофи, викликані зміною клімату. Нещодавній зсув у столиці загрожує кільком населеним пунктам і тисячам людей. Лісові пожежі знищили тисячі

гектарів лісового покриву. У Тбілісі, де концентрація CO₂ особливо висока, гостро стоїть проблема забруднення повітря.

Питання зміни клімату та захисту навколишнього середовища є надзвичайно важливими для Грузії, про що свідчать нещодавні події, пов'язані з будівництвом Намахванської ГЕС. Зазначене питання є складним, оскільки, з одного боку, країна потребує енергетичної незалежності та додаткових потужностей енергетичних ресурсів для розвитку, а з іншого боку, унікальний потенціал долини Ріоні вимагає ретельного та дослідницького підходу до питань охорони навколишнього середовища. У Грузії енергетичний сектор відповідальний за 60 % викидів парникових газів і займає перше місце за забрудненням повітря, що в основному пов'язано з надмірним використанням викопного палива. Згідно з енергетичною стратегією на 2020-2030 роки, Грузія має можливість збільшити частку відновлюваної (наприклад, води, вітру та сонця) енергії в енергетичному секторі, що призведе до скорочення використання теплових електростанцій і, відповідно, зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище. Паралельно з цим процесом зростатиме і енергетична незалежність Грузії. Під час пандемії за умови «локдауну», оголошеного в багатьох країнах світу, було тимчасово зупинено виробництво та рух транспорту, що разом із багатьма негативними наслідками дало Землі можливість «дихнути». Ми це відчули і в Грузії.

Наприклад, смог у Тбілісі розвіявся, і небо стало настільки чистим, що на горизонті з'явився льодовик за 180 км. Такі конкретні та наочні приклади допомагають нам зрозуміти, наскільки ми завдаємо шкоди природному середовищу, де живемо. Екологи попереджають, що у людства залишилося 10 років до того, як глобальне потепління перевищить 1,5 °C, а зміна клімату стане незворотним процесом. Навіть незначна зміна вище цього порогу значно збільшить ризик стихійних лих і екстремальних перепадів температури, що, у свою чергу, поставить мільйони людей під загрозу бідності. Незважаючи на наявну інформацію про зміну клімату, світові уряди, приватний сектор і населення досі не розуміють, наскільки цей процес становить загрозу для людства. У песимістичному сценарії розуміння можливих наслідків зміни клімату може виникнути, коли реакція буде відкладена, а заподіяну шкоду буде практично неможливо виправити. ООН розробила рамкову конвенцію про зміну клімату, згідно з якою Грузія, як один із членів організації, взяла на себе відповідні зобов'язання.

Грузія підписала всі основні міжнародні угоди та документи щодо зміни клімату:

- 1994 рік – Грузія підписала Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату;
- 2016 рік – Грузія приєдналася до Кіотського протоколу в 1999 році та до Паризької угоди;

- у рамках міжнародних зобов'язань Грузія кожні 4 роки подає в ООН національний звіт про поточні та майбутні тенденції зміни клімату в країні та їх наслідки.

У квітні 2021 року, в рамках визнаних національних зобов'язань у сфері зміни клімату, уряд Грузії подав до Секретаріату Рамкової конвенції ООН про зміну клімату Четверте національне повідомлення Грузії, яке є одним із найбільш різноманітним та комплексним документом про зміну клімату. У звіті розглядаються кроки країни в напрямку виконання умов конвенції, зміни клімату та адаптації до нього. Документ також містить оновлений звіт про інвентаризацію парникових газів, що охоплює період з 1990 по 2017 рік. Цього року Грузія зобов'язалася скоротити загальний рівень викидів парникових газів на 35 % до 2030 року порівняно з показником, зафіксованим у 1990 році. Програма розвитку ООН (ПРООН) вже понад 10 років активно допомагає Грузії будувати суспільство, стійке до клімату щодо пом'якшення зміни клімату та адаптації до його наслідків. На виконання своїх міжнародних зобов'язань у питаннях охорони навколишнього середовища країна та інтегрує екологічні проблеми у всі сфери соціально-економічного розвитку країни. Подолання наслідків зміни клімату та зменшення ризиків, спричинених стихійними лихами, є пріоритетним напрямком діяльності уряду Грузії. Ця діяльність здійснюється у співпраці з урядом Грузії та міжнародними партнерами. Але зрозуміло, що для масштабних змін не менш важливі індивідуальні зусилля людей. Особливо, коли поряд із перерахованими вище секторами побутова діяльність також є причиною викидів великої кількості вуглекислого газу в атмосферу. Тому важливо, щоб кожен громадянин світу розумів свою власну роль у боротьбі зі зміною клімату.

Викладачі та студенти різних напрямків Батумського державного університету імені Шота Руставелі (БДУ) активно займаються екологічною діяльністю. У 2020 році на технологічному факультеті за грантового проекту програми Європейського Союзу Еразмус+ «Синергія освітніх, наукових, управлінських та промислових компетенцій для управління кліматом та запобігання змінам клімату» розпочато роботу над програмою з агроєкології в аграрному напрямку на основі досвіду європейських партнерів. У якості продовження було створено Консультаційний центр кліматичного менеджменту.

Серед негативних змін, викликаних змінами клімату, найбільш частими є повені, водоспади, посухи, вітри, снігові лавини. Зараз стан 35 % сільськогосподарських угідь обтяжені проблемою ерозії, є ймовірність збільшення площ деградованих земель, зниження врожайності на таких ґрунтах на 55-65 %, тому необхідна підготовка спеціалістів з цієї сфери, агроєкологів, які, відповідно до сучасних вимог, зможуть боротися з проблемами, викликаними зміною клімату, і зможуть управляти кліматично-розумним сільським господарством.

Тому в рамках проекту було розроблено магістерську програму «Агроєкологія», навчальний план якої включає глобальні екологічні проблеми та охорону навколишнього середовища за такими курсами: «Метеорологія», «Кліматологія», «Кліматично розумне сільське господарство», «Гідроєкологія», «Економіка природокористування», «Агроєкологічний моніторинг», «Право». У цих дисциплінах розглядаються причини зміни клімату і пов'язані з цим проблеми впливу на біологічні системи, екологічні перспективи глобальної зміни клімату, ризики, спричинені зміною клімату, та особливості їх впливу на продуктивність та якісні показники різних сільськогосподарських культур, а також глобальне потепління на тлі зміни клімату, у тому числі складні процеси в атмосфері та їх наслідки. Студенти знайомляться з сучасними проблемами зміни клімату, закономірностями формування глобальних атмосферних процесів та наслідками зміни клімату в Грузії.

За ініціати́ви Центру кліматичного менеджменту відбувся навчальний курс «Негативний вплив зміни клімату на сільське господарство та методи боротьби з ним». У тренінгу взяли участь представники Міністерства сільського господарства Аджарії, агропромисловці, викладачі факультету та студенти. Обговорювалися такі питання:

- зміна клімату, сучасні глобальні екопроблеми та Грузія;
- основні принципи кліматично-розумного сільського господарства;
- органічне сільське господарство на прикладі кліматично розумного сільського господарства;
- методи компостування та боротьби зі шкідниками в кліматичному сільському господарстві (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Ілюстрація активностей БДУ

У червні 2023 року планується проведення «Екологічного молодіжного саміту», спільного заходу БДУ та Студентського наукового товариства, Центру управління кліматом та Аджарського водного альянсу, де команди учнів шкіл з усіх

п'яти муніципалітетів Автономної Республіки Аджарія братимуть участь разом зі студентами університету. На першому етапі вчені БДУ провели зустрічі в усіх школах. Доцент БДУ Дареджан Джаші провела лекцію на тему «Зміна клімату та вода» в усіх п'яти регіонах.

Протягом кількох років в університеті систематично відзначається День метеоролога. Цього року відбулася нарада з актуальних питань метеорології та кліматології. Проведено вікторину та вручено учням-переможцям сувеніри (23.03.2023) (рис. 2.2).

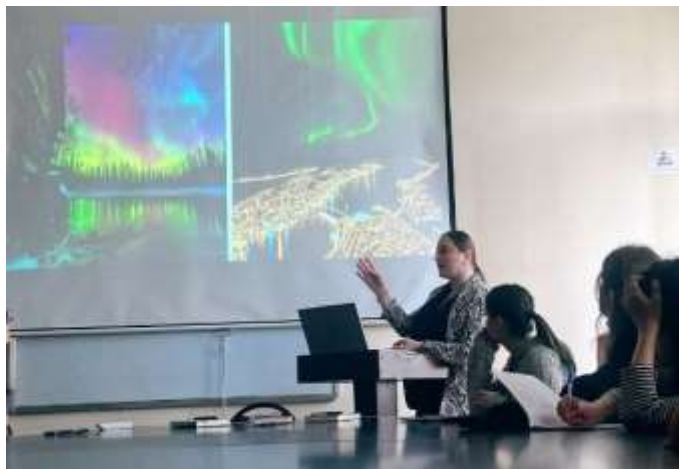


Рис. 2.2. День метеорології у БДУ

У 2022 році доценти Хатуна Чічілеїшвілі та Ціра Камададзе провели семінар для студентів на тему: «Сучасні зміни клімату».

У 2021 році увагу було зосереджено на науково-практичному значенні метеорології та огляді сучасних тенденцій у галузі. Випускник Коба Партенадзе (який зараз працює в галузі метеорології та веде прогноз погоди на Adjara TV) розповів про питання, пов'язані з прогнозуванням погоди (рис. 2.3).

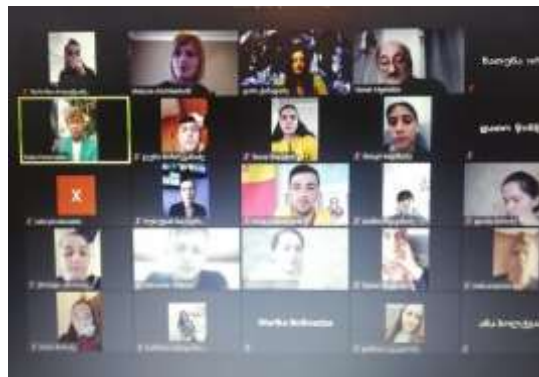
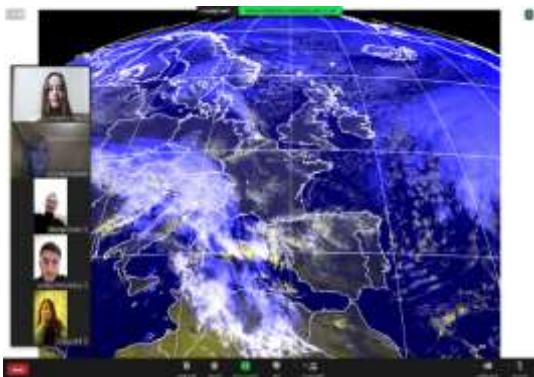


Рис. 2.3. Презентація метеорології та огляд сучасних тенденцій

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

У зв'язку з Днем охорони навколишнього середовища у 2022 році було організовано пізнавальний тур до Національного парку Мтірала. Метою заходу було підвищення обізнаності молоді та активізація її залучення до екологічних питань (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Освітня екскурсія до Національного парку Мтірала

Картлос Манвелідзе, студент магістерської програми з географії, отримав 1500 ларі «Зеленої стипендії». Сертифікати студентам вручили постійний представник Програми розвитку ООН (ПРООН) у Грузії Нік Бересфорд та доцент Хатуна Чічілейшвілі, представник БДУ.

Програма «Зелена стипендія» сприятиме заповненню прогалини в доступності професій у сфері довкілля та заохочуватиме студентів-відмінників. Програма «Зелена стипендія» реалізується Екологічним інформаційно-освітнім центром Міністерства захисту навколишнього середовища та сільського господарства, в рамках масштабної ініціативи Програми розвитку ООН (ПРООН) «Зменшення ризику катастроф, спричинених зміни клімату в Грузії», Зелений кліматичний фонд (GCF), за підтримки урядів Грузії, Швеції та Швейцарії (рис. 2.5).



Рис. 2.4. Нагородження стипендією

Географічний факультет підписав меморандум із гідрометеорологічною службою Державної агенції із захисту довкілля, де під час практики студенти спостерігають за тим, як відбувається збір та обробка даних.

На основі польових досліджень (спостереження за метеорологічними елементами) студент може визначити ступінь зміни кліматичного фону в залежності від регіону та оцінити його, описати катаклізми, викликані поточною зміною клімату в природі, за допомогою різних польових методів і сучасні комунікаційні технології (рис. 2.6).

ГІС або геоінформаційні системи також викладаються на магістерській програмі з географії. Основна мета дослідження полягає в тому, щоб студент отримав широкі знання про збір, зберігання та аналіз статистичних даних ГІС. ГІС-картографування та практичне значення систем аналізу просторових даних.



Рис. 2.6. Студентські метеорологічні заходи

Посилання

1. M. Margvelashvili and others / Climate change and sustainable development - lecture course, Tbilisi 2016.

2. CONSTITUTION OF GEORGIA. *სსიპ "საქართველოს საკანონმდებლო მაცნე"*. URL: <https://matsne.gov.ge/en/document/view/30346?publication=36> (date of access: 09.11.2023).

3. Law of Georgia on Climate Change, Tbilisi, 2023.

4. Proceedings of the Glasgow Conference on Climate Change 2022. *UNFCCC*. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/glasgow-climate-change-conference-october-november-2021/outcomes-of-the-glasgow-climate-change-conference> (date of access: 15.11.2023).

5. „კლიმატის ცვლილებების უარყოფითი გავლენა სოფლის მეურნეობაზე და მასთან ბრძოლის მეთოდები“. *ბათუმის შოთა*

რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. URL: <https://www.bsu.edu.ge/sub-13/page/18076/index.html> (date of access: 09.11.2023).

6. მეტეოროლოგიის მსოფლიო დღე. *ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი.* URL: <https://bsu.edu.ge/sub-11/page/16418/index.html> (date of access: 09.11.2023).

7. მეტეოროლოგიის საერთაშორისო დღე აღინიშნა. *ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი.* URL: <https://bsu.edu.ge/sub-11/page/18543/index.html> (date of access: 09.11.2023).

8. მეტეოროლოგიის საერთაშორისო დღე. *ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი.* URL: <https://bsu.edu.ge/sub-11/page/14830/index.html> (date of access: 09.11.2023).

9. მეტეოროლოგიის საერთაშორისო დღე. *ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი.* URL: <https://bsu.edu.ge/sub-11/page/14830/index.html> (date of access: 09.11.2023).

10. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტის სამაგისტრო პროგრამის წარჩინებულ სტუდენტებს „მწვანე სტიპენდიები“ გადაეცათ. *ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი.* URL: <https://bsu.edu.ge/sub-11/page/18052/index.html> (date of access: 09.11.2023).

РОЗДІЛ 3

ПРИРОДНІ КЛІМАТИЧНІ РІШЕННЯ В МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЯХ ТА ЇХ ПЕРЕВАГИ ДЛЯ СЕКВЕСТРАЦІЇ ВУГЛЕЦЮ, РЕГУЛЮВАННЯ КЛІМАТУ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПОВЕНЕЙ

*Юліана Шухані, Мігель Інасіо, Луїс Валенса Пінто,
Катажина Богдзевич, Паулу Перейра
(Університет Миколаса Ромеріса, Литва)*

Анотація

Зміна клімату серйозно впливає на екосистеми та людські суспільства в усьому світі. Тому необхідні негайні дії для боротьби з наслідками зміни клімату. Впровадження природних кліматичних рішень (NBS), які використовують потенціал природних екосистем для вирішення проблем зміни клімату, є багатообіцяючою стратегією для міських територій. NBS поглинають вуглець і регулюють міський клімат, створюючи тінь, відбиваючи енергію та ефект випаровування рослинності. Крім того, NBS вирішують інші міські проблеми, пов'язані з кліматом, такі як повені, безпека води, якість повітря, ерозія ґрунту та деградація ландшафту. Цей документ має на меті надати приклади реалізованих NBS у Вільнюсі, Литва. Вільнюс – найбільше місто Литви, яке швидко розвивається. Це зелене місто, яке має намір стати зеленішим за рахунок лісонасаджень, покращення зв'язку, нетрадиційного косіння луків, захисту існуючих парків і сталого розвитку міста. Незважаючи на те, що NBS можуть зробити значний внесок у зусилля зі зменшення впливу зміни клімату, важливо визнати, що комплексні заходи, спрямовані на вирішення проблеми зміни клімату, вимагають інвестицій у свідомих громадян і нових технологій.

Ключові слова: природні кліматичні рішення, поглинання вуглецю, регулювання клімату, повінь, Вільнюс.

3.1. Підґрунтя

Явище зміни клімату становить величезну глобальну загрозу погіршенню навколишнього середовища. Основними причинами глобального потепління є

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

антропогенна діяльність, наприклад спалювання викопного палива, промислові процеси, методи сільського господарства та тваринництва, вирубка лісів і зміни у землекористуванні. IPCC (2023) оцінив глобальне підвищення температури поверхні на 1,07 °C з 1850-1900 до 2010-2099 років, пов'язане з діяльністю людини. Підвищення температури вже впливає на глобальну екологічну безпеку та добробут людей у всьому світі. Хоча вплив є глобальним у планетарному масштабі, він не розподіляється однаково. До семи найбільших джерел викидів входять Китай, ЄС-27, Індія, Індонезія, Бразилія, Російська Федерація та Сполучені Штати Америки (ЮНЕП, 2022). Найменш історично відповідальні за зміну клімату менш розвинені країни відчувають найбільший вплив і особливо вразливі до кліматичних небезпек.

Аномально суворі кліматичні умови (наприклад, хвилі спеки, урагани, тропічні циклони, мусони) зростають за частотою та інтенсивністю, що однозначно призводить до катастрофічних подій (наприклад, екстремальних посух, повеней). Екстремальна спека має фатальний вплив на здоров'я людини. У 1998-2017 роках понад 166 000 людей померли через епізоди екстремальних температур (Світова статистика охорони здоров'я, 2022). Підвищена температура та вологість сприяють поширенню трансмісивних захворювань. Інфекції, патогени та спалахи будуть поширюватися в раніше неендемичних місцевостях головним чином через торгівлю, міграцію або подорожі (Rocklöv and Dubrow, 2020). Слабке здоров'я через недоїдання є результатом негативного впливу зміни клімату на продуктивність сільського господарства. За останні 50 років продуктивність сільського господарства зросла в усьому світі, але зміна клімату сповільнила це зростання, що призвело до негативних наслідків переважно в середніх і низьких широтах і позитивних у деяких високоширотних регіонах (IPCC, 2023). Подібним чином на тваринництво впливає клімат через нестачу води, їжі, хвороби, що передаються переносниками, зміни систем і засобів до існування (Торнтон та ін., 2009). Екстремально високі температури негативно впливають на плодючість худоби, здоров'я та надої молока (Summer et al., 2019).

Впливів зміни клімату на економіку зазнають окремі особи, корпорації та країни, що призводить до фінансових втрат. Добробут, ефективність, продуктивність, особисті активи та нерухомість окремих осіб можуть бути знижені або гіршені. Галузі промисловості, чутливі до кліматичних впливів (наприклад, сільське господарство, туризм), повинні будуть мати справу зі спалахами епідемії, неефективністю працівників, позбавленням власності. Кліматичний індекс оцінив, що 48 % країн, що становлять 90 світових економік, можуть втратити до 18 % свого ВВП, якщо не вжити заходів (Swish Re Institute, 2021). За оцінками, згідно з базовим сценарієм викидів глобальні щорічні грошові втрати досягнуть 1628 мільярдів до 2050 року, що становить 0,79 % світового річного ВВП (Wang et al., 2020).

Хоча зміна клімату досі не була основною причиною втрати біорізноманіття, якщо глобальне потепління не обмежиться менш ніж 2 °C, а краще 1,5 °C, воно, ймовірно, стане основною причиною втрати біорізноманіття та деградації екосистемних послуг протягом наступних кількох десятиліть (WWF, 2022). За даними Глобального економічного форуму, втрата біорізноманіття посідає 3 місце серед найсерйозніших ризиків у глобальному масштабі протягом наступних 10 років (WEF, 2022; The global risks report, 2022). Види переміщуються у вищі широти та висоти, змінюючи місцеві наземні, морські та прісноводні екосистеми. Це спричиняє загибель флори та фауни *in situ*, роблячи генетичний пул менш стійким і вразливим до хвороб і стихійних лих, спричинених кліматом. Переміщення видів залишає для них менше середовища існування, від'єднуючи їх від залежних видів, і нове середовище існування може бути непридатним. Індекс живого населення (LPI) показує середню швидкість зменшення чисельності населення на 68 % між 1970 і 2016 роками, і ця тенденція, ймовірно, продовжуватиметься без різких змін у глобальних діях зі зниження температури (WWF, 2020).

Боротьба зі зміною клімату вимагає міжнародного співробітництва. В даний час вживаються численні зусилля в правовому та технологічному плані для усунення викидів парникових газів. Паризька угода та Кіотський протокол сприяють розробці кліматичної політики в усьому світі. Дотримуючись концепції та рекомендацій ООН, багато країн запровадили регулятивні та економічні ресурси, що призвело до зменшення викидів CO₂-eq на кілька Гт на рік (IPCC, 2023). Технології з низьким рівнем викидів стають доступнішими. З 2010 року вартість одиниці сонячної енергії, енергії вітру та літій-іонних акумуляторів знизилася (85 %, 55 % та 85 % відповідно), а їх використання стало ширшим. Цифрові технології, такі як інтернет, датчики, робототехніка, штучний інтелект, покращують використання енергії в усіх секторах, але зменшення викидів можна врівноважити збільшенням споживання товарів завдяки цифровим пристроям (IPCC, 2022). Незважаючи на всі спільні досягнення у пом'якшенні зміни клімату, існує значний розрив у викидах. Звіт МГЕЗК (2023) про розрив викидів показав, що існує значна різниця між обіцяним скороченням викидів і скороченням викидів, необхідним для досягнення кліматичних цілей Паризьких угод до 2030 року (ЮНЕП, 2022).

3.2. Природні кліматичні рішення в міських районах

Зміна клімату є серйозним явищем, яке ставить під загрозу сталий розвиток міст. Підвищення рівня моря, екстремальні погодні явища та поширення хвороб негативно впливають на інфраструктуру міста, послуги та здоров'я людей. За іронією долі міста є головними причинами зміни клімату через викиди парникових газів від міського транспорту, споживання електроенергії, житлових і комерційних будівель, а в деяких районах через промислову діяльність. Ефективною та

доцільною практикою для вирішення міських проблем, пов'язаних із кліматом, є впровадження природних рішень (NBS). Європейська комісія визначає NBS як «рішення, натхненні та підтримані природою, які є економічно ефективними, водночас забезпечують екологічні, соціальні та економічні переваги та допомагають створити стійкість. Такі рішення привносять все більше і більш різноманіття природи та природних особливостей в процеси у містах, ландшафти та морські ландшафти за допомогою адаптованих до місцевих умов, ресурсоефективних та системних втручань (Euro Commission, 2020). Більш конкретний термін під егідою NBS, зосереджений на вирішенні проблем, пов'язаних зі зміною клімату, — це природні кліматичні рішення (NCS) (Griscom et al., 2017).

NCS можуть слугувати ефективним рішенням для вирішення проблем, пов'язаних із міським кліматом, таких як повені, безпека води, міський тепловий острів, здоров'я та забруднення повітря. Повені, що частішають, є тривожною та складною природною небезпекою. Традиційно більш прийнятною та використовуваною була сіра інфраструктура, але NCS все більше визнають як ефективний механізм управління міськими повенями. Збільшення синьо-зелених територій у вигляді врослої у фасади рослинності, дощових садів, трав'янистих лугов, боліт може зменшити міський стік (Irvine et al., 2023; Singh et al., 2020). Здатність утримувати дощову воду залежить від типу рослин, температури повітря, вологості та властивостей субстрату, кількості опадів, погоди та клімату (Xie et al., 2022).

NCS також можуть зменшити тиск води, обробляючи її відповідно до стандартів, які відповідають цілям повторного використання. Рівень очищення води залежить від виду, коренів, розміру та ґрунту. Незважаючи на те, що NCS забезпечують певну кількість фільтрації води, коли мова йде про безпечну питну воду, природні фільтри не можуть видалити патогени та не можуть відповідати мікробіологічним обмеженням стандартів води ЄС (Tsatsou et al., 2023). Хоча NCS здатні сприяти продовольчій безпеці міст, міське сільське господарство служить місцем існування біорізноманіття, забезпечує робочі місця, забезпечує послуги та може зменшити викиди парникових газів (Kafle et al., 2023; Kasprzyk et al., 2022).

Зміна клімату посилює ефект острова міської спеки (UHI). Урбанізація передбачає збільшення асфальту та бетону для доріг, будівель та іншої інфраструктури. Непроникні поверхні поглинають енергію сонця, що призводить до підвищення температури в міських районах. NCS навпаки відбивають світло. Ряд дерев може знизити температуру повітря на 1 °C, а в дощовому саду в похмурий день температура поверхні може бути на 7 °C нижчою, ніж навколишні тротуари, а в сонячні дні ця різниця досягає 20 °C (Beaudoin i Gosselin, 2016; Kasprzyk et al., 2022). У той час як зміна клімату збільшує температурний тиск у міських районах, UHI навпаки збільшує попит на енергію для охолодження та опалення будівель (Ghiasi et al., 2021).

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Міста є гарячими точками забруднення повітря. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), майже 99 % населення світу піддається впливу небезпечно високих концентрацій дрібних твердих часток (PM) і діоксиду азоту. Забруднення навколишнього середовища та побутового повітря пов'язують із кількома станами здоров'я, такими як: інсульт, хвороби серця, рак легень, інфекції нижніх дихальних шляхів та хронічна обструктивна хвороба легень. У 2016 році забруднення повітря спричинило приблизно 7 мільйонів смертей у всьому світі. Найбільше впливу забруднювачів повітря піддаються країни з низьким і середнім рівнем доходу (World health statistics, 2022). У деяких регіонах, таких як Європа, у первинних ТЧ зменшилися вміст сажі (BC), оксидів азоту (NO_x), діоксиду сірки (SO_2), монооксиду вуглецю (CO), метану (CH_4) і неметанових летких органічних сполук (NMVOC) за останнє десятиліття, що свідчить про покращення якості повітря (EEA, 2016). Проте стандарти якості повітря ВООЗ та Європейського союзу (ЄС) не відповідають багатьом країнам ЄС (Targa et al., 2023). Якість повітря залежить від погоди, тому чутлива до зміни клімату. Зміна клімату погіршить якість повітря через збільшення кількості приземного озону та окремих речовин. Більш часті лісові пожежі, спричинені зміною клімату, сприятимуть забрудненню повітря. Вплив диму підвищує гостроту респіраторного здоров'я головним чином через високу концентрацію $\text{PM}_{2,5}$ (Reid and Maestas, 2019). Крім того, потепління клімату вже подовжує сезонність і концентрацію алергенів (Anderegg et al, 2021). Підвищення концентрації CO_2 , який є основним джерелом вуглецю для фотосинтезу рослин, може збільшити алергенність деяких рослин (наприклад, пилку дуба) (Kim et al., 2018).

Кліматичні рішення мають здатність вирішувати вищезазначені проблеми забруднення повітря в містах. Озеленення міських територій може покращити якість повітря, наприклад, Rafael et al. (2018) виявили, що рослинність у міських умовах може знизити значення забруднення повітря до 16 % головним чином через більшу вентиляцію та розсіювальну здатність вуличного каньйону. Хоча в тому ж дослідженні було зазначено, що зелені дахи в деяких районах можуть збільшити концентрацію забруднювачів повітря через зменшення вертикального потоку повітря. Однак численні дослідження віддають перевагу очищенню повітря міськими деревами. Кількість уловлених ТЧ може залежати від виду та сезону. У середньому більш високу продуктивність щодо скорочення PM демонструють листяні дерева та нижчу – вічнозелені широколистяні (Marando et al., 2016). На рис. 3.1 показані різні типи NCS.



Газони



Ліс



Міські сади



Озеро

Рис. 3.1. Різні природні рішення, які можна спостерігати в міській місцевості

3.3. Приклади NCS, важливих для екосистем у різних містах

Секвестрація вуглецю. Зелені зони урбанізованих територій (UGA) є цінними міськими поглиначами вуглецю. Багато міст у всьому світі усвідомлюють важливість підтримки, відновлення або розширення UGA для їх численних переваг, включаючи зберігання вуглецю (Chen, 2015; Misni et al., 2015). Одними з найбільш досліджених рослинних поглиначів є дерева. Деревина підтримує екологічне здоров'я міст, накопичуючи вуглець під землею та над землею деревної біомаси (Fares et al., 2017). Окремі дерева можуть зберігати значну кількість вуглецю. Наприклад, Місні та ін. (2015) виявили, що деякі дорослі міські дерева можуть зберігати близько 4,507 кг вуглецю на дерево на рік. Подібним чином інші

дослідники підраховали, що дерева залежно від виду, сорту, діаметра, накопиченої біомаси та щільності можуть поглинати відносну кількість CO₂ (Ferrari et al., 2017; Oviantari et al., 2018; Lahoti et al., 2020). Чим доросліші дерева, тим більше вуглецю вони накопичують. Тому слід гарантувати тривалий термін служби (Ariluoma et al., 2021). Численні дослідження кількісно визначають грошову вартість накопиченого вуглецю деревами, міськими парками та іншими NCS. (Jo et al., 2023; Shadman et al., 2022; Stoffberg et al., 2010). Житлові двори є життєво важливим компонентом міської зелені, і все більше досліджень наголошують на важливості приватної житлової рослинності для надання послуг з регулювання міських екосистем (Naase et al., 2019; Contosta et al., 2020). Майже без уваги залишилися міські кладовища, які є частиною системи зеленої інфраструктури. Дослідження, проведене в Туреччині, показало, що кладовище площею 14,02 га може поглинати 54,35 т вуглецю на рік (Eyiletan and Selim, 2023).

Існує дуже обмежена кількість досліджень, присвячених поглинанню вуглецю у Вільнюсі. Хоча місткість міста можна вважати значною. Оскільки Вільнюс визнано одним із найзеленіших міст Європи (Pinto et al., 2022). Зелені насадження охоплюють понад 11 000 га території міста (27,5 %), а 13 700 га вкрито міським лісом. Примітно, що 17,3 % території міста займають заповідні території, включаючи один регіональний парк, чотири державні заказники, дев'ять муніципальних заказників і 44 об'єкти природної спадщини. Найбільшими природоохоронними територіями є Павільняй та Веркяйський регіональний парк, що знаходяться в межах міста Вільнюс і є державною охороною. Загалом 61 % міста займає міська зелено-блакитна інфраструктура (UGBI), така як: ліси, зони трав'янистої рослинності, спортивні зони, водні та водно-болотні території (Priess et al., 2021). У Вільнюсі багато UGA, і місто має намір рости стабільно та зеленіше. Однак, незважаючи на синергетичні переваги UGA, його здатність до поглинання вуглецю іноді завищена. Показовим прикладом є дослідження, проведене в муніципалітеті Прато, яке підраховало, що для компенсації поточних викидів знадобиться заліснити площу щонайменше в 30 разів більшу, ніж офіційний план. І навіть за умови зменшення викидів пом'якшення, яке забезпечується різними планами лісонасадження, буде недостатньо для досягнення С-нейтральності у 2030 році (Brilli et al., 2022., 2022).

Регулювання клімату. Температура повітря та температура поверхні землі (LST) підвищується в міських районах у результаті зміни клімату через такі змінні, як підвищення температури, прямий вплив сонячного світла на бетонні поверхні та утримання тепла цими поверхнями. Таке зростання LST серйозно впливає на здоров'я людини та міське середовище. У зв'язку з цим у різних містах проводиться багато досліджень щодо впливу зелених насаджень на регулювання клімату. (Zhou et al., 2023) досліджував вплив міської зелені з 2013 по 2019 рік у

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

районі Тунчжоу (Пекін), він виявив, що коли рослинність у Тунчжоу збільшувалася на 10 %, температура впала на 0,58-0,68 °С. У Сінгапурі (Lai et al., 2020) виявили, що наявність дерну та тіні дерев має значний вплив на температуру поверхні міста, причому ефект є найбільшим, коли присутні обидва. Наявність дерну знизила температуру поверхні на цілих 10 °С, тоді як тінь дерев знизила температуру на 12 °С. Дослідження в семи містах Сполучених Штатів так само виявило, що деревний покрив має середній охолоджуючий ефект – 0,089 К на % покриття, що приблизно в чотири рази сильніше, ніж середнє охолодження трав'яного покриву – 0,021 К на % покриття (Smith et al., 2023).

Вільнюс є одним із лідерів у Східній Європі за кліматичними зусиллями. У ньому є багато територій, якими належним чином керують і які слугують NCS для міста. Він приєднався до «Угоди про зелене місто», довгостроковою метою якого є досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Вільнюс також був обраний Європейською комісією як одне зі 100 міст ЄС, які візьмуть участь у місії стати кліматично нейтральним і розумним містом до 2030 року. Крім того, він нещодавно підписав «Кліматичні кампанії ЄС». Генеральний план (GP) Вільнюса, підписаний у 2021 році, має на меті збільшити зв'язок між зеленими зонами та побудувати мережу зелених насаджень у високозабудованих столичних регіонах, забезпечивши їх доступність у межах 200-300 м від житла та великих міських парків на відстані понад 2000 м. У рамках проекту «Зелена хвиля» муніципалітет Вільнюса планував висадити понад 100 000 дерев, 10 мільйонів кущів і 300 000 в'юнких ліан. Крім того, муніципалітет сприяє екологічному догляду за луками. Місця, віддалені від житлової забудови, такі як: автомагістралі, круті схили вулиць і річок, кільцеві розв'язки та резервації, непрогулянкові зони традиційно некоротко та акуратно скошені. Наявність дикорослих рослин, трав, кущів і дерев сприяє зменшенню УНІ, утриманню води та створенню середовища існування для біорізноманіття. Натуралістичний дизайн насаджень вимагає менше вхідних ресурсів для обслуговування та управління, ніж звичайний скошений GA (Alizadeh and Hitchmough, 2019). Незважаючи на всі зазначені кліматичні дії, (Depellegrin et al., 2016) у дослідженні оцінки потенціалу екосистемних послуг (ЕП) у Литві зазначив, що регулювання ЕП має дуже низький потенціал у міських районах, особливо в містах, що розвиваються, як Вільнюс.

Регулювання паводків. Урбанізація збільшує середню та сильну кількість опадів над містами, що призводить до більш сильного стоку (IPCC, 2023). Неструктурні заходи продемонстрували ефективність і рентабельність у пом'якшенні ескалації проблеми міських повеней (Biasin et al., 2023). Вільнюс має великі протипаводкові території. (Pereira et al., 2022) розробили кількісну та перевірену структуру для картографування та оцінки пропозиції та попиту на повені у Вільнюсі (рис. 3.2).

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

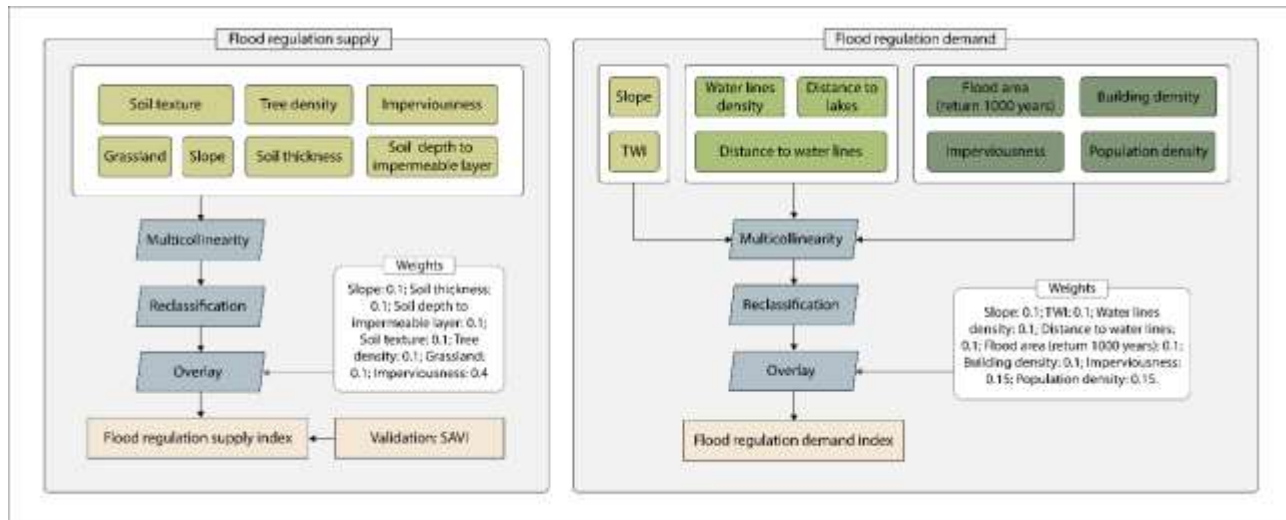


Рис. 3.2. Структура для оцінки пропозиції та попиту на регулювання повеней (англ.)

Індекс ґрунтово-рослинної корекції (SAVI) використовувався для перевірки індексу регулювання повеней, а індекс попиту на регулювання повеней був перевірений шляхом порівняння історичних точок затоплення з результатами моделі. Індекс пропозиції регулювання паводків становив 0,490, а індекс попиту на регулювання паводків – 0,475. Стандартне відхилення показало низькі результати: 0,085 для індексу пропозиції регулювання паводків та 0,069 для індексу попиту на регулювання паводків. Північно-східна та південна частини Вільнюса показали найвищий індекс регулювання паводків. Ці міські зони мають відносно високий рівень лісистості, парків і дерев. Цей результат підтверджує інші дослідження NBS для пом'якшення повеней. Подібним чином (Medina Camarena et al., 2022) підраховали, що одне дерево має здатність утримувати міський стік, що відповідає об'єму чашки кави за секунду ($0,139 \pm 0,133$ л/с). Подібним чином інше дослідження показало, що вкриті деревами території мають більшу глибину водопостачання 9 мм у лісистих зонах і 4 мм у зелених зонах (Wübbelmann et al., 2022). Навпаки, індекс попиту на регулювання повеней мав найвищі значення в центрі міста та кількох районах на півночі, сході та південному сході Вільнюса. Ці області можна охарактеризувати як такі, що мають високий відсоток непроникної поверхні та низьку насичену провідність. Індекс SAVI пояснив 43 % пропозиції регулювання паводків. Регулювання повеней залежить від багатьох змінних, таких як властивості ґрунту або рельєф. Спостерігається невідповідність між індексами попиту та пропозиції регулювання, що можна пояснити землекористу-

ванням. Території з меншим озелененням і високою щільністю населення потребують більшого регулювання повеней, ніж менш урбанізовані території з низькою щільністю населення (Baró et al., 2015; Chen et al., 2019, Pereira et al., 2022) (рис. 3.3).

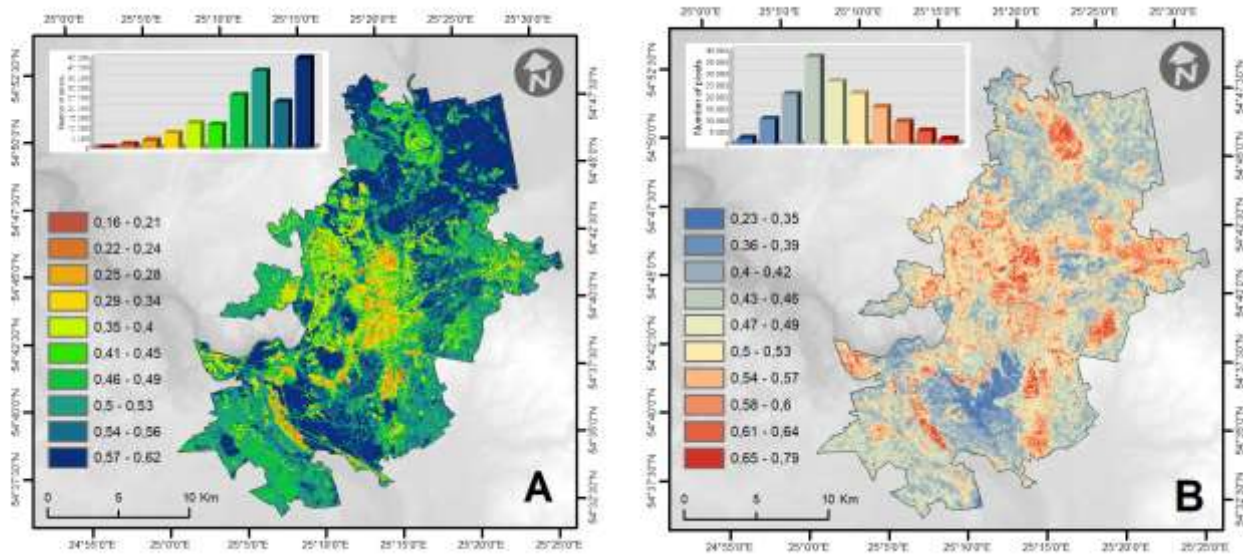


Рис. 3.3. Індекс пропозиції паводків та (В) індекс попиту на повені (англ.)

Управління екосистемою для покращення NCS. Оскільки ландшафти стають більш урбанізованими, екосистемам загрожує не лише зміна клімату та землекористування, але й неефективне управління (Elmqvist et al. 2016). Управління ландшафтом у Вільнюсі покращується, методи управління стають більш стійкими, хоча управління зеленими насадженнями є нежиттєздатним. Рис. 3.4 є ілюстрацією згубної практики управління. Ділянки з низьким значенням нормалізованого індексу різниці рослинності (NDVI) (показник зеленості рослинності) знаходяться поблизу тротуарів і частіше скошуються, ніж ділянки з високим значенням NDVI. Інтенсивне косіння газонів за допомогою важкої техніки та розрізнені безконтрольні пішохідні доріжки призводять до деградації рослинності, ґрунту та середовища існування. Впровадження нетрадиційного управління травами має потенціал для пом'якшення викидів вуглецю, збільшення органічної речовини ґрунту та покращення середовища проживання запилювачів, зокрема тих, які сприяють популяції бджіл (Lerman et al., 2018; Del Toro та Ribbons, 2020) (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Індексна карта NDVI в міській місцевості

3.4. Заключні зауваження

NCS мають важливе значення, щоб зробити міські райони більш зручними для життя. Вони підвищують вразливість міст до екстремальних явищ, таких як повені чи спека. Вони також важливі для збільшення поглинання вуглецю та пом'якшення впливу людини на зміну клімату. Хоча це не обговорювалося, важливо підкреслити, що NBS і NCS надають багато інших ключових послуг для міських територій, таких як очищення повітря та води, запилення, їжа, біомаса, ландшафтна естетика чи відпочинок. Тому важливо враховувати їх, коли ми плануємо NBS або NCS. Ця робота показала, що вони дають важливі переваги для досліджуваного ES. Таким чином, NBS і NCS є ключовими для створення в міських містах і сприяють добробуту суспільства.

Посилання

1. Alizadeh, B., Hitchmough, J., 2019. A review of urban landscape adaptation to the challenge of climate change. *IJCCSM* 11, 178–194. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-10-2017-0179>
2. Anderegg, W.R.L., Abatzoglou, J.T., Anderegg, L.D.L., Bielory, L., Kinney, P.L., Ziska, L., 2021. Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 118, e2013284118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2013284118>
3. Ariluoma, M., Ottelin, J., Hautamäki, R., Tuhkanen, E.-M., Mänttari, M., 2021. Carbon sequestration and storage potential of urban green in residential yards: A case study from Helsinki. *Urban Forestry & Urban Greening* 57, 126939. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126939>
4. Baró, F., Haase, D., Gómez-Baggethun, E., Frantzeskaki, N., 2015. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological Indicators* 55, 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.013>
5. Beaudoin, M., Gosselin, P., 2016. An effective public health program to reduce urban heat islands in Québec, Canada. *Rev Panam Salud Publica*. 2016;40(3):160–66.
6. Brilli, L., Carotenuto, F., Chiesi, M., Fiorillo, E., Genesio, L., Magno, R., Morabito, M., Nardino, M., Zaldei, A., Gioli, B., 2022. An integrated approach to estimate how much urban afforestation can contribute to move towards carbon neutrality. *Science of The Total Environment* 842, 156843. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156843>
7. Beck, H.E., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A., Wood, E.F., 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci Data* 5, 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
8. Biasin, A., Masiero, M., Amato, G., Pettenella, D., 2023. Nature-Based Solutions Modeling and Cost-Benefit Analysis to Face Climate Change Risks in an Urban Area: The Case of Turin (Italy). *Land* 12, 280. <https://doi.org/10.3390/land12020280>
9. Chen, W.Y., 2015. The role of urban green infrastructure in offsetting carbon emissions in 35 major Chinese cities: A nationwide estimate. *ScienceDirect* 0264-2751 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2015.01.005> 0264-2751/Ó 2015
10. Chen, J., Jiang, B., Bai, Y., Xu, X., Alatalo, J.M., 2019. Quantifying ecosystem services supply and demand shortfalls and mismatches for management optimisation. *Science of The Total Environment* 650, 1426–1439. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.126>

- 11.** Contosta, A.R., Lerman, S.B., Xiao, J., Varner, R.K., 2020. Biogeochemical and socioeconomic drivers of above- and below-ground carbon stocks in urban residential yards of a small city. *Landscape and Urban Planning* 196, 103724. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103724>
- 12.** Depellegrin, D., Pereira, P., Misiunė, I., Egarter-Vigl, L., 2016. Mapping ecosystem services potential in Lithuania. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 23, 441–455. <https://doi.org/10.1080/13504509.2016.1146176>
- 13.** Del Toro, I., Ribbons, R.R., 2020. No Mow May lawns have higher pollinator richness and abundances: An engaged community provides floral resources for pollinators. *PeerJ* 8, e10021. <https://doi.org/10.7717/peerj.10021>
- 14.** European Commission, 2020. In: Wild, T., Freitas, T., Vandewoestijne, S. (Eds.), *Naturebased Solutions: State of the Art in EU-Funded Projects*. Publications Office of the European Union.
- 15.** Eyileten, B., Selim, S., 2023. CONTRIBUTION OF URBAN CEMETERIES TO ECOSYSTEM SERVICES: EVIDENCE FROM TOURISTIC ANTALYA CITY OF TURKEY. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLVIII-M-1–2023, 101–106. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-1-2023-101-2023>
- 16.** EEA, 2016. Air quality in Europe - 2016 report. EEA Report No 28/2016., European Environment Agency. 2014. ISBN: 978–92–9213-824-0. <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>
- 17.** Elmqvist, Thomas; Zipperer, Wayne C.; G ernalp, Burak. 2016. Urbanization, habitat loss, biodiversity decline: solution pathways to break the cycle. In, Seta, Karen; Solecki, William D.; Griffith, Corrie A. (eds.). *Routledge Handbook of Urbanization and Global Environmental Change*. London and New York:Routledge. Chapter 10: 139-151. 13 p.
- 18.** Fares, S., Paoletti, E., Calfapietra, C., Mikkelsen, T.N., Samson, R., Le Thiec, D., 2017. Carbon Sequestration by Urban Trees, in: Pearlmutter, D., Calfapietra, C., Samson, R., O'Brien, L., Krajter Ostoić, S., Sanesi, G., Alonso Del Amo, R. (Eds.), *The Urban Forest, Future City*. Springer International Publishing, Cham, pp. 31–39. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_4
- 19.** Ferrari, B., Corona, P., Mancini, L.D., Salvati, R., Barbati, A., 2017. Taking the pulse of forest plantations success in peri-urban environments through continuous inventory. *New Forests* 48, 527–545. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9580-x>
- 20.** Ghiasi, S., Passe, U., Zhou, Y., Thompson, J., 2021. A sensitivity analysis to investigate urban heat island impact on building energy consumption. Presented at the 2021 Building Simulation Conference. <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30873>

21. Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., Houghton, R.A., Lomax, G., Miteva, D.A., Schlesinger, W.H., Shoch, D., Siikamäki, J.V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R.T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M.R., Herrero, M., Kiesecker, J., Landis, E., Laestadius, L., Leavitt, S.M., Minnemeyer, S., Polasky, S., Potapov, P., Putz, F.E., Sanderman, J., Silvius, M., Wollenberg, E., Fargione, J., 2017. Natural climate solutions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114, 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>

22. Haase, D., Jänicke, C., Wellmann, T., 2019. Front and back yard green analysis with subpixel vegetation fractions from earth observation data in a city. *Landsc. Urban Plan.* 182 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.010>

23. IPCC, 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, (in press)

24. IPCC, 2023. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, (in press).

25. IPCC, 2022. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.00

26. IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC.

27. Index, Husqvarna Urban Green Space, 2021. Retrieved May 11, 2023, from <https://hugsi.green/city?Vilnius>

28. Jo, H.-K., Park, H.-M., Kim, J.-Y., 2023. Carbon Offset Service of Urban Park Trees and Desirable Planting Strategies for Several Metropolitan Cities in South Korea. *Forests* 14, 278. <https://doi.org/10.3390/f14020278>

29. Irvine, K.N., Suwanarit, A., Likitswat, F., Srilertchaipanij, H., Sahavacharin, A., Wongwatcharapaiboon, J., Boonkam, P., Ingegno, M., Janpathompong, S., 2023. Nature-based solutions to enhance urban flood resiliency: case study of a Thailand Smart District. *Sustain. Water Resour. Manag.* 9, 43. <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00821-6>

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

- 30.** Kasprzyk, M., Szpakowski, W., Poznańska, E., Boogaard, F.C., Bobkowska, K., Gajewska, M., 2022. Technical solutions and benefits of introducing rain gardens – Gdańsk case study. *Science of The Total Environment* 835, 155487. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155487>
- 31.** Kim, K.R., Oh, J.-W., Woo, S.-Y., Seo, Y.A., Choi, Y.-J., Kim, H.S., Lee, W.Y., Kim, B.-J., 2018. Does the increase in ambient CO₂ concentration elevate allergy risks posed by oak pollen? *Int J Biometeorol* 62, 1587–1594. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1558-7>
- 32.** Kafle, A., Hopeward, J., Myers, B., 2023. Modelling the Benefits and Impacts of Urban Agriculture: Employment, Economy of Scale and Carbon Dioxide Emissions. *Horticulturae* 9, 67. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010067>
- 33.** Lithuanian Hydrological Services. 2023. Climate regions of Lithuania. Retrieved from May 11, 2023 <http://www.meteo.lt/en/climate-regions-of-lithuania>
- 34.** Lahoti, S., Lahoti, A., Joshi, R.K., Saito, O., 2020. Vegetation Structure, Species Composition, and Carbon Sink Potential of Urban Green Spaces in Nagpur City, India. *Land* 9, 107. <https://doi.org/10.3390/land9040107>
- 35.** Lai F. O., Subhadip G., and Mohamed L. M. Y. 2020. The Benefits of Tree Shade and Turf on Globe and Surface Temperatures in an Urban Tropical Environment. *International Society of Arboriculture* <https://doi.org/10.48044/jauf.2020.017>
- 36.** Lerman, S.B., Contosta, A.R., Milam, J., Bang, C., 2018. To mow or to mow less: Lawn mowing frequency affects bee abundance and diversity in suburban yards. *Biological Conservation* 221, 160–174. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.025>
- 37.** Marando, F., Salvatori, E., Fusaro, L., Manes, F., 2016. Removal of PM₁₀ by Forests as a Nature-Based Solution for Air Quality Improvement in the Metropolitan City of Rome. *Forests* 7, 150. <https://doi.org/10.3390/f7070150>
- 38.** Medina Camarena, K.S., Wübbelmann, T., Förster, K., 2022. What Is the Contribution of Urban Trees to Mitigate Pluvial Flooding? *Hydrology* 9, 108. <https://doi.org/10.3390/hydrology9060108>
- 39.** Misni, A., Jamaluddin, S., Kamaruddin, S.M., 2015. Carbon Sequestration Through Urban Green Reserve And Open Space. *Planning Malaysia*. <https://doi.org/10.21837/PMJOURNAL.V13.I5.142>
- 40.** Official Statistics Portal, 2021. Statistics Lithuania. Retrieved May 11, 2023, from <https://osp.stat.gov.lt/en/statistiniu-rodikliu-analize?hash=f2ee6809-6d05-450f-9a07-6154b95903c2#/>
- 41.** Official Statistics Portal. 2022. Resident population as of 1 July | persons 1. Retrieved May 11, 2023. <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize#/>
- 42.** Oviantari, M.V., Gunamantha, I.M., Ristiati, N.P., Santiasa, I.M.P.A., Astariani, P.P.Y., 2018. Carbon sequestration by above-ground biomass in urban green spaces in Singaraja city. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 200, 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/200/1/012030>

- 43.** Priess, J., Pinto, L.V., Misiune, I., Palliwoda, J., 2021. Ecosystem Service Use and the Motivations for Use in Central Parks in Three European Cities. *Land* 10, 154. <https://doi.org/10.3390/land10020154>
- 44.** Pereira, P., Kalinauskas, M., Das, M., Bogdzevič, K., Inácio, M., Barcelo, D., 2022. Mapping and assessment of flood regulation supply and demand in Vilnius (Lithuania), in: *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*. Elsevier, pp. 113–133. <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2022.10.015>
- 45.** Pinto, L.V., Ferreira, C.S.S., Inácio, M., Pereira, P., 2022. Urban green spaces accessibility in two European cities: Vilnius (Lithuania) and Coimbra (Portugal). *Geography and Sustainability* 3, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.03.001>
- 46.** Rafael, S., Vicente, B., Rodrigues, V., Miranda, A.I., Borrego, C., Lopes, M., 2018. Impacts of green infrastructures on aerodynamic flow and air quality in Porto's urban area. *Atmospheric Environment* 190, 317–330. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.07.044>
- 47.** Rocklöv, J., Dubrow, R., 2020. Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. *Nat Immunol* 21, 479–483. <https://doi.org/10.1038/s41590-020-0648-y>
- 48.** Reid, C.E., Maestas, M.M., 2019. Wildfire smoke exposure under climate change: impact on respiratory health of affected communities. *Current Opinion in Pulmonary Medicine* 25, 179–187. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000552>
- 49.** Smith IA, Fabian MP, Hutyrá LR., 2023. Urban green space and albedo impacts on surface temperature across seven United States cities. *Sci Total Environ*. 857(Pt 3):159663. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159663. Epub 2022 Oct 24. PMID: 36302415.
- 50.** Shadman, S., Ahanaf Khalid, P., Hanafiah, M.M., Koyande, A.K., Islam, Md.A., Bhuiyan, S.A., Sin Woon, K., Show, P.-L., 2022. The carbon sequestration potential of urban public parks of densely populated cities to improve environmental sustainability. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 52, 102064. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102064>
- 51.** Swish Re Institute, 2021. The economics of climate change: no change no option April 2021. J. Guo, D. Kubli, P. Saner. Zurich, Switzerland.
- 52.** Summer, A., Lora, I., Formaggioni, P., Gottardo, F., 2019. Impact of heat stress on milk and meat production. *Animal Frontiers* 9, 39–46. <https://doi.org/10.1093/af/vfy026>
- 53.** Singh, A., Sarma, A.K., Hack, J., 2020. Cost-Effective Optimization of Nature-Based Solutions for Reducing Urban Floods Considering Limited Space Availability. *Environ. Process.* 7, 297–319. <https://doi.org/10.1007/s40710-019-00420-8>

- 54.** Singer, B.D., Ziska, L.H., Frenz, D.A., Gebhard, D.E., Straka, J.G., 2005. Research note: Increasing Amb a 1 content in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen as a function of rising atmospheric CO₂ concentration. *Functional Plant Biol.* 32, 667. <https://doi.org/10.1071/FP05039>
- 55.** Stoffberg, G.H., Van Rooyen, M.W., Van Der Linde, M.J., Groeneveld, H.T., 2010. Carbon sequestration estimates of indigenous street trees in the City of Tshwane, South Africa. *Urban Forestry & Urban Greening* 9, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.09.004>
- 56.** Targa, J., Ripoll, A., Banyuls, L., González Ortiz, A., Soares, J., 2023. Status report of air quality in Europe for year 2021, using validated data (ETC-HE Report 2023/1).
- 57.** Thornton, P.K., J. van de Steeg, A. Notenbaert, and M. Herrero. 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. *Agric. Syst.* 101:113–127. [doi:10.1016/j.agsy.2009.05.00](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.00)
- 58.** Tsatsou, A., Frantzeskaki, N., Malamis, S., 2023. Nature-based solutions for circular urban water systems: A scoping literature review and a proposal for urban design and planning. *Journal of Cleaner Production* 394, 136325. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136325>
- 59.** UNEP, 2022. Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies. Nairobi. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>
- 60.** UNESCO. 1994. Convention Concerning The Protection Of The World Cultural And Natural Heritage. Retrieved May 11, 2023 from <https://whc.unesco.org/en/decisions/3222>
- 61.** WEF, 2022. The global risks report 2022, 17th ed. ed, 2022. World Economic Forum, Geneva.
- 62.** Wang, T., Teng, F., Zhang, X., 2020. ASSESSING GLOBAL and NATIONAL ECONOMIC LOSSES from CLIMATE CHANGE: A STUDY BASED on CGEM-IAM in CHINA. *Climate Change Economics* 11. <https://doi.org/10.1142/S2010007820410031>
- 63.** WWF, 2020. Living Planet Report 2020 – Building a naturepositive society. Almond, R.E.A., Grooten, M., Juffe Bignoli, D. & Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland
- 64.** World health statistics, 2022. Monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- 65.** Wübbelmann, T., Bouwer, L., Förster, K., Bender, S., Burkhard, B., 2022. Urban ecosystems and heavy rainfall – A Flood Regulating Ecosystem Service

modelling approach for extreme events on the local scale. OE 7, e87458. <https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e87458>

66. Xie, L., Shu, X., Kotze, D.J., Kuoppamäki, K., Timonen, S., Lehvävirta, S., 2022. Plant growth-promoting microbes improve stormwater retention of a newly-built vertical greenery system. Journal of Environmental Management 323, 116274. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116274>

67. Zhou, W., Cao, W., Wu, T., Zhang, T., 2023. The win-win interaction between integrated blue and green space on urban cooling. Science of The Total Environment 863, 160712. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160712>

РОЗДІЛ 4

ОСОБЛИВОСТІ АДАПТАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ДО ЗМІН КЛІМАТУ

4.1. Взаємозв'язок між низьковуглецевим сільським господарством, транспортом та енергетикою: посилення стійкості європейської та національної кліматичної безпеки

Олена Борисяк

(Західноукраїнський національний університет, Україна)

Для забезпечення управління кліматом та циклічного використання природних ресурсів біомаса розглядається як джерело для отримання «зеленої» теплової та електричної енергії, а також біопалива (тверде біопаливо: пелети; біогаз; тверде біопаливо: біоетанол, біодизель), що утворюють основу для розвитку «зеленої» енергетики, екологічно чистого транспорту. Впровадження інновацій у бізнес-процеси з екологічними та економічними перевагами має особливе значення на рівні підприємств енергетики та транспорту [1-3].

У свою чергу, імплементація європейських принципів кліматично нейтрального економічного розвитку має бути комплексною, а також мати здатність прогнозувати врахування регіональної специфіки галузевого розвитку. Зважаючи на це, для визначення ефективних шляхів посилення кліматичної складової в екологічній та енергетичній безпеці економічного розвитку регіону доцільно визначити екологічний «слід» місця та інтегрувати кліматичну політику в програми регіонального розвитку. У цьому контексті серед низьковуглецевих підходів на регіональному рівні, які є одними з численних стимулів для розвитку «зеленої» енергетики на основі диверсифікації та кругового використання відновлюваних джерел енергії, доцільно використовувати такі новинки, як екологізація транспорту (зокрема, розглядається перехід на електромобілі), енергомодернізація будівель (перехід на «розумні будинки») [4].

«Зокрема, моніторинг тенденції зміни клімату визначає важливість дотримання екологічних цінностей. В умовах розвитку штучного інтелекту та віртуальних підприємств і можливості дистанційної зайнятості актуальним є твердження щодо розвитку такого тренду, як міграція робочої сили з мегаполісів у малі міста. У результаті формується нова орієнтація екологічних цінностей, як от використання автотранспорту з мінімізацією викидів забруднюючих речовин

в атмосферу в транскордонних регіонах» [5], що, у свою чергу, створює основу для розвитку стійких «розумних» міст, а також реалізації такого стратегічного пріоритету Європейського Союзу, як стійка міська мобільність.

У наукових працях «стійкий транспорт» тлумачиться як «транспорт, який задовольняє поточні транспортні потреби, не перешкоджаючи майбутньому задоволенню власних потреб. Критеріями стійкого транспортування є ступінь задоволення транспортного попиту, технічна та комерційна здійсненність транспортної технології тощо (економічні цілі), виробничі та регенераційні функції (екологічні цілі), культурне багатство, інституційні фактори, соціальна справедливість тощо (соціальні цілі)» [6].

Тепер у цьому контексті концепція «Розумних сталих міст», яка була розроблена в Європейському Союзі, має бути ґрунтовно прояснена. Ця концепція поєднує міську стійкість і мобільність, підкреслюючи, що обидва аспекти повинні розглядатися одночасно. Появу цієї концепції можна визначити як відповідь на критику таких урбаністичних рішень, які суперечать стійкості, а також як спосіб задовольнити потреби міст, які зараз оцифровані значною мірою, але все ж таки менше ніж це може передбачати традиційна концепція сталості [7]. «Розумне стаłe місто» розглядається як «інноваційне місто, яке використовує інформаційно-комунікаційні технології та інші засоби для покращення якості життя, ефективності функціонування та надання послуг у містах, а також забезпечення конкурентоспроможності, потреб нинішнього та майбутніх поколінь щодо економічних, соціальних, екологічних та культурних аспектів» [8].

Для визначення особливостей інтеграції кліматично нейтрального та енергоефективного векторів у стратегічний розвиток транспортної інфраструктури на основі сталої мобільності використано аналіз рівня викидів вуглекислого газу в атмосферне повітря автотранспортом у загальній структурі стаціонарних джерел забруднення за видами економічної діяльності (у відсотках до загального) за 2017-2020 рр. (рис. 4.1).

Зокрема, простежено позитивну динаміку скорочення викидів автотранспортом від 3,6 % у 2017 році до 1,5 % у 2020 році. Водночас, у контексті предмета нашого дослідження, вважаємо за необхідне звернути увагу на відстеження тенденції зростання рівні викидів вуглекислого газу в атмосферне повітря за рахунок постачання електроенергії, газу, пари та кондиціонування повітря з 51,4 % у 2017 році до 51,6 % у 2020 році. Це свідчить про загрозу збільшення викидів шкідливих речовин в атмосферу, які може призвести до зміни клімату» [9].

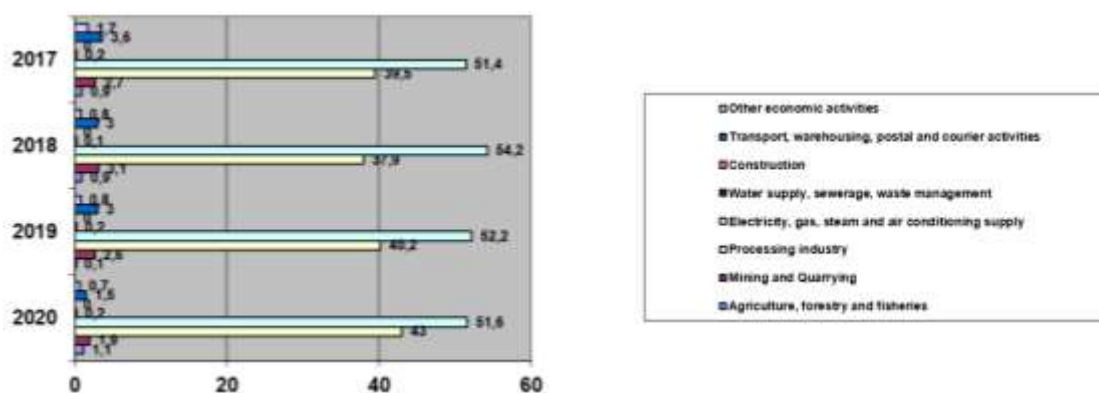


Рис. 4.1. Рівень викидів вуглекислого газу в атмосферне повітря автотранспортом у загальній структурі стаціонарних джерел забруднення за видами господарської діяльності (у відсотках до загального) [10] (англ.)

За даними 2016-2020 років (табл. 4.1, 4.2) простежено зменшення кількості АЗС у західних регіонах порівняно з Київською областю. Проте в цей період також спостерігається тенденція до використання традиційних видів палива в транспортному секторі України (автомобільний бензин, мазут). Крім того, загальне використання природного газу у 2020 році порівняно з 2016 роком скоротилося на 7,7 млрд м³. Водночас простежуються тенденції до зменшення використання паливних брикетів і гранул з деревини та іншої природної сировини у 2020 році на 0,8 тис. т порівняно з 2016 роком» [7].

Таблиця 4.1.

**Кількість АЗС в окремих регіонах України у 2016-2020 рр
(на кінець року, од.) [10]**

Назва регіону	Тернопіль	Львів	Хмельницький	Вінниця	Ів.-Франківськ	Київ
2016	189	377	234	303	183	492
2017	191	371	216	281	180	487
2018	186	372	240	306	174	463
2019	184	369	206	281	169	449
2020	176	351	204	294	173	491
Відхилення між 2020 і 2016 роками	-13	-26	-30	-9	-10	-1

Таблиця 4.2.

Частка використання окремих видів палива в транспортній, складській, поштовій та кур'єрській діяльності в Україні у 2016-2020 рр. [10]

Назва палива	Паливні брикети та гранули з деревини та інших природних матеріалів, тис. грн. т	Бензин автомобільний, тис. т	Зріджений пропан і бутан, тис. т	Мазути важкі, тис. т	Природний газ, млрд м ³
2016	2.4	2.5	1.9	4.4	11.1
2017	2.6	2.8	2.0	4.4	7.4
2018	2.0	3.1	1.8	6.0	6.6
2019	1.9	3.4	1.7	16.6	3.7
2020	1.6	2.6	1.5	10.2	3.4
Відхилення між 2020 і 2016 роками	-0.8	+0.1	-0.4	+5.8	-7.7

«Загалом результати численних аналітичних досліджень пролили світло на сформовану позитивну тенденцію щодо зростання попиту населення України на безпечні для довкілля транспортні засоби. Натомість виявлено кореляцію між попитом на екотранспорт та необхідністю відкриття спеціалізованих АЗС для користувачів екотранспортів в громадах.

Отримані аналітичні дані свідчать про актуальність питання розробки заходів щодо сприяння розвитку екологічно безпечного транспорту шляхом розвитку сталої транспортної інфраструктури» [7] (встановлення зарядних електростанцій), насамперед у містах, удосконалення інфраструктури живлення акумуляторних батарей для електричних автомобілів (зокрема для таксі)» [12].

У цьому контексті варто відзначити активну екологічно спрямовану політичну діяльність в Європейському Союзі, де одним із напрямків є розвиток економічного та наукового партнерства з південними та східними країнами-сусідами шляхом фінансування відповідних програм. Слід зазначити, що однією з програм, яку варто відзначити, є програма EU4Energy (2016-2020), яка спрямована на покращення якості даних і статистики у сфері енергетики, формування регіональних дискусій у сфері прийняття політичних рішень, посилення законодавчої нормативно-правової бази та покращення доступу до інформації в країнах-партнерах.

Ще одна актуальна програма – EU4Climate (2018-2022), яка підтримує розробку та реалізацію кліматичної політики країн Східного партнерства, що сприяє зниженню рівня викидів, запобіганню зміні клімату та виконанню зобов'язань за Паризькою угодою щодо зміни клімату 2015 року [5, 7, 9].

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Як результат, підвищена увага до комплексного вирішення проблеми глобальної зміни клімату зумовлює виділення такого стратегічного вектору сталого розвитку транскордонних регіонів Європейського Союзу та України, як реформування міської транспортної інфраструктури на основі екологічних досліджень, а також впровадження «розумних» технологій для зниження рівня викидів вуглекислого газу в атмосферу» [5]. Зокрема, «Європейський Союз запропонував скоротити викиди парникових газів до 2020 року, який офіційно підтримав Копенгагенську угоду про зміну клімату та представив свої зобов'язання щодо цілей скорочення викидів. Ці схвалення складаються з одностороннього зобов'язання скоротити загальні викиди в Європейському Союзі на 20 % порівняно з рівнями 1990 року та умовної пропозиції збільшити це скорочення до 30 %, за умови, що інші основні сторони погодяться взяти на себе справедливую частку глобальних зусиль щодо збільшення кількості скорочення [6].

У свою чергу, спостерігається позитивна тенденція впровадження міжнародного досвіду сталого розвитку транспортної галузі на основі електрифікації транспорту в нормативно-правову базу України, яка входить до числа країн-учасниць Європейської політики сусідства, що діє з 2004 р. Наприклад, у рамках Угоди про асоціацію з Європейським Союзом існує чимало заходів, які сприяють таким основним цілям, як зниження енергоемності економіки, диверсифікація джерел і шляхів постачання енергоресурсів, підвищення вітчизняного виробництва на засадах сталого розвитку [13]. Енергетична стратегія України на період до 2035 року («Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність») передбачає «інтенсивне залучення інвестицій у сектор відновлюваної енергетики, розвиток розподіленої генерації, зокрема розробку та реалізацію плану з впровадження «розумних» енергетичних мереж (Smart Grids) та створення розгалуженої інфраструктури для розвитку електротранспорту» [14] з одночасними очікуваннями заміни значної частини таких транспортних засобів на рухомий склад з безвिकладними електродвигунами та екологічно чистими водневими двигунами [13, 14].

«Енергетична стратегія України на період до 2050 року», схвалена Кабінетом Міністрів України 21 квітня 2023 р. розпорядженням № 373-р [15], орієнтована на досягнення вуглецевої нейтральності в Україні. Цієї мети планується досягти шляхом диверсифікації відновлюваних джерел енергії, виробництва біоетанолу та водню, модернізації та автоматизації енергетичних мереж, поступового скорочення споживання газу (з 2035 року) за рахунок переходу на споживання електроенергії.

Крім того, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України підтримало «Європейську зелену угоду» та розробило Концепцію переходу України до «зеленої» енергетики, яка має бути реалізована до 2050 року. Відповідно до Концепції декарбонізації та екологізації транспорту, необхідно передбачити певні заходи. Ці заходи спрямовані на вирішення наступних завдань:

- модернізація парку транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння до електричних, водневих, паливних елементів або інших, що відповідають критеріям стійкості та екологічності;
- оптимізація структури пасажирських та вантажних перевезень за рахунок збільшення частки відповідно громадського та залізничного транспорту;
- удосконалення планування транспортної мережі та маршрутів громадського транспорту; розвиток використання екологічного транспорту та мікромобільності в містах;
- впровадження технології інтермодальних вантажних перевезень;
- модернізація та збільшення кількості водних і річкових портів;
- впровадження енергозбереження на всіх рівнях технологічного ланцюга» [13].

Загалом, щодо розробки заходів щодо реалізації цілей інтеграції відновлюваних джерел енергії в систему централізованого теплопостачання, відзначимо тенденцію до переведення котелень на біомасу та тверде біопаливо, поряд із будівництвом ТЕС на біомасі та використанням біопалива на транспорті. У Законі України «Про альтернативні види палива» [16] поняття «біомаса» тлумачиться як «біологічно відновлювана речовина органічного походження, що піддається біологічному розкладанню (відходи сільського господарства (рослинництва та тваринництва), лісового господарства та деяких технологічно пов'язаних промисловості), а також органічної частини промислових і побутових відходів» [16].

Одним із альтернативних джерел «зеленої» електроенергії та тепла є біогаз. Відповідно, важливо створити сприятливе ринкове середовище для функціонування таких підприємств, які використовують біогаз для виробництва електроенергії та тепла.

Така транзитивність соціально-економічного розвитку призводить до зміни підходу до позиціонування «зеленої» енергії як кліматично нейтрального товару на ринку, що є поєднанням ресурсозберігаючого та кліматично нейтрального підходів. Це демонструє важливість заходів, необхідних для впровадження кліматично нейтральних інновацій як критично важливих енергоефективних і кліматично нейтральних технологій в енергетиці. І це впровадження може бути можливим шляхом диверсифікації відновлюваних джерел енергії на основі замкнутого циклу використання енергоресурсів, декарбонізації ланцюга енергопостачання та розвитку «зелених» локальних енергетичних мереж на основі розумного управління та міжгалузевої співпраці.

Крім того, одним із імперативів підвищення енергоефективності економіки є розробка та оптимізація технологій вирощування енергетичних (фотосинтетичних) культур, які спеціально використовуються як біопаливо або для виробництва енергії. Біомаса є вуглецево-нейтральним паливом у сенсі, що її використання

не посилює глобальний парниковий ефект. Сьогодні основними постачальниками біомаси, яка використовується для виробництва біопалива, є сільське господарство, лісове господарство, енергетична трансплантація та мікробіологічна промисловість.

Перевага переходу на енергетичні культури як основну біомасу для виробництва твердого біопалива полягає в їх доступності та простоті виробництва. А це, в свою чергу, може стати альтернативною заміною лісовій біомасі (дерева/деревина), вартість якої постійно зростає. Крім того, «виращування енергетичних культур може відбуватися на деградованих землях і сприяти запобіганню ерозії ґрунту» [17].

«З 2013 року країни-члени ЄС дотримуються інтегрованої екологічної політики, що зобов'язує фермерів, які володіють понад 15 га ріллі, виділяти не менше 5 % відповідної площі для екологічних та енергетичних потреб. З 2017 року така частка землі під відповідні вимоги зросла до 7 %. За даними Європейської комісії, близько 10 % усіх сільськогосподарських угідь має бути використано під енергетичні культури. Крім того, фермери зобов'язані виращувати енергетичні культури без використання пестицидів і мінеральних добрив» [18, 19]. «В Європейському Союзі 13,2 млн га землі доступні для виращування енергетичних культур. До 2025 року ця кількість може зрости до 20,5 млн га, а до 2030 р. – до 26,2 млн га» [19, 20].

Наразі, в Україні є близько 3,5 млн га земель, які виведені з посіву через низьку родючість, схильність до ерозії тощо. Виращування на цих землях швидкозростаючих високопродуктивних енергетичних культур, у тому числі артишоку, може зберегти ґрунти від ерозії, підвищити потужність гумусового шару і в цілому покращити еколого-енергетичний стан країни [19]. За даними 2016 року, економічно обґрунтований енергетичний потенціал існуючих відходів біомаси досягає 25 млн т умовного палива, а енергетичний потенціал біомаси, яку можна виращувати на невикористаних сільськогосподарських угіддях площею понад 4 млн га, становить близько 13 млн т умовного палива. З таким потенціалом можна покрити до 18 % загального споживання первинних енергоносіїв в Україні [19, 21].

Проте перехід на виробництво енергетичних культур як альтернативного ресурсу для заміни газу для виробництва енергії в Україні передбачає нормативне вдосконалення, яке може бути досягнуто завдяки «розгляду та ухваленню Верховною Радою України законопроектів 5227 та 5228 від 12.03.2021 та визначення терміну «енергетичні установки», збільшення терміну дії договору оренди землі для виращування енергетичних культур до 20 років (зараз це лише 7 років), спрощення процесу оренди малопродуктивних земель для виращування енергетичних культур без проведення земельних конкурсів, обмеження граничного розміру орендної плати за малопродуктивні та деградовані землі, на яких виращуються

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

енергетичні рослини, до 5 % від нормативної грошової оцінки (зараз – до 12 %). Такі зміни закріплять основи розвитку сектору енергетичних культур в Україні (табл. 4.3) з потенціалом заміщення природного газу до 8,9 млрд. м³/рік (при їх вирощуванні на 2 млн. га землі), скорочення викидів парникових газів до 18 млн. т CO₂/рік та значним позитивним впливом на макроекономічні показники української економіки [22].

Таблиця 4.3.

**Доходи від різних альтернатив сільськогосподарському
землекористуванню [22]**

Способи використання землі	Середня врожайність, ц/га	Середня ціна продажу на внутрішньому ринку, Євро/т	Доходи, Євро/га
Вирощування пшениці	4,65	160	744
Вирощування кукурудзи на зерно	6	160	960
Вирощування кукурудзяного силосу для виробництва біометану	24,3	40	972
Вирощування енергетичних культур (верба, тополя)	18	60	1080

Використання біомаси рослин у біоенергетиці для забезпечення конкурентоспроможності сільських територій та аграрних формувань «вимагає врахування певних принципових умов: біогенні джерела цього виду промислової сировини мають бути добре адаптовані до конкретних ґрунтово-кліматичних умов вирощування, забезпечувати високий і стабільний обсяг виробництва товарної продукції та її високий вихід з одиниці посівної площі; виробництво та переробка рослинницької продукції має бути регіонально пов'язаною, що виключає невикористання витрати на транспортування та зберігання такої продукції; вирощування рослинної сировини має бути забезпечене надійною системою насінництва; система виробництва та переробки рослинної сировини має бути придатною для її багатоцільового промислового використання та утилізації комерційно цінних супутніх продуктів, що забезпечує безвідходність цього процесу та ресурсів» [23].

Водночас визначальним є кліматичне та економічне завдання щодо забезпечення сталого розвитку аграрного сектору шляхом закладання енергетичних насаджень (тополя та верба енергетична, павловнія, світчграс, міскантус, евкالیпт, конопля, очерет, очерет тощо) з урахуванням гідрометеорологічної характеристики енергетичних культур за показником багатородовості (уникнення щорічної оранки сприяє збереженню вологи в ґрунті), показника терміну збирання врожаю, а також

показника вологостійкості. Відповідно, основними завданнями ефективного управління бізнес-процесами в організаційній сфері на підприємствах відновлюваної енергетики (біоенергетики) та чистого транспорту є: «проектування структури бізнес-процесів (розподіл центрів відповідальності та формування моделі їх взаємодії), консолідація відділів з метою контролю часу на впровадження інтеграцій у систему управління бізнес-процесами, вибір та адаптація програмно-технічних засобів для ефективного управління бізнес-процесами» [24].

Водночас у роботі [25] звертається увага на тісний зв'язок між кількістю виробників біопалива та кількістю виробленої ними продукції. Це свідчить про те, що замість встановлення тенденції до розширення виробництва відбувається постійне оновлення виробників (переважно за рахунок циклу дрібних виробників, одні з яких часто закриваються, а інші постійно з'являються). Серед причин цього явища – «неналагоджені поставки сировини (сільськогосподарської сировини), невдале розміщення виробництва щодо сировинної бази (сільськогосподарських підприємств), відсутність доступу до європейських ринків. Крім того, визначальним для впровадження ефективного виробництва та споживання біопалива є отримання повного комплексу ефектів: економічного, соціального, екологічного та енергетичного» [26]. У результаті компромісним управлінським рішенням може стати використання міжгалузевого підходу до створення кліматичних енергетичних кластерів за участю аграрних, біопереробних, енергетичних, транспортних підприємств у ланцюзі виробництва «зеленої» енергії, що дозволяє оптимізувати планування створення плантацій енергетичних культур з адаптацією до кліматичних факторів (сезонна кількість і періодичність опадів, зміна температурних режимів та ін.) в різних регіонах України.

Посилання

1. Barriga Medina, H.R. Guevara R. Campoverde R.E. Paredes-Aguirre M.I. Eco-Innovation and Firm Performance: Evidence from South America. Sustainability. 2022. Vol. 14. 9579. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/15/9579/htm> [in English].
2. Dorison L., Rocher L., Fontaine A. The right price of heat. The District Heating user, an ambiguous energy consumer? URL: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-03705139/document> [in English].
3. Li Bai, Pierre Pinson, Jiawei Wang, Variable heat pricing to steer the flexibility of heat demand response in district heating systems. Electric Power Systems Research. 2022. Vol 212. 108383, ISSN 0378-7796, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108383> [in English].

4. Borysiak O., Mucha-Kuś K., Brych V., Kinelski G. Toward the Climate-Neutral Management of Innovation and Energy Security in Smart World : monograph. Berlin, Germany: Logos Verlag Berlin GmbH. 2022. 176 p. [in English].
5. Borysiak O.V. Ways to improve the environmental safety of economic development of the region in the context of European integration. Contribution of young scientists to the socio-economic development of the Western region: Materials of the scientific and practical forum (Kamianets-Podilskyi, 25 February 2021). Kamianets-Podilskyi: Podilskyi Special Educational and Rehabilitation Socio-Economic College, 2021. P. 14-17 [in Ukrainian].
6. Zito P. Salvo, G. Toward an urban transport sustainability index : an European comparison. European Transport Research Review. 2011. Vol. 3, Issue 4, P. 179–195. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12544-011-0059-0> [in English].
7. Brych V., Halysh N., Borysiak O. Management strategy of the biofuel production enterprise : monograph. Ternopil: VPC "Economic Thought TNEU", 2020. 224 p. [in Ukrainian].
8. Huovila A., Bosch P., Airaksinen M. Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities : What indicators and standards to use and when? Elsevier. 2019. № 89. P. 141-153. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275118309120?via%3Dihub> [in English].
9. Monastyrskyi G., Borysiak O., Kotsur A. Policy of environmental diversification in the municipal transport management system. Regional aspects of the development of productive forces of Ukraine. 2019. Vol. 24. P. 4-14 [in Ukrainian].
10. State Statistics Service of Ukraine. Official website. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].
11. Transport of Ukraine 2020: a statistical collection / edited by I. Petrenko. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine, 2021. 116 p. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/10/zb_Transpot.pdf [in Ukrainian].
12. Zhen G., Bin Y., Kewang L., Yunong Y., Baozhen Y., Qingfeng L. Locating battery supplying infrastructures for electric taxis. The International Journal of Transportation Research. 2020. Vol. 12 (2). P. 77-86. DOI: <https://doi.org/10.1080/19427867.2018.1520449> [in English].
13. Monastyrskyi G.M., Borysiak O.V. Ecological and energy-efficient approaches to ensuring innovative development of municipal transport logistics. Bulletin of Ternopil National Economic University. 2019. Vol. 4. P. 7–18. DOI: <https://doi.org/10.35774/visnyk2019.04.007> [in Ukrainian].
14. The Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness": Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 18 August 2017 No. 605-r / Cabinet of Ministers of Ukraine. URL:

<http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358> [in Ukrainian].

15. On approval of the Energy Strategy of Ukraine until 2050: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 21 April 2023, No. 373-p. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

16. On alternative fuels: Law of Ukraine of 11.11.2021 No. 1391-XIV / Verkhovna Rada of Ukraine. Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. 2000. № 12. Article 94. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14> [in Ukrainian].

17. Vorobey V., Medlekh J., Hudz N. Use of energy crop biomass in the northern regions of Ukraine (Volyn, Rivne, Zhytomyr, Kyiv and Chernihiv regions): analytical study prepared within the framework of the European Union Technical Assistance Project "Biomass Energy: Transforming Natural Potential into Regional Partnerships", funded by the European Union under the EaTPC Cooperation Programme. Lviv: Economic Development Agency PPV Knowledge Networks. 2018. 59 p. [in Ukrainian].

18. Geletukha G.G., Zhelezna T.A., Tryboy O.V. Current state and prospects of bioenergy development in Ukraine. BAU Position Paper. 2014. № 10. P. 1-33. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf> [in Ukrainian].

19. Brych V., Borysiak O., Halysh N., Liakhovych G., Kupchak V., Vakun O. Impact of international climate policy on the supply management of enterprises producing green energy. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 485. P. 649–661. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-08093-7_43 [in English].

20. Kolomiichenko M. Economic feasibility study of the transition to heating with solid biofuels. Harmonisation of Ukrainian standards and EU standards: a manual / M. Kolomiichenko, S. Alpakov, T. Ignatenko. Ukrainian Pellet Union, 2014. 46 c. URL: [http://saee.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20\(1\).pdf](http://saee.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20(1).pdf) [in Ukrainian].

21. Review of Renewable Energy Sources in Agriculture and Forestry of Ukraine. URL: http://biomass.kiev.ua/Assets/files/AgPP6_U.pdf [in Ukrainian].

22. Ukraine needs a programme for growing and using energy crops. URL: <https://agroportal.ua/news/rastenievodstvo/ukrajina-potrebuye-programi-viroshchuvannya-i-vikoristannya-energetichnih-kultur> [in Ukrainian].

23. Sidoruk B.O. Features of the study of the impact of the bioenergy industry on the competitiveness of rural areas and individual agricultural formations. Sustainable development of the economy. 2015. № 4(29). P. 116-123 [in Ukrainian].

24. Klymchuk S. A. Alternative energy: current state and prospects for development. Bulletin of the Chernivtsi Trade and Economic Institute. Economic sciences. 2012. Vol. 2. P. 137-143. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchtei_2012_2_22 [in Ukrainian].

25. Stepanova I. Problems of providing agricultural raw materials for solid fuel bioenergy sector in Ukraine. *Agricultural and Resource Economics : International Scientific E-Journal*. 2017. Vol. 3. № 4. P. 135–146. URL: www.are-journal.com [in Ukrainian].

26. Pryshliak N. V. Efficiency of biofuel production at the enterprises of the beet and sugar complex : PhD thesis in Economics: 08.00.04 ; Vinnytsia National Agrarian University, 2015. 21 p. [in Ukrainian].

4.2. Розвиток сільського господарства Тернопільської області України в умовах зміни клімату

Василь Брич¹, Людмила Красюк², Іван Сенік¹, Антін Шувар¹

(¹Західноукраїнський національний університет, Україна

*²Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН України»,
Україна)*

Актуальність оптимізації та адаптації сучасних систем землеробства в умовах зміни клімату є надзвичайно важливою. Розвиток сільського господарства – це процес його пристосування до клімату та погоди [4].

Сучасні зміни клімату, зумовлені переважно антропогенними чинниками, почалися в 70-х роках минулого століття [2].

В кінці другої половини ХХ ст. вивчення клімату Землі набуло особливого значення. Це пов'язано з очікуваним посиленням парникового ефекту і, як наслідок, підвищенням глобальної температури повітря. Вчені дійшли глобального консенсусу, що клімат змінився за останні 150 років, головним чином через діяльність людини. Глобальна температура підвищується, режим опадів стає все більш непередбачуваним, а рівень моря підвищується. Очікується, що ці тенденції збережуться протягом десятиліть [7].

За даними Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО), починаючи з 80-х років минулого століття кожне десятиліття було теплішим за попереднє, і ця тенденція збережеться й надалі. Річна глобальна температура в 2019 році була на 1,1 °С вищою за середню за 1850-1900 роки) [9].

В останні десятиліття зміни сучасного клімату викликані змінами масштабної атмосферної циркуляції, положення центрів дії мас у тропосфері, які є наслідком глобального потепління клімату [2].

Наслідки швидкого процесу зміни клімату являють собою широкий спектр різноспрямованих і різномасштабних явищ [1]. Зміни клімату, які спостерігалися в глобальному масштабі, відобразилися і на території України (рис. 4.2). Ці зміни

відбуваються синхронно, особливо це проявляється в аномальних явищах і температурних режимах, які мають тенденцію до зростання [5].

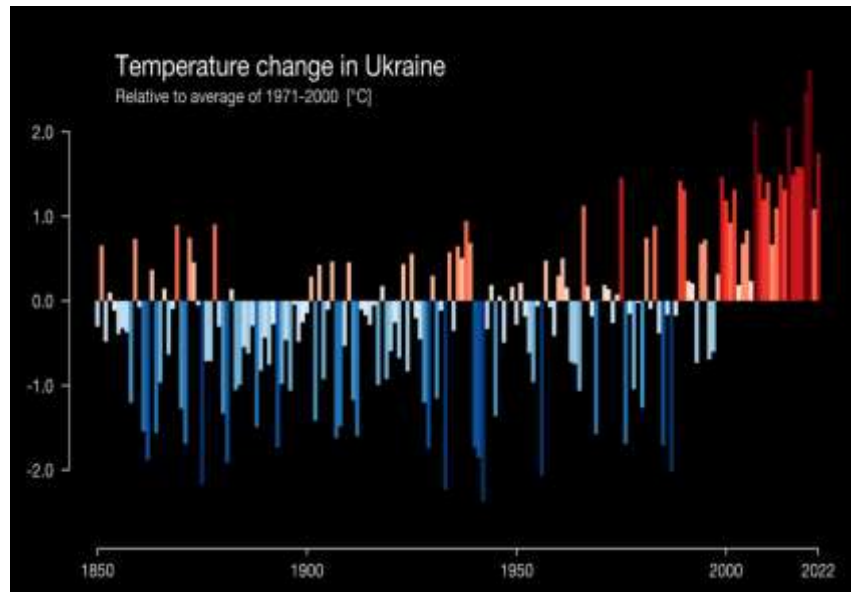


Рис.4.2. Зміна температури в Україні порівняно з періодом 1971-2000 (англ.)[3]

Аналіз рис. 4.2 показує, що в період з 1850 р. до початку 2000-х рр. середні річні температури повітря були здебільшого нижчими, ніж у базовий період 1971 – 2000 рр., і лише кілька років були теплішими. Початок ХХІ ст. ознаменувався стійким потеплінням, і в цей період немає років, щоб температура була холоднішою, ніж у 1971-2000 роках.

Аналіз динаміки температурного режиму Тернопільської області за період 1881-2020 рр. та її порівняння зі світовою динамікою показали схожу тенденцію зростання температури порівняно з контрольним періодом 1951-1980 рр.

У глобальному масштабі підвищення температури спостерігається з 1977 року і триває досі. У межах Тернопільської області зазначені кліматичні зміни розпочалися з 1988 року і тривають донині (за винятком 1996 року).

Слід зазначити, що амплітуда температурних коливань у межах планети значно менша порівняно з регіональним масштабом. З того часу середньорічна температура повітря поступово зростає, яка до змін становила 7,2 °С, а протягом наступних років зростала і в період з 2011 по 2020 рік була на рівні 9,0 °С.

Подібні зміни відбулися в теплий і холодний періоди року. Так, при середній багаторічній нормі квітня-жовтня 13,5 °С температура піднялася до позначки 15,6 °С. Холодна пора року (листопад-березень) також супроводжувалася підвищенням температурного режиму до -0,2 °С при середніх багаторічних показниках – 1,6 °С.

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Однією з основних характеристик теплового режиму є середньомісячна температура повітря, яка має чітко визначений річний курс. У середньому за період 1881-2020 рр. цей показник був найменшим у січні ($-4,3^{\circ}\text{C}$), а найвищим ($18,7^{\circ}\text{C}$) – у липні. Аналізуючи динаміку температури повітря по місяцях і роках спостережень, слід зазначити, що з 1881 по 1960 рр. вона становила $7,2^{\circ}\text{C}$, що знаходиться в межах багаторічної норми ($7,2^{\circ}\text{C}$).

Наступний період 1961-1980 рр. ознаменувався незначним зниженням середньорічної температури повітря на $0,2^{\circ}\text{C}$. Починаючи з 80-х років минулого століття спостерігається спочатку поступове (на $0,2^{\circ}\text{C}$ у 1981-1990 рр.), а потім різке підвищення середньорічної температури повітря. У 2011-2020 роках вона становила $9,0^{\circ}\text{C}$, що на $1,8^{\circ}\text{C}$ вище середньої багаторічної норми.

Розвиток сільськогосподарського виробництва у світі загалом та в Україні зокрема з кінця ХХ до початку ХХІ ст. відбувається в умовах кліматичних змін, які супроводжуються глобальним потеплінням і характеризуються такими ознаками як збільшення частоти екстремальних температур, збільшення кількості спекотних днів, зменшення кількості опадів та їх нерівномірний розподіл [4, 6, 10].

Посилення температурного режиму Тернопільської області, зумовлене кліматичними змінами у ХІХ-ХХ та на початку ХХІ ст., мало значний вплив на розвиток сільського господарства регіону, докорінно змінивши підходи до ведення сільськогосподарського виробництва порівняно з попереднім періодом (рис. 4.3).

Характерною особливістю цього процесу є те, що відбувся збіг у часі початку кліматичних змін та економічних та економічних передумов для розвитку сільськогосподарського виробництва. Таким чином, як свідчать дані метеорологічних спостережень, початок глобальних кліматичних змін, які відбилися на території Тернопільської області, припадає на 90-ті роки ХХ ст. і проявляється у наступному:

- підвищення середньомісячних і середньорічних температур повітря;
- погіршення вологозабезпечення в період вегетації;
- зрушення термінів останніх весняних і перших осінніх заморозків;
- скорочення або повна відсутність періоду спокою у озимих культур і багаторічних трав;
- подовження вегетаційного періоду сільськогосподарських культур;
- зростання суми активної та ефективної температур;
- збільшення кількості посушливих і різко посушливих років.

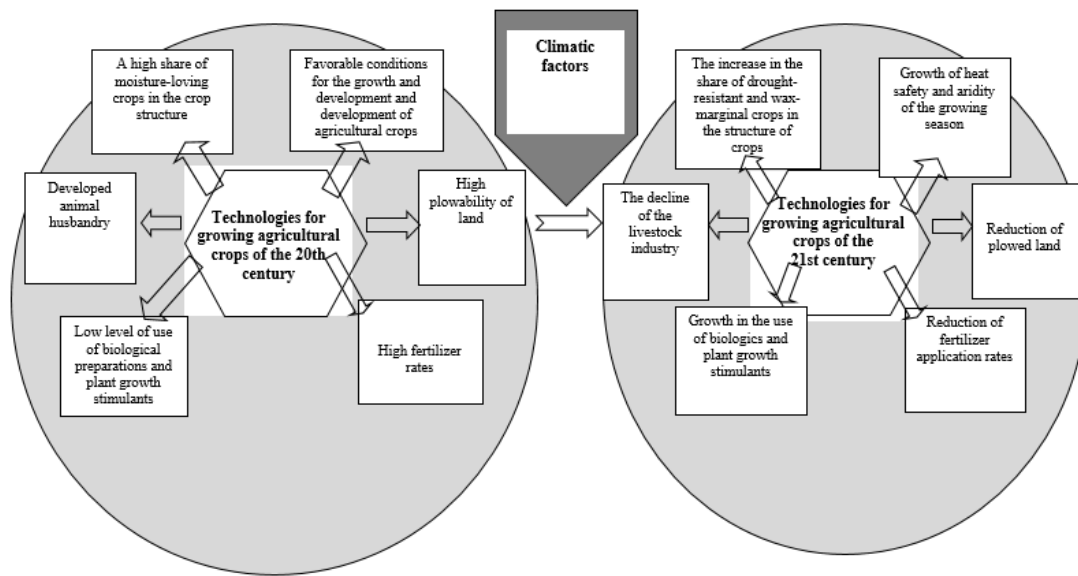


Рис. 4.3. Особливості вирощування сільськогосподарських культур в Тернопільській області (англ.)

Саме в цей період (початок 90-х років минулого століття) також відбулися зміни в усіх сферах економіки, в тому числі і в аграрному секторі, які виявилися в наступному:

- збільшено посівні площі експортоорієнтованих та високорентабельних культур, таких як соняшник, соя, ріпак, кукурудза, та зменшено посівні площі гороху, типових кормових і фуражних культур;
- зменшилася чисельність сільськогосподарських тварин, зокрема великої рогатої худоби, і спостерігається тенденція до збільшення поголів'я свиней та птиці;
- зменшилися норми внесення мінеральних та органічних добрив.
- збільшилось використання стимуляторів росту та антистресорів, як одного з ефективних механізмів отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур у несприятливих кліматичних умовах;
- зросло використання бактеріальних препаратів, переважно в технологіях вирощування бобових культур;
- у структурі посівів значно зростає частка площ, засіяних насінням іноземного походження, різко скоротилося використання насіннєвого матеріалу вітчизняної селекції;
- розвиток сільськогосподарського виробництва переорієнтовано на енергозбереження за рахунок використання нової сільськогосподарської техніки з кращими експлуатаційними характеристиками.

У зв'язку з цим відбулися докорінні зміни в технологіях вирощування сільськогосподарських культур, які були спрямовані на їх максимальну пристосованість до нових кліматичних і економічних умов.

Важливість цього питання також зумовлена тим, що глобальні зміни клімату збіглися зі зростанням населення протягом останнього століття, що призвело до значного зростання попиту на продукти харчування. Організація Об'єднаних Націй прогнозує, що до 2050 року населення Землі досягне 9,7 мільярда, до 2080 року – 10,8 мільярда, а до 2100 року – 11,2 мільярда. Хоча ці прогнози фактично свідчать про уповільнення загального глобального зростання населення, в Африці та Південній Азії очікується значне та стійке зростання: до 2100 року в цих двох регіонах цілком може проживати 9 мільярдів населення з прогнозованих 11 мільярдів людей на планеті. Під впливом цих важливих демографічних факторів попит на продукцію значно зросте, особливо в Африці та Південній Азії [8].

Посилання

1. Hlobalnyi indeks temperatury susha-ocean. [NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS)]. URL: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
2. Hrytsevych Yu.S. (2012) Korotkyi ahroklimatychnyi dovidnyk dlia vykorystannia ahrometeorologichnoi informatsii u silskomu hospodarstvi. [Step].61
3. Zmina hlobalnoi temperatury v Ukraini (1901 – 2022) [Ukrainian Hydrometeorological Center] <https://www.meteo.gov.ua/ua/news/Zmina-hlobalnoi-temperaturi-v-Ukraini-1901-2022>
4. Kaminskyi V. F., Saiko V. F. (2015) Zemlerobstvo XXI stolittia. Problemy ta shliakhy vyrishennia. [Agriculture]. 2. 3-1.
5. Lypynskyi V. M., Diachuk V. A., Babichenko V. M. (2003) Klimat Ukrainy. [Raevsky Publishing House]. 342.
6. Lypynskyi V. M., Osadchyi V. I., Babichenko V. M. (2006) Stykhiini meteorologichni yavyscha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986-2005 rr.). [Nika-Center]. 312
7. Shevchenko O. H., Vlasiuk O. Ya., Stavchuk I. I. (2014) Otsinka vrazlyvosti do zminy klimatu: Ukraina. [Myflaer]. 62.
8. FAO. 2018. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome. 224 pp. Licence:
9. NASA, NOAA Data Show 2016 Warmest Year on Record Globally Posted Jan. 18, 2017. URL: <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20170118/>
10. Shuvar A. M., Shuvar I. A., Rudavska N. M. (2021) Rol meteorologichnykh chynnykiv u formuvanni produktyvnosti lonu-dovhuntsiu v umovakh Lisostepu Zakhidnoho ta Polissia. Agrarian innovations, №5, Helvetica Publishing House. 93-101.

РОЗДІЛ 5

АСПЕКТИ СТАЛОГО СЕРЕДОВИЩА В ПОПИТІ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЛАТВІЙСЬКИХ КЕЙТЕРІНГІВ

*Agita Donina, Маргарита Платаце, Микита Шумейко
(Університет Turība, Латвія)*

Анотація

Екологічна стійкість сьогодні стала такою важливою, як ніколи. Більше того, настав час, коли, окрім публічних виступів, у бізнесі, включно з громадським харчуванням, впроваджується все більше зелених практик. Клієнти є тими, хто в першу чергу створює попит на практики екологічної стійкості, але компанії громадського харчування пропонують це, включаючи їх як у кулінарію та обслуговування, так і в управління бізнесом. Дослідження попиту показує, що для клієнтів особливо важливо, щоб підприємства громадського харчування в першу чергу впроваджували екологічні практики, які можуть безпосередньо впливати на здоров'я кожного клієнта. Важливі клієнти також вказують на такі широко поширені практики, як сортування відходів. З іншого боку, лише екологічні практики, які регулюються законодавством або фінансово вигідні для компанії, переважно впроваджуються на підприємствах громадського харчування.

Ключові слова: екологічна стійкість, зелена практика, підприємства громадського харчування.

5.1. Вступ

Сталий розвиток залишається активно обговорюваною темою в широкому діапазоні наукових і практичних сфер. Незважаючи на те, що наукові кола та широка громадськість вперше обговорили стійкість та її поняття давно, справжньої популярності вона набула в цьому столітті. Хоча кожен може по-своєму розуміти потребу в стійкості, загалом це передбачає реагування на потреби суспільства, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби та їх здатність розвиватися та процвітати (WCED, 1987). Чим більше суспільство усвідомлює, що його швидкий розвиток також може зашкодити життю майбутніх поколінь, тим більше зростає його попит на стійкі практики та діяльність.

Послуги громадського харчування є однією з галузей, які мають значний вплив на навколишнє середовище, оскільки виробництво харчових продуктів споживає велику кількість енергії та води, а також створює відходи та викиди вуглекислого газу (Filimonau, Lemmer, Marshall, & Bejjani, 2017; Gössling & Hall, 2013). Багато попередніх ресторанних досліджень, незважаючи на те, що вони надзвичайно цінні, задокументували стійкі практики щодо екологічних питань, не базуючись на думці самих компаній громадського харчування (Kim, Hall, 2020). У цьому дослідженні розглядаються погляди обох зацікавлених сторін – клієнтів і керівників підприємств громадського харчування, досліджується важливість різних «зелених» практик для клієнтів і оцінюється ступінь їх впровадження латвійськими ресторанами.

5.2. Огляд літератури

Незважаючи на численні визначення як у науковій літературі, так і в політичних документах, слід визнати, що термін сталість все ще розуміється різними способами. Кілька авторів у своїх статтях (Hawkins, 2006; Stabler, Papatheodorou, Sinclair, 2010) зазначили, що існує стільки пояснень стійкості, скільки зацікавлених сторін. Тому будь-яке визначення стійкості можна розуміти та тлумачити різними способами. Слід зазначити, що «стійкий» спочатку означав «здатний виноситися або терпіти». Лише пізніше його можна було «підтримувати або захищати» (Hawkins, 2006). Варіант початкового роз'яснення ближчий для тих, хто цікавиться екологічними та соціальними аспектами і пов'язаний не лише з превентивною, а й з проактивною діяльністю, а бізнес тяжіє до новітнього. Дивлячись на визначення кількох авторів, одне з найбільш вичерпних визначень, на думку автора, було запропоновано Stabler, Papatheodorou, Sinclair (2010), де вони розглядають стійкість як управління ресурсами та їх продуктами для забезпечення економічного розвитку та зростання при збереженні якості запасів людського та природного капіталу для нинішнього покоління, а також передання майбутньому можливості та засобів для збереження тих самих економічних, екологічних та якісних переваг для майбутніх поколінь. Отже, можна сказати, що сталість обумовлюється економічними та соціальними потребами суспільства, водночас зберігаючи та відновлюючи ресурси, доступні на даний момент. Оскільки це дослідження має на меті зрозуміти важливість аспектів екологічної стійкості та поточних практик їх застосування, саме екологічна стійкість характеризується більш детально. Ці аспекти є особливо важливими через розвиток глобалізації, де виникає кілька викликів, а також багато позитивних аспектів. Вчені вказують на зміну клімату, підвищення рівня моря, забруднення води, повітря та ґрунту, в тому числі відходами, що не піддаються біологічному розкладанню, і деградацію диких біотопів як головні екологічні проблеми (Stabler, et. al., 2010).

Екологічна практика була визначена як ключовий мотиватор для розвитку сталого розвитку в організаціях. Останніми роками з'явився термін «зелений бізнес», який відноситься до практик екологічної стійкості для компаній, які їх впроваджують. Він описує організації, які віддані екологічній стійкості, докладають зусиль для використання відновлюваних ресурсів і зменшення будь-яких негативних впливів на навколишнє середовище, спричинених їх діяльністю (Šėkanavičius, Bazytė & Dičmonaitė, 2014). Загалом можна стверджувати, що «зелені» організації повинні брати участь у одному з «4R»: скорочення (Reduce), повторне використання (Reuse), переробка (Recycling) або відновлення (Recovery). Кожне з цих «R» може бути досягнуто шляхом використання різноманітних стратегій і практик, деякі з яких можуть служити меті кількох із цих «R». Такі екологічні практики можуть включати екологічне очищення, зниження енергоспоживання та кількості відходів, зелене пакування, сортування сміття, зменшення друку тощо (Šėkanavičius, Bazytė & Dičmonaitė, 2014).

Згідно з дослідженнями, бути «зеленим» у бізнесі не тільки добре в очах громадськості, але також може бути фінансово вигідним. Комплексне впровадження зелених практик може призвести до більших досягнень, а переваги для бізнесу зазвичай проявляються двома способами: збільшення доходу та/або економія коштів. Екологія може позитивно вплинути на дохід компанії, зокрема, завдяки диференціації її продукції та іміджу бренду, покращенню спілкування з клієнтами, доданню вартості та підвищенню продуктивності. Ставши екологічно безпечною, компанія може покращити свої майбутні можливості спілкування з іншими екологічно свідомими компаніями. Це може бути важливою перевагою вибору екологічних практик. Утилізація відходів і ресурсозбереження є основними факторами економії витрат. Деякі приклади таких методів включають виробництво тепла шляхом спалювання сміття, зменшення використання паперу на користь електронного зв'язку та відключення електричного обладнання, коли воно не використовується (Šėkanavičius, Bazytė & Dičmonaitė, 2014).

Як зазначалося вище, одним із секторів, який найбільше впливає на довкілля, є сектор громадського харчування. Підвищення обізнаності про важливість екологічної стійкості збільшує кількість компаній громадського харчування, які запроваджують індивідуальні «зелені» практики. Незважаючи на відсутність загальноприйнятого визначення, стійкі ресторани часто вважаються «зеленими» ресторанами, які працюють в екологічно чистий спосіб (Green Restaurant Association, 2019; Iamkovaia et al., 2019).

Вчені досліджували вплив на навколишнє середовище різних практик, які частіше використовуються в галузі громадського харчування, щоб виробити пропозиції для галузі. Відповідно до літератури (Dutta, Umashankar, Choi & Parsa, 2008; Schubert, Kandampully, Solnet & Kralj, 2010; Mahabubul, 2021), існує кілька екологічних практик, які ресторани можуть прийняти. Для переробки та повтор-

ного використання підприємства громадського харчування можуть використовувати багаторазові контейнери, столові прилади та тарілки замість одноразових. Підприємства також можуть поставити контейнери для переробки на кухні та в їдальні для збору вторинної сировини. Для служб доставки рекомендовано використовувати столові прибори та паперові пакети, які підлягають переробці. Інша група практик включає використання енергоефективного обладнання – охолодження, приготування та приготування їжі, охолодження, опалення, вентиляція, освітлення тощо. Високі витрати електроенергії в ресторанах здебільшого пояснюються неефективним обладнанням для приготування, зберігання та зберігання їжі (US Environmental Protection Agency, 2006). Заміна старого, неефективного обладнання енергозберігаючими моделями, такими як світлодіодне освітлення та датчики присутності, встановлення планів запуску та зупинки роботи обладнання, вимикання обладнання, коли воно не використовується, а також постійне очищення та технічне обслуговування обладнання має бути звичайним зеленим. практики енергозбереження. Рекомендується, щоб скорочення та компостування харчових відходів досягалося шляхом створення системи компостування для переробки харчових відходів та використання компосту, що призводить до живлення саду чи ферми. Надлишки їжі можна пожертвувати місцевим благодійним організаціям або продовольчим банкам, щоб запобігти харчовим відходам. Деякі стратегії скорочення харчових відходів включають моніторинг запасів, використання компостної упаковки та передачу надлишку їжі в продовольчі банки або притулки. Вибір місцевих та органічних продуктів є важливим для скорочення викидів транспорту та підтримки місцевих громад. Сталі закупівлі значною мірою залежать від доступності екологічного ланцюжка поставок і відіграють важливу роль у екологічній стійкості. Через глобальний дефіцит питної води важливо звести до мінімуму використання води, встановивши змішувачі та унітази з низьким потоком, швидко усуваючи витoki та навчаючи працівників розумно використовувати воду. Пропозиції щодо економії води включають використання розпилювального клапана для попереднього промивання з низьким потоком води, підтримання обладнання, що використовує воду, у відмінному робочому стані шляхом усунення будь-яких несправностей компонентів, очищення та повторне використання водойм на місці, а також встановлення туалетів і кранів з датчиком води (US Environmental Protection Agency, 2012). Застосування нетоксичних та таких миючих засобів, що біологічно розкладаються, безпечних для навколишнього середовища та персоналу, є ще однією важливою рекомендованою практикою (Dutta, Umashankar, Choi & Parsa, 2008; Schubert, Kandampully, Solnet & Kralj, 2010; Mahabubul, 2021). Враховуючи ці можливі екологічні практики, можна сказати, що зелений ресторан є екологічно чистим у всіх аспектах виробництва та продажу їжі, включаючи дизайн меню, вибір інгредієнтів, методи приготування та використання матеріалів, таких як сервірування столу, одяг, серветки, прикраси, енергія, засоби для чищення та пакувальні матеріали. Концепція

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

«зеленості» також вимагає більш відповідального використання води та енергії, управління відходами, повторного використання та переробки, а також більш ефективних методів доставки, а також надання переваги місцевим і вітчизняним виробленим товарам (IGI Global, 2019).

Для дослідження ступеня значущості екологічних аспектів при виборі підприємства громадського харчування застосовано кількісний метод. Тому було проаналізовано попит на заходи, пов'язані з екологічною стійкістю. У свою чергу, опитування надало пояснення щодо аспектів екологічної стійкості бізнес-практики громадського харчування. Результати якісного дослідження є достатньою основою для оцінки діяльності, яку пропонують підприємства громадського харчування в цьому відношенні.

Оцінку попиту проводили за кількісними даними. Всього було опитано 314 європейських туристів, які на момент опитування перебували в Латвії. Опитування проводилося в місті Рига. Опитування було спрямоване на з'ясування поглядів потенційних іноземних клієнтів, зокрема туристів із скандинавських країн, щодо важливості аспектів екологічної стійкості при виборі послуг громадського харчування. Анкета охоплювала лише ті аспекти екологічної стійкості, які може оцінити замовник – сортування сміття, використання одноразової тари тощо. Свою думку щодо важливості респонденти оцінювали за шестибальною шкалою Лайкерта, де 1 – зовсім незначний і 6 – дуже суттєвий. Шестибальна шкала була обрана, щоб уникнути нейтрального середнього балу. Дані проаналізовано за допомогою методів описової статистики. Погляди туристів оцінювали разом для всієї вибірки та окремо для скандинавських туристів. Північних туристів було відібрано як вибірку для розподілу на основі того, що, порівняно з іншими європейськими країнами, ці країни набагато більше зосереджуються на аспектах стійкості та їх важливості на всіх етапах освіти (Seikkula-Leino, Jónsdóttir, Håkansson-Lindqvist, Westerberg, Eriksson-Bergström 2021). Тому подальші дослідження дадуть змогу порівняти та зробити висновки щодо впливу освіти на прийняття рішень людьми.

У якісній частині дослідження були проведені напівструктуровані інтерв'ю з керівниками підприємств громадського харчування. Інтерв'ю мали на меті оцінити запровадження наступних трьох екологічних практик у підприємствах громадського харчування – практики управління відходами, практики енергоефективності та водозбереження, а також практики закупівлі та постачання продуктів. Інформація, отримана під час інтерв'ю, була закодована та згрупована відповідно до заздалегідь визначених аспектів. Крім того, керівників компаній попросили самостійно оцінити визначені зелені практики в компанії за п'ятибальною шкалою, де 1 – дуже погано, а 5 – відмінно. Для дослідження було відібрано сім кей-

терингових компаній, які визначили себе як стабільні постачальники послуг громадського харчування в громадському просторі. Компанії, включені в дослідження, були закодовані.

5.3. Дослідження та аналізи

Попит споживачів на екологічно безпечні дії підприємств громадського харчування.

Щоб переконатися в важливості аспектів екологічної стійкості при виборі компанії харчування для туристів, було проведено опитування. Загалом у дослідженні брали участь туристи з 14 європейських країн, які подорожували Латвією на момент дослідження. З усіх респондентів 44 % були туристами з північних країн.

На початку важливо було з'ясувати загальні звички респондентів щодо вживання їжі поза домом у святкові дні. Це дає змогу зрозуміти, чи важлива для респондентів взагалі екологічність діяльності громадського харчування. Результати показали, що існує великий попит на послуги громадського харчування. Лише 3 респонденти зазначили, що не їли поза домом протягом останніх трьох місяців. Крім того, 56 % респондентів зазначили, що їли поза домом принаймні чотири рази за останні три місяці.

Результати показують, що для респондентів найважливіші аспекти екологічної стійкості включають зобов'язання компаній переробляти та сортувати відходи. 89 % туристів (рис. 5.1) визначили це як важливий аспект (більш важливий, ніж неважливий, важливий, дуже важливий). Крім того, у цьому відношенні немає різниці між поглядами скандинавських туристів та інших європейських туристів. Цей аспект також має найвищий загальний середній бал 4,61 і низьке стандартне відхилення 0,99. Це можна пояснити спільною позицією Європейського Союзу щодо забезпечення сортування та переробки принаймні 65 % усіх відходів до 2035 року, що також активно пропагується та роз'яснюється публічно. Значно менш важливим для респондентів є той факт, що компанія постачає їжу на винос лише в тарі для клієнтів (57 % респондентів вказали це як важливе). Частково це може бути тому, що не всі клієнти вирішують брати їжу з собою, і тому цей аспект для них не має значення.

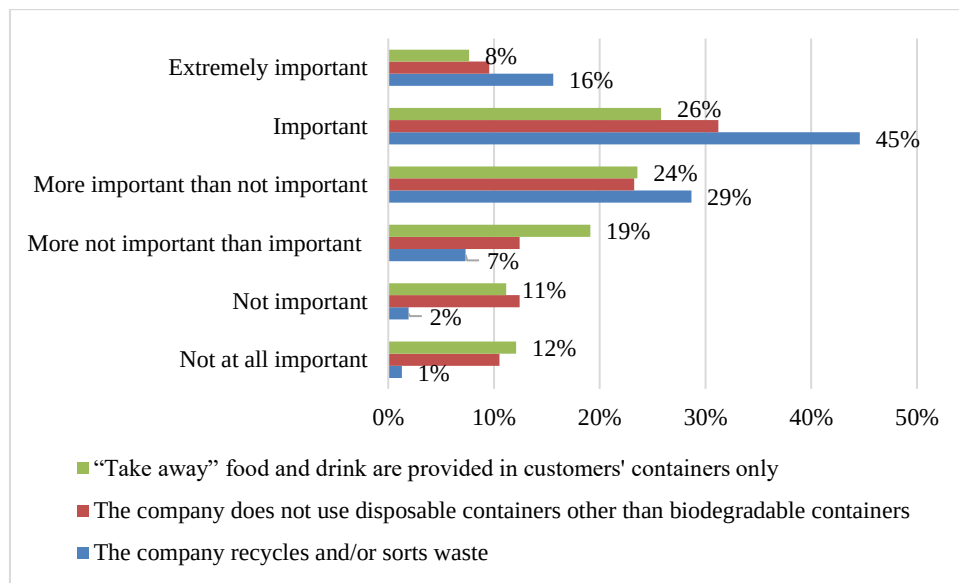


Рис. 5.1. Погляди туристів на важливість діяльності бізнесу, пов'язаної з екологічною стійкістю (англ.)

Аналізуючи важливість аспектів екологічної стійкості, які можуть безпосередньо вплинути на здоров'я клієнта (рис. 5.2), можна зробити висновок, що для потенційних клієнтів найважливішим аспектом є наявність у меню кейтерингового підприємства страв, приготованих з місцевих продуктів. 68 % туристів визначили ці аспекти як важливі. Слід зазначити, що цей аспект більш важливий для скандинавських туристів, де 73 % респондентів, відповідно, визнали його важливим. Респонденти також надають великого значення тому факту, що компанія не використовує напівгідрогенізовані жири, такі харчові добавки як підсилювачі смаку, глутамат, нітрати натрію, фарби тощо. Важливим фактором є це для 66 % респондентів. Причому цей фактор був найбільш важливим для респондентів віком від 45 років і 100 % цієї вікової групи відзначили його важливим. 61, 5% респондентів вважають важливим, щоб компанія громадського харчування рекламувала деякі свої страви як здорові, де, наприклад, використовується менше солі чи олії.

Можливість купувати страви меншого розміру, що дозволяє зменшити харчові відходи, не вважалася важливою – 56 % респондентів назвали це дуже неважливим. На думку респондентів, розміри страв можуть дорівнювати кількості, необхідній для одного прийому їжі, і цей аспект для респондентів не є актуальним.

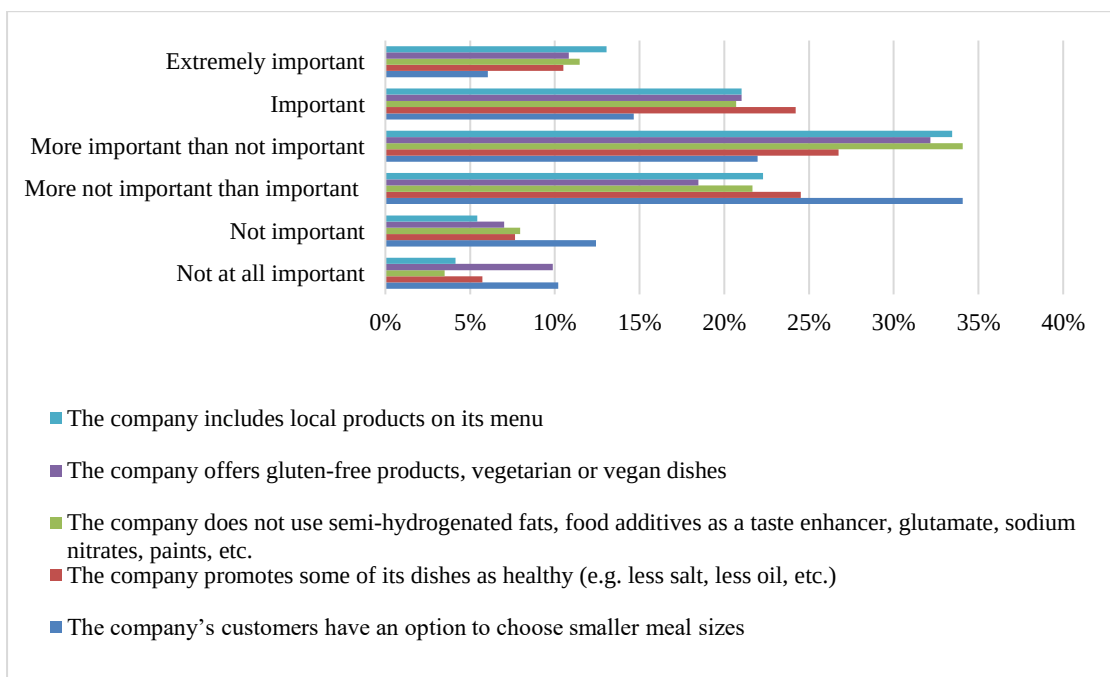


Рис. 5.2. Важливість екологічних факторів стійкості, пов'язаних зі здоров'ям людини, для туристів (англ.)

Загалом для респондентів найважливішим є використання місцевих продуктів. Це демонструє найвище середнє значення 4,02 зі стандартним відхиленням 1,22, що вказує на відносно малий розподіл. Найменше середнє (3,37) – для факторного фактора менших розмірів їжі (стандартне відхилення – 1,33).

У заключному питанні опитування респондентів попросили оцінити, наскільки добре вони були поінформовані про практику сталого розвитку в компанії громадського харчування, яку вони відвідали останнім часом. З усіх туристів 14 % зазначили, що взагалі не було доступної інформації про аспекти сталої практики компанії. Позитивним моментом є те, що 13 респондентів зазначили, що інформація доступна з різних джерел (домашні сторінки, меню, інформаційні плакати тощо). Ці респонденти також більше оцінили кожен аспект стійкості.

Ділова практика громадського харчування в реалізації аспектів екологічної стійкості.

Було проведено якісне дослідження для оцінки практик підприємств громадського харчування щодо сприяння екологічній стійкості. Під час аналізу інтерв'ю з сімома компаніями громадського харчування всі практики компаній, які вони згадали, були зібрані та згруповані в три попередньо визначені групи екологічної стійкості.

Інформація, зібрана з інтерв'ю в групі «Практика управління відходами», дозволяє зробити висновок, що найпоширенішим використанням є сортування відходів, яке застосовується в усіх проаналізованих компаніях. Інші практики, такі як раціональне замовлення продуктів, що зменшує утворення відходів, а також екологічно чисте пакування, є на порядку денному п'яти проаналізованих підприємств громадського харчування.

З точки зору енергоефективності та водозбереження часто згадували впровадження енергоефективного освітлення – п'ять компаній встановили енергоефективне освітлення. У представленні інших видів діяльності керівники компаній згадували різні практики. Більш поглиблений аналіз інтерв'ю показав, що керівники по-різному розуміють енергоефективність і їх практики не можна прямо порівнювати. Наприклад, у періоди низького відвідування дві компанії використовують своє обладнання лише частково. Про механічне зменшення споживання електроенергії та води в тих випадках, коли їх не потрібно використовувати в повному обсязі, також згадували кілька керівників компаній. Незважаючи на позитивні дії, їх не можна оцінити, оскільки практика свідчить про необхідність застосування системного підходу до вирішення цього аспекту.

З точки зору практики доставки продуктів, можна зробити висновок, що всі компанії купують також місцеві продукти для свого меню. Таким чином, зрозуміло, що підтримуються не тільки місцеві виробники продукції, але також значно скорочуються транспорт і викиди з ланцюга постачання продукції. Для чіткого порівняння частки місцевих продуктів у загальному меню потрібне додаткове поглиблене дослідження, оскільки ніхто з керівників компаній не міг сказати, наскільки пропорційно закуплені продукти були місцевого походження.

Загалом можна зробити висновок, що всі компанії впровадили індивідуальні практики екологічної стійкості, однак певні дії стоять на порядку денному лише однієї з компаній. Генеральний директор цієї компанії підкреслив, що компанія запровадила такі специфічні практики, як використання неспожитої їжі для годівлі тварин, розробка меню на вимогу, зменшення використання паперових рушників, а також використання енергоефективного кухонного обладнання та зниження тиску води в процесі виробництва. Жодна інша компанія не впроваджувала таку чи подібну практику у своїй щоденній роботі.

Опрацювавши інформацію, отриману під час усіх інтерв'ю, можна зробити висновок, що аспекти екологічної стійкості практикуються на підприємствах громадського харчування лише частково. Про це свідчить як кількість практик, згаданих в інтерв'ю, так і самооцінка, де жоден із керівників не оцінив свою загальну практику екологічної сталості як відмінну (табл. 5.1).

Таблиця 5.1.

**Самооцінювання керівниками підприємств громадського харчування
основних критеріїв екологічної стійкості**

Підприємство	Практики управління відходами	Практики енергоефективності та водозбереження	Практика закупівлі та постачання продукції	Загальна стійкість (самооцінка)	Загальна стійкість (розраховане середнє)
A	3	3	5	5	4
B	4	3	4	5	4
C	4	3	4	3	3,5
D	3	3	4	4	3,5
E	4	2	4	3	3,25
F	4	3	3	4	3,5
G	3	3	3	3	3

Аналіз опитування самооцінки керівників підприємств громадського харчування за окремими групами екологічної стійкості показує, що найнижчі оцінки пов'язані з енергоефективністю та водозбереженням, де індекс самооцінки становить 2,86, а стандартне відхилення – 0,38. Це свідчить про однорідну низьку самооцінку керівників компанії. На думку менеджерів, найвища оцінка діяльності компанії пов'язана з практикою закупівлі та постачання продукції. Середній індекс самооцінки в цій категорії становить 3,86. Результати самооцінки дозволяють зробити висновок, що керівники компанії, незважаючи на відсутність комплексних позитивних практик екологічної стійкості, розуміють їх важливість і необхідність.

5.4. Висновки та обговорення

У суспільстві зростає значення екологічної стійкості або екологічної практики. Це означає, що існує потреба у збільшенні діяльності суб'єктів господарювання, в тому числі послуг громадського харчування для забезпечення сталого розвитку їхнього бізнесу.

Загалом, оцінюючи значущість факторів екологічної стійкості у попиті на послуги громадського харчування, можна зробити висновок, що потенційні клієнти високо оцінюють такі аспекти, які найбільше озвучувалися публічно, як сортування відходів, відмова від використання пластикової упаковки тощо. Зі зростанням розуміння впливу навколишнього середовища на здоров'я людини клієнти також надають великого значення аспектам, що впливають на здоров'я та благополуччя людини. При цьому клієнти особливо вказують на практику, коли ком-

панії не використовують напівгідрогенізовані жири, харчові добавки як підсилювачі смаку, глутамат, нітрати натрію, фарби тощо. Клієнти, в тому числі туристи, приділяють значно менше уваги аспектам, які не впливають безпосередньо на конкретного клієнта, а радше впливають на стійкість навколишнього середовища в цілому. Можливість збирати їжу та напої «на винос» лише в контейнерах клієнтів оцінюють як важливий аспект лише 57 % респондентів, а практику відмови компаній від одноразової тари на користь біорозкладної – 64 %.

Оцінюючи екологічні практики, прийняті компаніями громадського харчування, і усвідомлення керівниками їх важливості, можна зробити висновок, що компанії впроваджують базові практики, такі як сортування відходів або запровадження енергоефективного освітлення, не поспішаючи з впровадженням інших додаткових заходів. Щоб зрозуміти причини, через які компаніям не вдається запровадити багато інших можливих практик, що впливають на стійкість навколишнього середовища, необхідно продовжити дослідження, у тому числі шляхом розширення його масштабів. Такого роду поглиблене дослідження також передбачало б розробку загальнодержавної або муніципальної програми підтримки бізнесу в реалізації заходів.

Підводячи підсумок, можна зробити висновок, що існує попит на зелені практики з боку потенційних клієнтів. Однак клієнтський попит був зосереджений на тих аспектах, які або стосуються конкретної людини безпосередньо, або вже добре закріплені серед широкої громадськості. Клієнти все ще не вимагають від підприємств впровадження ширшого спектру зелених практик, що ведуть до розвитку сталого бізнесу та більш екологічного середовища в цілому. Діяльність бізнесу можна охарактеризувати як таку, що перебуває на ранніх стадіях і компанії переважно впроваджують практики, що створюють ефект економії коштів, або є обов'язковими чинними нормативними актами. Це означає, що у бізнесу залишаються широкі можливості для прийняття та впровадження додаткових заходів, але це потребуватиме, зокрема, більшого споживчого попиту.

Посилання

1. Čekanavičius, L., Bazytė, B. & Dičmonaitė, A. (2014). Green business: Challenges and Practices. *Ekonimika*, 93(1), pp. 74-88. DOI: 10.15388/Ekon.2014.0.3021
2. Dutta, K., Umashankar, V., Choi, G., & Parsa, H. G. (2008). A comparative study of consumers' green practice orientation in India and the United States: A study from the restaurant industry. *Journal of Foodservice Business Research*, 11(3), pp. 269-285. DOI:10.1080/15378020802316570
3. Filimonau, V., Lemmer, C., Marshall, D., Bejjani, G. (2017). Restaurant menu re-design as a facilitator of more responsible consumer choice: An exploratory and preliminary study, *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 33, pp. 73-81, Doi: 10.1016/j.jhtm.2017.09.005.

4. Gössling, S., Garrod, B., Aall, C., Hille, J., Peeters, P. (2011). Food management in tourism: Reducing tourism's carbon 'foodprint', *Tourism Management*, 32 (3), pp. 534-543, Doi: 10.1016/j.tourman.2010.04.006.
5. Green Restaurant Association (2023). Retrieved on 15.05.2023 from <https://www.dinegreen.com/>
6. Hawkins, D.E. (2006). *Corporate Social Responsibility: Balancing Tomorrow's Sustainability and Today's Profitability*. Hampshire: Palgrave Macmillan. 280 p.
7. Iamkovaia, M., Arcila, M., Cardoso M., Izquierdo, A. (2019), Sustainable Development of Coastal Food Services, *Sustainability*, 11(13), pp.3728-3743. <https://doi.org/10.3390/su11133728>
8. IGI Global (2019). What is a green restaurant? Retrieved on 03.05.2023 from <https://www.igiglobal.com/dictionary/the-restaurant-industry-in-the-new-era/84946>
9. Kim, M.J., Hall, C.M. (2020). Can sustainable restaurant practices enhance customer loyalty? The roles of value theory and environmental concerns, *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 43, pp. 127-138. Doi: 10.1016/j.jhtm.2020.03.004.
10. Mahabubul, A. (2021). An in-depth analysis of the approach towards "Environmental sustainability" and "Green marketing" from SMEs restaurant perspective in Sweden. Retrieved on 17.04.2023 from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1587605/FULLTEXT02>
11. Schubert, F., Kandampully, J., Solnet, D., & Kralj, A. (2010). Exploring consumer perceptions of green restaurants in the US. *Tourism and Hospitality Research*, 10(4), pp. 286-300. DOI:10.1057/thr.2010.17
12. Seikkula-Leino, J. & Jónsdóttir, S. & Håkansson Lindqvist, M. & Westerberg, M & Eriksson Bergström, S.. (2021). Responding to Global Challenges through Education: Entrepreneurial, Sustainable, and Pro-Environmental Education in Nordic Teacher Education Curricula. *Sustainability*. 13(22). 12808. 10.3390/su132212808.
13. Stabler, M.J., Papatheodorou, A., Sinclair M.T. (2010). *The economics of tourism* 2nd. ed. London: Routledge. 506 p.
14. US Environmental Protection Agency (2006). *Energy Management and Conservation program*. Retrieved on 12.04.2023 from https://www.epa.gov/sites/default/files/201509/documents/2006energy_report508.pdf 77.
15. US Environmental Protection Agency (2012). *Guidelines for water reuse*. Retrieved on 12.04.2023 from <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>
16. WCED (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford, UK: Oxford University Press. Retrieved on 13.04.2023 from <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

РОЗДІЛ 6

РОЛЬ ВОДНЮ В МАЙБУТНІЙ БЕЗВУГЛЕЦЕВІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ЕКОНОМІЦІ – ОГЛЯД З ОСОБЛИВОЮ АКЦЕНТОЮ НА СЕКТОРІ МОБІЛЬНОСТІ/ТРАНСПОРТУ

*Мірко Барц, Аснакех Лас-Сейюм, Карла Вунш, Ціннабу Т. Редда
(«HTW Berlin, Університет прикладних наук», Німеччина)*

6.1. Вступ

На шляху до безпечного та кліматично нейтрального енергопостачання водень може зіграти важливу роль як енергоносіє майбутнього. ЄС стикається з серйозною проблемою, оскільки в його виробництві та споживанні енергії все ще домінує викопне паливо, і це паливо відповідає за велику частку антропогенних викидів парникових газів. Крім того, багато європейських країн значною мірою залежать від імпорту енергоносіїв у вигляді вугілля, нафти та природного газу. Водень є гнучким енергоносієм, який легко зберігати та транспортувати. У липні 2020 року Європейська комісія запропонувала водневу стратегію для кліматично нейтральної Європи. Водень є ключовим пріоритетом для досягнення Європейської зеленої угоди та переходу Європи до чистої енергії, оскільки його можна використовувати як сировину, паливо або носій енергії та зберігання, і він має багато можливих застосувань у промисловості, транспорті, енергетиці та будівництві (ЕС 2020, A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe).

У наступному розділі буде зосереджено увагу на можливостях виробництва водню в екологічно безпечний спосіб, що замінює викопне паливо, яке переважно використовується в транспортному секторі. Транспортний сектор відповідає за понад 20 % антропогенних викидів CO₂ [1]. У майбутньому водень має величезний потенціал, щоб замінити таке викопне паливо та забезпечити відновлюваний, стійкий і безпечний для клімату транспорт.

6.2. Водень як енергоносіє

Водень (названий на честь грецьких слів hydro, що означає «вода» та genes, що означає «утворювати»), – це хімічний елемент із символом H і атомним номером 1 у періодичній системі елементів, відкритий англійським фізиком Генрі Кавендішем у 1766 році. За стандартних умов (0°C & 1,013 бар) це нетоксичний

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

газ без кольору та запаху, який існує у вигляді двоатомної молекули з хімічною формулою H_2 .

Це найпоширеніший елемент у Всесвіті, на який, за оцінками, припадає 90 % (73 % маси всієї матерії у видимому Всесвіті) усіх атомів. Незважаючи на те, що водень є найпоширенішим елементом у Всесвіті, він становить лише близько 0,14 % земної кори за вагою і в чистому молекулярному вигляді (H_2) рідко зустрічається на Землі [2]. Він присутній на Землі в поєднанні з іншими елементами, утворюючи, наприклад, воду та органічні матеріали, такі як біомаса та викопне паливо (все вуглеводневе паливо є хімічними сполуками вуглецю та водню). Сам по собі водень не є джерелом енергії, але це чистий і універсальний енергоносіє, який можна виробляти з різних джерел, у тому числі з відновлюваних джерел енергії. Це безвуглецевий енергоносіє, що означає, що при спалюванні або перетворенні водню в атмосферу не викидається CO_2 . Водень можна використовувати безпосередньо через паливні елементи або в газових турбінах для виробництва електроенергії, а також як сировину для виробництва синтетичного палива, такого як метан, метанол, дизельне та бензинове паливо Фішера-Тропша, екологічне авіаційне паливо, таке як синтетичний гас, і безліч хімічних речовин. сировина, наприклад аміак.

Водень є дуже перспективним енергоносієм, що пояснюється високим вмістом енергії, що зберігається в молекулі. На масовій основі водень має енергетичний вміст 143 МДж/кг (валова теплотворна здатність GCV) і, отже, найвищу щільність енергії з усіх хімічних видів палива (табл. 6.1). Незважаючи на те, що водень має найвищу гравіметричну щільність енергії, його низька щільність створює проблему для зберігання та транспортування великих кількостей водню.

Таблиця 6.1.

Порівняння теплотворної здатності та густини деяких поширених хімічних палив [3, 4]

Паливо	GCV* (МДж/кг)	NCV (МДж/кг)	Щільність (кг/м ³) за 0°C та 1 бар
Водень	141.7	120.0	0.090
Метан	55.5	50	0.716
Бензин	42.7 – 44.2	40.1 – 41.8	0.720 – 0.775
Кам'яне вугілля (wf)	27 – 32	26 – 31	1.3
Деревна біомаса (wf)	19 – 21	18 – 20	0.5 – 0.7

*GCV: валова калорійність. NCV: чиста калорійність.

Маючи щільність близько 0,090 г/л (1 бар, 0°C), газоподібний водень приблизно у 8 разів легший за метан, і для економічного використання водню як енергоносія потрібне стиснення або зрідження (рис. 6.1).

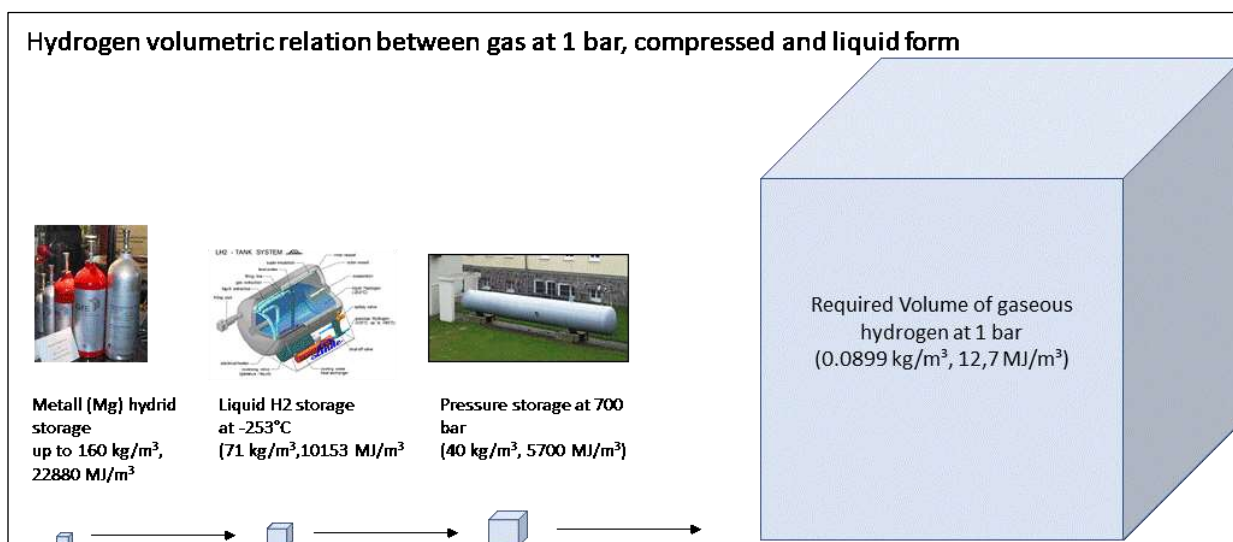


Рис. 6.1. Співвідношення об'єм/щільність енергії водню за різних умов (англ.)

Оскільки водень недоступний у природі в чистому елементарному вигляді, його необхідно виробляти з молекули, що містить водень (води або вуглеводнів), використовуючи технологію перетворення, яка потребує витрат енергії. Водень можна виробляти з викопного палива (молекули водень-вуглець) або ресурсів біомаси (молекули водень-кисень-вуглець) або виробляти з води (молекули водень-кисень).

6.3. Виробництво водню

Водень є безвуглецевим енергоносієм, що означає, що при спалюванні або перетворенні водню в атмосферу не викидається CO₂, але це не означає, що водень виробляється без викидів CO₂ протягом усього життєвого циклу. Оскільки водень не існує в природі на Землі в чистому молекулярному вигляді, його необхідно виробляти з молекули, що містить водень (води або вуглеводнів), використовуючи технологію перетворення, яка вимагає витрат енергії. Найбільша частка земного водню міститься в складній воді. У такому вигляді вона займає більше двох третин земної поверхні. Крім цього, природний газ (по суті метан), нафта, вугілля та біомаса важливі для подальшого утворення водневмісних сполук на Землі. Кольори визначено, щоб допомогти розрізнити типи водню залежно від процесу виробництва. Найвідоміший колір – зелений водень, який вказує на те, що водень виробляється з відновлюваних джерел енергії. Зелений водень визначається як водень, отриманий з відновлюваних джерел енергії, таких як сонце, вітер, гідроенергія, біомаса, біогаз або міські відходи. Зелений водень можна виробляти за допомогою електролізу води з використанням відновлюваної енергії

або шляхом розкладання біомаси за допомогою біологічних процесів (біогаз/процеси темного бродіння) або термохімічних процесів, таких як газифікація біомаси. Сірий, коричневий або чорний водень зазвичай отримують із викопних джерел, і в процесі виробництва виділяється величезна кількість CO₂, який є найважливішим парниковим газом. Інші кольори: фіолетовий або рожевий для водню, отриманого шляхом електролізу з використанням ядерної енергії (теоретично CO₂ нейтральної), жовтий водень, отриманий шляхом електролізу з використанням електроенергії з мережі з різних джерел, які часто не містять вуглецю, і бірюзовий водень, отриманий шляхом розщеплення метану на водень і твердий вуглець (теоретично CO₂ нейтральний). Білий водень є ще одним рідкісним і широко невідомим природним ресурсом, який вчені виявили у вигляді вільного газу в шарах континентальної кори, глибоко в океанічній корі, у вулканічних газах або гідротермальних системах.

Понад 95 % поточного світового виробництва водню (приблизно 120 Мт/рік) становить «сірий», «коричневий» або «чорний» водень [5], показаний на рис. 6.2.

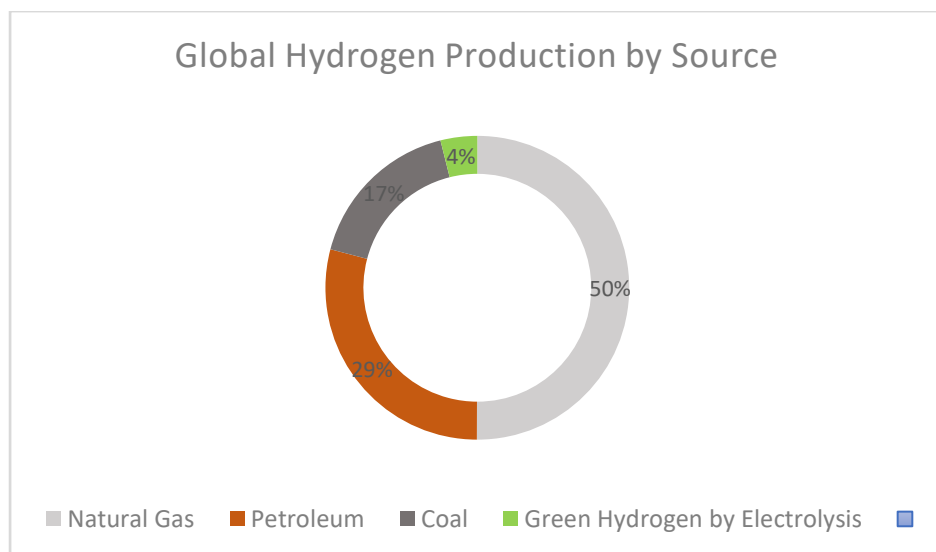


Рис. 6.2. Частка виробничих процесів у світовому виробництві водню (англ.)

Виробництво водню з викопного палива не є ані кліматичним, ані сталим. Навіть теоретично CO₂-нейтральне виробництво рожевого або бірюзового водню не можна вважати сталим виробництвом. У випадку з фіолетовим або рожевим воднем також необхідно враховувати ризики, пов'язані з роботою атомних електростанцій для виробництва електроенергії, і перш за все невирішеність проблеми поводження з ядерними залишками, а у випадку з бірюзовим воднем – метан витоки, пов'язані з виробництвом природного газу, призвели до високих викидів парникових газів в атмосферу. Крім того, виробництво фіолетового/рожевого та бірюзового водню ще не відбулося в будь-якій значній мірі. Таким чином,

стале та безпечно для клімату виробництво водню має бути зеленим воднем, за допомогою якого можна використовувати можливості виробництва з води за допомогою електролізу (виключно з відновлюваною електроенергією), а також процеси на основі біомаси.

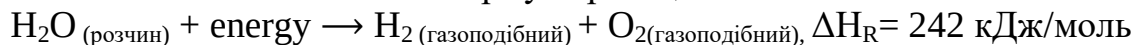
Виробництво зеленого водню за допомогою електролізу.

Виробництво водню за допомогою електролізу – це процес, який передбачає розщеплення молекул води на водень і кисень за допомогою електричного струму.

Основний принцип:

Розкладання води на водень і кисень за допомогою електричного струму в об'ємному співвідношенні 2:1.

Формула реакції:



Потреба енергії для розкладання води визначається стандартною ентальпією утворення води ($\Delta H_R = -242$ кДж/моль) і ефективністю електролізера. Типова системна ефективність комерційних електролізерів знаходиться в діапазоні 75 %, що означає приблизно 75 % електричної енергії, що використовується для розкладання, хімічно накопичується у водні. Більші електролізери під тиском мають питоме споживання енергії від 4,5 до 5,0 кВт-год/Нм³, що забезпечує ефективність системи до 78 %. Електроліз із використанням відновлюваної електроенергії пропонує стійкий та екологічно чистий спосіб отримання водню та зберігання енергії хімічним шляхом, і він не покладається на викопне паливо та виробляє лише водяну пару як побічний продукт.

Як і паливні елементи, електролізери складаються з анода і катода, розділених електролітом (рис. 6.3).

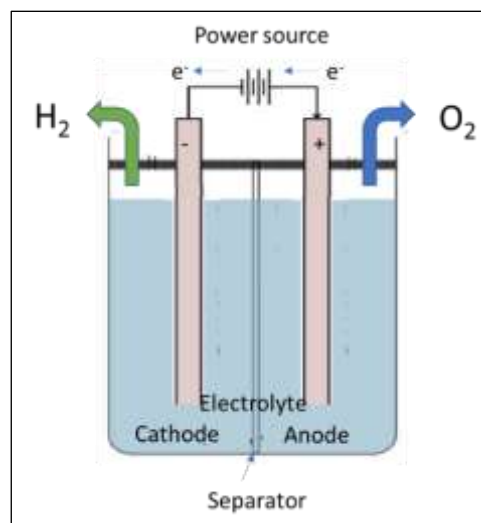


Рис. 6.3. Основні принципи електролізу (англ.)

На ринку представлені електролізери різних типів. Найпоширеніші види:

- лужні електролізери (AEL);
- мембранні електролізери з полімерним електролітом (PEMEL);
- електролізери твердого оксиду (SOEL) (табл. 6.2).

Таблиця 6.2.

Елементні реакції та температурні діапазони трьох найпоширеніших типів електролізерів

Вид електролізера	Температурний діапазон (°C)	Катодна реакція (HER)	Анодна реакція (OER)	Носії заряду
AEL	40 – 90	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	$2\text{OH}^- \rightarrow 1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	OH^-
PEMEL	20 – 100	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	H^+
SOEL	700 – 1000	$\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$	$\text{O}^{2-} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$	O^{2-}

У лужному електролізі (АЕ) використовується електроліт, як правило, розчин гідроксиду калію (KOH) або гідроксиду натрію (NaOH). Цей тип електролізу широко використовується протягом багатьох років і відомий своєю високою ефективністю та довговічністю.

У електролізі РЕМ використовується тверда полімерна електролітна мембрана, яка забезпечує вищий робочий тиск і швидший час відгуку. Цей тип електролізу більше підходить для невеликих застосувань і набув популярності в останні роки завдяки своїм компактним розмірам і гнучкості.

Твердооксидні електролізери (SOE) тільки нещодавно почали викликати більший інтерес. Електроліз твердих оксидів використовує твердий керамічний матеріал як електроліт, який вибірково проводить негативно заряджені іони кисню (O_2^-) при підвищених температурах і генерує водень децю іншим способом. Пара на катоді поєднується з електронами із зовнішнього контуру, утворюючи газоподібний водень і негативно заряджені іони кисню. Потім іони кисню проходять через тверду керамічну мембрану та реагують на аноді, утворюючи газоподібний кисень і генеруючи електрони для зовнішнього контуру.

Електролізери з твердим оксидом працюють при температурах близько 700–1000°C [6], порівняно з електролізерами РЕМ, які працюють при 20–100 °C, і комерційними лужними електролізерами, які зазвичай працюють при менш ніж 40–90°C).

Виробництво водню за допомогою електролізу забезпечує синергійний ефект, особливо щодо нестабільного виробництва енергії з летких відновлюваних джерел енергії, таких як енергія вітру та сонця. У поєднанні з характеристиками динамічного та періодичного вироблення електроенергії вітряними електростанціями та фотоелектричними установками електролізери можуть працювати, коли

ці відновлювані джерела енергії є в надлишку, а ціни низькі. Комбіноване виробництво водню та електроенергії на вітрових електростанціях підвищує гнучкість систем, оскільки енергія може використовуватися безперервно в той час, коли вітряні електростанції припиняються через надлишок електроенергії в мережах. Крім того, вироблений водень являє собою варіант зберігання надлишкової енергії. При нинішньому стандартному ККД електролізерів від 75 до 78 % (відновлюваної) електроенергії, виробленої на вітрових електростанціях і фотоелектричних установках, можна хімічно накопичувати у водні та використовувати в інших сферах енергетичної економіки.

6.4. Можливості використання водню

Зараз у світі щорічно виробляється близько 120 млн. т водню, з яких дві третини є чистим воднем, а одна третина знаходиться в суміші з іншими газами [7]. Це становить 17,1 ексаджоуля (ЕДж) або близько 3 % сьогоденного світового споживання первинної енергії (595 ЕДж у 2021 році). Цей водень в основному використовується в нафтопереробці та для виробництва хімічних добрив (70 Мт/рік), а також в інших сферах застосування, таких як металургія або виробництво метанолу та інших варіантах використання (45 Мт/рік) (рис. 6.3).

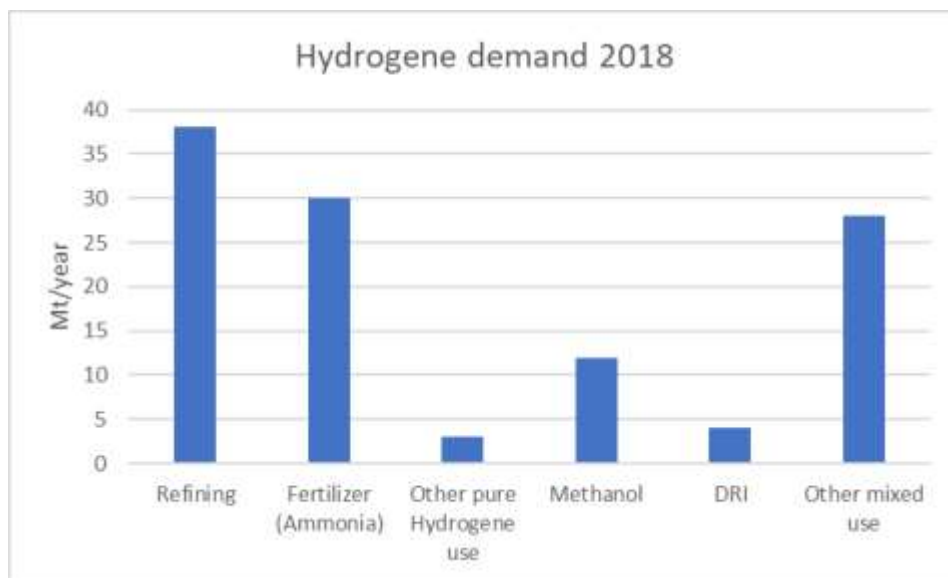


Рис. 6.3. Глобальний щорічне споживання водню 2019¹ (англ.)

Оскільки нинішнє виробництво водню базується на викопному паливі, у процесі виробництва водню викидається понад 900 млн. т CO₂. З цієї причини

¹ <https://www.statista.com/>

перехід виробництва водню з виробництва на основі викопного палива на водень з низьким рівнем викидів (зелений водень) має найвищий пріоритет.

У найближчому майбутньому водень та його похідні мають переважно використовуватися для декарбонізації тих секторів, де важко зменшити викиди, а альтернативні рішення недоступні або важко реалізувати, наприклад у важкій промисловості та транспорті (особливо в судноплаванні, авіації, і великовантажному транспорті).

Зелений водень і екологічно чисте паливо на основі водню є важливими інструментами для декарбонізації важкої промисловості та енергетичної економіки в цілому. Прогнози показують, що ринок екологічно чистого водню в найближчі роки значно зросте. У той час як водень, вироблений з викопного палива, досі домінував, виробничі потужності до 600 Мт/рік зеленого водню (у п'ять разів більше, ніж поточне виробництво водню на основі викопного палива) очікуються до 2050 року. Особливо в транспортному секторі, зокрема у сферах застосування, де інші альтернативи чистої енергії, такі як пряма електрифікація, становлять технічні проблеми або не можуть бути реалізовані, зелений водень може відігравати значну роль у майбутньому. Інші багатообіцяючі варіанти включають, наприклад, перетворення водню в біометан, який потім можна подавати в газові мережі замість викопного природного газу та використовувати для широкого спектру застосувань у промисловості, опаленні та мобільності. Водень можна добре інтегрувати в існуючу енергетичну інфраструктуру. Його можна транспортувати у вигляді газу по трубопроводах або в рідкому вигляді на кораблях, подібно до зрідженого природного газу (ЗПГ). Його можна перетворити на електрику та метан для живлення будинків і комбікормової промисловості, а також на паливо для автомобілів, вантажівок, кораблів і літаків.

Майбутні можливості для водню секторі мобільності та транспорту.

Транспортний сектор щорічно несе відповідальність за викиди величезної кількості парникових газів в атмосферу. У Європейському Союзі близько 23 % усіх викидів парникових газів спричинено транспортним сектором (включаючи міжнародну авіацію) (рис. 6.4).

Найбільша частка пов'язана з автомобільним транспортом (70 % загальних викидів парникових газів у транспортному секторі), враховуючи близько 700 Мт CO₂/рік, причому легкові автомобілі надають найбільший окремий внесок, викидаючи майже 500 Мт CO₂/рік, і важкі автомобілі транспортні засоби, що викидають майже 200 Мт CO₂/рік. На авіаційний і морський транспорт припадає по 14 %, а на залізницю та інші – лише по 1 % від загальної кількості викидів ПГ на транспорті (рис. 6.5).

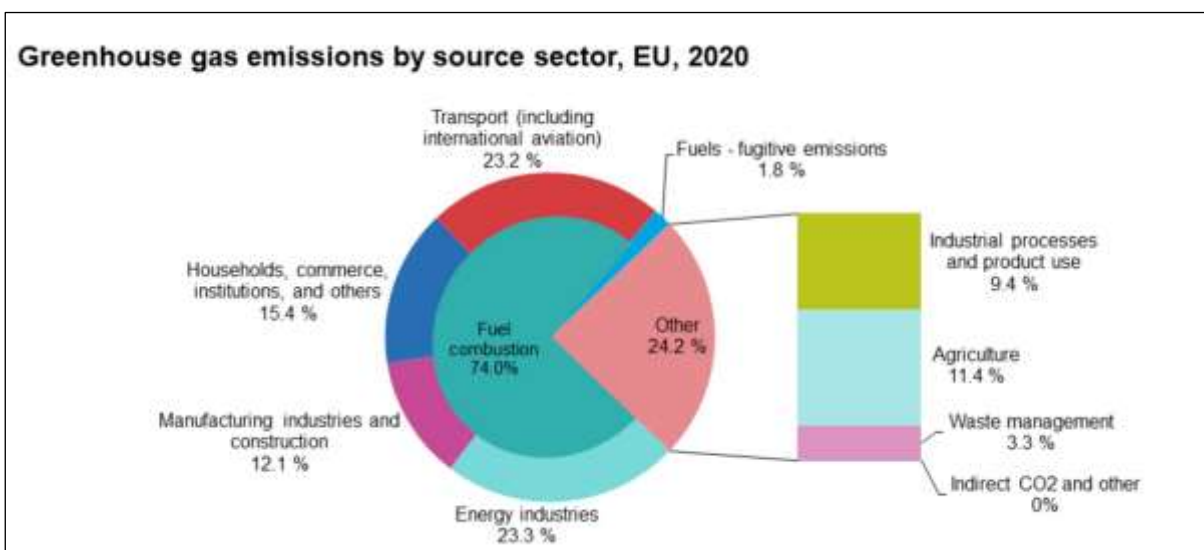


Рис. 6.4. Викиди парникових газів за секторами, ЄС, 2020 ² (англ.)

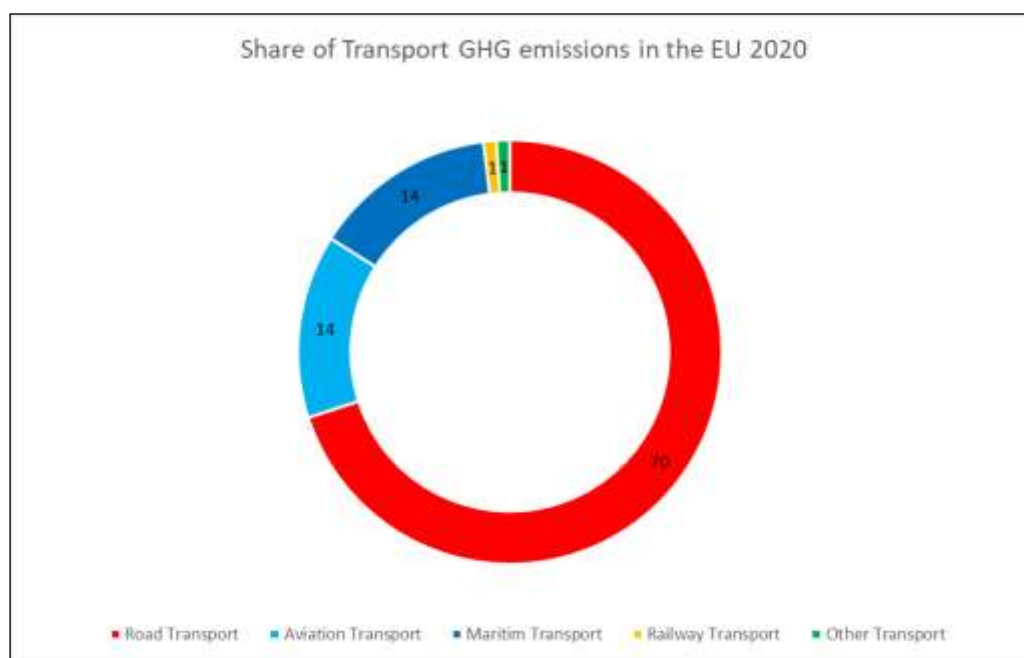


Рис. 6.5. Частка транспортних викидів ПГ в ЄС 2020 (англ.)

Слід зауважити, що водень може бути використаний у всіх вищезазначених сегментах транспортного сектора та сприяти його декарбонізації.

² Source: EEA

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

6.5. Пряме використання водню в електричних автомобілях на паливних елементах

Для автомобільного транспорту пряме використання водню можливе в електричних транспортних засобах на паливних елементах (FCEV), які доступні як легкові автомобілі та транспортні засоби великої вантажопідйомності. Як і повністю електричні транспортні засоби (BEV), FCEV використовують електроенергію для живлення електродвигуна (рис. 6.6).

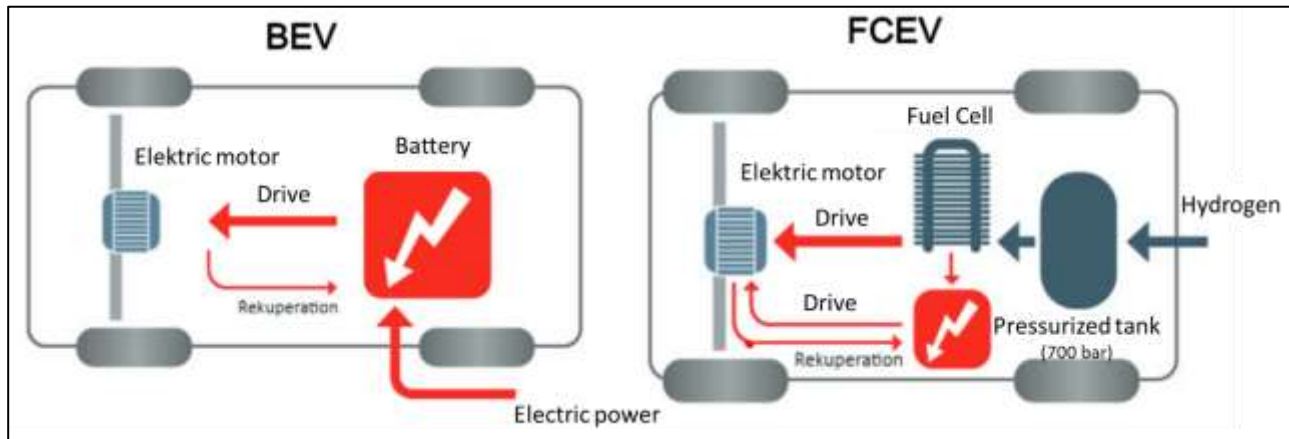


Рис 6.6. Основний принцип BEV і FCEV (англ.) [8]

У паливному елементі як ключовому компоненті FCEV водень вступає в електрохімічну реакцію, виробляючи електроенергію, яка передається в акумулятор, необхідний для живлення автомобіля. Паливний елемент складається з анода, катода та електролітної мембрани, подібно до системи електролізу, але працює за протилежним принципом.

Автомобілі на паливних елементах можуть перевозити достатньо водневого палива для 500-600 км пробігу, а їхні баки можна заправляти так само швидко, як і бензобак стандартного автомобіля [9]. Через низьку об'ємну щільність енергії водню, щоб досягти досить великого запасу ходу транспортного засобу, бак повинен бути під тиском до 700 бар.

Транспортні засоби, що працюють на паливних елементах, тільки що вийшли на ринок, тому вони дуже дорогі (вдвічі дорожчі, ніж аналогічні транспортні засоби з двигунами внутрішнього згорання), і спочатку потрібно створити комплексну водневу інфраструктуру.

Електромобілі на паливних елементах від виробників Toyota і Hyundai (Toyota Mirai і Hyundai Nexa) наразі є домінуючими моделями на європейському ринку. Навіть якщо ці моделі будуть доступні як серійні транспортні засоби, вони, ймовірно, будуть використовуватися лише в обмеженій мірі в пасажирсь-

ких перевезеннях. Очікується, що електромобілі з акумуляторами (BEV) зроблять значний внесок у декарбонізацію в цій сфері. У сегменті великовантажного руху, в якому переважають інші рамкові умови просто через величезну вагу необхідних акумуляторних систем і довший час зарядки акумуляторів, транспортні засоби на паливних елементах можуть зробити цікавий внесок у скорочення викидів парникових газів у цьому сегменті, оскільки варіанти заряджання та асортимент важких вантажівок на водневих паливних елементах роблять його більш придатним для подорожей на далекі відстані. Тим не менш, оскільки в 2030 році в Європі буде ринок лише для 45 000 важких вантажівок із системами паливних елементів (в ЄС перебуває понад 6,2 мільйона вантажівок), альтернативні варіанти декарбонізації повинні бути реалізовані якнайшвидше. [10].

6.6. Використання водню для виробництва синтетичного (біо)палива

Оскільки електрифікація (безпосередньо через BEV та опосередковано через FCEV) не може бути розгорнута в усіх сегментах транспортного сектору в короткостроковій перспективі, існуючі двигуни внутрішнього згоряння продовжуватимуть домінувати, наприклад, у автомобільному, авіаційному та морському транспорті протягом десятиліть, що означає, що стійкі відновлювані види палива необхідні для живлення цих транспортних сегментів, а також для досягнення глобальних цілей захисту клімату. Екологічні рішення, такі як відновлюване дизельне паливо, бензин, гас і синтетичний природний газ, які можна використовувати як пряму заміну викопного палива в двигунах внутрішнього згоряння, допоможуть значно скоротити викиди в необхідному терміновому порядку. Процеси виробництва синтетичного (кліматично нейтрального палива) використовують гази, що містять вуглець, такі як CO або CO₂, для виробництва таких палив, як бензин, дизельне паливо, гас або синтетичний природний газ, шляхом хімічної реакції з воднем. Однак необхідною умовою для того, щоб вироблене паливо було кліматично нейтральним, є те, що не тільки використовуваний водень, але й джерело вуглецю не є викопним, а поновлюваним, тобто з біомаси з використанням шляху перетворення біомаси в рідину (BtL) для заміни викопне паливо. Майже будь-який вид біомаси можна використовувати для виробництва біопалива. Однак, враховуючи критерії стійкості, шлях використання біомаси не повинен впливати на харчовий або кормовий сектор, і з цієї причини, особливо сільськогосподарські та лісові відходи та біовідходи є перспективною сировиною для виробництва біопалива. Синтетичне біопаливо повністю сумісне з уже існуючим

звичайним паливом і може використовуватися як доповнення до існуючої паливної інфраструктури, а також використовуватися як окремий продукт.

Виробництво синтетичного біопалива шляхом газифікації біомаси.

Газифікація є ключовим процесом термохімічного перетворення біомаси для виробництва синтетичного біопалива. У присутності кисневмісного агента газифікації (повітря, кисень, водяна пара або вуглекислий газ) біомаса перетворюється на газову суміш при високих температурах понад 800 °C, яка в основному складається з CO, H₂, CO₂, CH₄ та інших компонентів, таких як H₂O, H₂S, NH₃, смола та інших мікроелементів. Утворений газ (який називається синтез-газом, якщо він використовується для хімічного синтезу) потребує очищення та може бути перетворений у різні види вуглецевого палива залежно від обраного процесу синтезу. Доступні різні процеси синтезу для перетворення продуктів газифікації біомаси в синтетичне біопаливо. Спільним для всіх процесів є те, що з монооксиду вуглецю, що міститься в синтез-газі, потрібна непропорційно велика кількість водню, але коли біомаса газифікується, продукт-газ має дефіцит водню та низьке співвідношення H₂/CO (зазвичай менше одиниці). Залежно від обраного способу виробництва синтетичного біопалива для хімічних реакцій потрібен додатковий (зелений) водень (рис. 6.7).

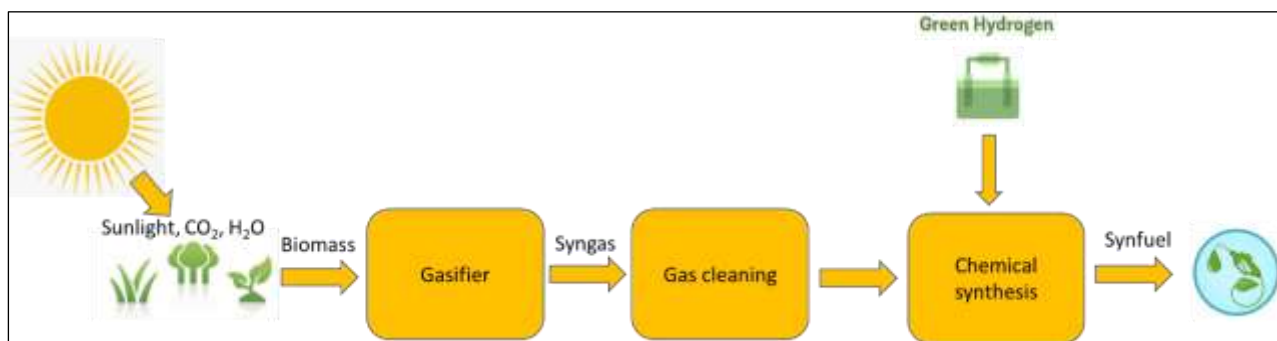
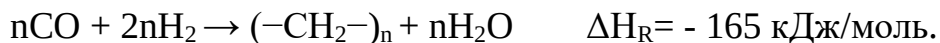


Рис. 6.7. Шлях виробництва синтетичного біопалива

До найбільш поширених синтетичних видів біопалива відносяться:

Паливо Фішера-Тропша (FTS-паливо) = паливо для дизельних і бензинових двигунів (також називається VtL або паливо «з біомаси в рідину»).

Синтез Фішера-Тропша (також відомий як процес Фішера-Тропша) – промисловий процес, розроблений Францем Фішером і Гансом Тропшем у 1925 році для перетворення суміші монооксиду вуглецю та водню в рідкі вуглеводні. Це гетерогенно каталізована реакція CO та H₂ (основних компонентів так званого синтез-газу) до вуглеводнів. Як каталізатори використовують метали, перш за все залізо, кобальт, нікель і рутеній. Основне рівняння реакції синтезу Фішера-Тропша таке:



Перетворення H_2 і CO в кінцевий продукт є багатоетапною реакцією з кількома проміжними сполуками і складається з безлічі утворених вуглеводневих сполук. Реакцію можна проводити або як високотемпературний синтез при 300-350 °C і 20-40 бар, або як низькотемпературний синтез при 200-220 °C і 20 бар. Через екзотермічність реакції реактори необхідно охолоджувати, щоб запобігти перегріву і, таким чином, зрушенню рівноваги реакції та термічній дезактивації каталізаторів. Температура також впливає на процеси адсорбції та десорбції на поверхні каталізатора. Таким чином, високотемпературний синтез призводить до збільшення утворення коротколанцюгових вуглеводнів, які можуть бути перетворені в бензинове паливо, а низькотемпературний синтез до збільшення утворення довголанцюгових вуглеводневих сполук, які можуть бути використані для виробництва дизельного палива. У будь-якому випадку, через асортимент продукції, що формується, необхідна подальша переробка, щоб мати можливість виробляти паливо, яке відповідає стандартам транспортного палива.

СПГ (синтетичний природний газ) – синтез, отриманий шляхом термохімічного синтезу CO та H_2 для отримання CH_4 , який може використовуватися в транспортних засобах, що працюють на стисненому природному газі, і для всіх застосувань з використанням природного газу.

Синтетичний природний газ (СПГ) описує різні альтернативи природному газу та може бути отриманий з вугілля, біомаси або іншого вуглецевого палива з використанням водню та CO/CO_2 як носіїв вуглецю.

Використання синтетичного газу з газифікації біомаси основною реакцією метанування є сильно екзотермічне перетворення монооксиду вуглецю та водню в метан.



У зв'язку з необхідністю екологічної та економічної реорганізації енергетичної промисловості відкрита в 1902 році французьким хіміком Полем Сабатьє реакція метанування з використанням вуглекислого газу як носія вуглецю сьогодні набула нової високої актуальності. Метанування водню з CO_2 відбувається в два основних етапи:

- 1 крок: Зворотна реакція зміщення водяного газу (RWGS)
 $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O} \quad \Delta H_R = 41 \text{ кДж/моль}$
- 2 крок: CO Гідрування
 $\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \quad \Delta H_R = -206 \text{ кДж/моль}$
- Загальна реакція: CO_2 метанування = реакція Сабатьє
 $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \quad \Delta H_R = -165 \text{ кДж/моль}$

Як і реакція Фішера-Тропша, реакція метанування є сильно екзотермічною, і реактори метанування необхідно охолоджувати, щоб запобігти перегріванню та зсуву рівноваги реакції, а також термічній дезактивації каталізаторів. У 2013 році

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

у Верльте (Німеччина) було побудовано першу в світі промислову установку, яка генерує синтетичний природний газ із CO₂ та водню з відновлюваної електроенергії. Використаний CO₂ виробляється завдяки модернізації біогазу (видалення вуглекислого газу, що міститься в сирий біогаз), який уже виробляє біометан для введення в газову мережу. Крім того, нещодавно впроваджені демонстраційні установки для метанування використовують CO₂ з процесу виробництва етанолу як носії вуглецю для метанування.

Синтез метанолу та подальше перетворення на диметиловий ефір для отримання рідкого палива для двигунів із запалюванням від стиснення.

Хіміки BASF працювали над гідруванням монооксиду вуглецю під високим тиском з 1913 року, і Мітташ та його колеги виявили утворення кисневмісних сполук, включаючи метанол, у результаті реакції водню та монооксиду вуглецю на поверхнях залізного каталізатора. У 1923 році хімік Маттіас Пір вперше досяг успіху у великомасштабному виробництві метанолу із синтез-газу в процесі високого тиску на каталізаторах оксид цинку-оксид хрому та розробив процес, який виробляв чистий метанол під тиском від 200 до 300 бар. і температурах 350-400 °C. Сучасний синтез метанолу можна здійснити як з окисом вуглецю, так і з двоокисом вуглецю за допомогою таких основних рівнянь:



Процеси синтезу під високим тиском (p = 250 - 350 бар, T = 320-400 °C) можна проводити з використанням каталізаторів ZnO/Cr₂O₃ або методами синтезу при низькому тиску (p = 50 - 100 бар, T = 200-300 °C). проводити з використанням більш активних і більш селективних каталізаторів Cu/ZnO. Завдяки більш м'яким умовам реакції синтез при низькому тиску зараз переважно використовують для великомасштабного виробництва метанолу.

Подальше перетворення метанолу в диметиловий ефір (DME) становить особливий інтерес для транспортного сектора. Перевага полягає в тому, що DME (диметиловий ефір, C₂H₆O) може використовуватися в звичайних дизельних двигунах без модифікації технології двигуна і, отже, підходить як паливо для транспортування на далекі відстані (автомобілі). DME – це газ, який можна скраплювати під тиском п'ять бар. Менший енергетичний вміст DME (28,4 МДж/кг), що трохи більше ніж вдвічі менше, ніж у звичайного дизельного палива (42,5 МДж/кг), можна просто вирівняти встановленням більших резервуарів [11].

Наприклад, DME (C₂H₆O) можна отримати кислотно-каталізованої конденсацією 2 молекул метанолу (з відщепленням води). Рівняння реакції:



Синтез являє собою двостадійний процес, в якому метанол спочатку виробляється за допомогою відповідних каталізаторів (зазвичай $\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) при температурі 270 °C і тиску від 5 до 10 МПа (звичайний синтез метанолу), який дегідрується на другому етапі в присутності кислотного каталізатора (зазвичай алюмінієвого) в рамках того самого процесу. Якби звичайне викопне дизельне паливо було замінено біо-DME, викиди CO_2 можна було б скоротити приблизно на 95 %. Таким чином, Біо-DME має великий потенціал для заміни споживання викопного дизельного палива, особливо в інтенсивному та міжміському русі.

6.7. Висновки

Водень не є основним енергоносієм, а енергоносієм, який можна отримати з відновлюваної енергії. Зелений водень, отриманий за допомогою відновлюваної енергії, відіграватиме важливу роль у майбутній системі енергопостачання для зменшення викидів парникових газів і забезпечення енергетичної безпеки на основі невикопних відновлюваних ресурсів. Виробництво та використання енергії можна розділити з точки зору часу та простору, а його функція як накопичувача хімічних речовин може позитивно вплинути на електромережі щодо доступності нестабільної відновлюваної електроенергії в рамках секторного зв'язку.

Транспортний сектор є однією з головних причин викидів парникових газів (в ЄС понад 23 % від загального обсягу викидів ПГ). Зараз викопне паливо майже повністю використовується в транспортному секторі, що означає, що транспортний сектор виділяє велику кількість парникових газів. У транспорті майбутнього водень може використовуватися безпосередньо, наприклад, в електромобілях на паливних елементах, або як вторинне джерело енергії для виробництва синтетичного біопалива в транспортних сегментах, де акумуляторні електроприводи непридатні (наприклад, авіація, морський транспорт або важкі та міжміські перевезення). Водень не буде найкращим енергоносієм у всіх сегментах транспортної галузі. Особливо в області індивідуальної мобільності з легковими автомобілями транспортні засоби, що працюють від акумуляторів, мають явні переваги порівняно з воднем або синтетичним паливом. З одного боку, простіше створити зарядну інфраструктуру для BEV, ніж водневу інфраструктуру для FCEV, і ефективність використання енергії також значно вища, оскільки немає втрат при виробництві та використанні водню. Але в авіації, морському транспорті, важких транспортних засобах і транспортних засобах для перевезень на далекі відстані використання водню в чистому вигляді або перетвореного на синтетичне біопаливо є багатообіцяючою можливістю найближчого майбутнього.

Подяка

Автори висловлюють вдячність за підтримку, отриману від Європейської Комісії за програмою ERASMUS+ проекту «Синергія освітніх, наукових,

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

управлінських та промислових компонентів для управління кліматом і запобігання змінам клімату (CLIMAN)», номер проекту: 619119-EPP-1-2020 -1-NL-EPPKA2-SBHE-JP. Зміст, представлений у цьому розділі, є частиною заходів, спрямованих на підтримку університетів-партнерів у тому, щоб вони стали центрами розвитку досліджень управління кліматом, щоб прискорити інтеграцію в глобальний кліматичний ринок і відповідати вимогам глобального регулювання клімату шляхом придбання найкращих європейських практик у цій галузі. запобігання змінам клімату, адаптації та пом'якшення наслідків.

Посилання

1. Statista (2023, July 26th) Distribution of carbon dioxide emissions produced by the transportation sector worldwide in 2021, by subsector [Infographic]. [online] Available at: <https://www.statista.com/statistics/1185535/transport-carbon-dioxide-emissions-breakdown/> [Accessed 26/07/2023].
2. D. R. Lide, “n-Butanol,” *CRC Handb. Chem. Phys. A ready-reference B. Chem. Phys. data*, 2008.
3. The Engineering ToolBox (2009). Combustion of Fuels - Carbon Dioxide Emission. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html [Accessed 22/07/2023].
4. Hydrogen Tools (2009). Lower and Higher Heating Values of Fuels. [online] Available at <https://h2tools.org/hyarc/calculator-tools/lower-and-higher-heating-values-fuels> [Accessed 25/07/2023].
5. A. I. Osman *et al.*, “Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review,” *Environ. Chem. Lett.*, pp. 1–36, 2022.
6. G. Schiller *et al.*, “Solar heat integrated solid oxide steam electrolysis for highly efficient hydrogen production,” *J. Power Sources*, vol. 416, pp. 72–78, 2019.
7. IEA, “International Energy Agency, World Energy Outlook,” *Paris: OECD/IEA; 2019.*, 2019.
8. Omazaki (2023). Types of Electric Cars and Working Principles. [online] Available at <https://www.omazaki.co.id/en/types-of-electric-cars-and-working-principles/> [Accessed 25/07/2023].
9. P. Preuster, A. Alekseev, and P. Wasserscheid, “Hydrogen storage technologies for future energy systems,” *Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng.*, vol. 8, pp. 445–471, 2017.
10. V. Vijayakumar, “Creating a Global Hydrogen Economy.” Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, 2022.
11. P. Makoś, E. Ślupek, J. Sobczak, D. Zabrocki, J. Hupka, and A. Rogala, “Dimethyl ether (DME) as potential environmental friendly fuel,” in *E3S web of conferences*, 2019, vol. 116, p. 48.

РОЗДІЛ 7

КЛІМАТИЧНО-ОРІЄНТОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ: НЕТРАДИЦІЙНІ І АЛЬТЕРНАТИВНІ МОТОРНІ ПАЛИВА

*Наталія Внукова, Ганна Желнова
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Україна)*

7.1. Вступ

Моторні палива на сьогоднішній день становлять основу транспортної галузі у переважній кількості країн Світу, а також складають більшу частину продуктів переробки нафти, одночасно з продукуванням суттєвого навантаження на всі компоненти довкілля на всіх етапах життєвого циклу. Саме тому питанням вивчення особливостей їх застосування, а також розробки альтернативних та екологічно дружніх видів моторного палива слід приділяти пильну увагу.

В умовах сьогодення у двигунах внутрішнього згоряння різних типів використовуються відповідні моторні палива: автомобільні та авіаційні бензини, дизельні палива для швидкохідних дизелів, реактивні та ракетні палива, газотурбінні палива, важкі моторні та суднові палива для тихохідних дизелів, а також стислий (компримований) природний газ та зріджені природні та нафтові гази. Як ракетне паливо для потужних ракетних носіїв деяких типів використовується рідкий водень; проводяться випробування щодо його застосування на автомобільній та авіаційній техніці.

Майбутнє саме автотранспорту вбачається переважно у нетрадиційних, в тому числі альтернативних, моторних паливах, що забезпечують зниження споживання нафтових палив і мінімізацію канцерогенно-мутагенної небезпеки автомобілів [1, 2].

До альтернативних моторних палив відносять: природний газ, як найбільш ефективний енергоносій на перехідний період; синтетичні моторні палива (СМП), в першу чергу спиртові, а також диметиловий ефір (ДМЕ) для дизельних двигунів; біопалива; водень, який може використовуватися як високоефективна

добавка до горючих сумішей і як необхідний компонент при виробництві СМП, а також в якості основного енергоносія. Слід зазначити, що зазначені альтернативні, в тому числі композитні, моторні палива мають підвищену детонаційну стійкість. Їх октанові числа (ОЧД): метан – 120, пропан – 112, бутан – 94, метанол – 106, водень – 130. При цьому показники композитного палива (бензин А-80 + 10% мас. водню) такі:

- ОЧД – 98; $Q_n^p = 54$ МДж/кг;
- $\alpha_{\text{гран.}} = 0,7-2,0$; ціна ≤ 45 \$/ГДж.

Деякі важливі фізико-хімічні та експлуатаційні показники як нафтових, так і нетрадиційних моторних палив, включаючи водень, представлені в табл. 7.1 [3].

Таблиця 7.1.

Фізико-хімічні властивості вуглеводневих моторних палив і водню

Моторні палива	ρ , кг/м ³	Q_n^p , МДж/кг	L_0 , кг/кг	T_{max} , К	$\alpha_{\text{гран.}}$	Склад, % мас.		Ц, \$/ГДж
						Н/С	О	
Бензин А-98	710-760	44	15	2350	0,7-1,1	17,6	–	≥ 45
Дизельне	820-870	43	14,2	2370	0,9-5	16,3	–	≥ 40
Метанол	795	20	6,5	2175	0,7-1,4	33,3	50	$\geq 30^*$
Пропан-бутан	542	46	15,2	2149	0,7-1,2	19,0	–	≥ 30
Метан	0,8 (416)	49-50	17	2065	0,8-1,7	33,3	–	≥ 20
Водень	0,09 (71)	120,1	34,5	2470	0,2-5	100	–	$\geq 90^{**}$

Примітки. ρ – щільність (рідкий метан і водень); Q_n^p – розрахункова нижча теплота згоряння; T_{max} – максимальна температура при горінні палива в повітрі; $\alpha_{\text{гран.}}$ – межа стійкого горіння палива за коефіцієнтом надлишку повітря; Ц – ціна (ринкова енергетична вартість); * – метанол, вироблений з вугілля (за ціною вугілля ~ 60 \$/т); ** – електролізний водень (при вартості електроенергії $\sim 0,25$ грн/(кВт·год)).

7.2. Природний газ

Природний газ, що володіє найбільш високими водневим і антидетонаційним показниками (серед вуглеводневих моторних палив), є найбільш ефективним замінником нафтових палив для міського автотранспорту з ДВЗ. Високі теплотехнічні та антидетонаційні показники природного газу (метану), широкий діапазон зміни концентраційних меж займання газоповітряних горючих сумішей дозволяють істотно підвищити ступінь стиснення в ДВЗ з примусовим, в тому числі

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

з форкамерно-факельним запалюванням, реалізувати енергетично і екологічно високоефективне спалювання збіднених газоповітряних сумішей (межа займання бідної суміші характеризується $\alpha_{\text{макс.}} = 1,7$ і залишається незмінною для всіх значень ступенів стиснення $\varepsilon \leq 16$). При його використанні в ДВЗ істотно знижуються викиди з ВГ супертоксикантів (КВ, NO_x , ТЧ), а також зменшуються ($\sim$ на 20 %) викиди діоксиду вуглецю (CO_2). Тому застосування в міському автотранспорті природного газу дозволяє забезпечити значний економічний ефект в результаті зниження витрат на паливо і на відшкодування екологічного збитку, а також знизити забруднення атмосфери міст [4].

У 60 країнах світу на природному газі працює понад 11 млн автомобілів, пробіг на одній заправці досягає 400 км. Світовим лідером є Аргентина (понад 1 млн автомобілів, що працюють на природному газі). У відповідність з планами Європейської економічної комісії ООН до 2020 року ~ 30 млн автомобілів або приблизно десята частина європейського парку машин буде працювати на природному газі, головним чином це міські автобуси, мікроавтобуси, легкові автомобілі, що знаходяться в індивідуальному користуванні. Щорічне споживання природного газу такою кількістю машин складе більше 50 млрд м^3 . У Німеччині перехід автомобілів на використання природного газу є одним з пріоритетних напрямків енергетичного розвитку і екологічної безпеки. У Франції введена заборона на використання вуглеводневих палив (крім природного газу) на муніципальних автобусах і сміттєзбиральних автомобілях. В Італії введено заборону на будівництво АЗС без блоку заправки природним газом.

Подальше підвищення економічних, екологічних і динамічних характеристик газових двигунів досягається за рахунок додаткового використання синтез-газу ($\text{H}_2 + \text{CO}$), який готується шляхом конверсії частини природного газу в компактному каталітичному реакторі безпосередньо на борту газомобіля з використанням мікропроцесорної системи управління. Таким чином, різке поліпшення якості згоряння природного газу за рахунок введення ініціюючих добавок синтез-газу веде до можливості роботи на більш збіднених горючих сумішах, економії палива і подальшого істотного зниження рівнів викидів супертоксикантів.

За даними ряду автотранспортних підприємств м. Харкова мінімальні витрати за паливними складовими забезпечуються при експлуатації навіть традиційних автомобілів з модернізацією бензинових ДВЗ для роботи на природному газі. Маршрутний мікроавтобус-таксі з бензиновим двигуном при експлуатації по місту витрачає в рік ~ 16 т бензину (вартістю ~ 20 тис. дол.). Мікроавтобус-таксі з сучасним високоекономічним газовим двигуном (при тому ж пробігу в умовах міста) приблизно буде витрачати не більше 17 тис. м^3 природного газу, вартістю ~ 6 тис. дол. (При ціні стисненого газу $\sim 0,35$ $\$/\text{м}^3$). Річна економія тільки по паливу складе не менше 10 тис. дол., з урахуванням різниці у вартості автомобілів

(~ 4 тис. дол.) і без урахування істотного зниження екологічних збитків від шкідливої дії ВГ при експлуатації автомобілів з газовим двигуном. Результати проведених досліджень автомобіля з дизелем також підтвердили високу ефективність використання природного газу. Так, застосування стисненого природного газу в газодизельному процесі з запальною дозою дизельного палива ~ 15 % мас. дозволило зменшити витрати на паливо ~ на 20 %, а витрати від екологічного збитку ~ на 24 %.

Ефективне використання природного газу в міському автотранспорті можливе при забезпеченні таких умов:

- істотне зниження вартості і експлуатації газонаповнювальних компресорних станцій, а також їх розташування в межах міста;
- зменшення маси і вартості газобалонної апаратури;
- створення або придбання кращих світових зразків автомобілів з газовими двигунами з підвищеною (не менше ніж на 20 %) експлуатаційною паливною економічністю.

Програма переведення частини міського автомобільного транспорту на природний газ повинна бути для конкретного регіону економічно обґрунтованою, здійснюватися як на державному (що дуже важливо), так і регіональному (що більш реально) рівнях, а також на основі міжнародного співробітництва [5].

На перспективу слід зазначити, що величезні кількості метану (не менше 10^4 квадрильйонів м^3) зберігаються в метаногідратах, що залягають в опадах Світового океану. Танення 1 м^3 гранул метаногідрату дає до 200 м^3 метану і 0,87 м^3 прісної води. У Чорному морі метаногідрати залягають на глибині 200-400 м.

7.3. Спиртові і бензоспиртові палива

Слід зазначити, що спиртові палива (етанол, метанол), що володіють підвищеним водневим показником і високими антидетонаційними якостями, найбільш ефективно, як підтверджує досвід багатьох країн світу, можуть бути використані в ДВЗ з примусовим займанням збіднених горючих сумішей в якості бензоспиртового палива, основного палива або водневоенергоносіїв.

Слід зазначити, що ще в 1921 р. (також в період нафтової кризи) німецький інженер Фрідріх Бергіус запатентував технологію виробництва спиртових палив, в тому числі синтетичних бензинів, з бурого вугілля, запустив ряд заводів, і йому була присуджена Нобелівська премія за вирішення найважливішої в той період паливно-енергетичної проблеми.

У світі розпочато широкомасштабне виробництво синтетичних енергоносіїв, включаючи метанол. Найбільш вірогідною сировиною для такого виробництва синтетичних вуглеводневих палив в найближчій перспективі є вугілля і сланці. У світових запасах викопних енергоресурсів на них припадає понад 80 % сумарного енерговмісту і при сучасних рівнях видобутку їх запасів вистачить приблизно на 300–400 років. У 2006 р. створено альянс ASFF, який об'єднує виробників і споживачів синтетичних палив (Shell, Shevron-SASOL, Daimler, Renault і Volkswagen). Мета цього альянсу – створення високоекономічних і екологічно більш безпечних автомобілів, що працюють на синтетичних і комбінованих паливах. На першому етапі синтетичні палива використовуються спільно з традиційними моторними паливами, що забезпечує зниження рівнів споживання нафтових палив. Так, добавка метанолу в кількості ~ 15 % до бензину з октановим числом 72 підвищує октанове число до 82 і дозволяє ефективно використовувати таку бензومتанольну суміш в серійно застосовуваних двигунах з примусовим займанням горючих сумішей при її збідненні. Це істотно підвищує екологічні показники транспортних засобів, так як в синтетичних паливах практично відсутня сірка, а також ароматичні вуглеводні. Останнє дуже важливо з точки зору зниження забруднення середовища канцерогенно-мутагенними інгредієнтами, що викидаються з ВГ транспортних засобів.

Застосування метанолу (або іншого спиртового палива) в якості основного водневоносія є також одним з перспективних шляхів еколого-енергетичного вдосконалення автомобільної техніки. Це обумовлено перш за все тим, що конверсійний газ (конгаз), що утворюється в результаті конверсії метанолу, містить 67 % (об.) водню і 33 % (об.) оксиду вуглецю, що є екологічно чистими складовими палива і дозволяють істотно збіднювати паливно-повітряну суміш, що в свою чергу сприяє підвищенню економічності двигуна, а також зниженню рівнів викидів токсичних і канцерогенних інгредієнтів з ВГ автомобілів. Другим важливим чинником, що підвищує економічність такої енергоустановки, є утилізація внутрішньої енергії ВГ шляхом часткового їх відбору в реактор на розкладання метанолу. При 100 % конверсії приріст енергоємності конгазу становить приблизно 10 % у порівнянні з метанолом, а повернення його в цикл дозволяє підвищити індикаторний ККД двигуна на 3–4 %. Слід також врахувати і зручність бортового зберігання метанолу (етанолу), що практично не відрізняється від зберігання бензину. Принципова схема роботи поршневого ДВЗ з каталітичною конверсією метанолу приведена на рис. 7.1 [5, 6].

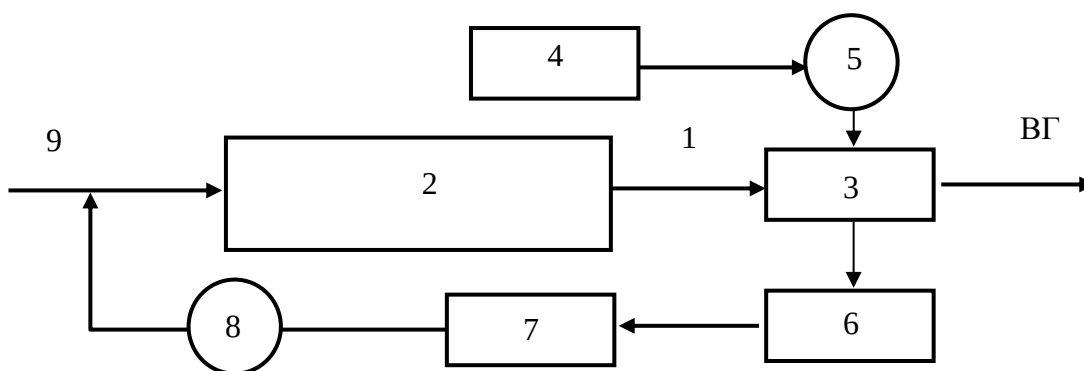


Рис. 7.1. Схема роботи ДВЗ з каталітичною конверсією метанолу

У впускному трубопроводі 1 двигуна 2 встановлений каталітичний реактор 3 для конверсії метанолу. У герметичному корпусі реактора розміщені два пучка теплообмінних труб, один з яких утворює випарну, а інший, заповнений каталізатором, – реакційну камеру. Рідкий метанол з паливного бака 4 паливним насосом 5 подається в реактор. Продукти конверсії метанолу через охолоджувач 6, редуктор 7 і регулятор подачі газу 8 підводяться до впускного повітряного ресивера 9 двигуна. Експериментальні дослідження, проведені на двигуні ЗМЗ-402 при роботі на бензині А-76, метанолі, що випаровувався, і з реактором конверсії метанолу (каталізатор СНМ-1, ступінь конверсії ~ 60 %), показали, що при частоті обертання колінчастого валу двигуна 2500 хв^{-1} і 30 % навантаженні ККД двигуна становив: відповідно 28, 33 і 36 % при сумарному коефіцієнті надлишку повітря 0,95; 1,5 і 2,1; а рівні концентрацій NO_x відповідали: 3200, 1200 і 250 млн^{-1} . При використанні конверсійного газу в ВГ двигуна були відсутні канцерогенні вуглеводні. Така схема конверсії спиртових палив представляється особливо перспективною для автомобілів майбутнього з електрохімічними паливними елементами. Модельні зразки таких автомобілів, а також автомобілів з гібридними енергоустановками випробовуються провідними світовими автомобільними фірмами («Хонда», «Тойота», «Дженерал моторс», «СААБ» і ін.). З іншого боку, в США розгорнуто кампанію із заміни кожного п'ятого літру бензину на біопаливо (БіП). У 2005 р. в США з кукурудзи було вироблено приблизно 19 млрд літрів етанолу. При таких темпах зростання споживання БіП до 2015 року на його виробництво вже буде потрібно більше половини вирощуваної в США кукурудзи. Як заявив віце-президент концерну Dupon з біотехнологій: «Економіка і національна безпека створили унікальний збіг інтересів на розширення виробництва біопалив». І це не тільки американська тенденція. Західна Європа передбачає до 2015 р. замінити кожен 20-й літр бензину БіП. В даний час в Європі вже виробляється ~ 2 млн т рапсового БіП.

Бензоетанольне паливо є для України величезним потенціалом для зниження споживання світлих нафтопродуктів, захисту навколишнього середовища, підйому сільськогосподарського виробництва та створення робочих місць. Досвід країн, що розвивають виробництво і споживання бензоетанольного палива, свідчить про прибутковість інвестицій, що вкладаються в виробництво біоетанолу, збільшення прибутків сільгоспвиробників, зростання податкових надходжень до бюджету. При сприятливих умовах в Україні в короткі терміни можливо налагодити випуск дослідних партій бензоетанольного палива з різним вмістом етанолу, провести випробування двигунів для їх адаптації, визначення оптимального співвідношення бензину з етанолом, з точки зору економічності і токсичності, нормативних видаткових характеристик, розробити рекомендації по експлуатації двигунів транспортних засобів на бензоетанольному паливі.

У табл. 7.2 наведені властивості етанолу і бензоетанольних сумішей в порівнянні з бензином. Як видно з табл. 7.2 щільності бензину і етанолу відрізняються незначно, отже, і маса запасу сумішевого палива, що знаходиться на автомобілі, практично не збільшується. За теплотворною здатністю етанол поступається на 40 % бензину, але теплотворна здатність бензоетанольних сумішей (до 10 % об. етанолу) всього на 4,5 % нижче, ніж бензину. Тому можна прогнозувати збільшення відносної об'ємної витрати палива для виконання однієї і тієї ж роботи на 4-5 % [7].

Таблиця 7.2.

Основні властивості бензину, етанолу і бензоетанольних сумішей

Властивості	Один. вимір.	Бензин	Етанол	Бензо-етанол (5 % об.)	Бензо-етанол (10 % об.)
Щільність при 20°C	кг/м ³	740	810	743,5	747
Нижча теплотворна здатність	кДж/кг	43920	25900	42938	41967
Калорійність стех. суміші	кДж/м ³	3536	3453	3532	3528
Теплота пароутворення	кДж/кг	330	850	358	386
Стехіометричне співвідношення повітря-паливо	кг/кг	14,9	9	14,6	14,3
Межі займання суміші з повітрям, α	—	0,5–1,16	0,4–1,7	0,5–1,19	0,5–1,22
ОЧ за моторним методом	—	76-84	94	81	86
ОЧ за дослідницьким методом	—	92-100	108	—	95
Максимальна швидкість поширення полум'я	м/с	37-43	—	—	—
Температура полум'я	К	2335-2470	2235	—	—
Відносна об'ємна витрата палива	—	1	1,7	1,023	1,047

У зв'язку зі зміною октанового числа і стехіометричного співвідношення «повітря-паливо» для 10 % -го бензоетанолу при роботі двигуна на такому паливі необхідно дещо відкоригувати кут випередження запалювання і незначно змінити прохідні перерізи паливних жиклерів карбюратора. Однак не слід очікувати відчутного поліпшення економічності двигуна, що працює на бензоетанолі, без внесення конструктивних змін. На рис. 8.16 наведена залежність підвищення ОЧ вихідного бензину від об'ємного вмісту в ньому етанолу.

З рис. 7.2 [4] видно, що чим вище ОЧ вихідного бензину, тим на більшу величину необхідно збільшити вміст етанолу для підвищення ОЧ суміші. Отже, 10 % добавка етанолу до вихідного низькооктанового бензину А-76 (бензоетанол-10) дозволить збільшити ОЧ бензоетанолу до 86 одиниць, що аналогічно бензину А-95, а це, в свою чергу, дозволить застосовувати бензоетанол-10 для двигунів з більш високими ступенями стиснення. Крім того, зростає і межа збіднення суміші з $\alpha = 1,16$ на вихідному бензині до $\alpha = 1,22$ на бензоетанолі-10. Тому можна очікувати, що робота двигуна на бензоетанолі дозволить підвищити його ефективні показники і знизити токсичність ВГ. До недоліків етанолу, крім менших значень теплотворної здатності, відносять і більш високу, ніж у бензину, теплоту пароутворення, що служить причиною виникнення труднощів з пуском двигуна при температурах нижче -10°C .

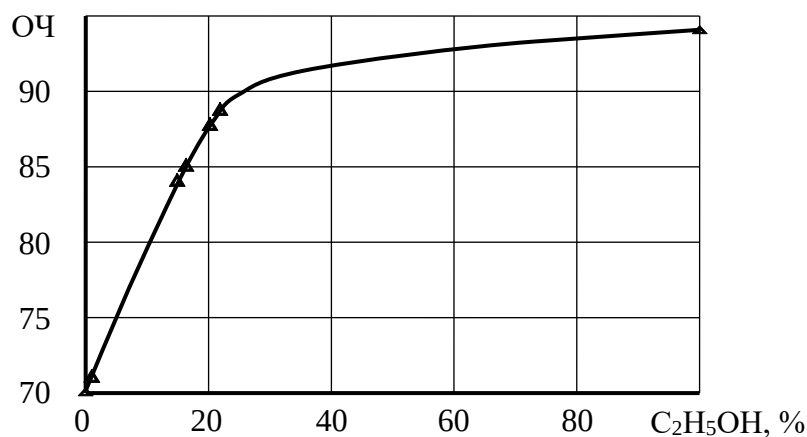


Рис. 7.2. Залежність підвищення октанового числа вихідного бензину від вмісту в ньому етанолу

У США, Швеції та ряді інших країн вміст біоетанолу (БЕ) в моторному паливі доведено до 85 % (Etanol E85). Завдяки державній дотації, його ціна в 1,5–2 рази нижче вартості бензину. Фірма Ford продала в Швеції більше 15 тис. автомобілів, адаптованих до такого палива. Швеція за рахунок використання етанолу вже до 2050 р. планує повністю відмовитися від імпорту нафти. У США і Бразилії

понад 20 років використовується бензоспиртове паливо «газохол» з вмістом етанолу 10 і 20 % мас., а концерном Volkswagen випущено понад 2 млн автомобілів з ДВЗ адаптованих до бензоспиртового палива.

В Україні біоетанол або спирт етиловий зневоднений з біологічно відновлюваної сировини виробляється із зернових культур, картоплі, фруктів, технічних культур і поки практично повністю йде на експорт. Біоетанольне паливо могло б бути для України величезним потенціалом зниження споживання нафтових палив, захисту НС від ШР, підйому сільськогосподарського виробництва та створення робочих місць. При цьому в Україні об'єктивно існують всі передумови для стимулювання виробництва бензоспиртових палив на вітчизняних нафтопереробних підприємствах, що мають всі стадії технологічного процесу їх виробництва.

Однак біологічний матеріал також має свої межі і, як вважає ряд міжнародних експертів, реальні обсяги заміни нафтових моторних палив біопаливом можуть скласти до 2025 р. не більше 10 %. Крім того, кожна дванадцята людина у всьому світі страждає від недоїдання (в доповіді ООН з питань споживання їжі Жан Зіглер зазначив, що смертність від недоїдання склала 58 % від загальної смертності в 2006 році), а жителі «цивілізованих» країн спалюють цінні для життя продукти харчування в своїх автомобілях.

7.4. Водень і бензоводневі палива

Одним з альтернативних довгострокових моторних палив для автотранспортних засобів може розглядатися водень. В автомобільних ДВЗ водень може використовуватися як основне паливо, так і у вигляді добавки до традиційного моторного палива. Водень як паливо має ряд істотних переваг перед традиційними нафтовими моторними паливами:

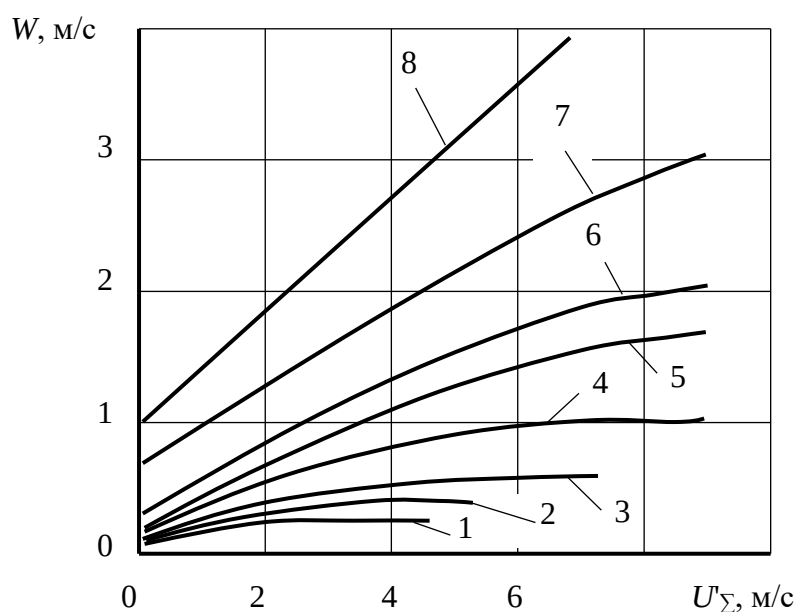
- висока питома теплота згоряння і мала енергія займання;
- добра займистість водневоповітряної суміші в широкому діапазоні коефіцієнтів надлишку повітря і температур, що забезпечує легкий запуск двигуна при практично будь-яких можливих температурах НС;
- висока антидетонаційна стійкість, яка припускає роботу при ступені стиснення до 14 і вище;
- високі швидкість і повнота згоряння, що дозволяє наблизити реальний цикл роботи ДВЗ з іскровим запалюванням до ідеального з підведенням теплоти до суміші при постійному об'ємі, тобто збільшити ККД циклу.

Займистість водню в суміші з повітрям в широкому діапазоні складів дозволяє здійснювати регулювання сумішоутворення в двигуні шляхом зміни кількості подаваного водню і практично відмовитися від дроселювання потоку повітря на впуску, тобто організувати якісне регулювання робочого процесу ДВЗ, збільшивши тим самим термічний ККД двигуна на режимах часткових навантажень.

Широкі концентраційні межі запалення в повітрі, висока швидкість згоряння, мала енергія займання, великі значення коефіцієнтів дифузії роблять водень ідеальною добавкою до звичайних вуглеводневих палив. Добавка водню в бензоповітряну суміш знижує стехіометричне співвідношення L_0 , а цей показник горючої суміші пов'язаний з такими важливими параметрами робочого процесу, як межі ефективного і максимального збіднення паливоповітряної суміші (α_{η_i} (макс.) і α (макс.)), а також величиною індуктивного періоду згоряння, які характеризують стабільність і рівномірність робочого процесу від циклу до циклу.

Важливим, як показали численні дослідження, проведені в Інституті проблем машинобудування ім. А.Н. Підгорного НАН України, є також те, що масові добавки водню (Δg_{H_2}) при спалюванні збіднених бензоводневоповітряних сумішей істотно підвищують повноту вигорання палива (η_r), знижують рівні утворення NOx, інгібують процеси утворення ТЧ.

Було також встановлено, що добавки водню в збіднених вуглеводнево-водневих горючих сумішах (ВВВГС) ініціюють процес їх спалювання (рис. 7.3), істотно розширюють діапазон стійкого займання і горіння [7, 8].



1 – 0; 2 – 0,005; 3 – 0,011; 4 – 0,029; 5 – 0,063; 6 – 0,0152; 7 – 0,287; 8 – 1,0

Рис. 7.3. Залежність турбулентної швидкості горіння повітряних сумішейпропану з воднем від пульсаційної швидкості і показника Δg_{H_2}

Таким чином, використання в автомобільних ДВЗ збіднених ВВВГС може забезпечувати їх роботу з високою експлуатаційною паливною економічністю, параметричною надійністю і еколого-хімічною безпекою.

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

7.5. Енергетичний потенціал та екологічна ефективність використання бензоводневих палив

Добавка водню до вуглеводневого палива супроводжується збільшенням відношення Н/С і відповідно зростанням стехіометричних коефіцієнтів і абсолютного значення повної ентальпії композитного палива. Вплив добавки водню на термохімічні характеристики двокомпонентного палива (при $T = 298 \text{ K}$) (табл. 7.3) [4].

Таблиця 7.3.

Вплив добавок водню на термохімічні властивості композитних палив

Показник	Добавка H_2 , % (мас.)		
	0	10	20
Еквівалентна формула	$\text{C}_{7,16}\text{H}_{14}$	$\text{C}_{7,16}\text{H}_{25,1}$	$\text{C}_{7,16}\text{H}_{38,98}$
Відношення Н/С	1,96	3,51	5,44
L_0 , моль/моль	50,20	64,50	81,25
l_0 , кг/кг	14,84	16,84	18,83
Повна ентальпія, кДж/моль (кДж/кг)	-194,7 (-1948,9)	-175,2 (-1701,0)	-155,8 (-1559,1)

Енергетичні та екологічні показники процесів спалювання палив значною мірою визначаються їх теплотехнічними та фізико-хімічними характеристиками. Розглянемо такі характеристики вуглеводнево-воднево-повітряних паливних сумішей (ВВППС):

- $(l_0)_\Sigma$ – стехіометричний коефіцієнт;
- $\alpha_{\text{ВВП}}$ – коефіцієнт надлишку повітря;
- Н/С – відношення атомів водню до атомів вуглецю;
- g_{H_Σ} – масова частка водню в вуглеводнево-водневому паливі (ВВП) тощо.

Надалі приймаються такі позначення: G_{H_2} – масова витрата водню; $G_{\text{ВП}_0}$ – масова витрата вихідного вуглеводневого палива (ВП) (без добавки водню); $G_{\text{ВВП}} = G_{\text{ВП}_0} - \alpha_1 \cdot G_{\text{H}_2}$ – масова витрата ВП з урахуванням теплоти, що вноситься в КЗ воднем, де $\alpha_1 = \text{H}_{\text{H}_2}/\text{H}_{\text{ВВП}}$; $G_\Sigma = G_{\text{ВВП}} + G_{\text{H}_2}$ – сумарна масова витрата ВП і водню; $g_{\text{HВВП}}$ – частка водню в ВП; $g_{\text{H}_2} = G_{\text{H}_2}/G_\Sigma$ – частка водню в ВВП; $g_{\text{H}_2}^e = G_{\text{H}_2}/G_{\text{ВП}_0}$ – частка добавки водню по відношенню до вихідного ВП (еквівалент заміщення ВП воднем); $g_{\text{ВВП}}^e = (G_{\text{ВП}_0} - G_{\text{ВВП}})/G_{\text{ВП}_0} = \alpha_1 \cdot g_{\text{H}_2}^e$ – еквівалентна частка ВП, заміщеного воднем. Функціональна залежність відносних показників $g_{\text{H}_2}^e$ і g_T^e від показника g_{H_2} може бути подана такими співвідношеннями:

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

$$\begin{aligned}
 g_{H_2}^e &= \frac{G_{H_2}}{G_{B\Pi_0}} = \frac{G_{H_2}}{G_{B\Pi} + a_1 \cdot G_{H_2}} \frac{G_{B\Pi} + G_{H_2}}{G_{B\Pi} + G_{H_2}} = \\
 &= \frac{g_{H_2}}{\frac{G_{B\Pi} + G_{H_2} - G_{H_2}}{G_{B\Pi} + G_{H_2}} + \frac{a_1 \cdot G_{H_2}}{G_{B\Pi} + G_{H_2}}} = \\
 &= \frac{g_{H_2}}{(1 - g_{H_2}) + a_1 \cdot g_{H_2}} = \frac{g_{H_2}}{1 + (a_1 - 1) \cdot g_{H_2}}, \\
 g_{B\Pi}^e &= \frac{G_{B\Pi_0} - G_{B\Pi}}{G_{B\Pi_0}} = \frac{a_1 \cdot G_{H_2}}{G_{B\Pi} + a_1 \cdot G_{H_2}} = \frac{a_1 \cdot g_{H_2}}{1 + (a_1 - 1) \cdot g_{H_2}}.
 \end{aligned}$$

Розрахункові значення показників для ряду ВП наведені на рис. 7.4, 7.5.

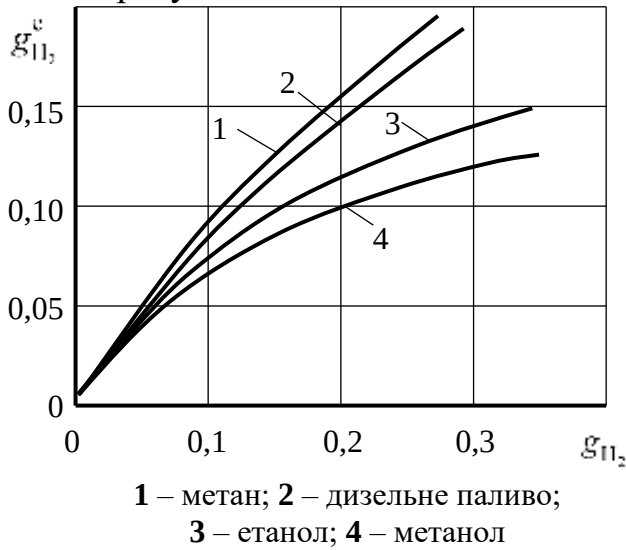


Рис. 7.4. Залежність еквівалента заміщення ВП воднем від частки його добавки

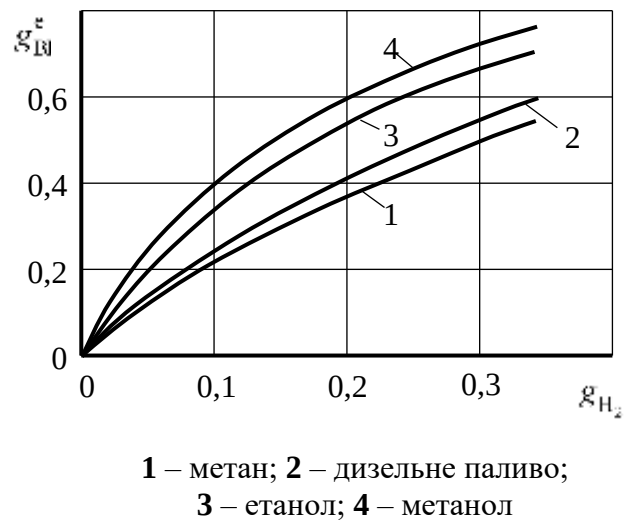


Рис. 7.5. Залежність еквівалентної частки ВП, заміщеного воднем, від частки його добавки

Кількість повітря, теоретично необхідного для повного згоряння 1 кг ВП (стехіометричний коефіцієнт), визначається за формулою:

$$l_{0В\Pi} = \frac{\mu_{\Pi}}{\phi_O} \left(\frac{g_C}{A_C} + \frac{g_{H_{В\Pi}}}{4 \cdot A_H} + \frac{g_O}{2 \cdot A_O} \right) \quad (7.1)$$

де μ_{Π} – молекулярна маса повітря ($\mu_{\Pi} = 28,966$); ϕ_O – масова частка кисню в повітрі ($\phi_O = 0,2095$); g_C , $g_{H_{В\Pi}}$, g_O – масова частка в ВП відповідно вуглецю, водню, кисню; A_C , A_H , A_O – маса атома відповідно вуглецю, водню, кисню.

Стехіометричний коефіцієнт для ВП можна подати залежностями:

$$l_{0\Sigma} = \frac{\mu_{\Pi}}{\varphi_O} \left(\frac{G_{\text{ВП}} \cdot g_C}{A_C} + \frac{G_T \cdot g_{H_{\text{ВП}}} + g_{H_2}}{4 \cdot A_H} + \frac{G_{\text{ВП}} \cdot g_O}{2 \cdot A_O} \right),$$

$$l_{0\Sigma} = l_{0\text{ВП}}(1 - g_{H_2}) + l_{0H_2} \cdot g_{H_2} = \sum_{i=1}^2 l_{0i} \cdot g_i, \quad (7.2)$$

де g_i – масова частка i -го палива в ВВП, $g_i = G_i / \sum_{i=1}^2 G_i$; G_i – масова витрата i -го палива.

У результаті розрахунку за (7.1) отримано такі значення $l_{0\text{ВП}}$: газ – 14,74; бензин – 14,63; дизельне паливо – 14,45; метан – 17,12; метанол – 6,27; етанол – 8,86; водень – 34,25 кг/кг (кілограм повітря на кілограм палива). Із рис. 7.6 видно, що зі збільшенням g_{H_2} істотно зростає показник $l_{0\Sigma}$.

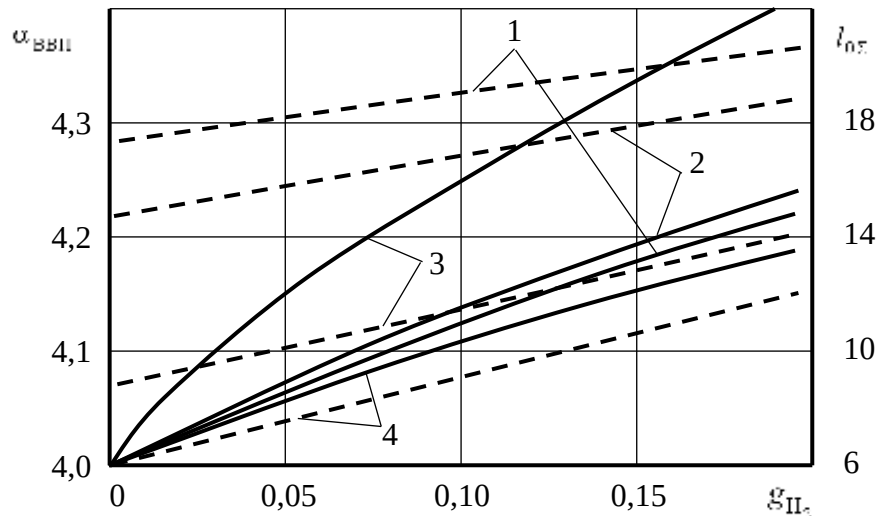


Рис. 7.6. Залежність коефіцієнта надлишку повітря (суцільні криві) і стехіометричного коефіцієнта (штрихові криві)

Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні 1 кг палива являє собою відношення дійсної кількості повітря G_{Π} до теоретично необхідного:

$$\alpha_{\text{ВП}} = \frac{G_{\Pi}}{l_{0\text{ВП}} \cdot G_{\text{ВП}}}. \quad (7.3)$$

Виведення залежності для розрахунку $\alpha_{\text{ВП}}$ при використанні ВП з добавкою водню будемо вести за умови рівності витрати повітря і теплової паливно-повітряної суміші в порівнянні з умовами спалювання тільки ВП, тобто:

$$G_{\text{ВП}_0} \cdot H_{\text{ВП}} = G_{\text{ВП}} \cdot H_{\text{ВП}} + G_{H_2} \cdot H_{H_2}.$$

Тоді витрата ВП при додаванні в камеру згоряння водню:

$$G_{\text{ВП}} = \frac{G_{\text{ВП}_0} \cdot H_{\text{ВП}} - G_{H_2} \cdot H_{H_2}}{H_{\text{ВП}}} = G_{\text{ВП}_0} - a_1 \cdot G_{H_2}. \quad (7.4)$$

Підставивши в (7.3) значення $l_{0\Sigma}$ і $G_{\text{ВП}}$ з (8.2) і (8.4), отримаємо таку залежність:

$$\alpha_{\text{ВВП}} = \frac{G_{\Pi}}{[l_{0\text{ВП}}(1-g_{H_2}) + l_{0H_2} \cdot g_{H_2}](G_{\text{ВП}_0} - a_1 \cdot G_{H_2} + G_{H_2})}. \quad (7.5)$$

Після деяких перетворень і введення коефіцієнта $a_2 = l_{0H_2}/l_{0\text{ВП}}$ остаточно отримуємо

$$\alpha_{\text{ВВП}} = \alpha_T \frac{1 + (a_1 - 1) \cdot g_{H_2}}{1 + (a_2 - 1) \cdot g_{H_2}}.$$

Результати розрахункових залежностей $\alpha_{\text{ВВП}}$ від g_{H_2} для ряду ВВП наведені на рис. 7.6. Видно, що зі збільшенням g_{H_2} незначно зростає і показник $\alpha_{\text{ВВП}}$.

Для аналізу можливостей розширення зони поширення полум'я збіднених паливно-повітряних сумішей при насиченні їх воднем необхідно отримати залежність граничного значення коефіцієнта надлишку повітря цієї гомогенної суміші ($\alpha'_{\text{ВВП}}$) від добавки водню. Згідно з правилом Ле-Шател'є, гомогенна збіднена суміш декількох газоподібних палив з повітрям буде граничною, якщо кожне паливо з відповідною частиною повітря суміші знаходиться в граничному співвідношенні. Для двокомпонентної паливної суміші ВП і водню рівності:

$$G_{\Sigma} = G_{\text{ВП}} + G_{H_2}$$

відповідає співвідношення:

$$G_{\Pi\Sigma} = G_{\Pi\text{ВП}} + G_{\Pi H_2}, \quad (7.6)$$

де $G_{\Pi\Sigma}$, $G_{\Pi\text{ВП}}$, $G_{\Pi H_2}$ – масові витрати повітря на нижній межі поширення полум'я відповідно для ВВП, ВП і водню.

Викладемо обидві частини залежності (8.6) через коефіцієнт надлишку повітря на нижній межі поширення полум'я α'_i і стехіометричний коефіцієнт l_{0i}

$$G_{\Pi\Sigma} \cdot \alpha'_{\text{ВВП}} \cdot l_{0\Sigma} = G_{\text{ВП}} \cdot \alpha'_{\text{ВП}} \cdot l_{0\text{ВП}} + G_{H_2} \cdot \alpha'_{H_2} \cdot l_{0H_2}.$$

Звідси:

$$\begin{aligned} \alpha'_{\text{ВВП}} &= \frac{G_{\text{ВП}} \cdot \alpha'_{\text{ВП}} \cdot l_{0\text{ВП}} + G_{H_2} \cdot \alpha'_{H_2} \cdot l_{0H_2}}{G_{\Sigma} \cdot l_{0\Sigma}} = \\ &= \frac{\alpha'_{\text{ВП}} \cdot l_{0\text{ВП}} (1 - g_{H_2}) + \alpha'_{H_2} \cdot l_{0H_2} \cdot g_{H_2}}{l_{0\Sigma}}. \end{aligned} \quad (7.7)$$

Для зручності розрахунку залежність (7.7) після деяких перетворень з урахуванням співвідношення (7.2) приводимо до виду:

$$\alpha'_{\text{ВВП}} = \alpha'_{H_2} \left[1 + \frac{1}{a_2 \cdot a_3} \left(\frac{1}{g_{H_2}} - 1 \right) \right] / \left[1 + \frac{1}{a_2} \left(\frac{1}{g_{H_2}} - 1 \right) \right],$$

або

$$\alpha'_{\text{ВВП}} = \alpha'_{\text{ВП}} \left[a_2 \cdot a_3 + \left(\frac{1}{g_{H_2}} - 1 \right) \right] / \left[a_2 + \left(\frac{1}{g_{H_2}} - 1 \right) \right],$$

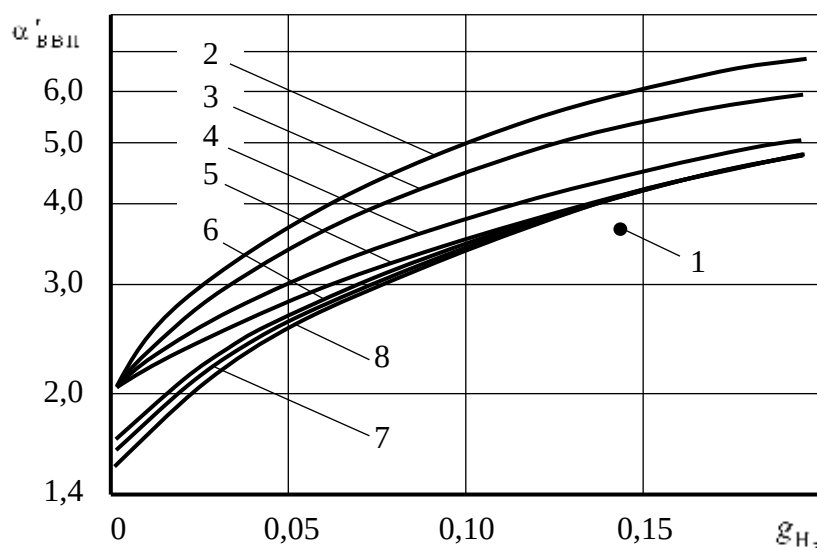
де $a_3 = \alpha'_{H_2} / \alpha'_{\text{ВП}}$.

Граничні значення α'_i для кожного зі складових суміш палив розраховуються за формулою:

$$\alpha'_i = \left(\frac{100}{C_{ni}} - 1 \right) \frac{\mu_{\Pi}}{\mu_i \cdot l_{0i}},$$

де C_{ni} – нижня концентраційна межа одного з палив суміші, % (об.); μ_{Π} , μ_i – молекулярні маси відповідно повітря і ВП або водню.

Отримана в результаті обчислень залежність $\alpha'_{\text{ВВП}} = f(g_{H_2})$ для нижньої концентраційної межі поширення полум'я ряду ВВП представлена на рис. 7.7. Видно, що зі збільшенням g_{H_2} істотно підвищується показник $\alpha'_{\text{ВВП}}$, тобто розширюється зона стійкого спалювання збіднених ВВПС [9].



1 – експериментальна точка для газо-водневого палива; 2 – метанол; 3 – етанол; 4 – бензин;
5 – метан; 6 – газ; 7 – JP-5; 8 – дизельне паливо

Рис. 7.7. Залежність граничного за збідненням коефіцієнта надлишку повітря від частки добавки водню в ВВПС

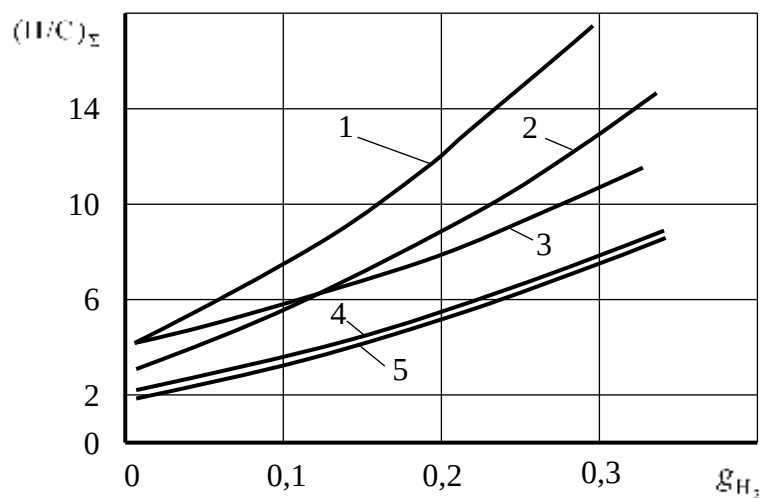
Одним з важливих термохімічних показників є відношення кількості атомів водню і вуглецю (Н/С) у ВВП. При відомому масовому вмісті водню і вуглецю в паливі цей показник визначається залежністю

$$(H/C)_{ВП} = \frac{g_{HВП}}{A_H} \cdot \frac{g_C}{A_C} = \frac{A_C}{A_H} \frac{g_{HВП}}{g_C}. \quad (7.8)$$

Для ВВП вказаний показник може бути розрахований за залежністю

$$\begin{aligned} (H/C)_\Sigma &= \frac{A_C}{A_H} \left(\frac{g_{HВП} \cdot G_{ВП} + G_{H_2}}{g_C \cdot G_{ВП}} \right) = \frac{A_C \cdot g_{HВП}}{A_H \cdot g_C} + \frac{A_C \cdot G_{H_2}}{A_H \cdot g_C \cdot G_{ВП}} = \\ &= (H/C)_{ВП} + \frac{A_C \cdot g_{HВП}}{A_H \cdot g_C} \frac{G_{H_2}}{g_{HВП} \cdot G_{ВП}} = (H/C)_{ВП} \cdot \left[1 + \frac{1}{g_{HВП} (1/g_{H_2} - 1)} \right]. \end{aligned}$$

Таким чином, отримано вираз для безпосереднього визначення $(H/C)_\Sigma$ через масову частку добавки водню. Залежність $(H/C)_\Sigma = f(g_{H_2})$ для ряду ВВП показана на рис. 7.8. Видно, що залежність показника Н/С від добавки водню істотна.



1 – метанол; 2 – етанол; 3 – метан; 4 – газ; 5 – дизельне паливо

Рис. 7.8. Залежність водневого показника ВВПС від частки добавки водню у ВП

Якісним показником ВП і ВВП є масова частка водню. Для ВВП отримана така залежність:

$$g_{H_2} = \frac{G_{ВП} \cdot g_{H_{ВП}} + G_{H_2}}{G_{ВП} + G_{H_2}}.$$

Перетворюючи цей вираз, отримуємо:

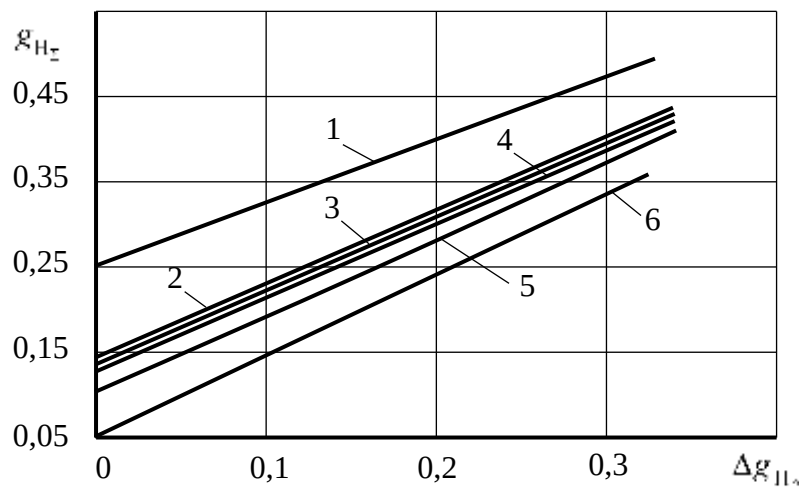
$$g_{H_2} = \frac{G_{ВП} + G_{H_2} - G_{H_2}}{G_{ВП} + G_{H_2}} \cdot g_{H_{ВП}} + g_{H_2} = g_{H_2} + g_{H_{ВП}} (1 - g_{H_2}). \quad (7.9)$$

Вираз (7.9) являє собою залежність масової частки водню у ВВП від добавки водню. При необхідності створення горючої суміші із заданим значенням g_{H_2} необхідна добавка водню до ВП визначається за формулою

$$g_{H_2} = \frac{g_{H_2} - g_{H_{ВП}}}{1 - g_{H_{ВП}}}.$$

На рис. 7.9 показано, що залежність $g_{H_2} = f(g_{H_2})$ для ряду ВВП істотна [8, 9].

Таким чином, для того щоб УВВС, наприклад при використанні ВП з $g_{H_{ВП}} = 0,1$, містила g_{H_2} рівну 0,15, необхідна добавка водню $g_{H_2} \approx 0,05$, тобто $\approx 5\%$ від сумарної витрати палива (ВП + H_2).



1 – метан; 2 – бензин; 3 – дизельне паливо; 4 – метанол; 5, 6 – синтетичні палива з вихідним вмістом водню відповідно 0,10 і 0,05

Рис. 7.9. Залежність масової частки водню у ВВПС від його добавки в ВПТ

7.6. Високоароматизовані нафтові палива з добавками водню

Раніше зазначалося, що характерною особливістю сучасних рідких моторних палив, що отримуються з нафти, а також широкофракційних синтетичних палив, що отримуються з вугілля і сланців, є підвищений вміст АВ при знижених водневих показниках ($g_{H_{ВП}}$, Н/С). Встановлено, що процеси піролізу зазначених палив (особливо палив з вмістом АВ більше 30 %), а також процеси окислення попередників утворення ТЧ і КВ в КЗ теплових двигунів зумовлені високою чутливістю зазначених процесів до зміни вмісту АВ і водню в вихідному паливі. Слід особливо відзначити, що процеси утворення ПАВ (в порівнянні з утворенням ТЧ) більш чутливі до вмісту АВ і водню в паливі. Так, при збільшенні вмісту АВ в дизельному паливі з 32 % до 57 % (при відповідному зниженому водневому показнику) рівні викидів аерозольних часток з ВГ автомобіля збільшуються в 3–4 рази, а рівні БП, як індикатора наявності КВ, – в 5–8 разів. Причому, при низьких рівнях вмісту АВ в рідких паливах ($g_{AB} \leq 30\%$), рівні викидів як ТЧ, так і КВ з ВГ автомобілів відносно низькі. При цьому показник вмісту водню в паливі при $g_{AB} = 30\%$ може бути прийнятий за базово-ефективний $[g_{H_{ВП}}]_{ef.}$. Тому пропонується критерій (2.10), що характеризує зміну рівнів ефективного вмісту водню в рідкому ароматизованому паливі з урахуванням чутливості процесів утворення ПАВ від вмісту АВ при спалюванні палив з $g_{AB} > 30\%$

$$g_{H_{\text{ВП(еф.)}}} = [g_{H_{\text{ВП}}} - (g_{\text{АВ}} - 30)^n], \quad (7.10)$$

де g_i – відповідні частки в %, $n = 0,4 \pm 0,02$.

Одним із шляхів мінімізації рівнів викидів КВ, а також ТЧ, з продуктами спалювання рідких моторних палив з підвищеним вмістом АВ ($g_{\text{АВ}} > 30$ %) є використання водню (або природного газу) в якості додаткового енергоносія. При цьому мінімально необхідна масова частка добавки водню (Δg_{H_2}) по відношенню до вихідного високоароматизованого моторного палива може бути оцінена за рівнянням:

$$\Delta g_{H_2} = \Delta g_{H_{\text{ВП}}} = \{[g_{H_{\text{ВП}}}]_{\text{еф.}} - g_{H_{\text{ВП(еф.)}}}\}/100, \quad (7.11)$$

де Δg_{H_2} , $\Delta g_{H_{\text{ВП}}}$ – відповідно в масових частках.

Відношення атомів водню до атомів вуглецю в вихідному вуглеводневому паливі буде визначатися за (7.8), а в композитному (вуглеводнево-водневому) паливі за такою залежністю:

$$\left(\frac{H}{C}\right)_{\Sigma} = \left(\frac{A_C}{A_H}\right) \cdot \left(\frac{g_{H_{\text{ВП}}} + \Delta g_{H_{\text{ВП}}}}{g_C}\right) = \left(\frac{H}{C}\right)_{\text{ВП}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta g_{H_{\text{ВП}}}}{g_{H_{\text{ВП}}}}\right),$$

де g_i – відповідні масові частки компонентів [10, 11].

Приклад №1.

При використанні широкофракційного рідкого моторного палива з вмістом АВ ($g_{\text{АВ}} = 50$ %) і відповідно водню ($g_{H_{\text{ВП}}} = 12$ %), при обраному базово ефективному вмісті водню $[g_{H_{\text{ВП}}}]_{\text{еф.}} = 13,5$ %, рівень ефективного вмісту водню визначається (7.12) як

$$g_{H_{\text{ВП(еф.)}}} = [12 - (50 - 30)^{0,4}] = 12 - 3,3 = 8,7 \%,$$

або

$$g_{H_{\text{ВП(еф.)}}} = 0,087 \text{ (в масових частках).}$$

Тоді (згідно 7.11) $g_{H_2}^e = 13,5 - 8,7 = 4,8$ % або $g_{H_2}^e = 0,048$ (в масових частках).

При цьому відношення атомів водню до атомів вуглецю в вихідному вуглеводневому паливі відповідає

$$(H/C)_{\text{ВП}} = (A_C/A_H) \cdot (g_{H_{\text{ВП}}}/g_C) = 12 \cdot 12/88 = 1,64,$$

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

а вказане відношення для композитного палива буде визначатися за відповідною залежністю:

$$(H/C)_\Sigma = 1,64 \cdot [1 + (0,048/0,12)] \cong 2,3.$$

На рис. 7.10 наведена розрахункова номограма взаємозв'язків між водневими показниками ($g_{H_{ВП}}$) вихідних широкофракційних палив з $g_{AB} \geq 30\%$ і необхідними добавками водню ($g_{H_2}^e$) до базово-ефективних рівнів $[g_{H_{ВП}}]_{\text{еф.}}$ в композитних вуглеводнево-водневих паливах з метою мінімізації рівнів викидів КВ і ТЧ з продуктами їх спалювання.

Якщо використовувати метан в якості добавки до широкофракційних моторних палив з $g_{AB} > 30\%$, то:

$$g_{CH_4}^e = \Delta g_{CH_4} = 4 \cdot \{[g_{H_{ВП}}]_{\text{еф.}} - g_{H_{ВП}(\text{еф.})}\}/100. \quad (7.12)$$

Відношення атомів водню до атомів вуглецю у вихідному вуглеводневому паливі буде визначатися за (8.8), а в композитному (вуглеводнево-метановому) паливі за такою залежністю:

$$(H/C)_\Sigma = (A_C/A_H) \cdot [(g_{H_{ВП}} + 0,25 \cdot g_{CH_4}^e)/(g_{C_{ВП}} + 0,75 \cdot g_{CH_4}^e)], \quad (7.13)$$

де g_i – відповідні масові частки компонентів.

Приклад № 2.

Відповідно до даних (приклад № 1) необхідна масова частка добавки метану відповідно до (7.12) складе:

$$g_{CH_4}^e = 4 \cdot g_{H_2}^e = 4 \cdot 0,048 = 0,192 \text{ (в мас. частках).}$$

При цьому відношення атомів водню до атомів вуглецю в композитному (вуглеводнево-метановому) паливі відповідно до (7.13) складе:

$$(H/C)_\Sigma = 12 \cdot (0,168/1,024) \cong 1,97.$$

Таким чином, при використанні метану в якості додаткового енергоносія до високоароматизованого палива з $g_{AB} > 30\%$ і забезпеченні частки водню в композитному паливі на рівні $[g_{H_{ВП}}]_{\text{еф.}}$, показник палива (H/C) зростає менш істотно, ніж при відповідних добавках водню.

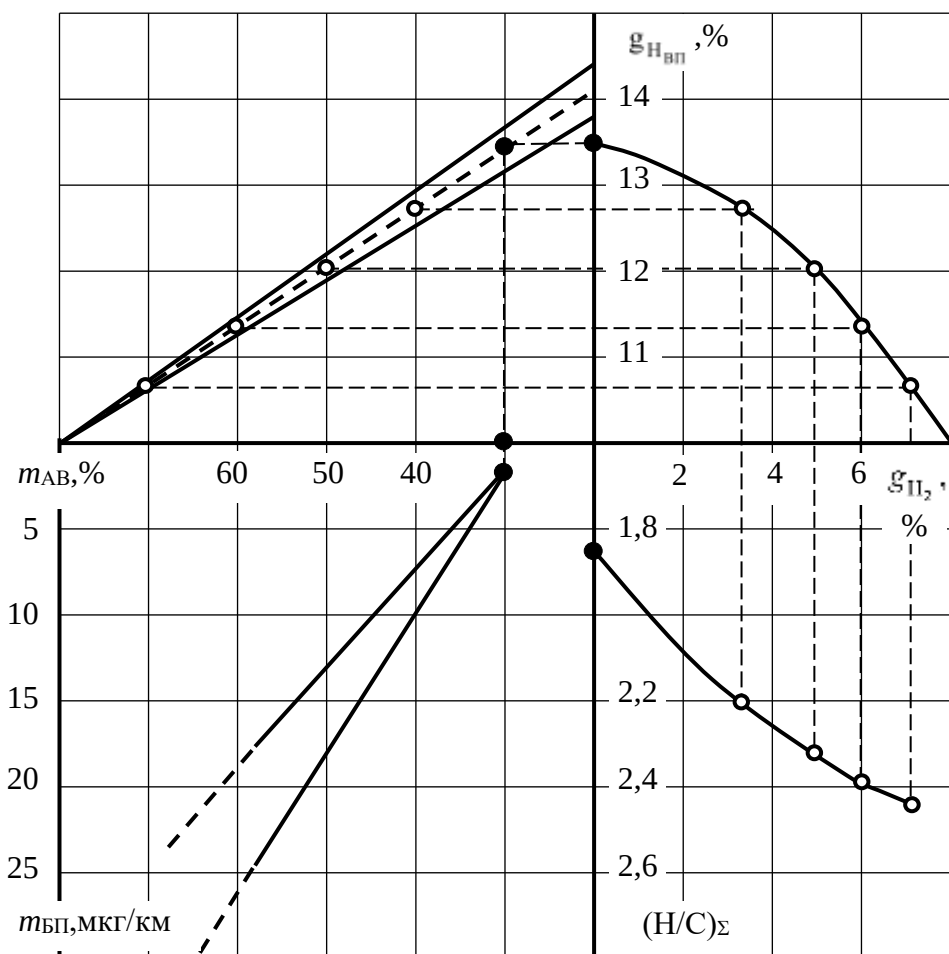


Рис. 7.10. Зміна водневих показників композитних палив від вмісту АВ у вихідних паливах і рівнів добавки водню

7.7 Висновки

У дослідження були проаналізовані перспективи та технічні особливості використання альтернативних моторних палив як фактору забезпечення кліматичної нейтральності розвитку автотранспортного сектору. Серед досліджених аспектів даного питання досліджено:

- особливості та перспективи застосування природного газу у якості моторного палива;
- екологічні та кліматичні аспекти застосування спиртових і бензоспиртових палив;
- екологічні ризики та перспективи використання водню і бензоводневих палив на транспорті;

- вивчено енергетичний потенціал та екологічна ефективність використання бензоводневих палив;
- досліджено екологічні, операційні та кліматичні перспективи використання високоароматизованих нафтових палив з добавками водню.

На основі розрахунків встановлено, що при використанні метану в якості додаткового енергоносія до високоароматизованого палива і забезпеченні частки водню в композитному паливі на відповідному рівні, показник палива (Н/С) зростає менш істотно, ніж при відповідних добавках водню, що свідчить про доцільність його використання для підвищення екологічних та енергетичних показників моторних палив.

Посилання

1. Моторні палива: властивості та якість [текст] підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимир Лейда; за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 324 с.
2. Моторні палива з альтернативної сировини / М.М. Братичак. – Львів : Вид-во «Львівська політехніка», 2017. – 144 с.
3. Глобальні енерго-еколого-кліматичні проблеми та невідкладність їх вирішення: підручник / П.М. Каніло, А.М. Туренко, А.В. Гриценко, Н.В. Внукова. – Харків : ХНАДУ, 2020. – 388 с.
4. Ільєнко, Б. (2015, 27 березня). *Альтернативні моторні палива: екологічно перспективні, економічно конкурентні*. Зеркало недели | Дзеркало тижня | Mirror Weekly. https://zn.ua/ukr/energy_market/alternativni-motorni-paliva-ekologichno-perspektivni-ekonomichno-konkurentni-.html
5. *Gasoline and the environment* - U.S. Energy Information Administration (EIA). (б. д.). Homepage – U.S. Energy Information Administration (EIA). <https://www.eia.gov/energyexplained/gasoline/gasoline-and-the-environment.php>
6. Muxitdinov Akmal, & Numanov Muxammadalishohruhbek (2021). ANALYSIS OF THE ECOLOGICAL CLASS OF FUELS USED IN CARS. *Universum: технические науки*, (5-6 (86)), 66-67.
7. Sibilieva, O., Shkilniuk, I., & Dokshyna, D. (2023). STATE MARKET SUPERVISION OF THE QUALITY OF MOTOR FUELS, PROBLEMS AND WAYS TO SOLVE THEM. *POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology*, (1). <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2023.276187>

8. Huang, Y., Unger, N., Harper, K., & Heyes, C. (2020). Global Climate and Human Health Effects of the Gasoline and Diesel Vehicle Fleets. *GeoHealth*, 4(3). <https://doi.org/10.1029/2019gh000240>
9. Vnukova, N. V., Zhelnovach, G. M., & Kozlovskyi, O. V. (2020). “Green” principles of sustainable development of road and transport infrastructure of the cities of Ukraine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 907, 012068. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012068>
10. Pozdnyakova, O., & Vnykova, N. (2017). The worn tyres pyrolysis’ solid products opportunity application as fuel substitute assessment. *Environmental Problems*, 4 (2), 2017, 2(4), 199-204.
11. Zhelnovach, G., & Vnukova, N. (2022). System approach to implementation of the procedure of a strategic environmental assessment of the regional motor transportation complex development. *Environmental safety and natural resources*, 41(1), 56–68. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.56-68>

РОЗДІЛ 8

ТЕХНОЛОГІЇ ПОМ'ЯКШЕННЯ ЗМІНИ КЛІМАТУ: ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ФІЛЬТРАТУ ЗВАЛИЩ

*Мирослав Мальований, Володимир Жук, Іван Тимчук, Наталія Вронська, Віра Слюсар, Анастасія Мараховська, Андрій Середа
(Національний університет «Львівська політехніка», Україна)*

8.1. Вступ

Полігони твердих побутових відходів (ТПВ) є великими джерелами хімічного та біологічного забруднення навколишнього середовища (Дегтяр та ін., 2019; Гринчишин та ін., 2019). Звалища ТПВ особливо небезпечні з точки зору впливу на поверхневі водойми та підземні води в зоні впливу цих екологічно небезпечних об'єктів (Самойлик та ін., 2017; Варвенкова та ін., 2020). За експертними оцінками, понад 99 % українських полігонів ТПВ не відповідають європейським вимогам, а обсяги побутових відходів мають тенденцію до зростання (Національна стратегія, 2017).

Найбільш шкідливим фактором впливу полігонів і звалищ на навколишнє середовище є фільтрат. Фільтрат активно утворюється в тілі полігону при вологості розміщених ТПВ більше 55 %, а також за рахунок опадів, що перевищують випаровування з поверхні полігону (Полігони твердих побутових відходів, 2005). Фільтрати звалищ – це висококонцентровані водні розчини різних токсичних органічних і неорганічних речовин (Мельник та ін., 2014, Попович та ін., 2020, Тенг та ін., 2021). За відсутності суворого контролю за забрудненням гідросфери (Юрченко та ін., 2017; Тулайдан та ін., 2017) та через проблеми з моніторингом цього забруднення (Одноріг та ін., 2020) розробка ефективних методів запобігання забрудненню поверхневих вод і водоносних горизонтів фільтратами є особливо важливим.

Найпоширенішими технологіями очищення фільтрату є біологічні анаеробні та аеробні методи та мембранні процеси, що продовжуються завершальною стадією вторинної очистки на міських очисних спорудах (Дерелі та ін., 2020; Мальований та ін., 2018) або штучних водно-болотних угіддях. (Попович та ін., 2020; Мальований та ін., 2021). Мембранна обробка, включаючи найпоширеніший зворотний осмос, є енергозатратною, а впровадження цих процесів потребує значних капітальних та експлуатаційних витрат (Душкін та ін., 2011). Також доцільно використовувати різні системи енергозбереження (Щур та ін., 2021). Анаеробне біологічне очищення фільтрату (Mojiri et al., 2021; Zamri et al., 2017) може бути економічним за

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

рахунок отримання біогазу, відновлюваного джерела енергії (Войтович та ін., 2020). Однак її впровадження в промислових масштабах вимагає суворого дотримання параметрів процесу, а оскільки склад фільтрату може сильно змінюватися з часом, ця технологія є складною для впровадження.

Аеробні методи очищення біологічного фільтрату мають низку переваг порівняно з анаеробними методами: гнучкість використання, зручність виведення на сталий режим обслуговування, швидка адаптація до змінюваного складу фільтрату та швидкості потоку (Miao et al., 2019; Wang et al. ін., 2018). Аеробні реактори набагато простіші за конструкцією і дешевші, ніж анаеробні, їх можна автоматизувати та керувати набагато легше. Цікаво відзначити дослідження очищення фільтрату зі сміттєзвалища Пулау Бурунг (PBLS), розташованого в лісовому заповіднику Байрам, Малайзія (Zamri et al., 2017). Дослідники вибрали це місце, оскільки воно є напівааеробним з рециркулюючим фільтратом. PBLS працює більше 20 років, і отриманий фільтрат є зрілим, з високим ХСК і концентрацією амонійного азоту та низьким співвідношенням БСК₅/ХСК. Однак використання адсорбуючого матеріалу, в даному випадку іонообмінної смоли, як другого етапу після аерації вимагає розробки методів його переробки або утилізації, що передбачає додаткові витрати.

Ефективним способом підвищення ефекту біологічного очищення фільтрату звалищ є використання секвенуючих реакторів періодичної дії SBR (Jagaba et al., 2021; Tałaj et al., 2021), SBR з носіями (Koc-Jurczyk and Jurczyk, 2020), мікроаерація (Wei та ін., 2021) тощо. Комбінація аеробних та анаеробних методів очищення фільтрату є перспективним та ефективним (Fatma та ін., 2016; Hongwei Sun та ін., 2015). Однак обробка фільтрату з полігонів ТПВ у такий скоординований спосіб є енергоємною та дорожчою, ніж аеробна очистка. Цікавим є лікування вищими рослинами методом аерації (Xinyi Chen et al., 2022). Однак цей метод більше підходить для очищення побутових стічних вод, оскільки має більш передбачуваний хімічний склад.

Основним недоліком аеробних та анаеробних біологічних методів очищення фільтрату полігонів ТПВ є необхідність додаткових ступенів для більш глибокої очистки, щоб відповідати вимогам до скиду у відкриті водойми (Lebron et al., 2021; Мальований та ін., 2018). Найпоширенішим рішенням є використання комбінованих багатоступеневих методів очищення, де біологічні методи поєднуються зі зворотним осмосом (Yang et al., 2022), обробкою сильними окислювачами, включаючи озонування (Янг та ін., 2022)), Фентон процес (El Mrabet et al., 2020), після чого відбувається осадження, посилене коагуляцією та флокуляцією (De et al., 2019; Мальований та ін., 2018). Окислення та сорбція особливо необхідні та ефективні для очищення зрілого фільтрату та для видалення іонів важких металів (Taghavi et al., 2021).

Аеровані лагуни є простим, економічним та ефективним методом аеробної біологічної очистки фільтрату звалищ від органічних забруднень та амонійного азоту (Broughton and Tracer, 2022; Мальований та ін., 2018).

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Типовим прикладом тривалого очищення зрілого фільтрату в аерованих лагунах є сміттєзвалище Bell House (Англія), яке було введено в експлуатацію в 1995 році. У публікації (Mehmood et al., 2009) представлені параметри моніторингу на цій станції з травня 1999 року до грудня 2000 р. Фільтрат очищався в 4 аерованих лагунах, з'єднаних послідовно. На вході заводу ХСК фільтрату коливався в діапазоні 800-3400 мг/л протягом періоду аналізу, а середнє значення ХСК становило 1740 мг/л. На виході з першої лагуни середнє значення ХСК становило 620 мг/л, після другої – 510 мг/л, після третьої – 492 мг/л і після четвертої – 426 мг/л. Ступінь очищення ХСК у відсотках від вхідної величини дорівнював: після першої лагуни – 64,4 %, після другої – 70,7 %, після третьої – 71,7 % і на виході з установки – 75,5 %. У фільтраті звалища Bell House середня концентрація амонійного азоту протягом досліджуваного періоду становила 965,2 мг/л. Ступінь очищення амонійним азотом після першої лагуни становив 80,8 %, після другої – 97,4 %, після третьої – 99,6 %, після четвертої – 99,0 %. Найбільш ефективний процес очищення фільтрату відбувався в першій лауні. Оскільки об'єм першої лагуни становив 80 м³, а середнє значення гідравлічного часу утримування становило 7,3 дня, досягнуті ефекти очищення фільтрату ХСК (64,4 %) за амонійним азотом (80,8 %) досить високі при відносно невеликому об'ємі лагуни і низькі експлуатаційні витрати.

Технологію біологічної аеробної очистки фільтрату звалищ ТПВ в лабораторних умовах, моделюючи процес в аерованій лауні, вивчали Мальований та ін. (2018). Інформація про його успішне застосування прогнозує перспективи його використання в якості етапу попереднього очищення в комплексній технології очищення фільтрату на Грибовицькому полігоні ТПВ (Львівська область, Україна). Після попереднього очищення фільтрат був розбавлений міськими стічними водами та відправлений на остаточну очистку на очисні споруди.

8.2. Методологія

Фільтрат Грибовичського звалища ТПВ був використаний у цьому дослідженні як перевірений фільтрат. Грибовицький полігон ТПВ загальною площею близько 38 га розташований у західній частині України, за 2 км на північ від м. Львів (49,90N; 24,04E). З 1958 по 2016 рік він був основним полігоном ТПВ міста Львова, а зараз перебуває на стадії технічної рекультивації. Основні параметри необробленого фільтрату Грибовичського полігону ТПВ представлені в табл. 8.1.

Так, у фільтраті Грибовичського полігону ТПВ виявлено значно перевищені концентрації забруднюючих речовин. Дослідження біологічного очищення фільтрату в умовах аерації було спрямоване на визначення ефектів очищення за БСК₅, ХСК і ТКН як ключових індикаторів забруднювачів.

Таблиця 8.1.

Середній хімічний склад фільтрату Грибовичського полігону ТПВ

Індикатори забруднення	Од. вимірювання	Значення	ГДК*
Азот амонійний	мг/л	548,1	2
Загальний азот К'ельдаля (TKN)	мг/л	889,3	10
БСК ₅	мг/л	192,0	15
COD	мг/л	5082	80
Завислі тверді речовини (SS)	мг/л	3011	—
Залізо	мг/л	10,7	0,3
Кадмій	мг/л	0,005	0,001
Кобальт	мг/л	0,028	0,1
Марганець	мг/л	0,015	0,1
Нікель	мг/л	0,09	0,1
Весті	мг/л	0,12	0,03
Стронцій	мг/л	0,022	7
Загальна кількість розчинених твердих речовин (TDS)	мг/л	15245	—
Хлориди	мг/л	3900	350

*ГДК – гранично порогове значення виходу у відкриті водойми України

Дослідна установка аерації. Біологічну аеробну очистку фільтрату Грибовичського полігону ТПВ вивчали на пілотній очисній установці потужністю 400 л/добу. Аерацію проводили в біореакторі діаметром $D = 1,6$ м і загальною глибиною $H = 1,8$ м, обладнаному струменевим насосом-аератором ($P = 2,2$ кВт), як показано на рис. 8.1.

Під час досліджень було визначено оптимальні параметри аерації (термін та інтенсивність). Попередні лабораторні дослідження показали, що оптимальна тривалість нестационарного періоду для початку процесу аеробного біологічного очищення становить 7-15 днів (Мальований та ін., 2018). Пілотні дослідження підтвердили ці цифри. Мікробіоценоз поступово самоінокулювався в біореакторі в процесі аерації (Dos Santos et al., 2022; Мальований та ін., 2018), що призвело до поступового біологічного очищення фільтрату.

Використовувався процес періодичної аерації з 12 годинами аерації на день. Кожні 24 години відбирали контрольні проби фільтрату для лабораторного дослідження. Стандартні методи дослідження води та стічних вод (Standard Methods, 2017) використовувалися для аналізу ключових показників забруднюючих речовин, а саме БСК₅, БСК_{заг.}, ХСК, TKN, SS та pH.



Рис. 8.1. Аерація фільтрату в резервуарі пілотного біореактора

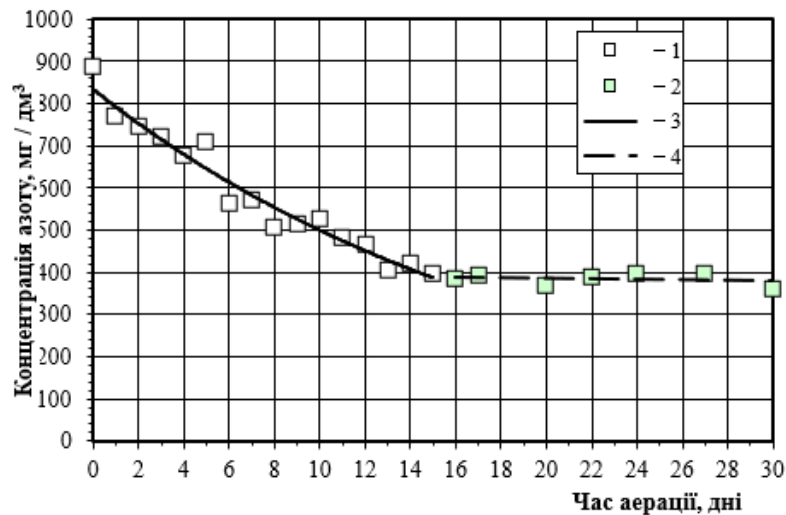
8.3. Результати та обговорення

Експериментально отримано залежності основних показників забруднення протягом 30-денного процесу періодичної аерації. Перші 15 днів очисна установка працювала в режимі реактора періодичної дії, обробляючи той самий початковий об'єм сирого фільтрату. Ще 15 днів очисна установка працювала в безперервному режимі реактора, і 400 л аеробно попередньо обробленого фільтрату перекачували один раз на день на наступну стадію очищення, і, отже, такий же об'єм сирого фільтрату додавався в бак біореактора.

Експериментальна залежність ТKN від тривалості біохімічної аеробної очистки фільтрату представлена на рис.8 2. За нестационарний період аеробної очистки фільтрату концентрація ТKN знизилася з 889,3 мг/л до 397,2 мг/л, тобто, у 2,24 рази, що відповідає ефекту лікування 55,3 %. Було очевидно, що зміни в обох формах азоту відбуваються за схожим механізмом. Результати, отримані в цьому нестационарному періоді, можна апроксимувати простою експоненціальною залежністю, що відповідає реакції першого порядку:

$$C_N = 833,5 e^{-0.051 t} \quad (8.1)$$

де C_N – концентрація ТKN у мг/л; t час у днях; коефіцієнт детермінації залежності (1) $R^2 = 0,959$.



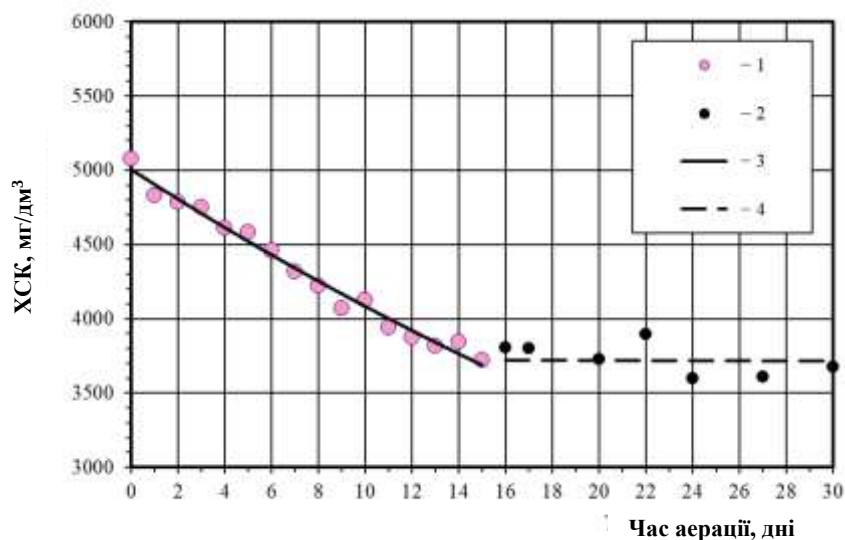
1 – нестационарний період; 2 – стаціонарний період;
3 – лінія тренду (1); 4 – середнє значення 385 мг/л

Рис. 8.2. Вміст загального азоту К'ельдаля в фільтраті Грибовичів під час його аерації на пілотній очисній установці

Залежність ХСК фільтрату від тривалості його аеробно-біохімічного очищення на пілотній очисній установці (рис. 8.3) показує, що в перші 15 діб нестационарного періоду величина ХСК знизилася приблизно на 27 %, що є досить характерним для середньо- та зрілих фільтратів. Для нестационарного періоду наближене рівняння має вигляд:

$$C_{ХСК} = 5007 e^{-0,0204 t} \quad (8/2)$$

де $C_{ХСК}$ – значення ХСК, мг/л (рис. 8/3), а коефіцієнт $R^2 = 0,9829$.

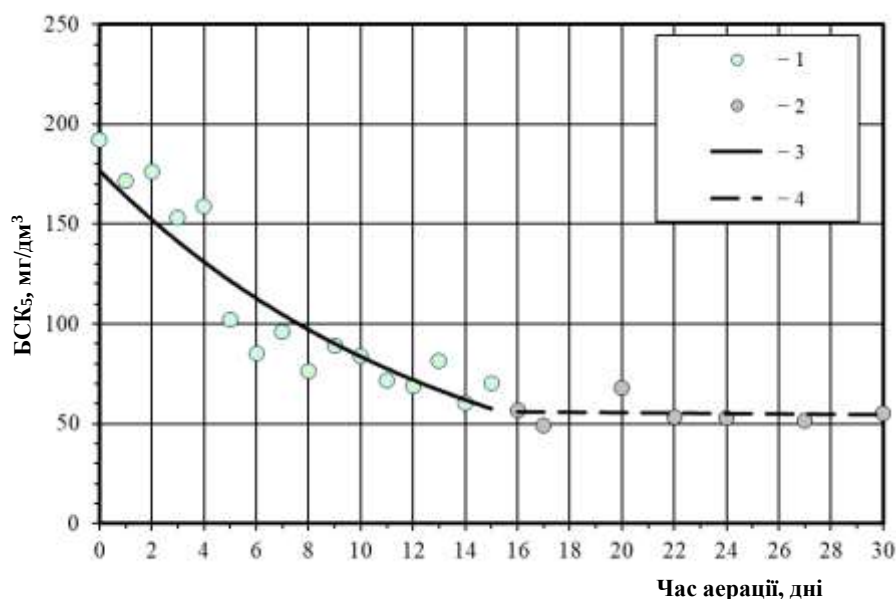


1 – нестационарний період; 2 – стаціонарний період;
3 – лінія тренду (2); 4 – середнє значення 3732 мг/л

Рис. 8.3. Зміна ХСК Грибовичького фільтрату в процесі аерації на пілотній очисній установці

БСК₅ фільтрату за 15 діб нестационарного періоду знизився на 63,3 % (рис. 8.4), що набагато вище, якщо порівнювати ефект очищення за ХСК, і отримано експоненціальне наближення з $R^2 = 0,849$:

$$C_{БСК5} = 176,9 e^{-0,075 t} \quad (8.3)$$



1 – нестационарний період; 2 – стаціонарний період;
3 – лінія тренду (3); 4 – середнє значення 57,3 мг/л

Рис. 8.4. Зміна БСК₅ фільтрату Грибовичі в процесі аерації на пілотній очисній установці

Подібні результати були отримані для БСК_{пов} (рис. 8.5):

$$C_{БСКпов} = 586 e^{-0,076 t} \quad (8.4)$$

де СБСК_{пов} – значення БСК_{пов}, мг/л; $R^2 = 0,9487$.

Загальний ефект очищення фільтрату за БСК дорівнював 63,3 %. Слід відзначити високе значення коефіцієнта $БСК_{пов} / БСК_5 = 3,57$ при виході на штатний усталений режим роботи аеробно-біологічного очищення.

Отримано чіткі тенденції відносно швидкого підвищення значення рН на початку аерації та повільного асимптотичного підвищення до 12-15 днів аерації (рис. 6). Зміна рН, ймовірно, зумовлена природою біохімічних процесів окислення фільтрату аеробним мікробіоценозом, і для перших 12 діб аерації виходить рівняння експоненціальної асоціації ($R^2 = 0,971$):

$$pH = 0,623 (15.64 - e^{-0,536 t}). \quad (8.5)$$

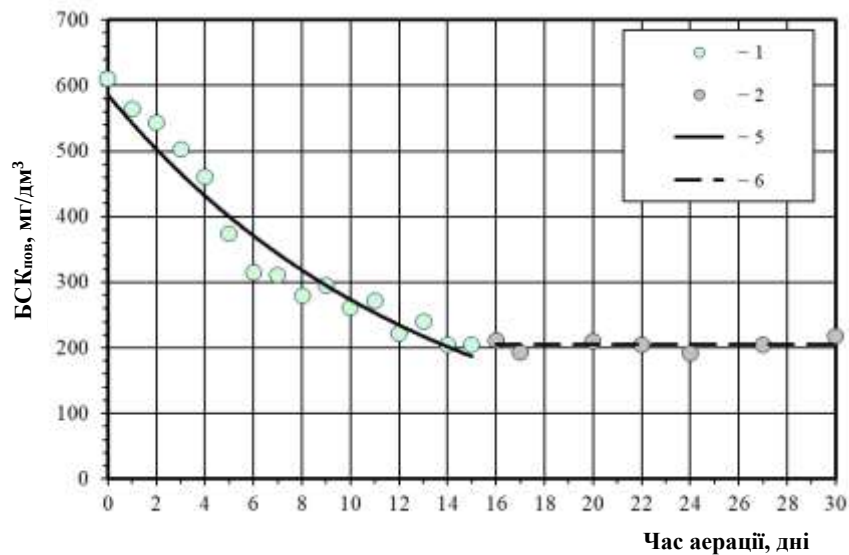


Рис. 8.5. Зміна БПК_{пов} Грибовичського фільтрату в процесі аерації на пілотній очисній установці

Після 12 днів аерації рН фільтрату стабілізувався на середньому значенні 9,74 з невеликими ($\pm 0,05$) коливаннями в обидва боки (рис. 8.6).

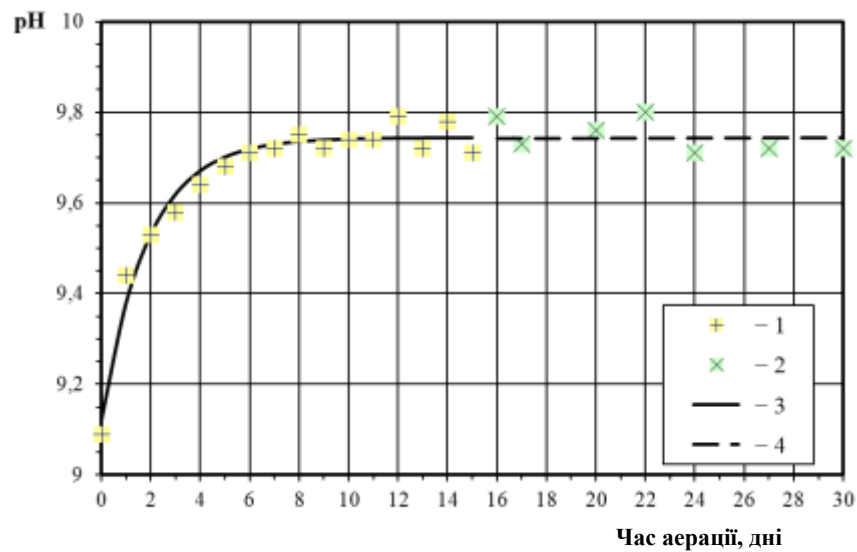


Рис. 8.6. Зміна рН фільтрату Грибовичі в процесі аерації на пілотній очисній установці

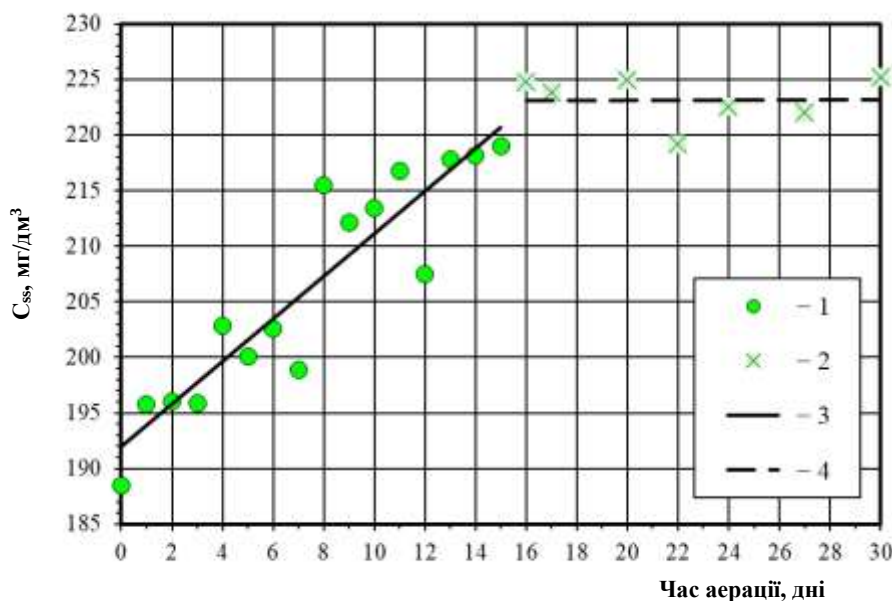
На етапі біохімічного очищення фільтрату спостерігалось монотонне, незначне в часі збільшення вмісту завислих і спливаючих речовин (рис. 8.7).

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Це можна пояснити поступовим збільшенням біомаси мікробіоценозу, який бере участь у біохімічному очищенні фільтрату від домішок. Для апроксимації експериментальних результатів можна використовувати простий лінійний тренд:

$$C_{SS} = 192 + 1,91 t, \quad (8.6)$$

де C_{SS} – вміст завислих речовин, мг/л; $R^2 = 0,8448$.



1 – нестационарний період; 2 – стаціонарний період;
3 – лінія тренду (6); 4 – середні значення – 223 мг/л

Рис. 8.7. Зміна C_{SS} фільтрату Грибовичів під час процесу аерації на пілотній очисній установці

8.4. Висновки

Результати систематичних пілотних досліджень ефективності очищення фільтрату Грибовичського полігону ТПВ (Україна) на етапі аеробного біологічного очищення підтвердили ефективність розробленої технології очищення таких видів сильнозабруднених стічних вод.

На основі аналізу пілотних результатів отримано оптимальні параметри аеробної біологічної очистки фільтратів типових українських полігонів ТПВ. Найефективнішою є періодична аерація фільтрату за допомогою аераторів струменевого типу з 12-годинною аерацією на добу. Початковий нестационарний період у пакетному режимі повинен тривати близько 15 днів для досягнення достатньо високих ефектів очищення на базові показники

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

забруднення.

Аеробне біологічне очищення фільтрату звалищ ТПВ за розробленим методом дозволяє досягти значних ефектів очищення, а саме 55,3 % за загальним азотом К'ельдаля, 27 % за ХПК та 63,3 % за БПК. Часові залежності ТKN, ХПК, БПК₅ і БПК_{пов} з достатньо високою точністю можна описати простими експоненціальними залежностями відповідно (8.1)–(8.4), які відповідають умовам протікання реакцій першого порядку.

Отримано часові залежності рН та завислих речовин у процесі аераційної обробки фільтрату. Особливості зміни цих параметрів при нестаціонарній стадії очисного процесу пояснюються самоінокуляцією мікробіоценозу активного мулу, який забезпечує біологічне очищення фільтрату.

Фільтрат із звалищ, попередньо оброблений аеробними методами на пілотній очисній установці, може бути скинутий для остаточної обробки на біоплато або на очисні споруди.

Посилання

1. Broughton A, Shilton A. Tracer studies on an aerated lagoon. *Water Science Technology* 2012; 65(4):611-617.
2. De S, Hazra T, Dutta A. Sustainable treatment of municipal landfill leachate by combined association of air stripping, Fenton oxidation, and enhanced coagulation. *Environmental Monitoring and Assessment* 2019;191(2):1-14.
3. Degtyar M, Galkina H. Research of main factors affecting the efficiency leachate treatment. *Scientific notes of Tavriya National University named after V.I. Vernadsky, Series: Technical Sciences, Chemical technology* 2019;30:69(5, Part 2), 62-68.
4. Dereli RK, Giberti M, Liu Q, Flynn D, Casey E. Benchmarking leachate co-treatment strategies in municipal wastewater treatment plants under dynamic conditions and energy prices. *Journal of Environmental Management* 2020;260:110129.
5. Dos Santos VH, de Medeiros Engelmann P, Marconatto L, dos Anjos Borge LG, de Lara Palhano P, Augustin AH, ... & Giongo A. Exploratory analysis of the microbial community profile of the municipal solid waste leachate treatment system: A case study. *Waste Management* 2022;141:125-135.
6. Dushkyn S, Kovalenko A, Dehtyar M, Shevchenko T. *Resursosberegayushchye tekhnolohyy ochystky stochnkh vod*. Kharkiv 2011 (in Russian).
7. El Mrabet I, Benzina M, Valdés H, Zaitan H. Treatment of landfill leachates from Fez city (Morocco) using a sequence of aerobic and Fenton processes. *Scientific African* 2020;8:e00434.
8. Fatma A. El-Gohary, Kamel G. Characterization and biological treatment of pre-treated landfill leachate. *Ecological Engineering* 2016;94:268-274.

9. Grynychyshyn N. Properties of the filtrate formed after termination of the operation of the landfill. Bulletin of Lviv State University of Life Safety 2019;19:122-127.

10. Household Solid Waste Landfills. Basic Design Points. DBN V.2.4-2-2005 (in Ukrainian).

11. Hongwei Sun, Yongzhen Peng, Xiaoning Shi Advanced treatment of landfill leachate using anaerobic–aerobic process: Organic removal by simultaneous denitrification and methanogenesis and nitrogen removal via nitrite. Bioresource Technology 2015;177:337-345.

12. Imran Ahmad, Norhayati Abdullah, Shreeshivadasan Chelliapan, Ali Yuzir, Iwamoto Koji, Anas Al-Dailami, Thilagavathi Arumugham. Effectiveness of Anaerobic Technologies in the Treatment of Landfill Leachate. Strategies of Sustainable Solid Waste Management 2020; the edited volume:1-21. (потрібно дати прізвища та ініціали, а не імена повністю)

13. Iurchenko V, Lebedeva E, Brigada E. Environmental Safety of the Sewage Disposal by the Sewerage Pipelines. Procedia Engineering 2016;134:181-186.

14. Jagaba AH, Kutty SRM, Lawal IM, Abubakar S, Hassan I, Zubairu I, ... Noor A. Sequencing batch reactor technology for landfill leachate treatment: A state-of-the-art review. Journal of Environmental Management 2021;282:111946.

15. Koc-Jurczyk J, Jurczyk Ł. The characteristics of organic compounds in landfill leachate biologically treated under different technological conditions. Journal of Ecological Engineering 2020;21(3):104-111.

16. Lebron YA, Moreira VR, Brasil YL, Silva AF, de Souza Santos LV, Lange LC, Amaral MC. A survey on experiences in leachate treatment: common practices, differences worldwide and future perspectives. Journal of Environmental Management 2021;288:112475.

17. Malovanyy M, Zhuk V, Sliusar V, Sereda A. Two stage treatment of solid waste leachates in aerated lagoons and at municipal wastewater treatment plants. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2018;1(10):23-30.

18. Malovanyy M, Moroz O, Popovich V, Kopiy M, Tymchuk I, Sereda A, Krusir G, Soloviy Ch. The perspective of using the «open biological conveyor» method for purifying landfill filtrates. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management 2021;16, 100611.

19. Mehmood M, Adetutu E, Nedwell D, Ball AS. In situ microbial treatment of landfill leachate using aerated lagoons. Bioresource Technology 2009;100(10):2741-2744.

20. Melnyk A, Kuklinska K, Wolska L, Namiesnik J. Chemical pollution and toxicity of water samples from stream receiving leachate from controlled municipal solid waste (MSW) landfill. Environmental Research 2014;135:253-261.

21. Miao L, Yang G, Tao T, Peng Y. Recent advances in nitrogen removal from landfill leachate using biological treatments – A review. Journal of Environmental Management 2019;235:178-185.

22. Mojiri A, Zhou J, Ratnaweera H, Ohashi A, Ozaki N, Kindaichi T, Asakura

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

H. Treatment of landfill leachate with different techniques: an overview. *Water Reuse* 2021;11(1):66-96.

23. National Strategy for Waste Management in Ukraine until 2030. 2017. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (in Ukrainian).

24. Odnorih Z, Manko R, Malovanyy M, Soloviy K. Results of surface water quality monitoring of the western bug river Basin in Lviv Region. *Journal of Ecological Engineering* 2020;21(3): 18-26.

25. Popovych V, Telak J, Telak O, Malovanyy M, Yakovchuk R, Popovych N. Migration of Hazardous Components of Municipal Landfill Leachates into the Environment. *Journal of Ecological Engineering* 2020;21(1):52-62.

26. Samoilyk M, Molchanova A. Ecological aspects of influence of solid domestic wastes on the environment. *Filtrate. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy* 2017; 1-2:88-91.

27. Shchur I, Lis M, Biletskyi Y. Passivity-based control of water pumping system using BLDC motor drive fed by solar PV array with battery storage system. *Energies* 2021;14(23):67-84.

28. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. AWWA, WEF and APHA, 23rd ed.; 2017.

29. Taghavi K, Naghipour D, Ashrafi SD, Salehi M. The removal of heavy metals from the leachate of aged landfill: The application of the Fenton process and nanosilica absorbent. *Environment and Natural Resources Journal* 2021;19(6):427-434.

30. Tałałaj IA, Bartkowska I, Biedka P. Treatment of young and stabilized landfill leachate by integrated sequencing batch reactor (SBR) and reverse osmosis (RO) process. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 2021;16:100502.

31. Teng C, Zhou K, Peng C, Chen W. Characterization and treatment of landfill leachate: A review. *Water Research* 2021;203:117525.

32. Tulaydan Y, Malovanyy M, Kochubei V, Sakalova H. Treatment of high-strength wastewater from ammonium and phosphate ions with the obtaining of struvite. *Chemistry & Chemical Technology* 2017;11(4):463-468.

33. Vaverková M, Elbl J, Koda Eu, Adamcová D, Bilgin A, Lukas V, Podlasek A, Kintl A, Wdowska M, Brtnický M, Zloch J. Chemical composition and hazardous effects of leachate from the active municipal solid waste landfill surrounded by farmlands. *Sustainable Chemical Engineering and Technology, Sustainability* 2020;12(11):4531-4551.

34. Voytovych I, Malovanyy M, Zhuk V, Mukha O. Facilities and problems of processing organic wastes by family-type biogas plants in Ukraine. *Journal of water and land development* 2020;45 (IV–VI):185-189.

35. Wang K, Li L, Tan F, Wu D. Treatment of landfill leachate using activated sludge technology: A review. *Archaea* 2018;2018:1039453.

36. Wei M, Zhang R, Zhou M, Yuan Z, Yuan H, Zhu N. Treatment of fresh leachate by microaeration pretreatment combined with IC-AO2 process:

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Performance and mechanistic insight. Science of the Total Environment 2021;789:147939.

37. Xinyi Chen, Fei Zhong, Yue Chen, Juan Wu and Shuiping Cheng The interaction effects of aeration and plant on the purification performance of horizontal subsurface flow constructed wetland. International Journal Environmental Research Public Health 2022;19(3):1583-1593. (потрібно дати прізвища та ініціали, а не імена повністю)

38. Yang Y, Ricoveri A, Demeestere K, Van Hulle S. Advanced treatment of landfill leachate through combined Anammox-based biotreatment, O₃/H₂O₂ oxidation, and activated carbon adsorption: technical performance, surrogate-based control strategy, and operational cost analysis. Journal of Hazardous Materials 2022;430:128481.

39. Zamri M, Kamaruddin M, Yusoff M, Aziz H, Foo K. Semi-aerobic stabilized landfill leachate treatment by ion exchange resin: isotherm and kinetic study. Applied Water Science 2017;7(2):581-590.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА ЗАХОДИ ПРОТИДІЇ.....	5
1.1. Глобальна зміна клімату.....	5
1.2. Склад атмосферного повітря і парниковий ефект.....	8
1.3. Наслідки та майбутні впливи зміни клімату.....	12
1.4. Вплив зміни клімату на навколишнє середовище в Грузії.....	16
1.5. Міжнародні аспекти кліматичної діяльності.....	18
1.6. Заходи проти зміни клімату.....	24
1.7. Національна законодавча база Грузії у сфері запобігання зміні клімату, адаптації та пом'якшення її наслідків.....	28
1.8. Базові компетенції фахівця в галузі управління кліматом.....	38
Посилання.....	39
РОЗДІЛ 2. ЗМІНА КЛІМАТУ ТА ГРУЗІЯ.....	41
Посилання.....	49
РОЗДІЛ 3. ПРИРОДНІ КЛІМАТИЧНІ РІШЕННЯ В МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЯХ ТА ЇХ ПЕРЕВАГИ ДЛЯ СЕКВЕСТРАЦІЇ ВУГЛЕЦЮ, РЕГУЛЮВАННЯ КЛІМАТУ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПОВЕНЕЙ.....	51
3.1. Підґрунтя.....	51
3.2. Природні кліматичні рішення в міських районах.....	53
3.3. Приклади NCS, важливих для екосистем у різних містах....	56
3.4. Заключні зауваження.....	61
Посилання.....	62
РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ АДАПТАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ДО ЗМІН КЛІМАТУ.....	69
4.1. Взаємозв'язок між низьковуглецевим сільським господарством, транспортом та енергетикою: посилення стійкості європейської та національної кліматичної безпеки.....	69
Посилання.....	77
4.2. Розвиток сільського господарства Тернопільської області України в умовах зміни клімату.....	80
Посилання.....	84

РОЗДІЛ 5.	АСПЕКТИ СТАЛОГО СЕРЕДОВИЩА В ПОПИТІ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЛАТВІЙСЬКИХ КЕЙТЕРІНГІВ.....	85
5.1.	Вступ.....	85
5.2.	Огляд літератури.....	86
5.3.	Дослідження та аналізи.....	90
5.4.	Висновки та обговорення.....	94
	Посилання.....	95
РОЗДІЛ 6	РОЛЬ ВОДНЮ В МАЙБУТНІЙ БЕЗВУГЛЕЦЕВІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ЕКОНОМІЦІ – ОГЛЯД З ОСОБЛИВОЮ АКЦЕНТОЮ НА СЕКТОРІ МОБІЛЬНОСТІ/ ТРАНСПОРТУ	97
6.1.	Вступ.....	97
6.2.	Водень як енергоносіє.....	97
6.3.	Виробництво водню.....	99
6.4.	Можливості використання водню.....	103
6.5.	Пряме використання водню в електричних автомобілях на паливних елементах.....	106
6.6.	Використання водню для виробництва синтетичного (біо)палива.....	107
6.7.	Висновки.....	111
	Посилання.....	112
РОЗДІЛ 7	КЛІМАТИЧНО-ОРІЄНТОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ: НЕТРАДИЦІЙНІ І АЛЬТЕРНАТИВНІ МОТОРНІ ПАЛИВА.....	113
7.1.	Вступ.....	113
7.2.	Природний газ.....	114
7.3.	Спиртові і бензоспиртові палива.....	116
7.4.	Водень і бензоводневі палива.....	121
7.5.	Енергетичний потенціал та екологічна ефективність використання бензоводневих палив.....	123
7.6.	Високоароматизовані нафтові палива з добавками водню.....	130
7.7.	Висновки.....	133
	Посилання.....	134
РОЗДІЛ 8	ТЕХНОЛОГІЇ ПОМ'ЯКШЕННЯ ЗМІНИ КЛІМАТУ: ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ФІЛЬТРАТУ ЗВАЛИЩ.....	136
8.1.	Вступ.....	136
8.2.	Методологія.....	138
8.3.	Результати та обговорення.....	140
8.4.	Висновки.....	144
	Посилання.....	145
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	152	

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Агіта Доніна, PhD, доцент, Університет Turība, Латвія
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0150-9525>

Анастасія Мараховська, інженер, Національний університет "Львівська політехніка", Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2043-3877>

Андрій Середа, кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник, Національний університет "Львівська політехніка", Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2694-2939>

Антін Шувар, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9871-8253>

Аснакех Лас-Сейюм, доктор природничих наук, професор, «HTW Berlin, Університет прикладних наук», Німеччина

Василь Брич, доктор економічних наук, професор, Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4277-5213>

Віра Слюсар, кандидат технічних наук, інженер, Національний університет "Львівська політехніка", Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7438-4428>

Володимир Жук, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка", Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2275-0799>

Ганна Желновач, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5788-7843>

Дареджан Джаші, доцент, Батумський державний університет ім. Шота Руставелі, Грузія

Іван Сеник, доктор сільськогосподарських наук, професор, Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3249-2065>

Іван Тимчук, кандидат сільсько-господарських наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка", Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9344-3035>

Карла Вунш, магістр інженерії, «HTW Berlin, Університет прикладних наук», Німеччина

Катажина Богдзевич, PhD (географія), професор, Університет Миколаса Ромеріса, Литва
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8356-0166>

Луїс Валенса Пінто, магістр, Університет Миколаса Ромеріса, Литва
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8887-5802>

Людмила Красюк, кандидат сільськогосподарських наук, Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН України», Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6016-0896>

Маргарита Платаце, викладач, Університет Turība, Латвія

Микита Шумейко, PhD, доцент, бакалавр, Університет Turība, Латвія

Мирослав Мальований, доктор технічних наук, професор, Національний університет "Львівська політехніка", Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3868-1070>

Мігель Інасіо, PhD (екологія та екологічні науки), старший дослідник, Університет Миколаса Ромеріса, Литва
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4917-1287>

Мірко Барц, доктор технічних наук, професор, «HTW Berlin, Університет прикладних наук», Німеччина
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2851-2051>

Наргулі Асанідзе, доцент, Батумський державний університет ім. Шота Руставелі, Грузія

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

Наталія Внукова, доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4097-864X>

Наталія Вронська, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка", Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6569-3288>

Олена Борисяк, кандидат економічних наук, старший викладач, Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-8068>

Паулу Перейра, PhD (право), професор, Університет Миколаса Ромеріса, Литва
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0227-2010>

Циціно Туркадзе, доктор технічних наук, професор, Державний університет ім. Акакія Церетеллі, Грузія
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7846-7255>

Ціннабу Т. Редда, аспірант, «HTW Berlin, Університет прикладних наук», Німеччина
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4874-2092>

Ціра Камададзе, доцент, Батумський державний університет ім. Шота Руставелі, Грузія

Юліана Шухані, магістрант, Університет Миколаса Ромеріса, Литва
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6767-6358>

ДЛЯ НОТАТКІВ

ДЛЯ НОТАТКІВ

Наукове видання

Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

За редакцією Н. Внукової, Г. Желновач

Здано до друку 22.01.2024. Підписано до друку 23.01.2024.

Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк офсетний.

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 24,25. Обл.-вид. арк. 20,86.

Наклад 1500 прим. Замовлення № 163. Ціна договірна.

Видавництво: «Смугаста типографія», 61002, м. Харків, вул. Чернишевська, 28А

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: серія ДК №4863 від 12.03.2015

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



DISCLAIMER: The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.