



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



**ОБ'ЄДНАННЯ НАУКИ, ОСВІТИ,  
ВИРОБНИЦТВА ЯК ШЛЯХ ДО  
ФОРМУВАННЯ ДІЄВОГО  
МЕХАНІЗМУ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗМІН  
КЛІМАТУ**

**Монографія  
Українське видання**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ОБ'ЄДНАННЯ НАУКИ, ОСВІТИ,  
ВИРОБНИЦТВА ЯК ШЛЯХ ДО  
ФОРМУВАННЯ ДІЄВОГО МЕХАНІЗМУ  
ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗМІН КЛІМАТУ**

Харків 2024

*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 ПУЦАРЕВИЧ** – професор, декан Факультету захисту навколишнього середовища, Університет Educons, Сербія

**Об'єднання науки, освіти, виробництва як шлях до формування дієвого механізму попередження змін клімату:** колективна монографія (укр. видання) / за заг. ред. Н. Внукової, Н. Прокопенко. - Х: Вид-во «Смугаста типографія», 2024. - 181 с.

*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-SVHE-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 ресурсозбереження.*

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

© Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2024

## ВСТУП

Зміна клімату є глобальним викликом для всього світу, це проблема світового рівня, що створює серйозні загрози для міжнародної економіки та безпеки. Наразі спостерігається пришвидшення процесів, які призводять до зростання ризиків у сферах енергетичної безпеки, доступу до продовольства і питної води, стабільності екосистем, а також загроз для здоров'я та життя людей.

Останнім десятиріччям зміна клімату стала однією з найбільш актуальних тем у світовій економіці та політиці, що пов'язано з низькою здатністю країн адаптуватися до екстремальних проявів зміни клімату, таких як повені, посухи і інші події, які можуть призвести до соціальної та економічної нестабільності у світі, що потребує розробки відповідних політик і стратегій для зменшення викидів парникових газів і переходу до низьковуглецевого розвитку у всіх секторах економіки та сферах людського життя.

Згідно з метеорологічними даними, на території України, як і у всьому світі, спостерігається тенденція до підвищення середньої температури повітря. Також спостерігається тенденція до збільшення частоти та тривалості періодів з високими температурами повітря, що суттєво впливає на здоров'я та життєдіяльність людей в Україні. Підвищення температури повітря призводить зокрема до збільшення частоти та інтенсивності конвективних погодних явищ, таких як грози, сильні опади, град, шквали. Ці явища іноді фіксуються у місяці та пори року, коли вони раніше не відбувалися, і поширюються на території, де ніколи не спостерігалися.

Україна вразлива до таких небезпечних та стихійних гідрометеорологічних явищ, як дощові паводки, повені та прибережні затоплення, включаючи затоплення сільськогосподарських і міських територій, селі та грязьові потоки, а також зсуви ґрунту. Такі небезпечні явища призводять до людських жертв, значного пошкодження та руйнування інфраструктури.

Метою Стратегії **формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року, яка прийнята Кабінетом Міністрів України у 2024 році**, є створення організаційних та правових засад формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату для досягнення сталого розвитку та забезпечення ефективного переходу до низьковуглецевого розвитку держави за умови економічної, енергетичної та екологічної безпеки і підвищення добробуту громадян та для врахування цілей державної кліматичної політики під час повоєнної відбудови України.

Як сторона Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та Паризької угоди Україна наразі забезпечує виконання поточних зобов'язань за цими міжнародними угодами, проте державна політика у сфері зміни клімату має фрагментарний характер і часто розглядається як складова виключно екологічної політики. Відсутність системного підходу до проблеми зміни клімату в цілому унеможливорює прийняття управлінських рішень щодо забезпечення пом'якшення та адаптації до зміни клімату в масштабах усієї економіки країни. Подальша імплементація положень Паризької угоди потребує формування цілісної і послідовної державної політики у сфері зміни клімату відповідно до політики міжнародних організацій з урахуванням провідних світових технологій і практики, а також особливостей національних умов, можливостей, потреб і пріоритетів.

Ідеї зменшення темпів змін клімату та пом'якшення наслідків цього процесу повинні реалізовуватися в рамках міжнародної співпраці, в тому числі в сфері освіти. Одним з ключових проєктів цього напрямку є проєкт Erasmus+ «Синергія освітніх, наукових, управлінських та промислових компонентів для управління кліматом і запобігання змінам клімату / CLIMAN» 619119-EPP-1-2020-1-NL-EPPKA2-SVNE-JP.. Проєкт CLIMAN передбачає підготовку кваліфікованих кліматичних менеджерів. Для цього команди проєкту вивчать кращі практики ЄС, підберуть і навчать персонал, оновлять існуючі магістерські програми з охорони навколишнього середовища і менеджменту

шляхом розробки міждисциплінарного навчального модуля в сфері запобігання зміні клімату, адаптації та пом'якшення наслідків.

**Тривалість проекту:** 15.11.2020-14.11.2024

**Мета проекту** – допомогти університетам Грузії та України стати центрами розвитку досліджень кліматичного менеджменту для прискорення інтеграції в світовий кліматичний ринок і реалізації світових вимог по кліматорегулюванню шляхом придбання кращих європейських практик у сфері запобігання зміні клімату, адаптації та мінімізації наслідків.

**Цілі проекту:**

1. Обновити існуючі магістерські програми шляхом розробки міждисциплінарного навчального модуля «Кліматичний менеджмент».
2. Заснувати при університетах-партнерах консультаційні центри кліматичного менеджменту і забезпечити їх сталий розвиток.
3. Сприяти розвитку і зміцненню інституційного потенціалу університетів-партнерів з метою розробки рекомендацій для промислового, транспортного, енергетичного, туристичного секторів і місцевих органів влади в сфері запобігання зміні клімату, адаптації та пом'якшення наслідків.

**Основні напрями діяльності за проектом:**

1. Аналіз і вивчення європейського досвіду реалізації навчальної та практичної діяльності по кліматичному менеджменту.
2. Розробка навчального модулю «Кліматичний менеджмент» в університетах-партнерах.
3. Створення консультаційних Центрів кліматичного менеджменту.
4. Реалізація оновленої магістерської програми в університетах-партнерах.
5. Управління якістю
6. Поширення та сталість результатів проекту.
7. Управління проектом.

### **Очікувані результати:**

1. Оновлена за рахунок розробленого навчального модулю «Кліматичний менеджмент» магістерська програма реалізується в університетах-партнерах.
2. Кваліфікований персонал.
3. Створено Центри кліматичного менеджменту в університетах-партнерах.
4. Розроблена «дорожня карта» взаємодії промислового, транспортного, сільськогосподарчого та туристичного секторів і місцевих органів влади щодо реалізації політики з кліматичного менеджменту.
5. Кваліфіковані кліматичні менеджери.

### **Партнери проекту:**

Координатор проекту: Нідерландська бізнес-академія, Нідерланди.

Співкоординатор проекту: Університет КРОК, Україна.

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

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



# **ГЛАВА 1**

## **ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА**

### **ЕНЕРГЕТИКА**

## РОЗДІЛ 1.1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ГАЛУЗЬ ЕНЕРГЕТИКИ

**Jan van Zwieten,**

*Rector of the Netherlands Business Academy, Netherlands*

**Внукова Наталія Володимирівна**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна*

**Лотарєв Андрій Григорович**

*Університет «КРОК», Україна*

На сьогодні проблема зміни клімату є настільки актуальною і важливою, що її розглядають з різних аспектів: освітнього, економічного, виробничого, соціального і політичного. Є наукові докази, що клімат змінився за останні 150 років, здебільшого через діяльність людини. Глобальна температура зростає, опади стають все більш непередбачуваними, кількість надзвичайних природних явищ збільшується, а їхній характер і інтенсивність стають важко прогнозованими [1].

Прогнозується, що в найближчі десятиліття кліматичні зміни посиляться у всіх регіонах світу, зокрема, очікуються спекотні хвилі, подовжені теплі сезони та скорочення тривалості холодних сезонів. Згідно з даними МГЕЗК (Міжурядова група експертів зі зміни клімату), для стабілізації клімату необхідно здійснити значне, швидке та постійне скорочення викидів парникових газів і досягти нульового рівня викиду CO<sub>2</sub>. Обмеження викидів інших парникових газів і забруднювачів повітря, зокрема метану, позитивно вплине як на здоров'я людей, так і на клімат.

У звіті МГЕЗК підкреслюється, що для стримування техногенного глобального потепління до певного рівня потрібно зменшити сукупні викиди

вуглекислого газу до чистого нульового рівня CO<sub>2</sub>, а також значно скоротити інші викиди парникових газів. Суттєве, швидке і постійне скорочення викидів метану також допоможе обмежити ефект потепління, спричинений зменшенням забруднення аерозолями.

Сучасна кліматична політика Європейського Союзу представлена наступним чином. У червні 2021 року Європейська Рада ухвалила Європейський кліматичний закон, запропонований Єврокомісією, який встановлює нову, амбітнішу мету: зменшити викиди парникових газів щонайменше на 55 % до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року.

Закон передбачає досягнення нульових викидів парникових газів для країн ЄС у цілому шляхом скорочення викидів, інвестування в екологічні технології та охорону навколишнього середовища. Він гарантує, що політика ЄС буде сприяти досягненню цієї мети, а всі економічні і суспільні сектори відіграють свою роль.

Європейський кліматичний закон має на меті:

– визначити довгострокову стратегію для досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року соціально справедливим і економічно ефективним способом;

- створити систему моніторингу прогресу виконання та вжити подальших заходів у разі потреби;

- забезпечити передбачуваність для інвесторів та економічних учасників;

- гарантувати незворотність переходу до кліматичної нейтральності [2].

Для досягнення цілей декарбонізації необхідно скоротити викиди у всіх секторах, від промисловості і енергетики до транспорту і сільського господарства. Окрім пом'якшення наслідків зміни клімату, ЄС також вживає заходів з адаптації для забезпечення максимального рівня готовності до її неминучих наслідків.

14 липня 2021 року Європейська Комісія представила програму боротьби зі змінами клімату до 2050 року, яка отримала назву Fit for 55. Відповідно до

цієї програми, планується скорочення викидів двоокису вуглецю у всіх секторах європейської економіки, включаючи виробництво електроенергії, автомобільний та житловий сектори, а також судноплавство, авіацію та сільське господарство. До 2030 року викиди ЄС мають зменшитися на 55 % від рівня 1990 року, а до 2050 року їх потрібно довести до нуля.

Один із основних аспектів програми Fit for 55 полягає у впровадженні механізму транскордонного вуглецевого регулювання, що передбачає стягнення митних зборів з товарів, що імпортуються до ЄС, залежно від їхнього вуглецевого сліду. Це має на меті захистити європейських виробників, оскільки посилення кліматичних регуляцій у ЄС підвищує їхні витрати та погіршує їхні конкурентні позиції в порівнянні з виробниками з країн з менш жорстким регулюванням.

Нова кліматична політика ЄС має на меті прискорення скорочення викидів парникових газів протягом наступного десятиліття. Політика включає: розширення системи торгівлі викидами на нові сектори та посилення чинної системи торгівлі викидами в ЄС; збільшення використання відновлюваної енергії; підвищення енергоефективності; швидше впровадження транспортних засобів з низьким рівнем викидів і відповідної інфраструктури та пального; узгодження податкової політики з цілями ЄЗК; заходи щодо запобігання "витоку вуглецю"; а також інструменти для збереження та розширення природних поглиначів вуглецю.

Пріоритети кліматичної політики України повинні враховувати можливості Європейського зеленого курсу для адаптації до зміни клімату в Україні та інтеграцію кліматичних пріоритетів у програми соціально-економічного розвитку країни. Верховна Рада України 5 листопада 2021 року ухвалила Постанову «Про звернення Верховної Ради України до Конференції Організації Об'єднаних Націй зі зміни клімату», яка включає проведення 26-ї сесії Конференції Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату.

У зверненні підтверджується намір досягти цілей Паризької угоди, а саме обмежити підвищення середньої глобальної температури до рівня значно нижче 2 °С та спрямувати зусилля на обмеження до 1,5 °С. Вказується на необхідність посилення зусиль для підтримання цього температурного порогу, щоб уникнути найгірших наслідків кліматичних змін, особливо для найбільш уразливих країн.

Також підкреслюється підтримка глобальних цілей у сфері зміни клімату, зокрема, досягнення до 2030 року максимальної доступності та привабливості чистих технологій і рішень сталого розвитку в кожному секторі, що викидає забруднюючі речовини в атмосферу.

З урахуванням зобов'язань, що випливають з кліматичного саміту COP 26 у Глазго, національна кліматична політика України вимагатиме коригування за наступними напрямами:

- оновлення законодавства у сфері управління відходами та зменшення викидів парникових газів;
- скорочення споживання вугілля та інших викопних палив, зелена трансформація промисловості;
- створення національної системи торгівлі квотами на викиди відповідно до правил ЄС;
- формування Українського кліматичного фонду;
- реформування системи екологічного контролю та ухвалення відповідного законодавства;
- реформа лісового господарства з метою збільшення площі лісів і впровадження заходів із захисту степових екосистем;
- розробка заходів для боротьби з деградацією земель та збільшення природного поглинання парникових газів [1].

Переваги Європейського зеленого курсу (ЄЗК) для України полягають у трансформації сучасної кліматичної політики країни з акцентом на досягненні довготривалих і стабільних результатів, що забезпечать розвиток та

конкурентоспроможність національної економіки. Успішна реалізація ЄЗК відкриває Україні низку потенційних переваг, таких як сприяння інтеграції українських виробництв у нові промислові процеси ЄС через запровадження «промислового безвізового режиму», розвиток органічного виробництва, а також співпраця у сфері водневої енергетики. Існує потенціал для виходу на європейський ринок публічних закупівель, доступу до фінансових та технічних інструментів підтримки ЄС у сфері адаптації до зміни клімату, інтеграції природоохоронних територій України в мережу NATURA 2000 через створення спеціальних фінансових інструментів, а також подальшого утвердження України як повноправного учасника кліматично нейтральної Європи. "Енергетичний зелений перехід" стимулюватиме розвиток високотехнологічного виробництва, збільшення попиту на товари та послуги, пов'язані з чистими технологіями, а також забезпечить трансформацію промислового виробництва і структури експорту.

Вплив кліматичних змін на розвиток енергетичної галузі виявляється в таких аспектах:

- Кліматичні умови значною мірою визначають особливості функціонування та техніко-економічні показники всіх типів електростанцій, тому зміни клімату можуть вимагати коригування проектування та експлуатації електростанцій.

- Зміна кліматичних умов впливає на потребу в енергії, що може суттєво змінити тепло- та енергоспоживання в різних регіонах.

- В енергетиці продукцію практично неможливо накопичувати і зберігати, тому потреби в енергії повинні бути заздалегідь спрогнозовані і враховані.

- Кліматичні умови мають значний вплив на екологічні наслідки діяльності енергетичних об'єктів [1].

Надійність та готовність теплових електростанцій (ТЕС) і атомних електростанцій (АЕС) до ефективної роботи із заданою потужністю критично важливі для забезпечення енергетичної безпеки в умовах змінного клімату та

інших непередбачуваних обставин. Малосніжні зими стають проблемою для гідроелектростанцій (ГЕС), оскільки зменшують обсяг води у водосховищах і, як наслідок, вироблення електричної енергії. Забезпечення ТЕС та АЕС паливом і водою, а також ефективність охолодження енергоблоків значною мірою залежать від кліматичних факторів. Наприклад, підвищення опадів може призвести до намокання вугілля на відкритих складах, що знижує теплову економічність енергоустановок на 1-3%. У масштабах країни це викликає додаткову витрату пального до 0,5-1,0 млн тонн у перерахунку на умовне паливо щороку. Коливання температури повітря також помітно впливають на ефективність газотурбінних установок: підвищення температури на 5°C зменшує вироблення енергії на 1-4%. Зміни в частоті та інтенсивності небезпечних погодних явищ (смерчів, злив, екстремальних температур і швидкостей вітру) можуть завдати шкоди агрегатам електростанцій і створити небезпеку для навколишніх населених пунктів.

Кліматична інформація в тепловій енергетиці використовуються переважно під час проєктування та будівництва енергетичних об'єктів. Великий набір кліматичних параметрів враховується при виборі району розміщення ТЕС і конкретного майданчика для їхнього будівництва. При визначенні проєктної потужності ТЕС на базі паросилових установок обов'язковою є врахування розрахункових температур повітря: найхолоднішої і найспекотнішої доби. Важливою є також безперервна тривалість із забезпеченістю 90 %, 95 % і 99 % різних комбінацій температури та відносної вологості [1].

Атомні електростанції є небезпечними об'єктами, де врахування екстремальних метеорологічних впливів є критично важливим для забезпечення надійності та безпеки. Для точного розрахунку ймовірностей екстремальних метеорологічних величин необхідно використовувати спостереження протягом щонайменше 100 років, а також враховувати більш ранні дані про небезпечні явища, якщо такі є в історичних джерелах. Процеси охолодження енергоагрегатів на АЕС схожі на ті, що описані для ТЕС, але

ризика аварійних ситуацій і їх можливі наслідки підвищують вимоги до необхідної кліматичної інформації. Під час проектування та експлуатації АЕС показники забезпеченості беруться з великим запасом. Під час вибору майданчика для розміщення станції враховуються несприятливі метеорологічні умови, такі як урагани, тайфуни, смерчі, екстремальні температури, ожеледь, удари блискавки, лавини, снігові та екстремальні вітрові навантаження, з забезпеченістю 0,01 % (повторюваність – 1 раз на 10000 років).

Основні розрахункові характеристики гідрологічного режиму для водних об'єктів, що забезпечують функціонування атомних електростанцій, включають максимальні спостережувані та розрахункові витрати води, рівні дощових паводків і весняного водопілля з забезпеченістю до 0,01 %; мінімальні спостережені та розрахункові витрати води в зимовий і літньо-осінній періоди, а також рівні різної забезпеченості, включаючи 97 %; середній річний стік з різною забезпеченістю, включаючи 97 %; внутрішньорічний розподіл стоку по сезонам і місяцям для років з забезпеченістю 50 %, 95 % і 97 %; та розрахункові максимальні витрати стоку з забезпеченістю до 0,0 1%.

Виробництво гідроелектроенергії завжди відчуває значний вплив клімату. Природно-кліматичні умови регіону визначають конструкцію водопідпірних споруд, склад гідровузла, режими роботи гідроелектростанцій (ГЕС) та використання водних ресурсів іншими споживачами. Як на етапі проектування, так і в процесі подальшої експлуатації окремих ГЕС чи каскадів, важливо враховувати дані про температуру та вологість повітря, вітровий режим, режим опадів, які визначають стік, а отже, обсяг припливу води до водосховища та рівні у верхньому і нижньому б'єфі. При проектуванні водозливних споруд ГЕС особливу значущість має інформація про екстремальні метеорологічні показники, зокрема, дані про суми опадів рідкісної забезпеченості (1,0%, 0,1%).

У процесі економічного обґрунтування будівництва ГЕС враховуються зміни місячних сум опадів, що впливають на вироблення електроенергії. Норми припливу в період водопілля також значною мірою залежать від інтенсивності

сніготанення. У випадку, якщо обсяг припливу води перевищує норму, можуть знадобитися холості скиди води; якщо ж приплив буде меншим за норму, водосховище може залишитися неповним до кінця водопілля. Недовиріботок ГЕС у таких випадках компенсується енергією ТЕС. Проекти ГЕС містять дані про середню місячну кількість опадів та максимальну добову кількість опадів. Ураховуються дані про повторюваність особливо небезпечних опадів за інтенсивністю та тривалістю, які можуть загрожувати гідротехнічним спорудам.

Зміни кліматичних умов у конкретному районі можуть вплинути на виробництво електроенергії на ГЕС та умови їхньої експлуатації через такі фактори:

- Зміни суми опадів і випаровуванні можуть призвести до зміни обсягу стоку та його річного ходу, наприклад, до зсуву весняної повені на раніший період.

- Зміни в інтенсивності та частоті екстремальних погодних явищ (повені та посухи) можуть підвищити вартість гідроенергетичних проектів і змінити умови експлуатації ГЕС.

- Зміни в режимі переміщення завислих наносів можуть збільшити зношуваність турбін та зменшити вироблення електроенергії.

- Зміна льодового режиму вплине на умови експлуатації ГЕС [2].

Однак найбільше значення для гідроелектричної енергетики має кліматообумовлена зміна стоку річок. Вироблення гідроелектроенергії на конкретних ГЕС у різні роки, за незмінності технічних умов та стабільності економічної ситуації, в основному залежить від змін припливу води до водосховища. Зниження припливу призведе до скорочення вироблення гідроелектроенергії, тоді як його збільшення спричинить зростання виробництва.

Вплив клімату на виробництво енергії з викопного пального в основному пов'язаний з ефективністю циклу генерації та вимогами до систем охолодження

енергоблоків. Цей вплив зумовлений потребою в нагріванні та охолодженні агрегатів електростанцій як під час використання циклу Ренкіна (термодинамічний цикл перетворення тепла на роботу за допомогою двофазного робочого тіла, такого як вода, ртуть чи фреон, що включає випаровування і конденсацію), так і циклу Брейтона (термодинамічний цикл, що описує робочі процеси газотурбінних двигунів зовнішнього згоряння з замкнутим контуром газоподібного робочого тіла).

Одним із основних показників ефективності роботи генерувальних потужностей є коефіцієнт використання встановленої потужності електростанцій (КВВП). Цей коефіцієнт визначається численними факторами, серед яких найважливіші: тип встановленого обладнання, структура і кількість споживачів, рівень теплового навантаження (для ТЕЦ), рівень води у водосховищах (для ГЕС), конкурентність цін на електричну та теплову енергію, а також якість експлуатації, ремонтів, реконструкцій і технічний стан обладнання. Метеорологічні умови також суттєво впливають на КВВП. Наприклад, аномальна спека може призвести до зменшення потужності енергоблоків або їх повної зупинки, як це сталося в 2011 році в деяких регіонах США і Франції.

Ефективність і надійність термодинамічних циклів змінюється залежно від середніх умов навколишнього середовища, таких як температура повітря та води, тиск, вологість, а також від оптимальності вибору системи охолодження. З підвищенням температури зростає питомий об'єм споживання повітря та енергії в компресорі, що веде до зменшення виробленої енергії. Вища температура повітря знижує атмосферний тиск, що зменшує ефективність спалювання пального через недостатню концентрацію кисню. Існуючі дані показують, що при досягненні критичної температури спостерігається різке зниження потужності вироблення.

Таким чином, температура навколишнього середовища має значний вплив на ефективність турбін, котлів і генераторних установок. зазначає, що під

час теплової хвилі потужність атомних електростанцій може знижуватися більше ніж на 2 % при підвищенні температури повітря на 1°C через фізичні обмеження систем охолодження, що пов'язані з екологічними нормами. Важливим аспектом є достатність та якість води, яка використовується в системах охолодження електростанцій, оскільки це робить їх вразливими в умовах обмежених водних ресурсів і конкуренції з іншими водокористувачами. Наприклад, у США кожен кіловат-година електроенергії, виробленої в процесі парового циклу, потребує близько 94,6 літрів води. Очікується, що до 2030 року доступність водних ресурсів у США зменшиться на 30 % порівняно з 2005 роком, в той час як споживання води в системах охолодження збільшиться на майже 50%. Це пов'язано з підвищенням втрат води через випаровування та зменшенням обсягу води, що повертається у водні об'єкти [1].

Зростання температури води створює обмеження для систем охолодження на атомних і теплових електростанціях, що може призвести до ризиків для їх нормальної роботи. При підвищенні температури води на 5 °C ефективність роботи АЕС зменшується в середньому на 1 %. АЕС і ТЕС з прямоточними системами охолодження є більш уразливими, ніж ті, що використовують замкнені системи охолодження з градирнями. Прямоточні системи виводять відпрацьовану воду у водойми і повертають її назад зазвичай за вищих температур. Правила скидання води вимагають зниження температури використаної води, що веде до зменшення потужності. Інакше електростанції можуть отримати штрафи та інші санкції. Однак під час екстремальних теплових хвиль дозволяється скидання теплої води для підтримання електропостачання, незважаючи на негативний вплив на навколишнє середовище.

Прикладом впливу змін температурного режиму на роботу АЕС є ситуація, що склалася влітку 2003 року в Європі, коли у Франції спостерігалася одна з найспекотніших хвиль в історії метеоспостережень. Температура повітря була на 20-30% вище за середні значення, досягаючи 40°C протягом двох

тижнів серпня. Низька кількість опадів у липні та високі температури призвели до дефіциту води і погіршення умов роботи ТЕС і АЕС. Франція, де розташовані 19 АЕС, що забезпечують 80% електроенергії, зазнала труднощів через залежність від температури води в природних водоймах. 14 з 19 станцій розташовані поблизу внутрішніх водних об'єктів, решта п'яти - біля моря. Під час теплової хвилі температури води в ріках перевищили допустимі межі, що уповільнило охолодження реакторів.

В результаті Франція була змушена зменшити свою генеруючу потужність на 4000 МВт, що еквівалентно потужності чотирьох енергоблоків або 6% усіх АЕС Франції. Сімнадцять реакторів були зупинені або скоротили виробництво через обмеження водозабору і скидання перегрітої води. Загалом, протягом літа скорочення ядерної електроенергії склало 5,3 ТВт\*год. Органи контролю ядерної безпеки дозволили скидання води з температурою до 30°C, що значно перевищує стандартну межу в 24 °C. В результаті електропостачання країни не зазнало значних перебоїв, незважаючи на збільшення попиту. Однак Франція, як ключовий виробник електроенергії в Європі, була змушена зменшити вдвічі обсяг експорту енергії до Швейцарії, Великої Британії, Італії, Бельгії та Іспанії в години пікових навантажень [1].

Виробництво та споживання енергії є відповідальними за понад 75 % викидів парникових газів у Європейському Союзі. Отже, декарбонізація енергетичної системи є критично важливою для досягнення кліматичних цілей на 2030 рік та реалізації довгострокової стратегії ЄС щодо досягнення вуглецевого нейтралітету до 2050 року.

Європейська зелена угода орієнтована на три основні принципи переходу до чистої енергії, що сприятимуть зменшенню викидів парникових газів і поліпшенню якості життя громадян:

- забезпечення надійного і доступного постачання енергії в ЄС;
- розвиток інтегрованого, взаємопов'язаного та цифрового енергетичного ринку ЄС;

- пріоритизація енергоефективності, особливо в будівлях, і розвиток енергетичного сектора на основі відновлювальних джерел енергії.

Основні цілі Європейської Комісії для досягнення цих завдань включають:

- розбудову взаємопов'язаних енергетичних систем і покращення інтеграції мереж для підтримки відновлювальних джерел енергії;

- сприяння інноваційним технологіям та сучасній інфраструктурі;

- підвищення енергоефективності та екологічного дизайну продукції;

- декарбонізацію газового сектора і підтримку розумної інтеграції між секторами;

- розширення можливостей споживачів та допомога країнам ЄС у подоланні енергетичної бідності;

- просування стандартів і технологій ЄС на світовій арені;

- розвиток потенціалу морської вітрової енергії Європи [2].

Щоб скоротити викиди парникових газів щонайменше на 55 % до 2030 року, необхідно збільшити частку відновлювальної енергії та підвищити енергоефективність. Тому Європейська Комісія пропонує підвищити обов'язкову ціль для відновлювальних джерел в енергетичному секторі до 40 %, а на ринку електроенергії – до 65 %. Протягом перехідного періоду до «зеленої» трансформації ЄС має забезпечити максимально ефективне функціонування газового ринку.

Перехід до чистої енергії повинен залучати споживачів і приносити їм переваги. Відновлювальні джерела енергії відіграватимуть у цьому ключову роль. Зокрема, збільшення виробництва вітрової електроенергії на морях має важливе значення завдяки регіональному співробітництву між державами-членами ЄС. Розумна інтеграція відновлювальних джерел енергії, підвищення енергоефективності та інші сталі рішення в окремих секторах сприятимуть досягненню декарбонізації з мінімальними витратами [3].

Згідно зі звітом State of the Energy Union 2021, оприлюдненим Європейською Комісією у жовтні 2021 року, відновлювальні джерела енергії вперше обійшли викопне паливо як основне джерело енергії в ЄС у 2020 році, виробляючи 38 % електроенергії в порівнянні з 37 % для викопного палива. На даний момент 9 країн-членів ЄС вже відмовилися від вугілля, 13 інших взяли на себе зобов'язання щодо поетапного відмови, а ще 4 розглядають можливі терміни.

Однак відновлювальні джерела енергії не забезпечують повного виведення теплових електростанцій, які виконують функцію пікового маневрування у години коливання рівня споживання електроенергії. Таке питання стало актуальним у ЄС влітку 2021 року, коли північ Європи зазнав тривалого безвітряного періоду, що призвело до зменшення виробництва вітрової електроенергії. Щоб компенсувати дефіцит енергії від відновлювальних джерел, частка яких у генерації ЄС у другому кварталі 2021 року становила 42 %, виробники змушені були відновити роботу вугільних ТЕС, які були в резерві. Це призвело до зростання виробництва електроенергії на таких станціях на 29 % у третьому кварталі 2021 року і збільшення викидів вуглекислого газу в енергетичному секторі ЄС на 19 % порівняно з аналогічним періодом попереднього року [3].

Перехід до кліматичної нейтральності вимагає створення розумної інфраструктури. Регуляторні рамки для енергетичної інфраструктури, включаючи Регламент TEN-E, потребують перегляду для забезпечення відповідності кліматичній нейтральності. Ці рамки повинні сприяти впровадженню інноваційних технологій і інфраструктури, таких як «розумні» мережі, водневі мережі або технології вловлювання, зберігання та утилізації вуглецю, а також зберігання енергії і інтеграція секторів. Існуюча інфраструктура та активи потребують оновлення для підтримання їх придатності та стійкості до кліматичних змін.

Інтеграція галузей означає зв'язування різних носіїв енергії – електроенергії, тепла, холоду, газу, твердого та рідкого пального – з кінцевим використанням, таким як будівництво, транспорт або промисловість. Це дозволяє оптимізувати енергетичну систему в цілому, а не лише декарбонізувати та підвищувати ефективність окремих секторів. Нова стратегія ЄС поєднує різні існуючі та нові технології, процеси та бізнес-моделі, включаючи ІКТ, цифровізацію, «розумні» мережі, лічильники та гнучкі ринки.

Сучасне споживання водню в Європі становить менше ніж 2 %, і він переважно використовується для виробництва хімічних продуктів, таких як пластмаси та добрива. Близько 96 % водню виробляється з природного газу, що супроводжується значними викидами CO<sub>2</sub>.

Проте водень може також вироблятися з відновлювальної енергії. Очікується, що відновлювальний водень («зелений» чи чистий) відіграватиме ключову роль у секторах декарбонізації, де інші альтернативи можуть бути неможливими або дорожчими. До таких секторів відносяться транспорт і енергоємні промислові процеси [1].

«Зелений» водень може бути отриманий шляхом електролізу, використовуючи відновлювальну електроенергію для розщеплення води на водень і кисень. Чистий водень можна використовувати для заміни водню на основі викопних ресурсів у промислових процесах або для виробництва нових промислових продуктів, таких як «зелені» добрива та сталь. Його також можна використовувати у транспортному секторі, особливо в важких і міжміських вантажних автомобілях, автобусах, судах і літаках.

Чистий водень також сумісний з сектором електроенергетики, який дедалі більше наповнюється відновлювальною енергією, забезпечуючи довгострокове і масштабне зберігання, а також додаючи гнучкість енергетичній системі.

У липні 2020 року Європейська Комісія представила Водневу стратегію для кліматично нейтральної Європи. Ця стратегія окреслює водневу Дорожню карту ЄС до 2050 року та інтегрує різні напрями діяльності, охоплюючи

дослідження, інновації, виробництво, інфраструктуру та міжнародний вимір. Вона визначає, яким чином виробництво та застосування відновлюваного водню може сприяти декарбонізації економіки ЄС у економічно ефективний спосіб відповідно до ЄЗК.

Окрім цього, разом з Водневою стратегією у 2020 році було започатковано Європейський альянс за чистий водень як частину нової промислової стратегії для Європи. Альянс об'єднує промисловість, національні та місцеві органи влади, громадянське суспільство та інші зацікавлені сторони. Основна мета цього альянсу – реалізація водневих технологій до 2030 року шляхом об'єднання виробництва відновлюваного та низьковуглецевого водню, попиту в промисловості, транспорті та інших секторах, а також забезпечення передачі та розподілу водню.

Швидший і більш амбітний енергетичний перехід в ЄС може сприяти прискореним змінам в українському енергетичному секторі. Йдеться, зокрема, про закриття вугільних шахт, виведення з експлуатації застарілого парку вугільних станцій і трансформацію вугільних регіонів.

На кліматичному саміті COP 26 у Глазго понад 40 країн світу, включаючи Україну, взяли зобов'язання поступово відмовитися від використання вугілля в енергетиці. В рамках угоди зазначено, що більші економіки мають відмовитися від вугільної генерації до 2030 року, а менші – до 2040 року [1].

Відмова від використання вугілля, оголошена на саміті у Глазго, створює новий комплекс проблем для України, що потребуватимуть розв'язання. Серед них: втрата понад 50 тисяч робочих місць у гірничодобувній та електроенергетичній галузях, питання трансформації вугільних регіонів та забезпечення соціального захисту для їхніх мешканців, вирішення соціально-економічних питань територіальних громад після закриття вугільних шахт, а також системні екологічні проблеми, такі як управління відходами та териконами, забруднення водних джерел шахтними водами, рекультивация територій, що постраждали від вуглевидобутку.

Досягнення вуглецевої нейтральності неможливе без подолання кризових явищ на енергетичних ринках, які перешкоджають інтеграції енергетичних систем України з європейськими.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. – К. : НІСД, 2020. – 110 с.
2. Повідомлення Європейської Комісії щодо вказівок для держав-членів щодо оновлення національних енергетичних і кліматичних планів на 2021-2030 роки (2022/С 495/02) - <https://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A52022XC1229%2802%29&%3Bfrom>
3. Огданська О.Д., Чернобривець С.І. Перспективи зеленої енергетики в контексті геополітичних змін // Економіка та суспільство – 2024. – Випуск 68.

# **РОЗДІЛ 1.2 МЕЗОФІЛЬНА АНАЕРОБНА ФЕРМЕНТАЦІЯ СУСПЕНЗІЙ ШИРОКОЛИСТОГО РОГОЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФЕРМЕНТИРОВАНИХ ПРОДУКЦІЙНИХ ЗАЛИШКІВ ДРІЖДЖІВ ЯК СТАРТОВОЇ КУЛЬТУРИ**

**Мальований Мирослав Степанович,  
Жук Володимир Михайлович,  
Вронська Наталія Юрївна,  
Тимчук Іван Степанович,  
Кочубей Вікторія Віталіївна**

*Національний університет «Львівська політехніка», Україна*

Біологічне очищення стічних вод у різних типах водно-болотних угідь активно застосовується для очищення поверхневого стоку, побутових і промислових стічних вод різного складу [1]. У разі неконтрольованого розвитку цих гідробіонтів вони можуть викликати сильне вторинне забруднення водойм продуктами їх біодеградації, що призводить до евтрофікації [2]. Таким чином, усі види водно-болотних рослин, які використовуються для очищення стічних вод, зазвичай необхідно збирати для видалення поживних речовин із системи [3].

Сучасні методи безвідходного сталого процесу рекуперації з твердих і стічних вод з використанням мікробних систем генерації енергії, всебічно проаналізовані в [4], є ефективними для вилучення поживних речовин, видалення важких металів і виробництва біопалива, головним чином біоводню і біометану. Новий комплексний огляд проблеми, представлений Курняваном та ін. [5], вказує на те, що макрофіти, які використовуються в різних типах водно-

болотних угідь, є чудовими агентами очищення стічних вод завдяки своїй високій здатності до поглинання поживних речовин. Крім того, рослинна біомаса може бути ефективно перетворена в цінні продукти, такі як корм для тварин, біогаз, біопаливо та добрива [6]. Анаеробне зброджування (АБ) водної рослинної біомаси не тільки забезпечує виробництво тепла та електроенергії [7], але й відновлює поживні речовини та органіку для повторного використання в сільському господарстві [8], ефективно замикаючи їх кругообіг [9], що є основним принципом сталого розвитку [10]. Існує багато результатів, які підтверджують високу ефективність водно-болотних угідь, засаджених очеретом звичайним (*Phragmites australis*), як ефективного природного засобу очищення поверхневих і стічних вод, що може супроводжуватися анаеробним зброджуванням додаткової біомаси та виробництвом біометану [11]. Масштабні польові дослідження, проведені в Національному парку Нарев (Польща), показали, що очерет звичайний є видом рослин з найвищим виходом біомаси -  $9,78 \pm 1,66$  т TS/га<sup>-1</sup> - рік<sup>-1</sup> [9].

Ряд досліджень свідчить також про перспективність використання в таких системах рогозу широколистого (*Typha latifolia*) [12]. Рогоз широколистий – це рослина, яка широко розповсюджена у водно-болотних угіддях по всій Європі, і вона здатна виробляти надземну максимальну біомасу 1-3 кг сухої речовини на 1 м<sup>2</sup> щорічно. Біомаса *Typha latifolia* містить 39-44 % вуглецю, 5,4-5,7 % водню та 0,83-1,3 % азоту, її енергетична цінність становить 17,3-18,2 МДж/кг. Поряд із низьким вмістом азоту (<2 %) рогоз широколистий має досить високий відносний вміст Р із співвідношенням N:P у межах 5–9 [13].

Питомий вихід метану (SMY) шести типових видів водно-болотних угідь, включаючи *Typha latifolia*, був всебічно вивчений Czubaszek та ін. [14]. Для кожного виду рослин було отримано питомий вихід біометану при різних значеннях початкової вологості субстрату: для процесу мокрої ферментації з вмістом загальної сухої речовини (ЗР) 5 мас.% і для процесу сухої ферментації з ЗР=12 %. Мезофільне анаеробне зброджування було посилено за допомогою

ферментативної закваски, відібраної з резервуару для зберігання дигестату на біогазовій установці, що переробляє кукурудзяний силос, і в цьому дослідженні було використано високе співвідношення летких речовин закваски до летких речовин субстрату, а саме 2:1 для мокрого процесу ферментації та 1:1 для сухого процесу ферментації. Питомий вихід біометану при мокрому процесі був отриманий на 20-50 % вище, ніж при сухому для всіх 6 видів водних рослин. Питомий вихід біометану становив  $224-250 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{VS}}^{-1}$  при мокрій ферментації *Typha latifolia* та  $179-191 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{VS}}^{-1}$  при сухій ферментації відповідно. Ці значення майже дорівнювали SMY для зброджування суспензії *Phalaris arundinacea* і на (34-48) % перевищували аналогічні результати для *Phragmites australis*, із середнім SMY  $160 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{VC}}^{-1}$  для мокрої ферментації та  $138 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{VS}}^{-1}$  для сухого процесу ферментації [15].

Рогоз широколистий та інші типові водно-болотні види рослин мають високий вміст целюлози, геміцелюлози при переводі на глюкозу 66,8 %, 54,8 % і 62,0 % целюлози відповідно, а також і осейн, і лігнін, тому різні види фізичної, хімічної, біологічної або комбінованої попередньої обробки можуть бути використані для посилення їх анаеробного розкладання [16]. Попередня обробка рогозу, зібраного на штучних водно-болотних угіддях у Північній Кароліні, з використанням 4 % NaOH, 1 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  та високотемпературної обробки (при  $180-190^\circ\text{C}$ ) була в 2-5 разів ефективнішою порівняно з температурою  $121^\circ\text{C}$ . Термохімічна попередня обробка відходів коренів батату виявилася ефективною щодо збільшення як питомого виходу біогазу (на 33,9 %), так і вмісту метану (на 52,4 %), при цьому зменшуючи час перебування в варильному котлі з 22 до 16 діб [17]. Таким чином, попередня термохімічна обробка рослинної біомаси є продуктивною, але водночас особливо енерговитратною.

Спільне зброджування рослинної біомаси з осадом стічних вод також є потенційно ефективним завдяки оптимізації співвідношення C/N вихідної сировини та може збільшити виробництво біогазу до 50 % [18]. Однак

використання осаду стічних вод, який потенційно містить значну кількість токсичних забруднень, накладає значні обмеження на подальше сільськогосподарське використання дигестату. Існує ряд досліджень, які повідомляють про ефективне спільне зброджування біомаси водних рослин із сільськогосподарськими відходами, такими як рисова солома, та харчовими відходами [19].

Перспективними шляхами інтенсифікації анаеробного зброджування лігноцелюлозної рослинної біомаси є попередня обробка грибами та ферментами. Для біологічної попередньої обробки лігноцелюлозної біомаси водно-болотних рослин широко використовують культури рубця, що призводить до вищої солубілізації целюлози, геміцелюлози, а іноді й лігніну, в результаті чого збільшується виробництво біогазу [20].

Додавання анаеробної біомаси на основі дріжджів до суспензій водних рослин також може бути потенційно ефективним. Два різних види дріжджів (*Saccharomyces cerevisiae* і *Pichia stipitis*) були досліджені як інокулат для анаеробного зброджування цукрів, що вивільняються целюлозою рогозу, для отримання біоетанолу. Обидва штами виробляли однакову кількість етанолу (приблизно 0,48 % мас./об.), а вихід глюкози в етанол для обох штамів становив приблизно 95 % від теоретично можливого. Додатки штамів дріжджів у деяких випадках успішно використовувалися для збільшення виходу біогазу при анаеробному зброджуванні різних видів харчових відходів. Nzeteu та ін. продемонстрували, що анаеробне відновлення летких жирних кислот є результатом спільної мікробної діяльності за участю грибків і бактерій [21].

У цьому дослідженні висувається гіпотеза про можливість інтенсифікації процесу анаеробного зброджування біомаси водних рослин за допомогою інокулята, відібраного з анаеробного зброджувача для переробки дріжджових залишків, що містить переважно дріжджовий штам *Saccharomyces cerevisiae*. Мета цього дослідження полягала в експериментальному виявленні в лабораторних умовах впливу вмісту сухої маси та дозування інокулята на

питомий вихід біогазу та на ступінь розкладання летких речовин рогами широколистої в процесі мезофільного анаеробного зброджування.

В дослідженні було використано наступні *матеріали та методи*.

Щодо саме *матеріалів*, то були використані такі. Водні суспензії роги широколистого розщеплювали анаеробно для вивчення впливу дріжджових залишків інокулята на процес AD. Зразок роги широколистого зібрано на водно-болотних угіддях озера Янів, Львівська область, Україна (49,92 пн.ш.; 23,75 сх.д.). Рослинну біомасу подрібнювали в блендері до суспензії з частками не більше 2 мм. Вміст загальних сухих речовин (TS) у суспензії роги, виміряний стандартною лабораторною методикою, дорівнює  $132 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ , а летких речовин (VS)  $-93,1 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  або 70,5 % від TS.

Зразок інокулята було взято з промислового варильного котла Львівської дріжджової компанії, Україна, яка виробляє хлібопекарські дріжджі, переважно виду *Saccharomyces cerevisiae*. Розподіл вмісту OB та BC за розмірними фракціями наведено в табл. 1.2.1. Загальний вміст TS в інокуляті дорівнював  $69,48 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ , а вміст VS - 66,7 % від TS. Метаногенна активність дріжджового інокуляту становила 0,46 кг ХСК на 1 кг сухої речовини на добу.

Таблиця 1.2.1 – Загальна кількість сухих речовин і летких речовин в дріжджових залишках інокулята за фракціями

Фракція	TS ( $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$ )	VS ( $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$ )	VS (%TS)
> 1.0 мм	4,08	0,557	13,65
0.56–1.0 мм	4,64	1,511	32,57
0.25–0.56 мм	11,10	7,242	65,24
< 0.25 мм	49,66	36,998	74,50
Разом	69,48	46,308	66,65

Склад та основні вихідні параметри суспензій роги широколистого та дріжджового інокуляту перед зброджуванням наведено в табл. 1.2.2. Дослідження проводили в лабораторних умовах за двома параметрами, включаючи два значення вмісту ТС у суспензіях (5 і 10 мас.%) і дві безрозмірні масові частки інокуляту Хін (0,05 і 0,2), розраховані на основі ТС (0,05 і 0,2).

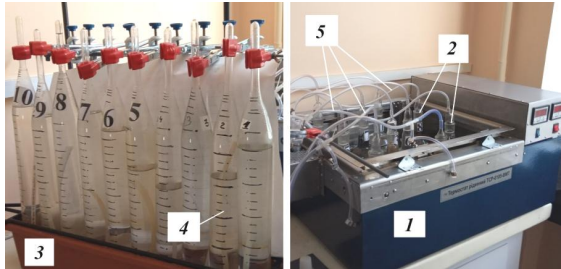
Досліджено процес мезофільної АД чотирьох суспензій з різними комбінаціями цих двох параметрів і отримано чотири різні значення вмісту ТС в інокуляті в діапазоні 0,25-2,0 мас.%. Загальна початкова маса всіх зразків, включаючи біомасу рогозу та інокулят, була однаковою і дорівнювала 500 г, а дистильовану воду додавали для отримання ТС 5 і 10 % мас. Загальний вміст летких речовин у зразках № 1 і № 3 до зброджування становив приблизно близько  $35 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ , тоді як у зразках № 2 і № 4 - близько  $70 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ . У порівнянні з дослідженнями анаеробного зброджування рослинної біомаси, що були проведені раніше [14], в даному дослідженні було використано значно меншу кількість інокуляту, а початкове співвідношення інокуляту до субстрату (ISR) на основі VS дорівнювало 0,05 для зразків № 1, № 2 і 0,237 для зразків № 3, № 4. Початкові значення рН були дещо вищими для зразків № 3, № 4 з більшою масовою часткою інокуляту.

Таблиця 1.2.2 – Вихідні параметри суспензій рогозу широколистого та інокуляту дріжджів

Зразок	TS (wt.%)	$X_{in}$	TS <sub>in</sub> (wt.%)	VS <sub>tot</sub> ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	ISR	pH
№ 1	5	0.05	0.25	35.16	0.05	7.03
№ 2	10	0.05	0.5	70.31	0.05	6.76
№ 3	5	0.2	1.0	34.87	0.237	7.48
№ 4	10	0.2	2.0	69.74	0.237	7.42

Лабораторний блок дослідження процесу зброджування було здійснено наступним чином. Кінетику виходу біогазу досліджували на спеціально розробленій лабораторній установці зброджування (рис. 1.2.1). Основним компонентом експериментальної установки анаеробного зброджування є термостатичний інкубатор ТКП-01-5-БМТ (1), який забезпечує автоматичний режим постійної температури для 10 анаеробних реакторів 2 номінальним об'ємом 1 л кожен. Реактори 2 покриті чорною поліетиленовою плівкою для захисту від прямих сонячних променів. Температуру води в інкубаторі 1

підтримували в межах  $34 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , що відповідає процесу мезофільного травлення. Термостатичний інкубатор 1 має можливість періодичного струшування реакторів 2 із заданою періодичністю.



1 – термостатичний інкубатор; 2 – анаеробні реактори; 3 – водяна баня;  
4 – колби евідіметричні та мірні; 5 – вихідні труби біогазу

Рисунок 1.2.1 – Експериментальна установка для дослідження кінетики анаеробного зброджування в періодичному режимі:

Герметично закриті та занурені у воду реактори 2 були обладнані прозорими поліетиленовими трубками 5 для видалення біогазу. За рахунок різниці тисків біогаз надходив по трубках 5 в лабораторні газозбірні та мірні скляні колби 4 номінальним об'ємом 500 мл. Колби 4 були перевернуті догори дном і занурені в наповнену водою ванну 3. Значення рН води у ванні 3 підтримувалося нижче рН=5, щоб запобігти розчиненню  $\text{CO}_2$ , що міститься в біогазі, так як неорганічний вуглець у воді розчинів при такому рН знаходиться переважно у вигляді вуглекислого газу.

Загальна тривалість анаеробного зброджування, проведеного в періодичному режимі, становила 24 доби. Анаеробні реактори автоматично струшували протягом 1 хв щогодини. Моніторинг накопичення біогазу в градуйованих газгольдерних евідіметричних колбах 4 в режимі реального часу

здійснювали за допомогою системи дистанційного відеоспостереження. Поточеке відео з веб-камери безперервно передавалося на хмарне сховище, а поточні значення об'єму біогазу регулярно фіксувалися, що дозволяло здійснювати безперервний контроль за кінетикою виходу біогазу.

Хімічний склад біогазу вимірювали 1 раз на добу за допомогою 5-компонентного портативного газоаналізатора Дозор-5М. Для оцінки якості біогазу проводився моніторинг чотирьох газів, а саме метан  $\text{CH}_4$ , об.%, аміак  $\text{NH}_3$ ,  $\text{мг/м}^3$ , сірководень  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{мг/м}^3$ , та вуглекислий газ  $\text{CO}_2$ , об.%. П'ятим компонентом був кисень для контролю анаеробних умов усередині реакторів.

Термогравіметричний аналіз дигестату було здійснено наступним чином. Для оцінки ступеня біодеградації рослинної біомаси в результаті анаеробного зброджування використовували термогравіметричний аналіз. Значна кількість попередніх досліджень підтвердила ефективність цього методу для аналізу процесу АД тваринницьких і харчових відходів, придорожньої трави та безпосередньо рогози широколистої [22].

Термогравіметричні дослідження зразків дигестату суспензій рогозу широколистої, анаеробно збродженого з використанням дріжджових залишків закваски, а також самої сухої маси закваски проводили на дериватографі Q-1500D системи Пауліка-Пауліка-Ердея з комп'ютерною реєстрацією втрат маси та теплових ефектів. Зразки аналізували в динамічному режимі на повітрі зі швидкістю нагрівання  $5^\circ\text{C/хв}$ . Наважка зразків становила 100 мг, а речовина порівняння - оксид алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

При виконанні дослідження було отримано наступні *результати* та проведено їх *обговорення*.

Дослідження впливу дріжджового інокуляту на мезофільне анаеробне зброджування широколистої рогозу показало наступні результати. Отримано інтегральні криві питомого виходу біогазу в процесі 24-добового анаеробного мезофільного зброджування суспензій рогозу широколистої з дріжджовими рештками в лабораторних умовах (рис. 1.2.2). Отримано багатостадійні криві

виходу біогазу, що можна пояснити послідовним зброджуванням різних компонентів суспензій. Характерною особливістю є досить активне утворення біогазу в усіх чотирьох зразках у першу добу дослідження з найвищим питомим виходом біогазу для зразка № 3 з  $TS=5$  мас.ч. та  $X_{in}=0,2$ . Активний метаногенез у першу добу дослідження можна пояснити перетравленням інокуляту, що містить раніше сформовані центри біохімічних реакцій. Після початкового етапу активного метаногенезу на всіх чотирьох кривих питомого виходу біогазу  $q_{bg}$  спостерігаються більш-менш чіткі горизонтальні ділянки різної тривалості (рис. 2). Це, ймовірно, може бути наслідком переходу процесу зброджування від використання інокуляту в біохімічних реакціях до формування центрів біохімічних реакцій в рослинному субстраті, індукованих в результаті процесу ферментації. Найвища швидкість метаногенезу та найбільші загальний і питомий виходи біогазу були отримані для суспензії № 4 з вмістом сухої речовини  $TS=10$  мас.ч. та масовою часткою інокуляту  $X_{in}=0,2$ .

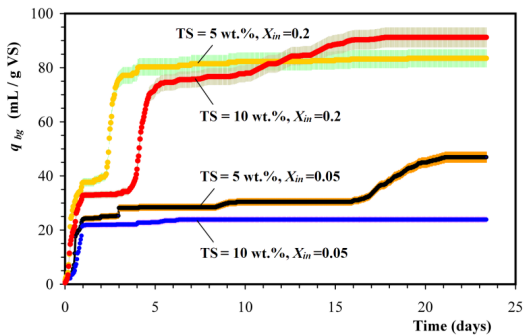


Рисунок 1.2.2. – Питомий вихід біогазу в лабораторному мезофільному анаеробному зброджуванні суспензій рогозу широколистого (вказані межі похибки  $\pm 4$  %) (англ.)

Загальний вихід біогазу зростає зі збільшенням як вмісту сухої речовини, так і масової частки інокулята. Крім того, ефект інокуляту значно сильніший, тому при низькому вмісті інокуляту ( $X_{in}=0,05$ ) збільшення вмісту сухої речовини не викликало збільшення загального виходу біогазу (табл. 3). Водночас за достатньо високого вмісту інокуляту  $X_{in}=0,2$  збільшення вмісту сухої речовини з 5 мас.% до 10 мас.% призвело до майже пропорційного збільшення об'єму біогазу.

Питомий вихід біогазу коливався від  $23,9 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{VS}}^{-1}$  для зразка № 2 до  $91,2 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{VS}}^{-1}$  для зразка № 4. Важливо, що за низького вмісту інокуляту ( $X_{in}=0,05$ ) питомий вихід біогазу в 2,0 рази вищий, для процесу мокрого зброджування з  $TS=5$  мас.% порівнюючи суспензію № 2 з  $TS=10$  мас.%. з результати для зразків № 4 та № 2 з  $TS=10$  мас.%. Порівнюючи результати для зразків № 4 та № 2 з  $TS=10$  мас. %, слід зазначити, що питомий вихід біогазу майже пропорційний масовій частці інокуляту, він у 3,8 рази вищий для суспензії з  $X_{in}=0,2$ , ніж для суспензії з  $X_{in}=0,05$  (табл. 1.2.3).

Середній вміст метану в отриманому біогазі змінювався від 29,0% для суспензії № 2 ( $TS=10$  мас. %,  $X_{in}=0,05$ ) до 64,0% для суспензії № 4 ( $TS=10$  мас.%,  $X_{in}=0,2$ ). Таким чином, залежність питомого виходу метану від вмісту  $TS$  та частки інокуляту якісно співпадає з питомим виходом біогазу, тільки більш виражена і змінюється в діапазоні від  $6,9 \text{ мл}_{\text{CH}_4} \cdot \text{г}_{\text{VS}}^{-1}$  для зразка № 2 до  $58,4 \text{ мл}_{\text{CH}_4} \cdot \text{г}_{\text{VS}}^{-1}$  для зразка № 4.

Таблиця 1.2.3 – Основні вихідні параметри мезофільного анаеробного зброджування розгозу широколистоного та дріжджових залишків

Параметр	Зразки			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Загальний вихід біогазу (NL)	0.825	0.84	1.455	3.18
Питомий вихід біогазу ( $\text{mL} \cdot \text{г}_{\text{TS}}^{-1}$ )	33.0	16.8	58.2	63.6
Питомий вихід біогазу ( $\text{mL} \cdot \text{г}_{\text{VS}}^{-1}$ )	46.9	23.9	83.5	91.2
Вміст метану $\text{CH}_4$ (vol.%)	45.0	29.0	40.0	64.0
Питомий вихід метану ( $\text{mL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{г}_{\text{VS}}^{-1}$ )	21.1	6.9	33.4	58.4

Таким чином, додавання інокуляту дріжджових залишків до суспензій рогозу широколистого збільшує як загальну кількість отриманого біогазу, так і питомий вихід метану, напр. для суспензії № 4 із загальною сухою речовиною 10 мас.% та масовою часткою інокуляту  $X_{in} = 0,2$  отримано питомий вихід біометану  $58,4 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{vs}}^{-1}$ , що у 8,5 разів вище порівняно з суспензією № 2 з  $\text{ТС} = 10 \text{ мас.}\%$ ,  $X_{in} = 0,05$ . Слід зазначити, що отримані значення значно менші за питомий вихід метану  $170 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{vs}}^{-1}$ , отримано для *Phragmites australis* Ohlsson et al. [8], що можна пояснити приблизно в 4 рази більшою тривалістю мезофільного зброджування у порівняльному дослідженні (100 днів) і майже на три порядки більшим робочим об'ємом зброджуваної біомаси (430 л проти 0,5 л у поточному дослідженні) . З іншого боку, отримані експериментальні результати добре корелюють із середнім фактичним питомим виходом біометану на промисловому метантенку компанії «Ензим», який становить приблизно  $61 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{vs}}^{-1}$ .

Термогравіметричний аналіз дигестату суспензій рогозу широколистого дозволив отримати такі результати. Основні результати комплексного термічного аналізу зразків дигестату №1-4, а також інокуляту з метантенку очищення стічних вод дріжджового виробництва, отримані з використанням дериватографа Q-1500D системи Пауліка-Пауліка-Ердея, наведено в табл. 1.2.4. Зокрема, наведено температурні інтервали кожної стадії термічної деструкції зразків та відповідні їм термічні ефекти, а також температури екстремумів термічних ефектів та втрати маси зразків на кожній стадії термічної деструкції.

Таблиця 1.2.4 – Результати комбінованого термічного аналізу анаеробно розщеплених суспензій рогозу широколистого та інокуляту залишків дріжджів

Зразок	Температурний діапазон, °C	Втрата маси, %	Термічний ефект
1	2	3	4
Дигестат No 1 TS = 5 wt.%, $X_{in} = 0.05$	20 – 129	4.64	ендотермічний, $T_{max} = 95$ °C
	129 – 200	7.64	ендотермічний
	200 – 369	41.74	екзотермічний, $T_{max} = 287$ °C
	369 – 750	32.43	екзотермічний, $T_{max} = 445$ °C
Дигестат No 2 TS = 10 wt.%, $X_{in} = 0.05$	20 – 125	4.05	ендотермічний, $T_{max} = 98$ °C
	125 – 201	10.73	ендотермічний
	201 – 369	38.90	екзотермічний, $T_{max} = 300$ °C
	369 – 750	34.40	екзотермічний, $T_{max} = 457$ °C
Дигестат No 3 TS = 5 wt.%, $X_{in} = 0.2$	20 – 134	4.92	ендотермічний, $T_{max} = 94$ °C
	134 – 185	3.11	ендотермічний
	185 – 355	37.73	екзотермічний, $T_{max} = 275$ °C
	355 – 750	34.84	екзотермічний, $T_{max} = 462$ °C
Дигестат No 4 TS = 10 wt.%, $X_{in} = 0.2$	20 – 128	6.78	ендотермічний, $T_{max} = 93$ °C
	128 – 189	5.06	ендотермічний
	189 – 348	35.56	екзотермічний, $T_{max} = 275$ °C
	348 – 750	32.94	екзотермічний, $T_{max} = 488$ °C
Інокулят з дріжджових залишків	20 – 171	8.05	екзотермічний, $T_{max} = 125$ °C
	171 – 215	2.84	ендотермічний
	215 – 374	31.48	екзотермічний, $T_{max} = 278$ °C
	374 – 750	36.38	екзотермічний, $T_{max} = 504$ °C

Термодеструкція зразків дигестату № 1 – № 4 проходила за аналогічним механізмом, про що свідчить подібна форма термограм. Повну термограму найбільш ефективного за питомим виходом біогазу зразка № 4 (TS= 10 мас.%,  $X_{in} = 0,2$ ) наведено на рис. 1.2.3. Термогравіметричні криві (TG) показують втрати маси зразків при нагріванні. Диференціальні термогравіметричні криві (ДТГ) показують швидкість втрати маси в часі і є результатом диференціації кривих TG. Криві диференційного термічного аналізу (ДТА) показують термічні ефекти відповідних перетворень зразків.

Термічна деструкція всіх зразків дигестату відбувається в чотири характерні стадії (табл. 1.2.4). На першому етапі термічної деструкції, в інтервалі температур від 20-134°C, вода, адсорбована пробами, виділяється. Цей процес супроводжується втратою маси зразка та появою ендотермічних ефектів на кривих ДТА.

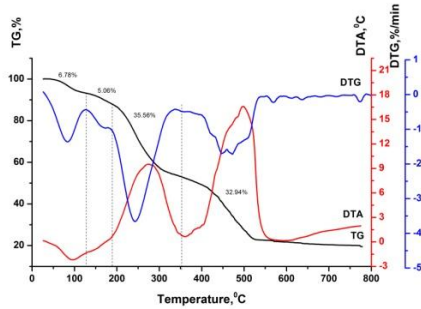


Рисунок 1.2.3. – Термограма проби дигестату № 4 (TS= 10 мас.%,  $X_{in} = 0,2$ ) (англ.)

На другому етапі термічної деструкції в інтервалі температур 125-201°C відбуваються ендотермічні процеси дегідратації залишків целюлози. У цьому діапазоні температур також відбувається часткова деструкція інокуляту, що входить до складу зразків. Слід зазначити, що зразки з меншою масовою часткою інокуляту мають більший вміст конституційної води, зв'язаної целюлозою. Це вказує на менш глибоку трансформацію компонентів зразка, викликану інокулятом.

На третій стадії в інтервалі температур 185-369°C відбувається термоокислювальна деструкція компонентів зразка та спалювання залишків. Цей процес супроводжується інтенсивними втратами маси зразків і появою сильних екзотермічних ефектів на кривих ДТА. Слід зазначити, що зразки дигестату з більшим вмістом інокулята є менш термостабільними. Початок деструктивних і термоокислювальних процесів у цих зразках на третій стадії термічної деструкції зміщено в бік нижчих температур. Так, розкладання зразка дигестату № 3 починається при температурі 185°C, а зразка № 4 – при температурі 189°C, тоді як розкладання зразків № 1 і № 2 починається при температурах 200°C і 201°C відповідно. На третій стадії термічної деструкції зразки № 3 та № 4 інтенсивніше втрачають масу, про що свідчать глибші екстремуми на кривих ДТГ цих зразків (рис. 1.2.4) та зміщення максимумів

екзотермічних ефектів на кривих ДТА на область нижчих температур (табл. 1.2.4). Нижчу термостійкість зразків із більшою масовою часткою інокуляту можна пояснити наявністю більшої кількості менш термостійких сполук, які є продуктами біологічного розпаду компонентів рогозу широколистого в процесі АД.

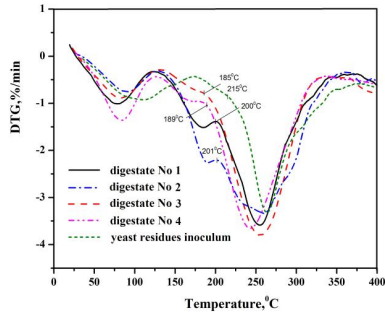


Рисунок 1.2.4 – Криві DTG для зразків дигестату та інокулята зразка в діапазоні температур 20-400°C (англ.)

Слід зазначити, що зразок інокуляту залишків дріжджів, порівняно зі зразками дигестату № 1-№ 4, має вищу термічну стабільність. Втрати маси 8,05 % зразка інокуляту в інтервалі температур 20-171°C, що супроводжується ендотермічним ефектом на кривій ДТА, відповідають виділенню летких компонентів зразка. Невеликі втрати маси (2,84 %) в інтервалі температур 171-215°C відповідають початковим деструктивним процесам в інокуляту. Початок інтенсивної втрати маси цього зразка зсувається в область більш високих температур (вище 215°C). При термічній деструкції в температурі 215-374°C, інокулят втрачає масу менш інтенсивно (31,48 %) порівняно зі зразками дигестату № 1-№ 4 (35,56-41,74 %). І, нарешті, в інтервалі температур 374-750°C відбувається руйнування залишків деградації; цей процес відповідає втратам ваги 36,38 % і екзотермічному ефекту на кривій ДТА.

Проведені дослідження дозволили зробити наступні *висновки*.

Експериментально досліджено мезофільне анаеробне зброджування суспензій рогозу широколистоного, посилене додаванням інокулята, відібраного із дріжджових залишків анаеробного зброджувача, у періодичному режимі. Двопараметричний дослід проводили для суспензій із вмістом сумарної сухої речовини TS=5 мас.% та 10 мас.% та з масовою часткою сухої речовини інокуляту  $X_{in} = 0,05$  та 0,2. Отримано максимальний питомий вихід біогазу  $91,2 \text{ мл} \cdot \text{г}_{\text{вс}}^{-1}$  для суспензії з TS=10 мас.% і  $X_{in} = 0,2$ . Вихід біогазу посилювався зі збільшенням як вмісту TS, так і масової частки інокулята, причому вплив фракції інокулята був сильнішим. Термогравіметричний аналіз показав збільшення термічно нестабільних компонентів у вихідному дигестаті зі збільшенням масової частки дріжджових залишків інокулята в суспензії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. C.S. Calheiros, A.O. Rangel, P.M. Castro, Treatment of industrial wastewater with two-stage constructed wetlands planted with *Typha latifolia* and *Phragmites australis*, *Bioresour. Technol.* 100 (13) (2009) 3205–3213, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.017>.
2. M. Malovanyy, V. Nikiforov, O. Kharlamova, O. Synelnikov, Production of renewable energy resources via complex treatment of cyanobacteria biomass, *Chem. & Chemic. Technol.* 10 (2) (2016) 251–254, <https://doi.org/10.23939/chcht10.02.251>.
3. A. Micek, K. Józwiakowski, M. Marzec, A. Listosz, Technological reliability and efficiency of wastewater treatment in two hybrid constructed wetlands in the Roztocze National Park (Poland), *Water* 12 (12) (2020) 3435, <https://doi.org/10.3390/w12123435>.
4. W. Apollon, I. Rusyn, N. González-Gamboa, T. Kuleshova, A.I. Luna-Maldonado, J.A. Vidales-Contreras, S.K. Kamaraj, Improvement of zero waste sustainable recovery using microbial energy generation systems: A comprehensive review, *Sc. Tot. Environ.* (2022) 153055, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153055>.
5. S.B. Kurniawan, A. Ahmad, N.S.M. Said, M.F. Imron, S.R.S. Abdullah, A.R. Othman, ... H.A. Hasan, Macrophytes as wastewater treatment agents: Nutrient

uptake and potential of produced biomass utilization toward circular economy initiatives, *Sc. Tot. Environ.* 790 (2021) 148219, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148219>.

6. S. Ghimire, L. Wang, B. Zhang, X. Li, A. Shahbazi, Production and modification of hydrochar from anaerobically digested cattail for adsorbing ammonium and phosphorous in wastewater, *Water Sc. & Technol.* 84 (7) (2021) 1678–1692, <https://doi.org/10.2166/wst.2021.378>.

7. S. Roj-Rojewski, A. Wysocka-Czubaszek, R. Czubaszek, A. Kamocki, P. Banaszuk, Anaerobic digestion of wetland biomass from conservation management for biogas production, *Biomass and Bioener.* 122 (2019) 126–132, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.038>.

8. L.O. Ohlsson, S. Karlsson, K. Rupa-Gadd, E. Albers, U. Welander, Evaluation of *Laminaria digitata* and *Phragmites australis* for biogas production and nutrient recycling, *Biomass and Bioener.* 140 (2020) 105670, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105670>.

9. P. Banaszuk, A.K. Kamocki, A. Wysocka-Czubaszek, R. Czubaszek, S. Roj-Rojewski, Closing the loop - Recovery of nutrients and energy from wetland biomass, *Ecol. Eng.* 143 (2020) 105643, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105643>.

10. M. Malovanyy, O. Moroz, V. Popovich, M. Kopyi, I. Tymchuk, A. Sereda, G. Krusir, C. Soloviy, The perspective of using the "open biological conveyor" method for purifying landfill filtrates, *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 16 (2021) 100611, <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100611>.

11. J.F. Köbbing, F. Patuzzi, M. Baratieri, V. Beckmann, N. Thevs, S. Zerbe, Economic evaluation of common reed potential for energy production: A case study in Wuliangshuai Lake (Inner Mongolia, China), *Biomass and Bioener.* 70 (2014) 315–329, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.08.002>.

12. A. Barco, S. Bona, M. Borin, Plant species for floating treatment wetlands: A decade of experiments in North Italy, *Sc. Tot. Environ.* 751 (2021) 141666, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141666>.

13. J.J. Geurts, C. Oehmke, C. Lambertini, F. Eller, B.K. Sorrell, S.R. Mandiola, ... C. Fritz, Nutrient removal potential and biomass production by *Phragmites australis* and *Typha latifolia* on European rewetted peat and mineral soils, *Sc. Tot. Environ.* 747 (2020) 141102, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141102>.

14. R. Czubaszek, A. Wysocka-Czubaszek, W. Wichtmann, P. Banaszuk, Specific methane yield of wetland biomass in dry and wet fermentation technologies, *Energies* 14 (24) (2021) 8373, <https://doi.org/10.3390/en14248373>.

15. O. Awogbemi, D.V. Von Kallon, Pretreatment techniques for agricultural waste, *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 6 (2022) 100229, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100229>.

16. B. Zhang, A. Shahbazi, L. Wang, O. Diallo, The pretreatment, enzymatic hydrolysis, and fermentation of cattails from constructed wetlands, *Energy Sourc. Part A: Recov. Util. & Environ. Eff.* 35 (3) (2013) 246–252,

<https://doi.org/10.1080/15567036.2010.509089>.

17. C. Catherine, M. Twizerimana, Biogas production from thermochemically pretreated sweet potato root waste, *Heliyon* 8(9) (2022) e10376, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10376>.

18. M. Malovanyy, I. Voytovych, O. Mukha, V. Zhuk, I. Tymchuk, C. Soloviy, Potential of the co-digestion of the sewage sludge and plant biomass on the example of Lviv WWTP, *Ecol. Eng. & Environ. Technol.* 23 (2) (2022) 107–112, <https://doi.org/10.12912/27197050/144958>.

19. G.P.B. Marquez, H. Takeuchi, M.N.E. Montaña, T. Hasegawa, Performance of rice straw as mono-and co-feedstock of *Ulva* spp. for thalassic biogas production, *Heliyon*, 6(9) (2020) e05036, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05036>.

20. Z.H. Hu, H.Q. Yu, Anaerobic digestion of cattail by rumen cultures, *Waste Manag.* 26 (11) (2006) 1222–1228, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.08.003>.

21. C. Nzeteu, A. Joyce, C. Thorn, K. McDonnell, S. Shirran, V. O'Flaherty, F. Abram, Resource recovery from the anaerobic digestion of food waste is underpinned by cross-kingdom microbial activities, *Bioresour. Technol. Rep.* 16, (2021) 100847, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100847>.

22. C.I. Akor, A.I. Osman, C. Farrell, C.S. McCallum, W.J. Doran, K. Morgan, ... G.N. Sheldrake, Thermokinetic study of residual solid digestate from anaerobic digestion, *Chem. Eng. J.* 406 (2021) 127039, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127039>.

## **РОЗДІЛ 1.3 ОБРОБКА ДЕРЕВИНИ ГРАНУЛЯЦІЄЮ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА**

**Мальований Мирослав Степанович,**

**Жук Володимир Михайлович,**

**Вронська Наталія Юрївна,**

**Люта Оксана Володимирівна,**

**Кочубей Вікторія Віталіївна,**

*Національний університет «Львівська політехніка», Україна*

**Богаченко Галина Казимирівна**

*Офіс міжнародних проєктів університету «КРОК», Україна*

Досягнення Цілей сталого розвитку (ЦСР) є актуальним завданням сьогодення, особливо в сфері охорони навколишнього середовища [1, 2]. Зокрема, важливими в цьому контексті є проблеми очищення стічних вод з використанням природних сорбентів [3] та біологічних об'єктів [4], моніторингу забруднення поверхневих вод [5], утилізації відходів очищення стічних вод на каналізаційних очисних спорудах [6, 7]. Найбільш актуальними проблемами екологічної безпеки в контексті досягнення ЦСР є: поводження з побутовими відходами [8], поводження з промисловими відходами [9], прогнозування екологічних ризиків [10].

Під час обробки деревини утворюється значна кількість відходів. За даними Форуму сталого агробізнесу (SAF), щорічно в Україні утворюється до 49 мільйонів тонн деревних відходів, енергія яких еквівалентна 10–20 мільярдам кубічних метрів природного газу. Повідомляється, що ці відходи спричиняють збільшення викидів парникових газів через розкладання ксилану (деревних речовин), забруднення води та ґрунту в місцях їх захоронення (що призводить до замулення водних об'єктів і загибелі водних організмів). Однією

з найперспективніших технологій утилізації відходів, які не можуть бути використані в інших технологіях, є їх спалювання. У цьому випадку можна вирішити важливе завдання поповнення енергетичних запасів при мінімізації забруднення повітря продуктами горіння.

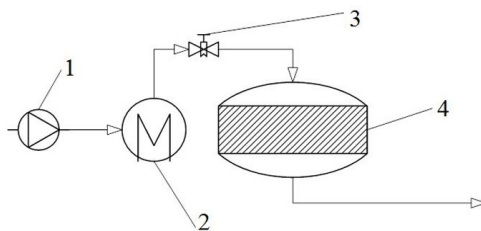
Біоенергетичний сектор можна вважати найбільш динамічним. У 2018 році в Україні загальне постачання первинної енергії з біопалива та відходів було еквівалентним заміщенню 4 мільярдів кубічних метрів природного газу на рік. На ринку біопалива найбільший сегмент займають тверді біопалива у формі дров, деревної тріски, гранул і брикетів з біомаси, тюків соломи. Частка деревної біомаси в структурі енергетичного потенціалу біомаси в Україні становить лише близько 13%, проте практичне використання її потенціалу перевищує 80%. З загостренням проблеми енергопостачання в світі використання деревної біомаси стає особливо актуальним. Україна має значний енергетичний потенціал біомаси. Важливе енергетичне місце серед біологічних відходів займає деревна біомаса. Але основна частина відходів, яка за різними джерелами становить до 40% (здебільшого тирса, стружка та кора), не використовується в технологічних цілях і може бути використана як паливо. Для використання деревини як палива в промислових масштабах необхідно забезпечити відносну однорідність за вологістю та гранулометричним складом, сприятливі умови транспортування, дозування та зберігання деревини [17, 18].

Серед найбільш поширених методів гранулювання [19] перспективним є метод екструзії в шнекових грануляторах. Важливо створювати гранули з використанням дешевого зв'язувального матеріалу, який не забруднює самі гранули. Використання сульфатного мила, основним компонентом якого є натрієві солі жирних смоляних кислот і солі гідроксициклот як продукту розкладання деревини, є перспективним зв'язуючим для відходів цлюлозно-паперового виробництва [20]. Накопичення цих відходів також створює певну екологічну проблему, що ще більше посилює актуальність досліджень. Важливо, що при використанні цього зв'язуючого матеріалу в деревину не

додаються сторонні продукти, які б спричиняли забруднення газоподібних відходів згоряння пелет. Тому отриманий продукт є перспективним для використання в біоенергетиці.

*Метою* дослідження було встановити оптимальні умови утилізації відходів соснової деревини шляхом виробництва паливних гранул. Для досягнення цієї мети були виконані такі завдання: дослідження оптимальних параметрів процесу фільтраційного сушіння; встановлення оптимальної концентрації сульфатного мила як зв'язуючого матеріалу.

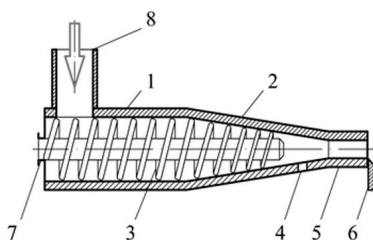
*Матеріали та методи*, використані в дослідженні, були наступними. Використання вологої сировини для виробництва пелет є недоцільним через складність формування пелет з вологої сировини, їх низьку теплотворну здатність та неможливість забезпечити міцність пелет. Крім того, зменшення кількості вологи, що випаровується при спалюванні, покращує умови експлуатації металевих елементів печі. Через те, що деревні відходи зберігаються на відкритому повітрі, їхня вологість може сягати понад 70% від сухої ваги. Тому для подальшого використання деревних відходів як сировини для виробництва пелет їх необхідно висушити до вологості нижче 10% від сухої маси. Процес сушіння деревних відходів здійснювався шляхом організації фільтраційного потоку теплоносія через нерухомий шар деревних відходів, дослідження проводилися на установці, як показано на рис. 1.3.1.



1 – вентилятор; 2 – нагрівач; 3 – регулюючий клапан; 4 – сушильна камера.

Рисунок 1.3.1. – Схема установки для дослідження сушіння деревних відходів,

Для встановлення оптимального співвідношення між кількістю деревних відходів та зв'язуючого матеріалу дослідження проводилися на установці, зображеній на рис. 1.3.2.



1 – циліндрична частина корпусу; 2 – кінцева частина корпусу; 3 – шнек з транспортуючими, ущільнюючими та віджимними лопатями; 4 – дренажний отвір; 5 – матриця; 6 – рідкий пристрій; 7 – вал редуктора; 8 – завантажувальне вікно

Рисунок 1.3.2. – Схема установки для формування паливних гранул з деревних відходів методом екструзії,

Забезпечити рівномірний розподіл компонентів у процесі змішування зв'язуючого та наповнювача вкрай складно через малу кількість зв'язуючого, його високу в'язкість та гігроскопічність деревних відходів. Неоднорідність суміші призводить до погіршення якості пелетних палив, їх крихкості як в місцях надлишку зв'язуючого, так і в місцях його дефіциту. Збільшення кількості зв'язуючого призводить до погіршення якості отриманих гранул, зокрема, знижує їх міцність. Оснащення кінцевої частини корпусу дренажними отворами забезпечує видалення частини рідкого сполучного з суміші. Завдяки підвищенню тиску в кінчній частині корпусу сполучний компонент

рівномірно розподіляється між дрібними частинками деревних відходів, а його надлишок видаляється через дренажні отвори, що забезпечує високу міцність отриманих пелет і знижує їх крихкість.

Надлишок зв'язуючої речовини зменшує тертя між сумішшю і робочими частинами установки, що сприяє зниженню питомих енерговитрат на процес гранулювання, а також продовжує термін служби обладнання. Дренажні отвори на конічній частині дозволяють видаляти надлишок зв'язуючої речовини із суміші. Завдяки дренажним отворах надлишок зв'язуючої речовини виводиться назовні, а тиск зменшується.

В якості основи паливних гранул в даному дослідженні використовували відходи хвойних порід деревини, переважно сосни, з лісопильного заводу. Гранулометричні вимірювання соснової тирси показали, що  $95,1 \pm 0,5$  % мас. складаються з часток розміром до 1 мм, тоді як  $4,9 \pm 0,5$  % мас. складаються з часток розміром від 1 мм до 2,5 мм. Для визначення оптимальних умов створення пелет на першому етапі готували суміш у ємності, яку заповнювали наповнювачем сосною тирсою та зв'язуючим (об'єм сировинної суміші був однаковим для кожного разу). Потім ці компоненти змішувалися в камері підготовки та дозуючому шнеку 3 (рис. 1.3.2), після чого надходили до циліндричної 1, конічної 2 частини та матриці 5, де відбувався процес формування гранул. Під час формування частки деревини стискалися, наближаючись на мінімальну відстань одна від одної. А зв'язуюча речовина обгортала їх і скріплювала частки між собою. Оптимальна кількість зв'язуючої речовини визначалася тиском, який виводив надлишок даної речовини за межі пресованої маси. Всі ці дії виконувалися для того, щоб зберегти форму гранули після зниження тиску.

Сульфатне мило з целюлозно-паперової промисловості, що складається в основному з натрієвих солей, отриманих з жирних смоляних кислот і гідроксикислот, що утворюються при розкладанні деревини, було використано в якості зв'язуючого в цьому дослідженні. Експерименти продовжувалися з

почерговим збільшенням кількості наповнювача при постійному об'ємі зв'язуючого, а також при збільшенні останнього і постійному об'ємі першого. Критерієм, що характеризує оптимальне співвідношення наповнювача і зв'язуючого, є міцність гранул. Готові гранули після виходу зі шнека висушували і випробовували на міцність, а найміцніші використовували для подальших експериментів. Теплота згоряння гранул, вміст летких компонентів і залишок коксу в гранулах визначалися за методикою [21]. Визначення статичної міцності гранул проводили на приладі МП-100 за методикою [22].

При виконанні дослідження було отримано наступні **результати та проведено їх обговорення.**

З метою правильної організації технологічного процесу сушіння було досліджено вплив швидкості теплоносія, його температури та товщини шару на процес сушіння деревних відходів. Експериментальні дослідження кінетики процесу сушіння відходів лісового господарства проводились при різних температурах теплоносія, результати експериментальних досліджень наведені в роботі [20].

Перший етап сушіння характеризується різким зменшенням вмісту вологи у матеріалі, і різниця в швидкості сушіння різних товщин шарів є незначною. Це пов'язано з тим, що в перший період сушіння випаровування вологи відбувається з поверхневих шарів і обмежується зовнішніми факторами дифузії та характеристиками теплоносія, зокрема температурою теплоносія та швидкістю сушіння матеріалу. На другому етапі волога видаляється з глибших шарів матеріалу, і є значна різниця у зміні вмісту вологи в шарах різної товщини. У цей період швидкість сушіння знижується та обмежується молекулярною дифузією та вологопровідністю шару. Оскільки перший період є тривалим, процес сушіння можна інтенсифікувати, підвищивши швидкість або температуру теплоносія. Коефіцієнт теплопередачі збільшується зі збільшенням швидкості, а дифузійний опір зменшується, але разом із тим збільшується винесення вологого матеріалу із зони сушіння. Це, у свою чергу, підвищує

навантаження на систему очищення та вимагає повторного сушіння винесених часток. Тому для умов дослідження було вибрано оптимальну швидкість теплоносія, яка забезпечила високу ефективність процесу сушіння з мінімальними втратами вологого матеріалу. Експерименти показали, що найоптимальніша швидкість становить  $w_0 = 4,2$  м/с, при якій втрати не перевищують 3,5 % [23].

Для аналізу оптимальних параметрів режиму сушіння дерев'яних відходів, були використані дані дослідження впливу температури сушильного агента на кінетику сушіння, описані в [20], а також дані з власних досліджень щодо впливу висоти шару відходів на кінетику сушіння, проведені на зазначеній вище установці. Результати наведені на рис. 3. Було визначено критичний вміст води дерев'яних відходів ( $W_{cr}$ ), який відповідає переходу процесу сушіння до другого етапу, а також час сушіння на першому етапі. Розрахункові значення критичної вологості для експериментальних умов наведені в табл. 1.3.1.

Таблиця 1.3.1 – Визначення критичної вологості для різних умов дослідження кінетики сушіння дерев'яних відходів у шарі відходів

$H$ (м)	$t$ (°C)	$W_{cr}$ , вода/сухий матеріал (кг/кг)	$\tau_1$ (с)
Для різних висот шару матеріалу			
$10 \cdot 10^{-3}$	100	0.34	1,400
$20 \cdot 10^{-3}$	100	0.36	1,600
$30 \cdot 10^{-3}$	100	0.38	2,000
$40 \cdot 10^{-3}$	100	0.40	3,600
Для різних температур охолоджувача			
$20 \cdot 10^{-3}$	135	0.34	1,100

$20 \cdot 10^{-3}$	100		0.36	1,600
$20 \cdot 10^{-3}$	80		0.39	1,900
$20 \cdot 10^{-3}$	60		0.42	2,400

де  $H$  — висота шару матеріалу;  $W_{cr}$  — рівноважне значення вологості;  $t_1$  — тривалість сушіння на першому етапі.

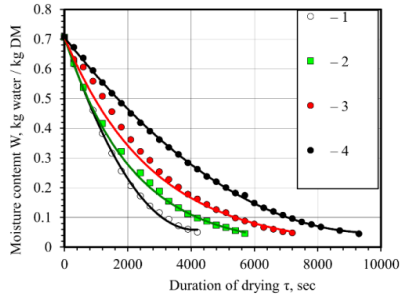


Рисунок 1.3.3 – Кінетика сушіння дерев'яних відходів при температурі охолоджувача  $t = 100$  °C та висоті шару дерев'яних відходів: 1 –  $10 \cdot 10^{-3}$  м, 2 –  $20 \cdot 10^{-3}$  м, 3 –  $30 \cdot 10^{-3}$  м, 4 –  $40 \cdot 10^{-3}$  м. (англ.)

Час сушіння на другому етапі  $\tau_2$  був визначений за допомогою комбінованого масиву експериментальних даних. Загальний час сушіння до кінцевої вологості  $t_{fin}$  визначався як сума часу сушіння на першому етапі  $t_1$  та на другому етапі  $\tau_2$ . Результати експериментальних досліджень сушіння дерев'яних відходів у режимі фільтрації, а також результати розрахунків оптимальних параметрів процесу фільтраційного сушіння та енергетичних витрат на процес сушіння наведені в табл. 1.3.2.

Таблиця 1.3.2 – Вибір параметрів процесу сушіння дерев'яних відходів

$H$ (м)	$t$ (°C)	$\rho$ (кг/м <sup>3</sup> )	$\omega_b$ (м/с)	$t_{fin}$ (°C)	$\tau_{fin}$ (с)	$Q_{dry}$ (кДж/кг) суха вага	$Q_{wet}$ (кДж/кг) вода
Для різної висоти шару матеріалу							
$10 \cdot 10^{-3}$	100	940	4.2	90	4,200	150,000	773,000
$20 \cdot 10^{-3}$	100	940	4.2	90	5,700	174,000	744,000
$30 \cdot 10^{-3}$	100	940	4.2	90	7,200	178,000	610,000
$40 \cdot 10^{-3}$	100	940	4.2	90	9,400	180,000	551,000
Для різних температур охолоджувача							
0.020	135	940	4.2	125	3,900	110,000	385,000

0.020	100	940	4.2	90	5,700	174,000	744,000
0.020	80	940	4.2	70	6,800	189,000	804,000
0.020	60	940	4.2	50	7,200	194,000	876,000

де  $\rho$  — щільність дерев'яних відходів;  $\omega_0$  — швидкість охолоджувача;  $t_{fin}$  — кінцева температура охолоджувача;  $Q_{dry}$  — тепловитрати на сушіння в розрахунку на 1 кг сухого матеріалу;  $Q_{wet}$  — тепловитрати на сушіння в розрахунку на 1 кг випарованої вологості.

На основі власних досліджень були обрані оптимальна товщина шару  $20 \cdot 10^{-3}$  м, температура охолоджувача  $135$  °C і час сушіння  $3900$  с для досягнення необхідного вмісту вологості матеріалу. Проте, залежно від умов організації технологічного процесу в цілому, вибрані параметри реалізації процесу сушіння можуть відрізнятись. Тому отримані результати (таблиця 2) можна використовувати для розрахунку та проектування процесів сушіння дерев'яних відходів у промислових технологіях.

Визначальними умовами для використання пелет є їх статична міцність та теплота згорання, хоча важливими параметрами також є вміст летючих компонентів у газах згорання пелет та залишки коксу. Результати визначення статистичної міцності пелет в залежності від кількості зв'язуючого компонента в сировинній суміші наведені на рис. 1.3.4.

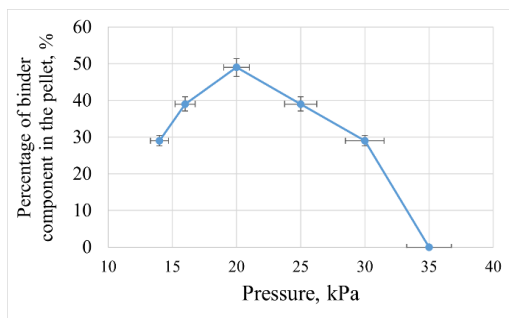


Рисунок 1.3.4 – Результати випробувань статичної міцності (вказані похибки  $\pm \dots$  % для вмісту зв'язуючого компонента та  $\pm \dots$  % для статичної міцності) (англ.)

Аналіз даних на рис. 1.3.4 показав, що міцність пелет зростає зі збільшенням вмісту зв'язуючого компонента в суміші. Але водночас збільшення вмісту цієї речовини призводить до погіршення зчеплення деревних часток між собою, що, у свою чергу, призводить до зменшення статичної міцності. Оптимальна концентрація зв'язуючого компонента становить 20%. Слід зазначити, що співвідношення властивостей суміші та зв'язуючого компонента є дуже важливим для отримання кінцевого продукту з відповідною міцністю та теплою згорання. Середній вміст зв'язуючого зазвичай становить 15–25 % [24], що узгоджується з отриманими результатами.

Було проведено дослідження для визначення концентрації зв'язуючого компонента, яка забезпечила б максимальну теплоту згорання пелет. За результатами експериментів був побудований графік, показаний на рис. 5. Аналіз результатів, представлених на рис. 1.3.5, показує, що основним компонентом, що збільшує теплоту згорання пелет, є зв'язуючий компонент. Зі збільшенням концентрації зв'язуючого в пелетах теплота згорання останніх монотонно зростає з 17,9 МДж/кг до 28,9 МДж/кг. На основі умови забезпечення фізичної стійкості пелет оптимальна концентрація зв'язуючого компонента в пелетах була обрана на рівні 20 % від маси пелет, що узгоджується з результатами досліджень Ju et al. [25].

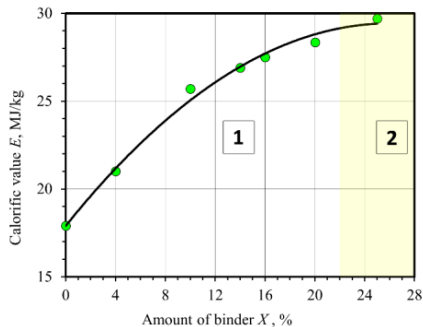


Рисунок 1.3.5 – Залежність теплоти згорання пелет від відсоткового вмісту зв'язуючого (1 – зона пластичного формування пелети, 2 – зона технологічного ризику) (англ.)

Дослідження показали, що відсоток летких компонентів монотонно зростає з додаванням зв'язуючого від 67,5 % (вміст зв'язуючого 0 %) до 75 % (вміст зв'язуючого 20 %), залежність близька до лінійної. Це пояснюється тим, що сульфатне мило (яке використовується як зв'язуюче) має вищу концентрацію летких компонентів. Тому зі збільшенням його вмісту кількість летких компонентів у гранулі зростає. Зі збільшенням вмісту сульфатного мила в гранулі вміст коксового залишку монотонно зменшується з 15,9 % (вміст зв'язуючого 0 %) до 10,7 % (вміст зв'язуючого 20 %), залежність близька до лінійної. Причиною цього є краща коксуюча здатність деревних відходів у суміші порівняно з в'язучим. Така ж тенденція спостерігається і у випадку використання в'язуючого для виробництва бетону з відходів [26].

Виробництво біопального з відходів деревини за дослідженим методом з оптимальними технологічними параметрами є актуальним для досягнення Цілей сталого розвитку: ЦСР7 (доступна та чиста енергія), ЦСР12 (відповідальне споживання та виробництво) та ЦСР13 (дії по боротьбі зі зміною клімату). Крім того, використання відходів деревини для виробництва біопалива може зменшити рівень вирубки лісів [27].

Виконані дослідження дозволили зробити наступні **висновки**.

Дослідження показали, що перспективним методом утилізації відходів деревини є їх екструзійне пелетування з використанням сульфатного мила як зв'язуючого компонента природного походження. Це дозволяє мінімізувати екологічний ризик забруднення навколишнього середовища відходами деревини, а також отримати біопаливо.

Необхідною попередньою операцією перед гранулюванням деревних відходів є їх сушіння до вологості не менше 10%. На основі аналізу дослідних

даних щодо сушіння деревних відходів у фільтраційному режимі отримано значення оптимальних параметрів процесу фільтраційного сушіння та енергетичних витрат на процес сушіння. Для досягнення необхідної вологості матеріалу обрано оптимальну товщину шару деревних відходів  $20 \cdot 10^{-3}$  м, температуру теплоносія 135 оС та час сушіння 3 900 с.

Згідно з результатами проведених досліджень, оптимальна концентрація зв'язуючого матеріалу була встановлена на рівні 20%. Це пов'язано із зменшенням вмісту залишків коксу; збільшенням вмісту летких компонентів; підвищенням теплоти згорання порівняно з відходами деревини; збільшенням статичної міцності.

На основі отриманих результатів можна стверджувати, що: у разі використання зв'язуючого компонента гранули формуються з меншим тиском, що забезпечує необхідну статичну міцність; з додаванням зв'язуючого компонента підвищується теплотворна здатність гранули порівняно з гранулою без зв'язуючого компонента; зв'язуючий компонент є мастилом, що зменшує сили тертя, а отже, і енергетичні витрати на їх подолання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. I. Yu. Ablieieva, N. Artyukhova, J. Krmela, M. Malovanyu, and D. Bereznyi, "Fluidized bed dryers in terms of minimizing environmental impact and achieving the sustainable development goals," *Drying Technology*, vol. 40, issue 8, pp. 1598–1608, 2022.

2. O. M. Mandryk, L. M. Arkhypova, A. V. Pukish, A. Zelmanovych, and K. Yakovlyuk, "Theoretical and methodological foundations of sustainable development of geosystems," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 200, 2017, Paper no. 012018.

3. V. Sabadash, J. Gumnitsky, and O. Lyuta, "Combined adsorption of the copper and chromium cations by clinoptilolite of the sokyrnytsya deposit," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 21, no. 5, pp. 42–46, 2020.

4. K. Jozwiakowski, P. Bugajski, K. Kurek, R. Caceres, T. Siwiec, A. Jucherski, W. Czekala, and K. Kozłowski, "Technological reliability of pollutant removal in different seasons in one-stage constructed wetland system with horizontal

flow operating in the moderate climate,” *Separation and Purification Technology*, vol. 238, 2020, Paper no. 116439.

5. O. Kurylets, A. Helesh, V. Vasiichuk, Z. Znak, and A. Romaniv, “Coagulation treatment of effluent from milk-processing enterprises with waste  $\text{FeSO}_4$ ,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 1, pp. 17–23, 2022.

6. I. Tymchuk, M. Malovanyy, O. Bota, O. Shkvirko, and O. Popovych, “Biological reclamation using a sewage sludge-based substrate – A way to ensure sustainable development of urban areas,” *Ecological Engineering and Environmental Technology*, vol. 23, no. 1, pp. 34–41, 2022.

7. D. Vankovych, O. Bota, M. Malovanyy, M. Odusha, I. Tymchuk, I. Sachnyk, O. Shkvirko, and V. Garasymchuk, “Assessment of the prospects of application of sewage sludge from Lviv wastewater treatment plants for the purpose of conducting the biological reclamation,” *Journal of Ecological Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 134–143, 2021.

8. V. Popovych, J. Telak, O. Telak, M. Malovanyy, R. Yakovchuk, and N. Popovych, “Migration of hazardous components of municipal landfill leachates into the environment,” *Journal of Ecological Engineering*, vol. 21, 1, pp. 52–62, 2020.

9. L. Plyatsuk, Y. Chernysh, I. Ablieieva, O. Burla, and L. Hurets, “Research into biotechnological processes of plant Snutrition stimulation by the products of phosphogypsum disposal in gas cleaning systems,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, nos 10-93, pp. 6–14, 2018.

10. I. Ablieieva, L. Plyatsuk, I. Roi, O. Chekh, S. Gabbassova, K. Zaitseva, and S. Lutsenko, “Study of the oil geopermeation patterns: a case study of ANSYS CFX software application for computer modeling,” *Journal of Environmental Management*, vol. 287, 2021, Paper no. 112347.

11. S. Pandey, “Wood waste utilization and associated product development from under-utilized low-quality wood and its prospects in Nepal,” *SN Appl. Sci.*, vol. 4, 2022, Paper no. 168.

12. Renewable Energy Agency (REA, Ukraine) together with COWI A/S (Denmark) in the framework of the project “Support legislative, regulatory framework for bioenergy value chains in Ukraine”, which is implemented under the EBRD/GEF Programme Ukraine: Sustainable Bioenergy Value Chain Innovations, Bioenergy policy roadmap until 2050 and action plan until 2025, 2021, [Online]. Available: [https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/D5-Roadmap\\_Action-Plan\\_EN\\_03-12-2021\\_FINAL.pdf](https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/D5-Roadmap_Action-Plan_EN_03-12-2021_FINAL.pdf). Accessed: April 26, 2023.

13. F. A. Ximenes, A. Kathuria, M.A. Barlaz, and A. L. Cowie “Carbon dynamics of paper, engineered wood products and bamboo in landfills: evidence from reactor studies,” *Carbon Balance Manage*, vol. 13, 2018, Paper no. 27.

14. A. Iravanian and S. O. Ravari, “Types of contamination in landfills and effects on the environment: A review study,” *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 614, 2020, Paper no. 012083.

15. R. Martínez-García, P. Jagadesh, O. Zaid, A. A. Şerbănoiu, F. J. Fraile-Fernández, J. de Prado-Gil, S. M. A. Qaidi, and C. M. Grădinaru, “The present state

of the use of wood waste ash as an eco-efficient construction material: A review,” *Materials*, vol. 15, no.15, 2022, Paper no. 5349.

16. G. Geletukha and T. Zheliezna, “Prospects for bioenergy development in Ukraine: Roadmap until 2050,” *Ecological Engineering & Environmental Technology*, vol. 22, no 5, pp. 73–81, 2021.

17. V. Vandapalli and M. Sudhagar, “Wet granulation of pine wood powders,” *Transactions of the ASABE*, vol. 57, no. 4, pp. 1211–1218, 2014.

18. P. Alizadeh, L. G. Tabil, E. Mupondwa, X. Li, and D. Cree, “Technoeconomic feasibility of bioenergy production from wood sawdust,” *Energies*, vol. 16, 4, 2023, Paper no. 1914.

19. V. Masan, P. Burg, V. Visacki, an P. Ondrej, “Evaluation of fuel pellets as secondary product when pressing oil from grapevine seeds,” in *Proceedings of the International Scientific Conference on Engineering for Rural Development*, Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, pp. 1766–1770.

20. A. Y. Masikevych, V. M. Yaremchuk, R. Y. Bat, Y. H. Masikevych, M. S. Malovanyi, and V. M. Atamaniuk, “Utilization of wood waste by the production of fuel pellets by the extrusion method,” *Naukoviy Visnyk NLTU Ukrainy*, vol. 29, 1, pp. 93–97, 2019.

21. P. R. Shailendrasingh, V. J. Sachin, and N. T. Bhaskar, “Methods to improve properties of fuel pellets obtained from different biomass sources: Effect of biomass blends and binders,” *Fuel Processing Technology*, vol. 199, 2020, Paper no. 106255.

22. D. Verkoeyen, G. M. H. Meesters, P. H. W. Vercoulen, and B. Scarlett, “Determining granule strength as a function of moisture content,” *Powder Technology*, vol. 124, no. 3, pp. 195–200, 2002.

23. A. Masikevych, M. Kolotylo, R. Bat, Yu. Masikevych, M. Malovanyy, V. Atamaniuk, and K. Petrushka, “Wood wastes utilization of the Pokutsko-Bukovinian Carpathians in the result of introduction of improved production technology of fuel briquettes,” *Environmental Problems*, vol. 4, 1, pp. 24–31, 2019.

24. J. Jamradloedluk and C. Lertsatitthanakorn, “Influences of mixing ratios and binder types on properties of biomass pellets,” *Energy Procedia*, vol. 138. pp. 1147–1152, 2017.

25. X. Ju, K. Zhang, Z. Chen, and J. Zhou, “A method of adding binder by high-pressure spraying to improve the biomass densification,” *Polymers*, vol. 12, no. 10, 2020, Paper no 2374.

26. B. Zehra, A. Salem, S. Senesavath, S. Kashkash, and Z. Orban, “Sustainable design of concrete using industrial additives and wastes,” *Pollack Periodica*, vol. 16, 2, pp. 19–24, 2021.

27. M. M. Labat, K. Hlavčová, and G. Földes, “Estimation of changes in runoff due to changes in forest composition,” *Pollack Periodica*, vol. 14, 3, pp. 109–120, 2019.



## **ГЛАВА 2**

# **ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО**

## РОЗДІЛ 2.1 ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКУ ДІЯЛЬНІСТЬ

**Прокопенко Наталія Вікторівна**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна*

Глобальна зміна клімату є однією з найактуальніших проблем сучасності. До її вирішення прикута пильна увага всього світу. Зміна клімату — це результат складної взаємодії природних процесів та людської діяльності. Наслідки цього явища проявляються у підвищенні середньої глобальної температури як земної поверхні, так і океанів. Це, у свою чергу, призводить до нерівномірного розподілу опадів і значного зростання кількості екстремальних погодних явищ. Посухи, повені, паводки, урагани та підтоплення стають усе частішими та інтенсивнішими.

Останні десятиліття відзначилися зростанням інтенсивності стихійних явищ, що пов'язано з рекордним підвищенням глобальних температур. За даними експертів ООН, кліматичні зміни призвели до того, що посухи, які раніше траплялися раз на 10 років, тепер виникають на 70 % частіше. Також зросла частота злив — тепер вони відбуваються на 30 % частіше.

Зміни клімату мають різний вплив на сільське господарство. Прямі впливи пов'язані зі зміною кліматичних характеристик, таких як температура та опади. Екстремальні погодні умови, зокрема аномальні опади, можуть спричинити серйозні наслідки: селі, зсуви, підтоплення та ерозію ґрунтів. Аномальні температури, такі як заморозки, призводять до вимерзання сільськогосподарських культур. Аномальна спека, в свою чергу, знижує їхню продуктивність.

Непрямі впливи відображаються через зменшення доступності водних ресурсів для різних галузей економіки, включаючи сільське господарство. Інтенсивність опадів і річковий поверхневий водний стік стають критичними чинниками для забезпечення водних ресурсів.

Українське сільське господарство також зазнало значних наслідків від змін клімату. За останні 30 років середньорічна температура повітря в Україні підвищилася майже на 1,5 °С. Це потепління нерівномірно розподіляється за сезонами, що впливає на ефективність опадів для сільського господарства. Частота екстремально високих температур зростає, тоді як частота екстремальних холодів зменшується. Це призводить до подовження періодів спеки, погіршення якості водних ресурсів і посилення ризику виникнення пожеж.

Таким чином, основні кліматичні загрози для аграрного сектору України включають:

- підвищення середньої річної температури повітря.
- збільшення кількості днів з аномально високими температурами, що негативно впливає на рослинництво та тваринництво.
- підвищення частоти посушливих явищ, особливо в поєднанні з високими температурами.
- різкі коливання температур між сезонами та протягом окремих місяців, що знижують стійкість рослин.
- збільшення частоти стихійних погодних явищ у теплий період року.
- зменшення кількості опадів і їх інтенсивності, що ускладнює накопичення ґрунтової вологи.
- зростання нерівномірності розподілу опадів, що впливає на водозабезпеченість.
- відсутність стійкого снігового покриву, що підвищує ризик вимерзання озимих культур.

– сприятливі умови для поширення шкідників та хвороб, що може знизити продуктивність основних сільськогосподарських культур на 20-30 %.

– зростання ризику виникнення пожеж, що порушує стійкість агроєкосистем.

Збереження існуючих тенденцій в Україні в умовах майбутніх кліматичних змін може призвести до значного загострення певних проблем, зокрема:

– підвищення рівня розораності сільськогосподарських угідь на сьогодні має місце по всій країні. Цей процес не лише збільшує площу оброблюваних земель, але й негативно впливає на екологічний стан регіонів і в майбутньому на фоні змін клімату негативні наслідки цього процесу можуть посилюватися.

– монокультуризація сільськогосподарського виробництва стає все більше вираженою. Вирощування технічних та олійних культур, хоча й потребує менше ресурсів, проте посилює екологічне навантаження на землю, що може мати довгострокові негативні наслідки для ґрунтів.

– спостерігається постійне зростання потреби у великих капітальних інвестиціях. Впровадження інноваційних технологій вирощування сільськогосподарських культур та інтродукція нових видів сільгоспкультур вимагає та вимагатиме значних фінансових ресурсів. Ці інвестиції необхідні для збільшення ресурсного потенціалу екосистем і забезпечення продовольчої безпеки країни.

– конкуренція між сільськогосподарськими виробниками постійно посилюється. Ця конкуренція напряму залежить від родючості земель та доступу до водних ресурсів, особливо в умовах зони недостатнього природного зволоження.

Глобальні та регіональні кліматичні зміни матимуть серйозні наслідки для аграрного сектора України. Ці наслідки проявляються в наступному:

– зони вирощування деяких сільськогосподарських культур зміщуються на північ. Наприклад, цукрові буряки та соя вже перемістилися на 150 км з

півдня на північ. Це призводить до збільшення вегетаційного періоду та формування нової агрокліматичної зони на півдні України;

- спостерігається зміщення зон розміщення відповідної інфраструктури. Зберігання та первинна переробка сільськогосподарської продукції адаптуються до нових кліматичних умов. Це потребує змін у розвитку інфраструктури, що відповідає новим регіональним умовам вирощування;

- спостерігається зменшення продуктивності сільськогосподарського виробництва. Відсутність інноваційних ресурсозберігаючих технологій та обладнання може значно знизити ефективність виробництва в умовах стрімкої зміни клімату;

- має місце посилення процесів деградації ґрунтів. Поширення посух призводить до втрати родючості ґрунтів, що загрожує зниженням врожаїв;

- актуалізується проблема зміни структури продукції рослинництва. Впровадження посухостійких сортів сільськогосподарських рослин та відмова від вирощування вологолюбних культур є вимушеним кроком через загрозу ускладнення доступу до водних ресурсів;

- зростає ризик ураження рослин хворобами та шкідниками. Зміни клімату створюють сприятливі умови для активного розвитку хвороботворних організмів, що може призвести до значних втрат у сільському господарстві<sup>4</sup>

- відбувається поступове зменшення виробництва традиційних кормових культур. Виникає необхідність у вирощуванні нетрадиційних культур, таких як сорго або тритикале, для задоволення потреб тваринництва;

- існуючі системи підтримки мікроклімату у тваринницьких приміщеннях стають непридатними. Нові кліматичні умови вимагають адаптації цих систем, щоб забезпечити комфортні умови для тварин.

Слід зазначити, що зміни клімату можна розглядати не тільки як комплекс певних обмежень та складних умов для існування і розвитку аграрного сектору, але й як комплекс ключових можливостей, які

відкриваються перед цим сектором України. До цих можливостей відносяться наступні:

- вирощування нових сільськогосподарських культур стає реальністю. Зміна клімату дозволяє розширити асортимент аграрної продукції, що виробляється в Україні, і збільшити експортні можливості. Зростання середньорічного теплового періоду сприяє збільшенню обсягів виробництва сільгосппродукції протягом одного року;

- подовження вегетаційного періоду відкриває нові можливості для озимих зернових культур. Північні області України отримують шанс ефективно впроваджувати пізньостиглі сорти і гібриди, що потребують більше теплових ресурсів. Поліпшуються також умови перезимівлі сільгоспкультур і багаторічних трав;

- виникає попит на новітні технології зрошування. Збільшується потреба у дощувальній техніці та обладнанні, розрахованих на різні масштаби споживачів – від великих агрохолдингів до індивідуальних фермерських господарств;

- розвиток нових напрямів наукових досліджень стає пріоритетом. Створення інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур та інноваційних систем обробітку ґрунту враховуватиме специфічні особливості регіонів.

Таким чином, зміни клімату створюють як виклики, так і можливості для аграрного сектора України. І основним завданням як науковців так і аграріїв стає адаптація до цих умов, щоб забезпечити стійке та ефективне сільськогосподарське виробництво в умовах нового кліматичного режиму.

На сьогодні виділено окремі екологічні та сільськогосподарські проблеми, які набувають особливої актуальності в умовах змін клімату.

До таких проблем відноситься поширення хвороб і шкідників у сільському господарстві, яке обумовлене змінами клімату. Ця проблема може проявлятися у різних аспектах:

– по-перше, шкідники та хвороби сільськогосподарських культур можуть виявлятися стійкими до існуючих засобів захисту рослин. Це призводить до значного розширення їх ареалу, збільшенню чисельності та кількості генерацій. З'являються нові види хвороб і карантинні об'єкти, що ускладнюють боротьбу з ними;

– по-друге, зміни локальних кліматичних умов створюють сприятливе середовище для розвитку переносників збудників трансмісивних хвороб. Як наслідок, зростає кількість інфекційних захворювань серед тварин, що є серйозною загрозою для аграрного сектору.

Важливо зазначити, що тварини надзвичайно чутливі до тривалого впливу високих температур. Якщо температура навколишнього середовища перевищує 25 °С, тварини стають менш активними, споживають менше корму і відчують постійну спрагу. Тривалий вплив таких умов викликає тепловий стрес, що негативно впливає на їхню імунну систему і сприяє розвитку різних захворювань, зокрема шлунково-кишкових розладів та пневмонії.

Не менш важливою є загроза поширення нових хвороб серед тварин. Виникає достатньо висока ймовірність спалахів таких захворювань, як заразний вузликовий дерматит, лихоманка Західного Нілу, блютанг, бореліоз, крим-конгська геморагічна лихоманка. Також зростає інфестація кліщами, що може призвести до втрати ваги тваринами до 18-20 %. Поширення екзотичних інфекцій, збільшення частоти та тривалості пташиного грипу, африканської і класичної чуми свиней, сказу, лептоспірозу та туляремії також стає серйозною загрозою для ефективного функціонування сектору тваринництва.

Крім того, зміни клімату мають негативний вплив на здоров'я риби та продуктивність водойм. Підвищення температури води в рибогосподарських водоймах може спричинити розширення видового спектра інвазійних хвороб, які раніше зустрічалися лише у країнах з теплим кліматом. Зміни якості води призведуть до виникнення або інтенсифікації небезпечних інфекційних та інвазійних хвороб риби, таких як краснуха, віспа коропа, зяберний некроз.

Важливо також враховувати загрозу поширення агресивних чужорідних видів. Наприклад, амброзія, колорадський жук, борщівник Сосновського спричиняють значні втрати біологічного різноманіття та економічної значимості екосистем, що піддаються біологічним інвазіям, що призводить до серйозних економічних збитків, створює загрозу для здоров'я людей.

Зміна клімату наносить серйозних збитків сільському господарству, але й завдає напрямки перспективного розвитку цього сектору економіки. І сьогодні необхідно розвивати потенціал державно-приватного партнерства у аграрному секторі. Кластерні ініціативи та інші форми співпраці між державою та агробізнесом можуть стати ефективними інструментами для впровадження інноваційних технологій у сільськогосподарське виробництво, адаптоване до кліматичних змін. Таке партнерство сприятиме спільному використанню природно-ресурсного потенціалу держави та фінансових можливостей агробізнесу.

Також Міжнародна організація з сільського господарства та продовольства (FAO) активно впроваджує стратегічний план адаптації агропродовольчих систем до кліматичних змін.

Основний акцент робиться на переорієнтації агропродовольчих систем у напрямку інноваційного та вуглецево нейтрального агробізнесу. Це включає впровадження кліматично орієнтованих технологій, що дозволяють зменшити викиди парникових газів, адаптуватися до нових кліматичних умов і збільшити виробництво сільськогосподарської продукції.

Світовий банк визначає кліматично орієнтоване сільське господарство як комплексний підхід до управління аграрними системами. Цей підхід спрямований на підвищення продуктивності, адаптацію до змін клімату, зменшення викидів парникових газів та збільшення доходів сільськогосподарських виробників. На міжнародному рівні визнано, що глобальні кліматичні зміни несуть серйозну загрозу сталому розвитку

агробізнесу, підвищуючи ризики втрати врожаю та зниження його дохідності. Це також негативно впливає на продовольчу безпеку.

На сьогодні виділяють наступні пріоритетні напрями розвитку кліматично орієнтованого сільського господарства.

1. Органічне землеробство. Розвиток органічного сільського господарства є ключовим напрямом у середньостроковій «зеленій трансформації» аграрного сектору. Органічне виробництво відіграє важливу роль в адаптації до змін клімату та пом'якшенні їх наслідків. У ЄС попит на органічну продукцію зростає, випереджаючи можливості внутрішнього виробництва. Сьогодні органічна продукція складає близько 2 % загального імпорту агропродовольчих товарів до ЄС, і цей показник зростає.

2. Циркулярна біоекономіка. Запобігання утворенню харчових відходів і втрат є пріоритетним напрямом циркулярної економіки. Водночас це спрямовано на досягнення 12-ї цілі сталого розвитку, що передбачає перехід до раціональних моделей споживання та виробництва. Основні механізми мінімізації харчових відходів і втрат включають запровадження економічних інструментів, які стимулюють використання біомаси відходів для виробництва біопалива, електричної та теплової енергії. Також необхідно впроваджувати механізми надання дотацій на збирання і транспортування рослинних відходів, які придатні для виробництва кормів для тварин.

3. Біоенергетика. Україна має значний потенціал для виробництва енергії з біомаси, що може замінити близько 11 % потреб у природному газі й 19 % в електроенергії. Відходи та побічні продукти сільськогосподарського й харчового виробництва доступні й дешеві, що робить виробництво біоенергії економічно вигідним. Використання біомаси підвищує енергетичну безпеку країни, знижує витрати на енергію та приносить додатковий дохід виробникам. Крім того, це дозволяє зменшити викиди парникових газів, що оцінюється у 8,2 млн т еквівалента CO<sub>2</sub>.

4. Впровадження сучасних технологій зрошування. Модернізація сільського господарства у зонах із недостатнім природним зволоженням повинна базуватися на оцінці технічного стану зрошувальних систем, відновленні та модернізації цих систем. Необхідно визначити першочерговість відновлення систем і обсяг фінансування. Також важливим є будівництво модульних насосних станцій для забезпечення роботи зрошувальних систем, а також державна підтримка та кредитування для відновлення зрошувальних систем і придбання необхідної техніки.

5. Біологічні механізми зниження чутливості агроєкосистем до змін клімату. Вчені Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН розробили та науково обґрунтували підходи до адаптації агроєкосистем. Зокрема, було встановлено позитивний вплив використання бобових трав на стан ґрунту, зокрема на зниження навантаження від хімічних сполук та підвищення рівня азоту в ґрунті. Це дозволяє зменшити негативний вплив кліматичних змін на аграрне виробництво.

6. Розробка систем землеробства з ресурсоощадними елементами. Науковці розробили напрями для секвестрації та зберігання вуглецю у ґрунтах, що дозволяє пом'якшити негативний вплив кліматичних змін. Ці заходи спрямовані на підвищення родючості та зменшення емісії CO<sub>2</sub>, що дозволить досягти вуглецевої нейтральності в аграрній сфері. Впровадження цих розробок дозволить підвищити вміст органічної речовини у ґрунтах на 10 % і вище.

7. Удосконалення систем захисту рослин. Застосування біологічних препаратів та екологічно безпечних пестицидів дозволяє захищати рослини від шкідників і хвороб. Це не лише запобігає втратам врожаю, а й покращує стійкість рослин до екстремальних погодних умов.

8. Використання адаптованих сортів і гібридів. Завдяки науковим дослідженням, було встановлено, що подовжений період осінньої вегетації вимагає зміщення строків сівби озимих зернових на 13–15 діб пізніше.

Вітчизняні селекціонери створили нові сорти пшениці й ячменю, що мають підвищену зимостійкість та короткий період яровизації.

9. Упровадження екологічно безпечного землеробства. Науковці розробили ресурсозберігаючі технології вирощування озимих зернових культур, сої та кукурудзи, які дозволяють підвищити рівень рентабельності на 10–20 % залежно від культури. Ці технології базуються на використанні сучасних високоврожайних сортів, стимуляторів росту, водозберігаючих режимів зрошення та біологічних препаратів.

10. Запобігання деградації ґрунтів. Розроблено науково обґрунтовані моделі землекористування, що дозволяють зберегти родючість ґрунтів та запобігти їх деградації. Ці моделі враховують кліматичні зміни та базуються на принципах формування сівозмін, систем основного обробітку ґрунту та технологій зрошення.

11. Розширення кліматичних зон. Мінливість клімату створює загрози для сільського господарства, тому прогнозування зростання обсягів виробництва потребує обережності. Слід враховувати соціально-економічні чинники, такі як деградація земель і ресурсний потенціал територій.

12. Адаптація та зміцнення стійкості до змін клімату. Адаптаційні заходи, зокрема збереження ґрунтів і вод, впровадження сортів рослин, стійких до посухи, і розвиток зрошення, мають важливе значення для забезпечення продовольчої безпеки.

Таким чином, можна зробити висновок, що забезпечення кліматично орієнтованого розвитку сільського господарства є важливим для послаблення ризиків кліматичних змін. Це дозволить Україні долучитися до глобальних зусиль у боротьбі зі змінами клімату та адаптувати аграрний сектор до нових природно-кліматичних умов.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Перспективи розвитку аграрного сектора України в умовах кліматичних змін : аналіт. доп. / [В. М. Русан, Л. А. Жураковська, Я. А. Жаліло та ін.] ; за наук. ред. Я. А. Жаліла. – Київ : НІСД, 2024. – 47 с. – <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.09>
2. Шевченко О.В. вплив кліматичних змін на сільськогосподарське землекористування в Україні // Збалансоване природокористування. – 2023. - №4. – С. 108-114

## **РОЗДІЛ 2.2 ЗРОСТАЮЧА ПОСУШЛИВІСТЬ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ - ВИКЛИКИ ДЛЯ ФЕРМЕРІВ ТЕРНОПІЛЬЩИНИ**

**Шувар Антін Михайлович**

**Сеник Іван Іванович**

**Шманько Назар**

*Західноукраїнський національний університет, Україна*

**Красюк Людмила Михайловна**

*Інститут землеробства Національної академії наук України*

**Фещенко Василь Васильович**

Сільськогосподарське виробництво, як у світовому масштабі, так і в Україні, характеризується нерозривним зв'язком з погодними умовами. Цей фактор є надзвичайно важливим для нашої країни, оскільки сільське господарство відіграє ключову роль в її економіці [1, 9].

Актуальність цього питання обумовлена тим, що на 50 % рівень врожаю визначається погодними умовами вегетаційного періоду, в першу чергу температурою та опадами. [2, 10].

Слід зазначити, що погодний фактор у сільському господарстві є нерегульованим і його можна лише прогнозувати та певною мірою адаптувати до нових реалій сьогодення [8].

Характерною особливістю сільськогосподарського виробництва як у світі загалом, так і в Україні зокрема, з кінця XX - початку XXI століття є те, що воно відбувається в умовах зміни клімату, яка супроводжується збільшенням повторюваності температурних максимумів, днів з екстремально високими

температурами, зменшенням кількості опадів та нерівномірністю їх розподілу протягом вегетаційного періоду [3-7].

Тому для сільського господарства надзвичайно важливим є вивчення питання зміни клімату з метою вдосконалення існуючих та розробки нових технологічних заходів, адаптованих до реалій сучасного виробництва.

Дане дослідження було проведено на даних Галузевого державного архіву гідрометеорологічних спостережень Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

За існуючою класифікацією, дуже сильна посуха характеризується кількістю опадів за вегетаційний період менше 50 % норми та дуже значним (3,8 %) перевищенням температури повітря. Сильна посуха характеризується кількістю опадів 70 % від норми і температурою повітря на 2,3 % вище норми.

Проаналізувавши результати метеорологічних спостережень за 1951-2018 рр., було визначено місяці та роки з дуже сильною та сильною посухою (табл. 2.2.1).

Таблиця 2.2.1 – Розподіл місяців та років за посушливістю

Місяці	Дуже сильна посуха	Сильна посуха
	Роки	
Квітень	1952, 1957, 1961, 1973, 1984, 1994, 2004, 2007, 2011	1962, 1966, 1968, 2009, 2014, 2018
Травень	1986, 2011	1958, 1969, 1979, 1982, 1985, 2001, 2002, 2003,
Червень	1963, 1964, 2003, 2008, 2014	1953, 1956, 1957, 1961, 1968, 1987, 2007, 2015
Липень	1970, 1994, 1995, 2005, 2009, 2015	1951, 1953, 1957, 1960, 1963, 1970, 1992, 1999, 2002, 2006, 2014, 2016
Серпень	2000, 2003, 2009, 2013, 2015	1954, 1990, 1994, 1998, 2008, 2016
Вересень	1961, 1963, 1975, 1979, 1982, 2005, 2006, 2009, 2011, 2014	1951, 1967, 1981, 1983, 1984, 2018
Жовтень	1953, 1961, 1963, 1964, 1978, 1982, 2001, 2013, 2014	1982, 1990, 1995, 2000, 2004, 2017

За результатами багаторічних спостережень (1951-2018 рр.) кількість років з дуже сухим квітнем становила 9, травнем - 2, червнем - 5, липнем - 6, серпнем - 5, вереснем - 10, жовтнем - 8.

Кількість років із сильними посухами у квітні становила 6, травні - 8, червні - 8, липні - 12, серпні - 6, вересні - 6, жовтні - 6.

Аналіз несприятливих погодних умов у розрізі вегетаційного періоду показує, що найбільша кількість дуже сильних посух зафіксована навесні (квітень) та восени (вересень і жовтень). Цей час збігається з посівом ранніх ярих та озимих культур, і дефіцит вологи створює несприятливі умови для проростання насіння та формування сходів.

Сильна посуха спостерігається наприкінці весни (травень) та влітку (липень, серпень), що збігається з генеративним періодом росту та розвитку сільськогосподарських культур і може негативно вплинути на їхню продуктивність.

Для більш об'єктивної оцінки зміни клімату в контексті посушливості було визначено відсоткове співвідношення років з посушливими місяцями до загальної кількості років, взятих для дослідження. Результати аналізу свідчать про значно більшу частку посушливих років у період з 1991 по 2018 рр. (27 років) порівняно з періодом 1951-1990 рр. (40 років) (табл. 2.2.2).

Таблиця 2.2.2 – Посушливість вегетаційного періоду

Місяці	Періоди часу							
	1951–1990			1991–2018				
	роки							
	усього	Дуже посушливі	посушливі	усього	Дуже посушливі	посушливі		
Квітень	49	5	3	49	4	3		
Травень		1	5		1	3		
Червень		2	6		3	2		
Липень		1	6		5	6		
Серпень		–	2		5	4		
Вересень		5	5		5	1		
Жовтень		6	2		3	4		
Разом			20		29		26	23

Так, у період 1951-1990 рр. кількість місяців з дуже сильною посухою становила 20, а з сильною - 29. Період 1991-2018 рр. характеризується збільшенням кількості місяців з дуже сильною та сильною посухою – 26 випадків.

Таким чином, аналіз агрометеорологічних показників за 1881-2018 рр. дає підстави стверджувати, що зміни клімату в глобальному масштабі знаходять своє відображення і в Західному Лісостепу, зокрема в Тернопільській області. Як на глобальному, так і на локальному рівнях спостерігається підвищення температурного режиму, зменшення вологозабезпеченості впродовж вегетаційного періоду, посилення посушливості. Все це спонукає агровиробників переосмислити існуючі технології вирощування сільськогосподарських культур та адаптувати їх до нових реалій зміни клімату.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Butko V.A. The impact of climate change on the product orientation of agricultural enterprises in Polissya. *Ekonomika Ukrainy*. 2014. Vol. 10(635). P. 44-50 [\[in Ukrainian\]](#).
2. Grigoriv Y. Enchanted Spring. Movement towards the desert - perspectives in spring. *Zerno*. 2019. No. 1 (154). P. 71-76 [\[in Ukrainian\]](#).
3. Kaminskyi V.F. Materials to the report of the Director of the National Research Center “Institute of Agriculture of the National Academy of Sciences of Ukraine” on the topic “Scientific basis for optimization of modern farming systems in the context of climate change”.2021. URL: <http://zemlerobstvo.com/?p=5829> [\[in Ukrainian\]](#).
4. Kaminskyi VF, Sayko V.F. Agriculture of the XXI century. Problems and solutions. *Agriculture*. 2015. Issue 2. P. 3-11 [\[in Ukrainian\]](#).
5. Lipinsky V.M., Dyachuk V.A., Babichenko V.M. Climate of Ukraine. Raevsky Publishing House, Kyiv. 2003. 342 p. [\[in Ukrainian\]](#).
6. Lipynskyi V.M., Osadchyi V.I., Babichenko V.M. Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine for the last twenty years (1986-2005). Kyiv: Nika-Center. 2006. 312 p. [\[in Ukrainian\]](#).
7. Osadchyi V. I., Babichenko V. M. Dynamics of meteorological natural phenomena in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. 2012. № 4. P. 8-14 [\[in Ukrainian\]](#).

8. Sayko V.F. Agriculture in the context of climate change. Collection of scientific papers of the National Scientific Center “Institute of Agriculture of the UAAS” Kyiv: ECMO Publishing House, Special issue. 2008. P. 3-14 [\[in Ukrainian\]](#).

9. Udova L.O., Prokopenko K.O., Didkovska L.I. Impact of climate change on the development of agricultural production. *Economics and forecasting*. 2014. №3. P. 107-120 [\[in Ukrainian\]](#).

10. Tarariko O. H. SWOT-analiz i analiz prohalyn (GAP-analiz) polityk, prohram, planiv i zakonodavchykh aktiv u haluzi silskoho hospodarstva ta pidhotovka rekomendatsii shchodo yikh udoskonalennia vidpovidno do polozhen Konventsii Rio. Kherson: FOP Hrin D. S., 2016. 102 p. [\[in Ukrainian\]](#).

## РОЗДІЛ 2.3 ЗМІНА КЛІМАТУ ТА СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО

Дареджан Джаші  
Нуну Накашидзе

*Батумський державний університет імені Шота Руставелі, Грузія*

Сільське господарство мало активну взаємодію з природою та природними ресурсами ще до початку культурного землеробства і вода є найважливішою умовою цих взаємодій. Сьогодні увага світу прикута до кількісних та якісних показників води, що зумовлено її надмірною потребою. У сільському господарстві, де значна частина води використовується на зрошення, особлива увага приділяється вивченню екологічного стану води.

Одна з Цілей Сталого розвитку, а саме 17-та ціль, передбачає постійне забезпечення населення чистою та якісною водою, що є пріоритетним питанням для будь-якої країни. Дефіцит води, низька якість води та невідповідна санітарія негативно впливають на продовольчу безпеку та здоров'я людей, чerez вміст значної кількості забруднюючих речовин та домішок.

Зміна клімату – це ідентифікована зміна протягом тривалого періоду часу, включаючи зміни статистичних показників. Зміна клімату може бути викликана як природними внутрішніми процесами, так і зовнішніми впливами: виверженнями вулканів, активністю сонячного циклу, тривалим антропогенним впливом і зміною складу атмосфери або землекористування. Сьогодні актуальний термін «зміна клімату» в переважній більшості випадків відноситься до антропогенних змін клімату.

Клімат — це середнє значення показників температури, кількості опадів за відносно тривалий період часу. Зміна клімату спричинена викидом парникових газів і, отже, збільшенням концентрації парникових газів в атмосфері, що перешкоджає відображенню тепла від земної поверхні та

посилює «парниковий ефект». З часів промислової революції в результаті діяльності людини в атмосферу викидається безпрецедентна кількість парникових газів, тому їх концентрація зростає, змінюються кліматичні характеристики атмосфери та екологічний стан навколишнього середовища, а також посилюється «парниковий ефект». З 2011 року Всесвітній економічний форум постійно називав зміну клімату однією з п'яти головних глобальних загроз і ситуація «погіршується набагато швидше, ніж очікувалося». Зміна клімату безпосередньо впливає на людей та екосистеми, як зазначено в кількох звітах Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC). Що стосується Грузії, то негативні наслідки зміни клімату вже помітні в країні, і можна спостерігати тенденцію щодо наслідків [2, 3, 5]. Викиди парникових газів у Грузії відбуваються в секторах енергетики, будівництва, промисловості, транспорту, управління відходами та сільського господарства. Серед парникових газів варто відзначити концентрацію вуглекислого газу, метану та оксидів азоту, а також синтезованих «парникових газів». У «Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій Грузії на 2021-2027 роки» зазначено, що подальший розвиток сільського господарства має здійснюватися відповідно до зміни клімату, і увага зосереджена на впровадженні та реалізації кліматичних методів ведення сільського господарства [1, 4, 5].

Метою роботи було вивчити екологічний стан річок високогірної Аджарії, для з'ясування, наскільки ці річки забруднені шкідливими та важкими металами в навколишньому середовищі. Зазначені токсиканти можуть потрапляти у води при застосуванні хімічних засобів – мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, інсектицидів та інших, без належного дотримання їх норм та термінів внесення.

Проби води для аналізу були відібрані в 5 місцях Аджарського регіону: село Чвана (муніципалітет Шуахеві) - вода Цкаро; вода Чвані (муніципалітет Шуахеві); село Кокотаурі (Даба Кеда, громада Тшкомери) - вода річки

Кокотаурі; з центру Даба Кеда - річка Аджарістскал; від громади Мерісі в муніципалітеті Кеда – вода з річки Мерісі.

В ході дослідження проводили багатоелементний аналіз, тобто визначали концентрацію макро- та мікроелементів у пробах води за допомогою плазмового атомно-емісійного спектрометра на приладі ICPE-9820 [7, 8, 9].

Вміст макроелементів наведено в табл. 2.3.1. За результатами аналізу встановлено:

- у воді річки Мерісі зафіксовано вміст алюмінію в сумі 0,672 мг/л, що перевищує ГДК (0,5 мг/л);

- макроелементи за вмістом розташовані в ряд: Cs>Na>Mg, Si;

- вода річки Кокотаурі не містила натрію;

- вміст заліза зафіксовано в річках Кокотаурі (0,00497 мг/л) і річці Мерісі (0,11 мг/л);

- особливо слід відмітити вміст фосфору (0,0538 мг/л) у воді р. Мерісі, що є індикатором її забруднення (швидше за все через вплив антропогенних факторів).

Таблиця 2.3.1 – Вміст макроелементів у водах за плазмовим атомно-емісійним спектрометром, мг/л

Локація	Al	Ca	K	Mg	Na	P	Si	Fe
1. Джерельна вода села Чвана	-	20,3	-	4,75	8,22	-	4,69	-
2. Чваніс Цкалі	-	69,4	-	3,81	4,22	0,0069	3,75	-
3. Річка Кокотаурі	-	41,8	-	1,22	-	-	2,32	0,0497
4. Річка Аджаріскалі	-	83,5	-	3,89	8,91	-	3,66	-
5. Вода річки Мерісі	0,672	69,1	-	2,23	3,26	0,0538	2,88	0,11
Гранично-допустима концентрація	0,5	-	-	-	-	0,028	10,0	0,3

Вміст мікроелементів у дослідних водах наведено в табл. 2.3.2. За результатами аналізу встановлено:

- вміст миш'яку зафіксовано лише у воді Чвані (0,0024 мг/л), але його концентрація не перевищує нормативу (0,005 мг/л);
- у водах річок Кокотаурі та Мерісі містяться барій та марганець, але вміст цих елементів не перевищує гранично допустимих концентрацій;
- важкі метали - титан і ванадій були виявлені у пробах води, відібраних з усіх місць, але, на щастя, їх концентрації менші за ПДК;
- щодо ртуті, то вміст цього токсичного важкого металу в пробі р. Ачаріскалі перевищував 0,0507 ПДК, що є дуже тривожним фактом;
- особливо варто відзначити, що вміст літію перевищує гранично допустиму концентрацію (0,03 мг/л) у пробах води, взятих з усіх місць.

Таблиця 2.3.2 – Вміст макроелементів у воді за плазмовим атомно-емісійним спектрометром, мг/л

Локація	As	Hg	Ba	Mn	Ti	Li	V
1. Село Чвана, джерельна вода	-	-	-	-	0.0378	0.667	0.0472
2. Чваніс Цкалі	0.0024	-	-	-	0.0372	0.393	0.0615
3. Річка Кокотаурі	-	-	0.0007	0.0016	0.0486	0.524	0.0559
4. Річка Аджаріскалі	-	0.00507	-	-	0,0442	0,284	0.0750
5. Вода річки Мерісі	-	-	0,0025	0.0005	0.0505	0.467	0,0632
Гранично-допустима концентрація	0.005	0,0005	0,1	0,1	0.1	0,03	0,01

Можна зробити висновок, що зміна клімату значно впливає на екологічний стан навколишнього середовища. Надмірна кількість опадів, перепади температур та інші екстремальні явища певним чином впливають на мінеральний склад вод та екологічний стан навколишнього середовища, також

важливе значення має безсистемне використання хімічних речовин, що призводить до підвищення концентрації шкідливих речовин у воді, живих організмах і ґрунтах. Вміст важких металів у розглянутих об'єктах дослідження не є небезпечним, але потребує подальших спостережень. З метою створення та підтримки здорового екологічного стану навколишнього середовища особам, зайнятим у сільськогосподарському секторі, фермерам важливо враховувати місцеві кліматичні умови та вести свою діяльність відповідно до змін клімату при використанні хімічних сільськогосподарських засобів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Climate Change Strategy of Ajara. Report, Tbilisi, 2013, pp-364;
2. The Third National Communication of Georgia on Climate Change, Ministry of Environment and Natural Resources Protection of Georgia. Tbilisi, 2015, pp-90;
3. Margvelashvili M., Inashvili M., Mahgalashvili a., Janelidze P., Mukhigulishvili G., Lazriev A., Sikharulidze A., Shvangiradze M., Elashvili M., "Climate Change and Sustainable Development", lecture course, Ilia State University, Institute of Energy and Sustainable Development, 2016, pp-186;
4. 2030 Climate Change Strategy of Georgia (mitigation part), Government of Georgia, 2021, pp-158;
5. Sanikidze T., Aladashvili T., "Resistant to Climate Change, Low-emission (climate-smart) Agriculture", 2020, pp-82;
6. LEPL. Legislative Periodical of Georgia 2195792. Technical Regulations;
7. Order of the Minister of Labor, Health and Social Protection of Georgia No. 297/N, August 16, 2001, Tbilisi;
8. IPCC: Climate Change 2023. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Assessments Report of the IPCC. [www.ipcc.ch/report/ar/wg/](http://www.ipcc.ch/report/ar/wg/);
9. Thompson M. Walsh D.N. A Guide to Inductively Coupled Plasma Spectrometric Analysis. -Moscow: Nedra, 1988. – p-288;
10. Rules for protection of surface waters of Georgia from pollution. Approved by Order No. 130 of the Minister of Environment and Natural Resources Protection of Georgia dated September 17, 1996 <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2187528?publication=0>;

## **РОЗДІЛ 2.4 СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ: РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

**Шувар Іван Антонович**

**Шувар Богдан Іванович**

*Львівський національний університет водного господарства та  
природокористування, Україна*

**Шувар Антін Михайлович**

*Західноукраїнський національний університет, Україна*

Сільське господарство - це сектор економіки, який особливо залежить від погодних умов. Зміна клімату впливає і надалі впливатиме на спосіб ведення сільського господарства, а адаптація до підвищення температури необхідна для підтримки прибутковості фермерських господарств і, перш за все, для безперервного виробництва продуктів харчування і сировини для переробної промисловості. У сільському господарстві є багато методів, які підвищують стійкість фермерських господарств до наслідків підвищення глобальної температури (адаптація), можуть одночасно зменшити викиди парникових газів (пом'якшення) і створити додаткові переваги у вигляді збільшення врожайності зернових.

Глобальне потепління – одне з найпоширеніших понять у контексті зміни клімату. Воно означає стійке підвищення середньої глобальної температури повітря за певний період спостережень. Основною причиною прискорення цих змін є діяльність людини, яка призвела до значного потепління суші, океанів та атмосфери.

Зміна клімату вже має і продовжуватиме мати значний негативний вплив на сільське господарство в Європі у 21 столітті через підвищення температури, посухи, повені, збільшення кількості шкідників рослин, хвороби та деградацію ґрунтів. Ці впливи проявляються в:

- значних втратах в сільськогосподарському виробництві (зниження врожайності);
- зменшенні площі земель, придатних для вирощування сільськогосподарських культур.

Регіони Південної Європи найбільше страждають від високих температур і нестачі води. У Північній Європі підвищені температури можуть створити умови для вирощування теплолюбних культур на нових територіях, але це не компенсує втрат в інших регіонах.

Недостатньо науково обґрунтовані зміни у землекористуванні негативно впливають на динаміку змін клімату. Обмеження зміни клімату має вирішальне значення для сільського господарства, але, на жаль, в даний час кліматичні проблеми все більше загострюються. В останні десятиліття викиди парникових газів (особливо метану ( $\text{CH}_4$ ), та оксиду азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ )), пов'язані з сільськогосподарською діяльністю, стрімко зростають, сприяючи парниковому ефекту та глобальному потеплінню. У глобальному масштабі основними причинами є збільшення поголів'я жуйних тварин (корів, овець тощо), а також розширення орних земель і пасовищ за рахунок лісів і луків у зв'язку зі зростанням поголів'я худоби, особливо тварин, яких потрібно годувати, чисельності населення. Зростання попиту на сільськогосподарські землі частково компенсується підвищенням продуктивності сільськогосподарських культур, що є результатом, зокрема, застосування більш досконалої механізації. Однак в останні десятиліття в багатьох регіонах світу спостерігається зниження або стагнація врожайності.

Глобальне потепління, посухи та зміна погодних умов мають серйозні наслідки для світового виробництва продовольчих товарів. Кожен градус

підвищення температури означає зниження світового врожаю пшениці на 6 %, рису та сої - на 3 %, кукурудзи - на 7 % [1]. Сільськогосподарське виробництво в одних регіонах може зрости, але сільське господарство в інших серйозно постраждає - наприклад, у Західній Африці потепління на 1,5°C призводить до зниження врожайності пшениці на 25 %, а при потеплінні на 2°C - навіть на 42 %.

Основною причиною глобального потепління є діяльність людини - середня глобальна температура зараз статистично майже на 1,1 градуса вища, ніж до так званої індустріальної ери. Саме тоді технологічний розвиток вперше почав мати такий значний вплив на прискорення кліматичних змін. Наразі вплив людської діяльності (промисловості, транспорту та сільського господарства) на навколишнє природне середовище має відчутні наслідки, що привертає увагу до необхідності застосування принципів сталого розвитку.

В останні роки питання глобального потепління стало серйозною проблемою і викликом для всього світу - і це означає не лише підвищення температури повітря. Клімат посилає нам дедалі чіткіші сигнали та надає інформацію, яка доводить необхідність застосування рішучих кроків для зупинки (принаймні, уповільнення!) негативних процесів.

Перетворення природних територій на сільськогосподарські угіддя пов'язане з прямим вивільненням CO<sub>2</sub> в результаті розкладання/спалювання рослин, що ростуть на цих територіях, та з порушенням ґрунту, і може зменшити поглинання як CO<sub>2</sub>, так і CH<sub>4</sub> та N<sub>2</sub>O. Це є результатом заміни багатовидових екосистем, які ефективно «поглинають» CO<sub>2</sub> з атмосфери, на монокультури, які часто складаються з однорічних рослин, а також висушування/руйнування ґрунту, внесення добрив та засобів захисту рослин тощо. Тому сільськогосподарські угіддя, поряд з водними об'єктами та земельними ділянками (наприклад, болотами), є одним з основних джерел парникових газів, окрім CO<sub>2</sub>. Однак на сьогодні існує багато

сільськогосподарських практик, які можуть хоча б частково компенсувати ці викиди [2-3].

Значна кількість рослинних і ґрунтових викидів нейтралізує потенційне збільшення поглинання за рахунок CO<sub>2</sub>, а обмежене поглинання поживних речовин, таких як азот і фосфор, призводить до уповільнення темпів росту рослин і накопичення вуглецю майже на 65 %. Крім того, реакція рослин і пулів органічного вуглецю ґрунту на збільшення вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері та зміну клімату не підтверджується спостереженнями. За такого рівня невизначеності сільськогосподарські практики можуть допомогти в зменшенні викидів парникових газів або принаймні допомогти компенсувати викиди харчової промисловості, які неможливо повністю усунути з очевидних причин, одночасно підвищуючи стійкість фермерських господарств до зміни клімату.

Видимі та відчутні наслідки глобального потепління для живої природи включають низку аспектів: танення природних льодовикових щитів і льодовиків, підвищення рівня моря, збільшення частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ (тривала спека, раптові дощі та шторми, сильні урагани тощо), порушення кругообігу води в природі (посухи та повені, в тому числі зливові паводки), подовження вегетаційного періоду флори, витоптування територій, раніше вкритих звичайною рослинністю, збільшення частоти та поширення лісових пожеж, зміна ареалів поширення видів флори (зокрема, вторгнення вразливих та небезпечних для сталого різноманіття рослин) та фауни, в тому числі шкідників та переносників інфекційних захворювань. Підтвердження та розкриття особливостей цих процесів описано в публікаціях вчених різних країн [3], а також у більш ніж 45-річних дослідженнях у західній частині України [4-8]. Глобальне потепління призводить до зниження продуктивності агроценозів. Земля нагрівається швидше, ніж території над океанами. За період 2011-2020 рр. температура над ними була на 1,59° вищою, ніж у період 1850-1900 рр. [2]. Це призводить до зміни частоти і типу опадів: зміщення початку і кінця вегетаційного періоду, зменшення доступності води

або зміни видового складу і чисельності комах, що населяють певні території (як корисних, наприклад, запилювачів, так і тих, що завдають шкоди сільськогосподарським культурам).

Чим швидше відбуваються ці зміни, тим складніше до них адаптуватися. Заходи та методи, що використовуються, можуть бути недостатніми для підтримання рівня виробництва в короткостроковій перспективі. Це ускладнює планування посівів або ведення селекційної роботи у прибутковий спосіб. Крім того, сільському господарству набагато складніше адаптуватися до екстремальних погодних умов, ніж до змін середньої температури або кількості опадів. Тропічні ночі, спека або посуха можуть повністю знищити врожай, тоді як сильні зливи або повені можуть ускладнити або унеможливити сільськогосподарські роботи, спричинити втрати через анаеробні умови в ґрунті (загибель коренів, хвороби коренів), а також значно посилити ерозію, яка руйнує родючий шар ґрунту.

Підвищення температури Землі вже впливає на врожайність сільськогосподарських культур по всьому світу, спричинивши, наприклад, глобальне зниження врожайності олійної пальми майже на 13 % та зростання майже на 3,5 % врожайності соєвих бобів. Негативний вплив глобального потепління помітний насамперед у Європі (у західній і південній частинах континенту врожайність основних сільськогосподарських культур знизилася на 6-21 %), на півдні Африки та в Австралії, тоді як позитивний вплив - у Латинській Америці. Наприклад, у Китаї втрати врожаю кукурудзи та сої (сумарно), пов'язані зі зміною клімату, склали приблизно 820 млн доларів США в першому десятилітті 21-го століття, а в США втрати у тваринництві через спеку оцінюються в 1,7-2,4 млрд доларів США на рік. У випадку з Європою, більш часті і сильні посухи є і залишатимуться великою проблемою. При глобальному підвищенні температури на 3°C, яке, згідно з нинішньою політикою, відбудеться до 2100 року, площа, що страждає від посух, збільшиться на 40 %, а екстремальні посухи стануть більш частими. Тому

обмеження темпів підвищення температури Землі має вирішальне значення з точки зору сільського господарства, а утримання порогу потепління на рівні значно нижчому за 2°C зменшить гостроту негативних наслідків зміни клімату [2, 3, 10-15].

Багаторічні дослідження показали, що зміни у землекористуванні впливають на альbedo певних територій. Так, заміна темної лісової зони світлою культурною зоною теоретично може мати «охолоджуючий» ефект на клімат. Проблема в тому, що він може бути легко компенсований як викидами парникових газів, так і змінами у випаровуванні. Випаровування над лісами вище, ніж над територіями, вкритими низькою рослинністю, що робить лісові райони прохолоднішими. Це важливо для місцевого мікроклімату. Наукові дослідження також показали, що сухі, нагріті повітряні маси, які формуються над полями і територіями з низьким рівнем рослинності влітку, можуть викликати або посилювати посухи в інших регіонах.

З іншого боку, взимку, якщо випадає сніг, альbedo полів буде нижчим, ніж у лісів. Рішенням може бути використання світлих видів/сортів рослин на територіях з темними ґрунтами і загалом збереження рослинного покриву на полях. Важливим резервом у цьому плані є посів проміжних культур (післяжнивних, післяукісних, у вигляді підсівок та озимих), тобто агроценозів, які виростають між збиранням основної культури сівозміни та сівою наступної основної культури [2, 4, 7, 9, 16].

Байдуже та недбале ставлення до стану ґрунтового покриву створює сприятливі умови для розвитку та поглиблення ерозійних процесів, оскільки відкрита поверхня ґрунту набагато більше схильна до видування та змиву найбільш родючого верхнього шару ґрунту. Ерозійні процеси (вітрові та водні) важливі з кліматичної точки зору, оскільки вони виснажують запаси органічного вуглецю в ґрунті. Вони також сприяють зниженню врожайності, оскільки руйнується структура ґрунту, а разом з нею втрачаються цінні для рослин поживні речовини. Все більше наукових досліджень показують, що

здоров'я ґрунту має вирішальне значення для виробництва продуктів харчування, кормів та сировини для переробної промисловості. Присутність симбіотичних мікоризних грибів покращує умови для розвитку кореневої системи рослин.

Поживні речовини включають азот і фосфор, які надходять на сільськогосподарські поля переважно у вигляді добрив. Якщо вони не поглинаються рослинами, то легко змиваються водою з відкритого поля. Згодом вони потрапляють до морів та океанів, де сприяють утворенню так званої мертвої зони. Окрім негативного впливу на рибальство, ці зони також є великим джерелом закису азоту. Чим більше в ґрунті таких інгредієнтів, як азот, які не використовуються рослинами, тим серйозніша проблема.

Зміна клімату також може посилити такі негативні явища, як зменшення вмісту органічної речовини, засолення, втрата біорізноманіття ґрунтів, зсуви, опустелювання та повені. Вплив зміни клімату на накопичення вуглекислого газу в ґрунті може бути пов'язаний зі змінами концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері, підвищенням температури і змінами в режимі опадів, такими як екстремальні опади, швидке танення снігу або льоду, повноводдя річок і частіші посухи, які сприяють деградації ґрунтів. Вирубка лісів та інші види людської діяльності (сільське господарство, катання на лижах тощо) також відіграють важливу роль.

Раніше згадані проміжні культури допомагають пом'якшити це явище. Вони поглинають частину поживних речовин, що залишилися в ґрунті після збирання основної культури. Крім того, коріння рослин «зв'язує» частинки ґрунту, обмежуючи їх переміщення, а листя створює набагато сприятливіший мікроклімат, зменшуючи, наприклад, ступінь оголення ґрунту влітку, а отже, його пересихання, що сприяє вимиванню ґрунту (вітрової ерозії).

Проміжні культури можуть бути «зеленими добривами», тобто рослинами, які збагачують ґрунт поживними речовинами. Класичним прикладом є бобові культури, які містять у кореновому шарі симбіотичні

азотфіксуючі бактерії. Такі культури також можуть використовуватися як корм для сільськогосподарських тварин, що дає можливість обмежити розмір площі, відведеної виключно під кормові культури. Тому зрозуміло, що відповідні методи та науково обґрунтоване внесення добрив (мінеральних та органічних) можуть бути важливими не лише для кількості врожаю, бюджету фермерського господарства, викидів парникових газів на полі (переважно закису азоту), але й для процесів, які відбуваються на полях, віддалених від фермерських дворів. Забезпечення ґрунтів органічними речовинами в поєднанні з сидератами та рослинними рештками (соломою, листям, стеблами тощо) набуло ще більшого значення через гострий дефіцит органічних добрив тваринного походження, а використання лише недостатньої кількості та невідповідних пропорцій мінеральних добрив не забезпечує очікуваного ефекту [4-7].

Пошук джерел енергії був і залишається досить проблематичним в умовах енергетичної кризи. В останні роки енергетична криза спонукала фахівців до пошуку різних форм і методів використання біомаси як палива, хоча в реальності цей вид діяльності найчастіше здійснюється у зв'язку з сільським господарством. Він включає традиційне спалювання стерні, деревини, сухостою тощо, що є важливим резервом для їх розумного використання для поповнення органічної речовини в ґрунті. Також використовується в домашніх печах на біомасі, міні-котельнях тощо. Відомо, що спалювання біомаси спричиняє близько 11% загальних антропогенних викидів  $N_2O$  і є одним з основних світових джерел карбонатних аерозолів, які негативно впливають на здоров'я людини. Крім того, «чорний вуглець» (сажа), що міститься в них, поглинає сонячне випромінювання, посилюючи глобальне потепління (як під час перебування в повітрі, так і в результаті осідання на поверхні Землі, покриваючи її поверхневі компоненти).

Важливим сегментом сільськогосподарського виробництва та невід'ємною складовою успішного фермерства є галузь тваринництва. На жаль, в Україні через об'єктивні та суб'єктивні причини ланка цього ланцюга досить

слабка, а органічні добрива тваринного походження практично відсутні! Цю проблему мають також інші країни ЄС, оскільки розвиток тваринництва може створювати екологічні проблеми. Починаючи з 2000 року, приблизно 1/3 всіх антропогенних викидів метану у світі була спричинена кишковою ферментацією жуйних тварин. Хоча робляться різні спроби вплинути на кількість метану, що виробляється тваринами, такі як зміни в раціоні харчування (більш якісні, більш засвоювані корми), кормові добавки (зменшення виробництва метану шляхом позитивного впливу на мікроорганізми травної системи жуйних) та відповідальна селекція (кращі методи утримання тварин, виведення нових порід, більш стійких до умов навколишнього середовища), найбільший потенціал для скорочення цих викидів лежить на стороні попиту. Зменшення попиту на м'ясо та молочні продукти призведе до скорочення поголів'я жуйних тварин (зараз у світі налічується близько 1,5 мільярда корів). Оскільки тварини потребують величезної кількості кормів (наприклад, 3/4 світових посівів сої використовується для цих цілей), це також вивільнить ґрунт для інших потреб.

У сільському господарстві спосіб використання ґрунту також може впливати на баланс метану, наприклад, зменшуючи кількість метану в атмосфері за рахунок заходів, що підвищують його поглинання ґрунтом. Як і у випадку з  $N_2O$ , ключовим моментом тут є зменшення внесення добрив і покращення структури ґрунту. У випадку з метаном, збереження природних лісів і лугових екосистем має великий потенціал для скорочення викидів метану [17-21].

Метою управління грантами є забезпечення їхньої довгострокової продуктивності та екологічної функціональності, щоб сільськогосподарське виробництво могло безперервно задовольняти потреби суспільства (це так зване «стале» управління). Сучасне сільське господарство в глобальному масштабі потребує переорієнтації на трансформацію, яка включає в себе адаптацію та пом'якшення негативних наслідків зміни клімату одночасно. Ряд

методів скорочення викидів парникових газів на фермах забезпечують прямі або непрямі фінансові вигоди і в той же час дозволяють адаптуватися до зміни клімату. Таким чином, трансформація сільського господарства, яка є необхідною через поточний стан систем на нашій планеті, може узгодити як економічні (дохід фермера), так і соціальні (забезпечення продовольством) та екологічні (зменшення тиску на природне середовище) потреби. Заходи зі зменшення впливу на довкілля в сільському господарстві є важливими, оскільки прогнози щодо змін глобальних ресурсів органічного вуглецю в ґрунті у 21 столітті дуже різняться. Основною невизначеністю є різниця між збільшенням викидів CO<sub>2</sub>, пов'язаним з потеплінням (дихання рослин і мікроорганізмів), і збільшенням швидкості поглинання вуглецю рослинами.

Експерти вважають агроекологію, різні системи захисту ґрунтів, технології точного землеробства, використання методів, заснованих на природних рішеннях (біологічний захист рослин), а також збільшення та захист сільськогосподарського різноманіття (сівозміни, проміжні культури, місцеві сорти/гібриди, ущільнені та сумісні культури) важливими ефективними методами для майбутнього сільськогосподарського виробництва. Останній згаданий метод є дуже важливим з точки зору адаптації та продовольчої безпеки. Протягом 20-го століття 75 % продовольчих культур було втрачено через заміну генетично однорідними, високоврожайними сортами, а близько 80% світових полів засіяно декількома культурами (кукурудза, пшениця, рис, соя і т.д.). Це важливо, оскільки у випадку спеціалізованих господарств настання екстремальної події (пізні заморозки, град, спека чи посуха) може повністю знищити врожай. Багате генетичне різноманіття є своєрідним страховим полісом, який дає можливість у майбутньому вибрати види, породи та сорти, які краще пристосовані до зміни клімату [4-7].

Для фермерів, що розвиваються, які господарюють на невеликих площах, повернення до традиційних методів, заснованих на тісному контакті з природою, поєднання рослинництва з тваринництвом, може сприяти адаптації

та покращенню функціонування місцевих екосистем. Такі сільськогосподарські системи, як правило, набагато стійкіші до екстремальних погодних явищ, епідемій хвороб або появи організмів, що живляться сільськогосподарськими культурами (шкідників). Вони також вимагають мінімального використання зовнішніх ресурсів, що зменшує залежність фермерського господарства від коливань цін/наявності продуктів на світових ринках, таких як хімічні добрива або засоби захисту рослин, а також зменшує антропогенний вплив (механізація сільського господарства) та використання викопних видів палива. Крім того, інтенсифікація землеробства в тісному поєднанні з тваринництвом сприяє підвищенню продуктивності фермерських господарств, зниженню інтенсивності викидів, а також слугує додатковим варіантом адаптації до зміни клімату. Загалом, диверсифікація виробництва дає можливість зберегти хоча б частину доходу фермерського господарства у разі настання екстремальних подій. Однак важливо, щоб рішення були адаптовані до місцевого контексту та умов, як кліматичних, так і соціальних.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zhao W., Zhao Y., Qin F. Holocene fire, vegetation, and climate dynamics inferred from charcoal and pollen record in the eastern Tibetan Plateau. *J. Asian Earth Sci.* 2017. Vol. 147. P. 9-16, DOI: [10.1016/j.jseaes.2017.07.017](https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.07.017) [[in English](#)].
2. IPCC: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., and Rama, B., Cambridge University Press, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022. 3056 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844> [[in English](#)].
3. Ray Deepak K., West Paul C., Clark M., Gerber James S., Prishchepov A. V., Chatterjee Snigdhanu. Climate change has likely already affected global food production. *PLoS ONE*, 2019, Vol 14, Issue 5, p.1. DOI: [10.1371/journal.pone.0217148](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148) [[in English](#)].
4. Begei S.V., Shuvar I.A. Intermediate crops in intensive agriculture: a textbook. Lviv, 1992. 104 p. [[in Ukrainian](#)].

5. Begei S.V., Shuvar I.A. Ecological farming: a textbook. Lviv: Novyi Svit-2000, 2007. 429 p. [\[in Ukrainian\]](#).
6. Borysiak O., Brych V., Haida Yu. et al. *Development of agrarian nature management in the context of climate change*: monograph. Edited by Doctor of Economics, Professor Brych V. Y. Ternopil: ZUNU, VNC “University Thought”, 2023. 153 p. [\[in Ukrainian\]](#).
7. Adaptive farming systems: a textbook / V. P. Gudz, I. A. Shuvar, A. V. Yunyk, I. P. Rikhlovsky, Y. G. Mishchenko. K.: Center for Educational Literature. 2nd ed. revised and supplemented, 2014. 336 p. [\[in Ukrainian\]](#).
5. Straw, post-harvest residues and green manure - agrotechnological elements of biologization of modern agriculture: monograph / Ivanyshyn V.V, Shuvar I.A, Bakhmat M.I, Sendetskyi V.M, et al. Ivano-Frankivsk: Symphony forte, 2020. 292 p. [\[in Ukrainian\]](#).
6. Shuvar I.A. Siderates in modern agriculture: scientific and production publication (monograph) / I.A. Shuvar, O.M. Berdnikov, V.M. Sendetskyi, O.V. Tymofiychuk, V.S. Hnydiuk, O.M. Bunchak, L.V. Tsentilo, N.M. Kolisnyk, B.V. Tymofiychuk; Edited by I.A. Shuvar. Ivano-Frankivsk: Symphony forte, 2015. 156 p. [\[in Ukrainian\]](#).
7. Shuvar I.A., Roik M.V., Ivanyshyn V.V. et al. Sideration in the technologies of modern agriculture: scientific and production publication (monograph) / [Shuvar I.A., Roik M.V., Ivanyshyn V.V., Sendetskyi V.M., Tsentilo L.V. et al. Ivano-Frankivsk: Symphony forte, 2016. 182 p. [\[in Ukrainian\]](#).
8. Shuvar I.A., Snitynskyi V.V., Balkovskiy V.V. Ecological bases of balanced nature management: a textbook. Lviv-Chernivtsi: Books - XXI, 2011. 760 p. [\[in Ukrainian\]](#).
9. Chen, D.-T.V., Wang, Y.-M., Lee, W.C.: Challenges confronting beginning researchers in conducting literature reviews. *Stud. Contin. Educ.* 2015. 38(1), P. 47-60. DOI: <https://doi.org/10.1080/01580a37X.2015.1030335> [\[in English\]](#).
10. Samoy-Pascual K., Evangeline B. Sibayan, Filomena S. Grospe, Alaisa T. Remocal, Agnes T-Padre, Takeshi Tokida, Kazunori Minamikawa. Is alternate wetting and drying irrigation technique enough to reduce methane emission from a tropical rice paddy? *Soil Science and Plant Nutrition*. 2019. Vol. 65(2). P. 203-207, DOI: [10.1080/00380768.2019.1579615](https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1579615) [\[in English\]](#).
11. Cheng, L., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Abraham, J., and Zhu, J.: Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Sci. Adv.* 2017. Vol. 3, e1601545, <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545> [\[in English\]](#).
12. Gleckler, P. J., Durack, P. J., Stouffer, R. J., Johnson, G. C., and Forest, C. E.: Industrial-era global ocean heat uptake doubles in recent decades, *Nat. Clim. Chang.* 2016. Vol. 6. P. 394–398. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2915> [\[in English\]](#).
13. Thornton and Herrero P.K. Thornton M. Herrero Adapting to climate change in the mixed crop and livestock farming systems in sub-Saharan Africa. *Nat. Clim. Chang.* 2015. Vol. 5. P. 830-836. DOI: [10.1038/nclimate2754](https://doi.org/10.1038/nclimate2754) [\[in English\]](#).

14. Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. *Nat. Nat. Clim. Change*. 2018. Vol. 8(5). P. 421-426. DOI: 10.1038/s41558-018-0138-5 [[in English](#)].

15. Howe Peter D., et al. Geographic and demographic variation in worry about extreme heat and COVID-19 risk in summer 2020. *Applied Geography*. 2023. Vol. 152, 102876 [[in English](#)].

16. Kaye J.P., Quemada M. Using cover crops to mitigate and adapt to climate change: A review. *Agron. Sustainable Dev.* 2017. Vol. 37, 4 [[in English](#)].

17. Altieri, Miguel A., and Clara I. Nicholls. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic change*. 2017. Vol. 140. P. 33-45 [[in English](#)].

18. Lu J., Li X. Review of rice-fish-farming systems in China - one of the globally important ingenious agricultural heritage systems (GIAHS). *Aquaculture*. 2006. Vol. 260. P. 106–113. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.05.059 [[in English](#)].

19. Mbow C., Smith P., Skole D., et al. Achieving Mitigation and Adaptation to Climate Change through Sustainable Agroforestry Practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014. Vol. 6. P. 8-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002> [[in English](#)].

20. Samaniego, L., Thober, S., Kumar, R., Wanders, N., Rakovec, O., Pan, M., Zink, M., Sheffield, J., Wood, E.F., Marx, A. Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. *Nat. Clim. Change*. 2018. Vol. 8. P. 421–426. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0138-5> [[in English](#)].

21. Brett F., Sanders Jochen E. Schubert Kristen A. Goodrich, Douglas Houston, David L. Feldman, Victoria Basolo. Collaborative modeling with fine-resolution data enhances flood awareness, minimizes differences in flood perception, and produces actionable flood maps. *Earth's Future*. 2020. Vol. 8(1). DOI: [10.1029/2019EF001391](https://doi.org/10.1029/2019EF001391) [[in English](#)].

## **РОЗДІЛ 2.5 ЗМІНА КЛІМАТУ, ІНТЕНСИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПЕСТИЦИДІВ ТА ЇХ НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НА ЦИТРУСОВІ КУЛЬТУРИ**

**Наргулі Асанідзе**

**Георгій Турманідзе**

*Батумський державний університет імені Шота Руставелі, Грузія*

Зміна клімату - одна з найважливіших проблем сучасного світу, яка загрожує людству і нашій планеті в цілому. Сьогодні сільське господарство Грузії відчуває вплив зміни клімату.

Зміна клімату спричиняє значне збільшення кількості шкідників сільськогосподарських культур, що негативно впливає на врожайність та інші характеристики культур. Коли кількість шкідників значно перевищує граничні норми, виникає необхідність застосування пестицидів, іноді надмірно інтенсивно. Нашою метою було провести дослідження негативного впливу такого способу боротьби з жуком-гризуном (*Ostoma terruginea*) на цитрусові культури, як обробка цитрусових пестицидами.

Пестицид біфентрин – це інсектицид проти жука-гризуна (*Ostoma terruginea*). Це інсектицид широкого спектру дії, який впливає на здатність нервової клітини надсилати нормальний сигнал, блокуючи механізм передачі нервового сигналу між клітинами. Біфентрин використовується в сільському господарстві та житлових приміщеннях, як всередині, так і зовні.

Яких комах знищує біфентрин? У великих масштабах біфентрин часто використовується проти інвазивних червоних вогняних мурах. Він також ефективний проти попелиць, черв'яків, інших мурах, личинок, нічних жуків, вуханів, коників, кліщів, мошок, павуків, жовтяниць, кропив'янок, трипсів, гусениць, мух, бліх, пильщиків і термітів. Біфентрин не є засобом контактної дії, це залишковий продукт, який може почати вбивати бліх або інших комах,

від яких ми обробляємо, лише через кілька днів. Потрібно дати препарату час, щоб він зробив те, для чого він був розроблений. Якщо зараження блохами велике, через 7-14 днів можна провести повторну обробку.

Нашим завданням було з'ясувати, як застосування біфетрину негативно вплинуло на урожай цитрусових сорту Вашингтон Навел у нашому регіоні, тому було досліджено, що саме зашкодило цій культурі. Ми будемо динамічно продовжувати дослідження і в майбутньому. Апельсин Вашингтон-Навел – середньоросла деревовидна рослина, цвіте переважно один раз на рік. Для дозрівання плодів потрібен більш тривалий період - 220-250 днів. Сума активних температур повинна бути до 4500. Вимагає більше тепла і переносить більш високі температури, ніж лимон. Вегетація починається при температурі 11-12 градусів, і приблизно при такій же температурі переходить в стан спокою. Дозрівання плодів триває до кінця зими в нашому регіоні. Абсолютний мінімум -10°C, при -6°C пошкоджуються слабо, а при -8 - помірно. Цитрусові походять з типових мусонних регіонів, де влітку випадає велика кількість атмосферних опадів, а осінньо-зимовий період, коли дозрівають плоди, відносно сухий. Якщо в цей час цитрусові страждають від дефіциту вологи, у них розвивається властивість віддавати вологу зі стиглого плоду, в результаті чого плід втрачає соковитість і стає грубим. Ця ж нестача вологи призводить до того, що навесні велика кількість молодих плодів опадає. Все вищезазначене слід враховувати під час вирощування цитрусових, а також проводити зрошення у відповідний період. Цитрусові також добре пристосовуються до високої вологості повітря. Вміст вільної води в ґрунті 1-1,5 % цілком достатній для задоволення потреби у воді, а якщо він опускається нижче 1 %, то виникає водний дефіцит. Цитрусові належать до групи мезофітних рослин.

Результати дослідження: Дослідження проводилося в регіоні Аджарія, на цитрусових плантаціях, розташованих поблизу села Махінджаурі. У 2017-2018 роках Міністерство сільського господарства Аджарії провело кампанію проти *Ostoma Terrigaea* на цитрусових плантаціях з використанням хімічного

пестициду біфетрин навесні, в період цвітіння цитрусових дерев. Застосування пестициду відбувалося тільки на території, прилеглий до дороги. В глибині плантації, на нижньому схилі пестицид не міг бути застосований. Через два місяці після обробки один корінь апельсина сорту Вашингтон-Навел засох. Більшість квітів на решті стебла опало. На тій частині, що залишилася, було відмічено різку зміну як морфологічних, так і смакових характеристик плодів, зібраних восени. На ділянці, де пестицид не застосовувався, апельсини сорту Вашингтон-Навел не змінилися ні за морфологічними, ні за смаковими характеристиками. У наступні роки в урожаї можна було спостерігати зміни згаданих властивостей, але з кожним роком незначні. Слід зазначити, що ці зміни були найбільш помітними в апельсині сорту Вашингтон-Навель, тому було вирішено дослідити саме його.

Результати дослідження характеристик апельсинів, що було вирощено в різних умовах наведені в табл. 2.5.1.

Таблиця 2.5.1 – Порівняльна характеристика апельсинів

Ділянка, де було застосовано пестицид	Ділянка, де не застосовується пестицид
Шкіра - пошкоджена, з коричневими плямами	Шкіра - здорова
Колір - жовтий	Колір - помаранчевий
Смак - кислувато-солодкий	Смак - солодкий, злегка кислуватий
Форма - округла	Форма - Кругла
Маса - 80,3-142,2 г	Маса - 218,2-220,5 г
Сухість за рефрактометром - 11,4 %	Сухість за рефрактометром - 14,4 %
Вітамін С - 49,9 мг%	Вітамін С - 58,76 мг%
Загальні каротиноїди - 2,44 мг%.	Загальні каротиноїди - 5,05 мг%

Для проведення досліджень використовували стандартні методи аналізу: визначення сухих речовин - термогравіметричним методом (офіційний метод АОАС); - кількісне визначення водорозчинних сухих речовин за допомогою цифрового рефрактометра («Carl Zeiss», Німеччина) (офіційний метод АОАС); - визначення загальної титрованої кислотності та величини рН на автоматичному титрометрі («Mettler-Toledo AG», analytical [www. mt.com/education-line](http://www.mt.com/education-line) CH-8603 Schwerzenbach, Швейцарія); - кількісне визначення вітаміну С титрометричним

йодометричним методом (офіційний метод АОАС) - визначення каротиноїдів спектрофотометричним методом (офіційний метод АОАС). У таблиці чітко видно погіршення як зовнішніх морфологічних, так і смакових властивостей апельсинів сорту Вашингтон-Навел, оброблених і необроблених пестицидом (грунтово-кліматичний режим, ступінь родючості ґрунту однаковий).

Оскільки дерева мандаринів і лимонів не оброблялися на одній плантації, ми не змогли провести порівняльний аналіз з мандаринами і лимонами. Наведені дані підтверджують, що плоди дерев, на яких застосовувався пестицид, за всіма показниками свідчать про пошкодження: «пошкоджена шкірка, коричневі плями, жовтий колір, смак кислувато-солодкий, здоровий солодко-злегка кислуватий» та інші характеристики, а також вміст сухої речовини, вітаміну С, загальний вміст каротиноїдів значно поступаються плодам, на яких пестицид не застосовувався.

За словами академіка Георгія Квесітадзе, до недавнього часу рослина взагалі не розглядалася як організм, здатний розщеплювати невластиві природі сполуки, в тому числі сполуки зі складною структурою, і чужорідні сполуки за допомогою метаболізму. Цей процес здійснюється рослиною шляхом синтезу характерних для клітини метаболітів за рахунок розкладання органічної частини чужорідних для неї сполук. В результаті десятирічних досліджень було однозначно доведено, що рослина має здатність не тільки поглинати ці чужорідні речовини через своє коріння і листя, а й здійснювати метаболічну конверсію до нешкідливих клітинних компонентів. Якщо судити по динаміці років за нашими дослідженнями апельсина Вашингтон-Навель, то в порівнянні з попередніми роками смакові якості хоч і незначно, але покращуються. Очевидно, що на цьому дослідження не закінчаться і буде також вивчатися динаміка наступних років. Проведене дослідження дозволяє зробити наступний висновок:

1. Пестицид для зазначеного вище цитрусового дерева було використано в неправильному дозуванні, зі значним передозуванням;

2. Пестицид був застосований навесні в період цвітіння рослини, що, на мою думку, є некоректно спланованим заходом. Крім того, не виключено, що рослина зазнала мутації.

Слід взяти до уваги, що дослідження також проводилося щодо річної динаміки вмісту важких металів у зростаючих цитрусових деревах однієї і тієї ж плантації в забрудненому та чистому середовищі. Згідно з цим дослідженням, апельсини сорту Вашингтон-Навел є особливо чутливими до важких металів серед цитрусових дерев. Вважаю, що згаданий сорт має бути більш чутливим до сполук зі складною структурою порівняно з іншими цитрусовими (мандарин, лимон), в тому числі і до пестицидів. Апельсини сорту Вашингтон-Навел виявилися більш чутливими до пестицидів, ніж мандарини і лимони.

Виходячи з цього висновку, можна зробити наступні рекомендації.

1. Не застосовувати пестициди на цитрусових плантаціях у період їхнього цвітіння;
2. Перевіряти та визначати точні дози та концентрації пестицидів, якими планується обробка цитрусових.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Agricultural Ecology, Vakhtang Goguadze, Rezo Jabnidze, 2003, Batumi;
2. Asanidze N., "Annual dynamics of heavy metal content in plants", "Universal" publishing house, Tbilisi, 2018;
3. Kvesitadze G., "Modern ecology, state of the environment, causes of imbalance and remedial technologies";
4. Climate Change Law of Georgia (White Paper), Public Consultation of the Environment Protection and Natural Resources Committee of the Parliament of Georgia, November, 2023.

## **ГЛАВА 3**

# **ЗМІНИ КЛІМАТУ І ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА**

## РОЗДІЛ 3.1 ЗМІНА КЛІМАТУ І ТРАНСПОРТНА СФЕРА

**Козловський Олександр Володимирович**

*ДП «Адміністрація річкових портів», Україна*

3.1.1 Загальна характеристика впливів змін клімату на транспортний сектор

Нині динаміка кліматичних змін спостерігається в усьому світі, при цьому особливістю цього процесу є те, що він фіксується як на загальносвітовому, так і на локальному рівні. Драйвером прискорення глобальної зміни клімату є використання викопного палива як енергоресурсу. Це призводить до антропогенно зумовленого зростання вмісту парникових газів в атмосфері. Реалізація концепції сталого розвитку з поетапним скороченням викидів парникових газів ґрунтується, як на прийнятті диференційованого підходу до використання енергоресурсів, так і на внесенні коректив у діяльність різних галузей, зокрема транспортної.

Як кліматичні ризики для транспортної галузі зазначається, що зміна клімату та її наслідки можуть негативно позначитися як на будівництві, так і на експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури.

У результаті оцінки кліматичних ризиків для світового транспортного комплексу виокремлено такі кліматичні фактори та рівні ризику:

- танення багаторічномерзлих ґрунтів: дуже небезпечний рівень (70 % об'єктів транспортної інфраструктури Арктичної зони);
- підвищення середніх температур, періоди аномальної спеки/посухи: небезпечний рівень (100 % об'єктів транспортної інфраструктури);

- зміна середнього рівня моря, посилення руйнівної сили штормів: небезпечний рівень (100 % об'єктів транспортної інфраструктури розташованих у прибережних районах);

- зміни інтенсивності та частоти екстремальних опадів (повені та посухи): вельми небезпечний рівень (100 % об'єктів транспортної інфраструктури);

- природні пожежі: небезпечний рівень (100 % об'єктів транспортної інфраструктури на території регіонів із високим ризиком виникнення природних пожеж);

- сильний вітер/грози: небезпечний рівень (100 % об'єктів транспортної інфраструктури) [1].

### 3.1.2 Оцінювання кліматичних ризиків для об'єктів транспорту

Під час оцінювання рівня ризику кліматичних чинників доцільно оцінювати не тільки відсоток об'єктів транспортної інфраструктури, що зазнають впливу, а й шкоду об'єкту транспортної інфраструктури, а також ймовірність прояву цього кліматичного ризику. Для оцінки ймовірності можливе використання критеріїв, наведених в оцінювальній доповіді МГЕЗК: практично визначена ймовірність 99-100 %, вельми ймовірна 90-100 %, ймовірна 66-100 %, скоріше за все 33-66 %, малоймовірно 0-33 %, дуже малоймовірно 0-10 %, винятково малоймовірно 0-1 % [2].

Крім того, кліматичні зміни, поряд із підвищенням ймовірності природних стихійних явищ, можуть супроводжуватися небезпечними природними процесами, які не є характерними для цієї території. Це зумовлює низьку або відсутню готовність до реагування на дане екстремальне явище на даній території. У зв'язку з цим, під час оцінювання ймовірності доцільно користуватися байєсівським методом, що враховує апріорну ймовірність під час визначення апостеріорної ймовірності реалізації кліматичного ризику. Цей підхід дасть змогу врахувати регіональну специфіку під час виявлення частоти

несприятливих подій, яка використовується під час оцінювання кліматичних ризиків для кожного конкретного об'єкта транспортної інфраструктури з урахуванням сценарної структури зміни клімату [5].

Як чинники кліматичних ризиків на сьогодні не виділено гравітаційні екзогенні геологічні процеси, такі як зсуви, обвали, осипи. При цьому збільшення кількості та інтенсивності опадів у теплу пору року призводить до істотного зростання ймовірності виникнення несприятливих наслідків, які пов'язані з втратою стійкості схилів. Такі ризики значно зростають у разі чергування посушливих періодів із періодами інтенсивних зливових опадів.

### 3.1.3 Адаптація до змін клімату систем зв'язку та автоматики

У переліку пріоритетних адаптаційних заходів не зазначено адаптацію систем зв'язку та автоматики, зокрема електронного обладнання, яке зазнає значних перенавантажень під час роботи в умовах підвищеної температури (наприклад, міста посилюють спричинене діяльністю людини потепління на місцевому рівні). Однак зміна клімату підвищує ймовірність небезпечних природних процесів, які можуть ініціювати техногенні надзвичайні ситуації.

Більшість залізничних об'єктів показують підвищену частоту відмов навіть за помірно низьких температур, таких як 20 °С, при цьому частота аварій значно зростає за перевищення температури 26 °С [2]. Ці температури знаходяться в межах кліматологічних норм температури, а також у межах необхідних експлуатаційних характеристик залізничної інфраструктури.

Теплове розширення також може вплинути на повітряні лінії електропередач. При розширенні повітряних ліній їхній натяг зменшується, що може призвести до надмірного провисання. Частота провисання повітряних ліній також вища в міських районах через ефект міського острова тепла, який може призвести до того, що міські райони на кілька градусів тепліші за їхні околиці, а подальша урбанізація разом із частішими екстремально спекотними

періодами збільшать силу хвиль спеки. Міста часто є важливими транспортними вузлами, і відмова тут може бути дуже проблематичною, швидко розповсюджуючись на решту мережі, спричиняючи значні затримки в перевезенні пасажирів і вантажів. Отже, розуміння природи пов'язаних зі спекою пригод на таких критичних ділянках має суттєве значення.

Набагато менш вивчено вплив тепла на обладнання СЦБ (сигналізація, централізація, блокування). СЦБ - комплекс електромеханіч. пристроїв, покликаних забезпечити безпеку руху поїздів, збільшити пропускну спроможність перегонів і станцій, виключити ручні операції. На відміну від повітряних ліній саме сучасні види обладнання СЦБ мають тенденцію бути більш сприйнятливими до збоїв, пов'язаних із нагріванням, через їхню підвищену залежність від електричних та електронних компонентів. Устаткування, що знаходиться під прямими сонячними променями, найбільш вразливе до перегріву, і, зокрема, обладнання всередині контейнерів може зазнавати більш швидких змін температури та більш високих екстремальних температур, ніж те, що розташоване зовні [1].

Існують такі причини відмов пов'язаних із наслідками кліматичних змін для об'єктів транспортної інфраструктури.

- більшість подій, пов'язаних зі спекою, відбувається в період від початку до середини літа, а потім знижується, незважаючи на те, що температура залишається високою. Це пов'язано з виправленням усіх отриманих відмов обладнання в найбільш спекотний період і припускає, що система транспортної інфраструктури стає дедалі стійкішою протягом літа, оскільки несправне обладнання ремонтується або замінюється. Затінення від штучних споруд або дерев, ступінь якого може змінюватися залежно від часу доби та пори року, є основною причиною просторових коливань відмов унаслідок перегріву.

- існує значна вразливість обладнання СЦБ до тепла. Крім того, підвищується ймовірність викривлення колії, витрат на ліквідацію аварії,

пов'язаних зі спекою, і збільшення кількості та тривалості затримок під час перевезення пасажирів і вантажів.

- широкий спектр обладнання виходить з ладу внаслідок нагріву, за температур навколишнього середовища, які перебувають у межах робочого діапазону, а також у межах кліматичних норм даного регіону. Причинами відмов може бути використання застарілого обладнання, процедури технічного обслуговування не завжди можуть виконуватися при значних величинах температури навколишнього повітря [2].

Існуючий підхід до забезпечення відмовостійкості обладнання потребує перегляду в середньо- і довгостроковій перспективі. Бо без цілеспрямованої адаптації або пом'якшення наслідків зміни клімату випадки відмов устаткування і викривлення колії збільшаться в майбутньому більш теплого кліматі.

1) Управління тепловими ризиками в критичних вузлах є обов'язковим, особливо в міських районах, де ефект острова тепла може призвести до значно вищих температур, ніж у навколишньої місцевості [3].

Прогнозується, що в майбутньому залізнична мережа зіткнеться з безпрецедентними проблемами через частіші високі температури, і без цілеспрямованої адаптації або пом'якшення наслідків зміни клімату витрати і затримки, пов'язані з тепловими ризиками, будуть збільшуватися. Таким чином, підвищення кліматичної стійкості транспортної мережі в даний час має істотне значення.

2) Підготовка кадрів для реалізації плану адаптації до змін клімату в галузі транспорту [1].

Однак кліматична криза формує перед суспільством виклики, відповідь на які вимагає комплексного підходу, і включає не тільки організаційні та технічні завдання, а й зміну в освітніх підходах.

Нині застосування географічних знань для самостійного оцінювання рівня безпеки довкілля, адаптації до зміни його умов: оцінювати рівень безпеки

довкілля, адаптації до зміни його умов; оцінювати вплив наслідків змін у навколишньому середовищі на різні сфери людської діяльності на регіональному рівні; співставляти, оцінювати й аргументувати різні точки зору з актуальних екологічних і соціально-економічних проблем.

До освіти в галузі зміни клімату слід підходити на інституційному рівні, тобто колективному переключенню уваги на поточну і прогнозовану кліматичну обстановку, з прийняттям колективних дій [11].

3.1.4 Аналіз технологій поглинання парникових газів як заходів з адаптації до змін клімату в галузі транспорту

Наявність зв'язку між програмами адаптації та заходами скорочення викидів парникових газів дасть змогу розширити можливості реагування на зміни прогнозів, що подані у сценарній структурі [3], а також дає змогу управляти факторами кліматичного ризику. Як один із шляхів адаптації або пом'якшення наслідків зміни клімату в плані адаптації в галузі транспорту можна розглянути розробку та впровадження технологій поглинання викидів парникових газів [1]. Види технологій поглинання парникових газів, які можуть бути впроваджені в транспортну галузь, можна віднести до загальних категорій таким чином:

1 Лісорозведення та лісовідновлення поглинає вуглекислий газ у процесі росту лісів. Перевагою цієї технології є те, що це відома технологія, і вона може бути реалізована з низькими витратами. Однак необхідно враховувати, що для поглинання значної кількості вуглекислого газу потрібні великі площі лісів. При цьому існує загроза вивільнення запасеного в деревині вуглецю при порушенні технологій посадки. Можливі викиди закису азоту при внесенні добрив для стимулювання росту лісів. Також необхідний захист лісів від природних пожеж. У посушливих районах потреба у воді також може бути значущим лімітуючим фактором.

2. Виробництво біоенергії з уловлюванням і зберіганням вуглецю (BECCS). Дана технологія полягає в тому, що біомаса, яка накопичує вуглець під час росту, зберігає його у вигляді органічного матеріалу. Дана біомаса може спалюватися на електростанціях (або перетворюватися в інші види енергії), виробляючи електрику. При цьому вуглекислий газ, що утворюється під час спалювання, вловлюється і захоронюється. Біомаса може використовуватися для виробництва водню, біопалива або біогазу. Цю технологію реалізовано на демонстраційних моделях, але її ефективність має оцінюватися в кожному конкретному випадку.

3. Пряме уловлювання CO<sub>2</sub> з навколишнього повітря та зберігання (DACCS). Значна частина антропогенних викидів парникових газів відбувається з розподілених джерел. Найчастіше уловлювання цих викидів у джерелі не є ефективним і недоцільним. Для видалення цих викидів можна здійснювати уловлювання вуглекислого газу безпосередньо з навколишнього повітря. Реалізація технології прямого уловлювання з атмосфери вимагає джерело енергії та/або тепла з мінімальним вуглецевим слідом, що накладає обмеження на вибір відповідного місця розташування територіями, де є доступ до такого джерела. Під час прямого уловлювання використовується сорбент для поглинання вуглекислого газу в твердій або рідкій фазі. Після поглинання вуглекислого газу, сорбент регенерується з виділенням висококонцентрованого вуглекислого газу з його подальшим транспортуванням і захороненням. Наприклад, у підземних порожнинах, з яких триває видобуток вуглеводнів, з подальшим закачуванням у гірські породи [4].

Оскільки уловлювання та зберігання вуглецю (CCS) виступає як компонент у категоріях 2 і 3, наведених вище, а також є технологією прямого пом'якшення впливу з боку точкових джерел викиду вуглекислого газу, ця технологія може розглядатися як окрема технологія негативних викидів [5].

### 3.1.5 Інклюзивність під час розроблення заходів з адаптації до змін клімату до змін клімату в галузі транспорту

Мета адаптації до зміни клімату полягає в тому, щоб шляхом розставлення акцентів на конкретних заходах для конкретних об'єктів транспортної інфраструктури встановити кількісні параметри, зокрема тимчасові, в яких вони мають бути реалізовані, з урахуванням пріоритетних кліматичних ризиків.

Взаємодія із зацікавленими сторонами (власники інфраструктури, суміжні організації, органи виконавчої влади та місцевого самоврядування) тут має вирішальне значення, оскільки об'єкти інфраструктури є частиною взаємозалежної системи, при цьому відмова суміжної мережі інфраструктури (наприклад, електропостачання), пов'язана з погодними умовами, може вплинути на транспортну інфраструктуру. Зовнішні зацікавлені сторони також можуть надати інформацію про вразливість керованих ними об'єктів при реалізації кліматичних ризиків.

До пріоритетних адаптаційних заходів у сфері транспорту можна віднести:

- внесення змін до нормативно-методичних документів спрямованих на врахування мінливого клімату під час проектування, будівництва, експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури;

- формування системи моніторингу інженерно-геокриологічних умов для спостереження за станом лінійних об'єктів інфраструктури та розроблення галузевої методики розрахунку кліматичних ризиків та оцінки наслідків зміни клімату;

- формування системи моніторингу зміни клімату та надзвичайних ситуацій природного характеру на автомобільних дорогах, а також розроблення цифрової платформи з інтерактивною мапою автомобільних доріг із прогнозними ризиками впливу мінливого клімату;

- проведення досліджень з тематики впливу кліматичних ризиків на надання послуг зі страхування транспортним компаніям;

- формування переліку об'єктів транспортної інфраструктури вразливих до наслідків кліматичних змін;

- створення випробувального полігону з апробації нових в'язучих матеріалів для будівництва та обслуговування автомобільних доріг, зокрема розроблення регламентів їх застосування;

- підвищення пропускнуєї спроможності внутрішніх водних шляхів, усунення негативного впливу зміни клімату та забезпечення глибин, необхідних для судноплавства [5].

Проведене оцінювання засвідчило, що в низці випадків негативним фактором впливу під час оцінювання кліматичного ризику може слугувати не сам небезпечний природний процес, а природне або техногенне явище, що ініціюється ним і, своєю чергою, впливає на той чи інший об'єкт транспортної інфраструктури. Аналізуючи фактори кліматичного ризику, необхідно визначити всі можливі об'єкти впливу ризику (об'єкт, що перебуває під впливом небезпечного явища, несприятливих умов погоди, аномальних кліматичних умов). При цьому збільшення збитку визначається не тільки факторами кліматичного ризику, а й уразливістю об'єктів транспортної інфраструктури. Вразливість визначається як значним ступенем зносу об'єктів, так і наявними відхиленнями від будівельних норм і правил. Крім того, вразливість яскраво проявляється в об'єктів, розташованих на територіях, що перебувають у зоні підвищеного кліматичного ризику.

Врахування пропозицій щодо вдосконалення плану адаптації до змін клімату в галузі транспорту дасть змогу забезпечити необхідне фінансування заходів з адаптації, провести оцінку кліматичних ризиків для об'єктів транспорту з урахуванням апріорної вірогідності несприятливих подій, врахувати зростаючий вплив екзогенних геологічних процесів на транспортні об'єкти, акцентувати увагу на вразливості до змін клімату систем зв'язку та

автоматики на транспорті, забезпечити необхідний рівень фахової підготовки кадрів для реалізації плану адаптації, включити технології поглинання парникових газів до діяльності галузі та забезпечити участь у розробленні заходів з адаптації до змін клімату у галузі транспорту всіх зацікавлених сторін.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. – К. : НІСД, 2020. – 110 с.
2. Транспорт і зміна клімату. Модуль 5е. Стійкий розвиток транспортної системи: збірник матеріалів для політиків міст - <http://supt.en>
3. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. Розпорядження КМУ від 07.12.2016 р. № 932-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/249573705>
4. Стратегія низьковуглецевого розвитку України на період до 2050 року (2017). URL: <https://mepr.gov.ua/news/31815.html>
5. Інформаційно-аналітичні матеріали у сфері транспорту для круглого столу на тему: «Чи готова Україна до змін клімату: роль парламенту» // Додаток до листа Мінінфраструктури від 30.04.2020 № 5796/39/10-20

## РОЗДІЛ 3.2 ПЕРЕХІД ЄВРОПИ ДО РОЗВИТКУ ДЕКАРБОНІЗАЦІЙНИХ ІННОВАЦІЙ У ТРАНСПОРТІ ТА ЛОГІСТИЦІ

**Борисяк Олена Володимирівна**

*Західноукраїнський національний університет, Україна*

Зміна клімату спонукає до пошуку інноваційних підходів до скорочення викидів парникових газів шляхом розвитку низьковуглецевої економіки та посилення моніторингу екологічно безпечних бізнес-процесів у контексті сталої мобільності. Європейські стратегічні цілі переходу до низьковуглецевої економіки включають кілька екологічних цілей, таких як: розвиток вуглецевих ринків; циркулярні міста; енергоефективність у будівлях; відновлювані джерела енергії; підвищення кліматичної стійкості в сільському та лісовому господарстві.

У науковій літературі «сталий транспорт» визначається як «транспорт, який задовольняє поточні потреби в перевезеннях без шкоди для здатності задовольняти майбутні потреби. Критерії сталого транспорту включають: ступінь задоволення попиту на перевезення, технічну та комерційну життєздатність транспортної технології (економічні цілі); виробничі та регенеративні функції (екологічні цілі); а також культурне багатство, інституційні фактори, соціальну справедливість тощо (соціальні цілі)» [1, с. 179]. Відповідно до цього визначення, критеріями сталого транспорту є «ступінь задоволення попиту на перевезення, технічна та комерційна доцільність використання відповідних транспортних технологій тощо (економічні цілі); рівень екологічності виробництва та регенеративних функцій (екологічні цілі); та ефективність інституційних факторів, рівень соціальної відповідальності тощо (соціальні цілі)» [1, с. 179]. Цей процес спрямований на оптимізацію використання екологічно чистих транспортних засобів шляхом їх

максимального впровадження через визначення спільних пріоритетів розвитку транспортної логістики та посилення синергії між енергоефективним та низьковуглецевим управлінням логістичними ланцюгами вантажних автомобільних перевезень...

У цьому контексті важливо виділити концепцію Європейського Союзу «Розумні та стійкі міста», яка інтегрує міську стійкість і мобільність, підкреслюючи, що обидва аспекти повинні розглядатися одночасно. Її появу можна розглядати як відповідь на критику рішень «розумних міст», які суперечать принципам сталого розвитку, і як спробу більш повно задовольнити потреби міст, які все більше оцифровуються, порівняно з традиційною концепцією сталого розвитку. [2-4]. «Розумне та стійке місто» визначається як “інноваційне місто, яке використовує інформаційно-комунікаційні технології та інші засоби для підвищення якості життя, операційної ефективності та послуг у містах, а також забезпечує конкурентоспроможність і задоволення потреб нинішнього та майбутніх поколінь в економічних, соціальних, екологічних та культурних аспектах” [5, с. 141-142].

Основними пріоритетами транспортної політики ЄС є створення Єдиного європейського транспортного простору, заснованого на взаємодії різних видів транспорту, та поява транснаціональних і мультимодальних операторів. Для створення інтегрованої транспортної системи, що поєднує декілька видів транспорту, Білою книгою передбачено запровадження «єдиного вікна» та «безперервного адміністративного магазину» шляхом створення єдиного електронного транспортного документа (електронного коносаменту), впровадження «розумних» транспортних систем, а також розвиток «розумної» інфраструктури (як наземної, так і повітряної) для забезпечення взаємодії різних видів транспорту [6].

«Історично автомобільний сектор був провідною галуззю промисловості в Європі і зробив значний внесок в економічне зростання і процвітання. Однак, щоб просунути свій «зелений» перехід, ЄС тепер зобов'язує, щоб, починаючи з

2035 року, всі автомобілі, що продаються в ЄС, були транспортними засобами з нульовим рівнем викидів. Такі законодавчі вимоги прискорили глобальну конкуренцію в секторі електромобілів» [7].

В Європейському Союзі розроблено стратегічний документ «Сценарій автомобільного транспорту ERTRAC 2030+ «Шлях до реалізації»». Він документально «представляє різноманітну групу зацікавлених сторін в успішній європейській транспортній системі, включаючи: виробників автомобілів, посередників автомобільного ринку та постачальників транспортних послуг, операторів дорожньої інфраструктури, постачальників енергії та палива, а також експертів з питань європейської державної та місцевої політики» [8, с. 153-154]. У цьому документі серед перелічених векторів екологізації міського транспорту є наступні:

- витрати на електроенергію та викиди парникових газів від автомобільного транспорту мають бути стабілізовані за рахунок підвищення енергоефективності, зокрема, вдосконалення двигунів транспортних засобів, заміни невідновлюваних видів транспорту на відновлювані;

- енергоефективність транспортних систем у містах слід підвищувати шляхом застосування як технологічних, так і нетехнологічних заходів, зокрема, шляхом впровадження енергозберігаючих технологій в автомобільній промисловості;

- використання більшої кількості електромобілів у мережах громадського транспорту великих міст, що має посилити увагу до відновлюваних джерел енергії;

- пропонування різноманітних програм стимулювання бізнесу до повноцінного залучення до впровадження нових та економічно ефективних технологій транспортування енергоносіїв, оскільки попит та пропозиція на енергозберігаючі технології мають бути збалансовані між усіма учасниками ринку: бізнесом, муніципальними та державними органами влади, споживачами транспортних послуг та населенням. [8, р. 153-154].

Відповідно до Європейського зеленого курсу, метою якого є встановлення кліматично нейтрального розвитку Європейського Союзу до 2050 року, пріоритетами є використання екологічно чистого та розумного транспорту (електромобілів), створення умов для безпечного та стійкого транспорту, а також надання послуг розумної мобільності для пасажирів та товарів». «З огляду на це, важливим напрямком інноваційного розвитку логістики вантажних перевезень на засадах декарбонізації та енергоефективності є формування партнерств між енергосервісними компаніями та постачальниками транспортних послуг для розширення доступу до відновлюваних джерел енергії з використанням штучного інтелекту. Переваги впровадження інновацій у сфері безпечного, сталого транспорту та послуг розумної мобільності для пасажирів і товарів включають підвищення безпеки на дорогах, збереження навколишнього середовища, зменшення кількості аварій, спричинених людським фактором, зменшення заторів на дорогах, скорочення споживання енергії та викидів від транспортних засобів, а також підвищення ефективності та продуктивності вантажних перевезень.

У липні 2024 року Європейська Комісія відібрала 134 транспортні проекти, які отримають понад 7 мільярдів євро у вигляді грантів від Фонду Connecting Europe (CEF), стратегічного інструменту ЄС для інвестування в інфраструктуру. Майже 83 % фінансування буде спрямовано на підтримку проєктів, спрямованих на досягнення кліматичних цілей ЄС, покращення та модернізацію залізничних мереж, внутрішніх водних шляхів та морських маршрутів Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T). Оновлений Регламент TEN-T набув чинності 18 липня 2024 року [9].

Згідно з аналізом McKinsey, «економічна перевага електрифікації полягає в тому, що вартість електроенергії стає нижчою за вартість газу та викиди CO<sub>2</sub>» [10] (рис. 3.2.1).

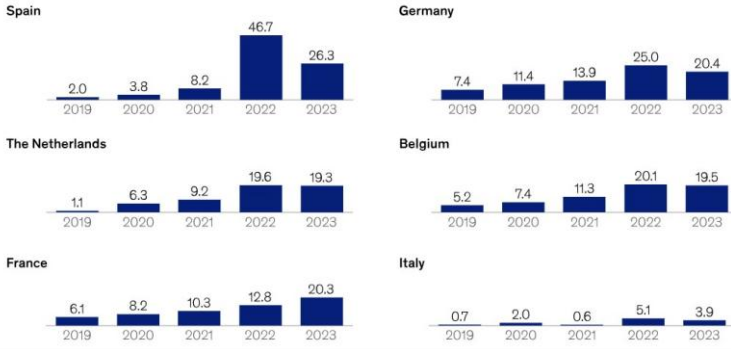
Share of hours with electricity prices below gas and CO<sub>2</sub>, %

Рисунок 3.2.1 – Ціни на електроенергію на добу наперед падають нижче вартості газу та викидів CO<sub>2</sub> [10] (англ.)

Зниження цін зазвичай збігається з надлишком пропозиції відновлюваних джерел енергії, а це означає, що «дешеві години» доступності електроенергії також є «годинами з низьким рівнем викидів» (див. бічну панель «Переваги збільшення виробництва електроенергії»). «Хоча у 2022 році значні коливання цін були відсутні, порівняння Німеччини та Іспанії показує, що волатильність цін зберігається, особливо якщо розглядати різницю в ціні між газом та електроенергією (рис. 3.2.2). В обох випадках частка годин, коли електроенергія була дешевшою за газ у 2023 році, становила від 15% до 25%. У майбутньому коливання цін можуть збільшитися, оскільки в систему будуть інтегровані додаткові відновлювані джерела енергії». [10].

Distribution of price difference between gas and electricity, €/MWh

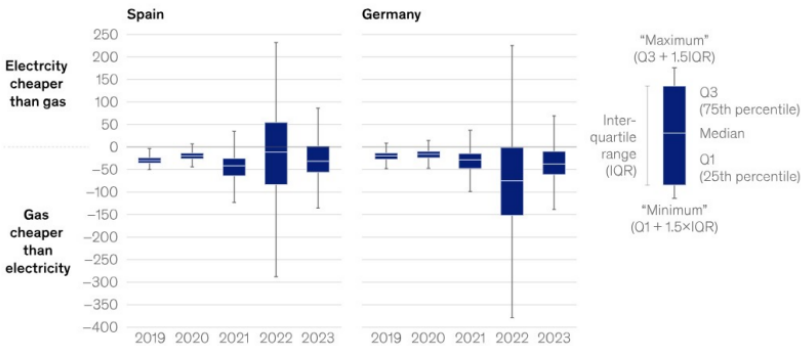


Рисунок 3.2.2. — Хоча волатильність цін зменшилася після 2022 року, електроенергія все ще була дешевшою за газ протягом 15-25 % годин у 2023 році [10] (англ.)

Тому «впровадження екологічних інновацій позиціонується як мета для бізнесу, щоб стати більш стійким, зменшити негативні зовнішні ефекти та відповідати екологічним вимогам урядів та запитам споживачів» [11; 12]. З огляду на це, кліматична та екологічна безпека підприємств енергетики та транспорту забезпечується шляхом переходу до виробництва, збуту та споживання «зеленої» енергії, циклічного використання ресурсів, скорочення викидів парникових газів на місцевому та регіональному рівнях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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].
2. 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. 172 p. [in English].
3. Mykytyuk P., Brych V., Manzhula V., Borysiak O., Sachenko A., Banasik A., Kempa W.M., Mykytyuk Y., Czupryna-Nowak A., Lebid I. Efficient Management of Material Resources in Low-Carbon Construction. *Energies*. 2024. Vol. 17(3), 575. DOI: [in English].

4. Horal L., Prykhodko M., Havadzyn N., Melnychuk I., Berlous M. Ecosystem services in the management system of ecological safety of territorial units. *Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019)*, in series : *Advances in Economics, Business and Management Research* : Proceedings of the 2019 7th Conference. 2019. Vol. 99. P. 90-95. DOI: <https://doi.org/10.2991/mdsmes-19.2019.18> [in English].
5. 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].
6. Bolzhelarskyi Ya., Hrevtsov S. Combined transportation in the logistics system of the European Union and Ukraine. *Railway Supply*. 2022. URL: <https://www.railway.supply/uk/kombinovani-perevezennya-ta-%D1%97h-misce-u-transportnij-logistichnij-sistemi-%D1%94vrosoyuzu-ta-ukra%D1%97ni/> [in Ukrainian].
7. Zalc J. Attitudes of citizens in the EU to the green transition. Verian. URL: <https://www.veriangroup.com/insights/eurobarometer/attitudes-of-citizens-in-the-eu-to-the-green-transition> [in English].
8. Khrupovych S. E. Implementation of world experience in the use of energy sources in the planning of cargo flows of urban transport. *Marketing support for the sustainable development of urban public transport*: monograph; under the editorship T. M. Borysova, G. L. Monastyrskyi. - Ternopil: Yu. V. Osadtsa, 2019. P. 141-158 [in Ukrainian].
9. EU to invest record €7 billion into sustainable, safe and smart transport infrastructure. [Press and information team of the Delegation to UKRAINE](https://www.eeas.europa.eu/delegations/ukraine/). 18.07.2024. URL: <https://www.eeas.europa.eu/delegations/ukraine/> [in English].
10. Net-zero electrical heat: A turning point in feasibility. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/net-zero-electrical-heat-a-turning-point-in-feasibility?stcr=CC5181D9B93B4BF2A412C16DCA1C8323&cid=other-eml-alt-mip-mck&hlkid=1b98a35ca38e45259d3c3df4b36d958c&hctky=15667224&hdpid=6af1d11e-7bb9-4613-b492-9cea5f0696f0> [in English].
11. David Ferreira Lopes Santos, Maitê Dubugras Valente Rezende, Leonardo Fernando Cruz Basso. Eco-innovation and business performance in emerging and developed economies, *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117674> [in English].
12. García-Granero E. M., Piedra-Muñoz L., Galdeano-Gómez E. Eco-innovation measurement: A review of firm performance indicators. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 191. P. 304-317. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.215> [in English].

## РОЗДІЛ 3.3 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

**Волкова Тетяна Вікторівна**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна*

### 3.3.1 Сучасний стан автомобільного транспорту в Україні

Автомобільний транспорт (АТ) є найважливішим сектором української економіки, який обслуговує практично всі галузі господарювання і верстви населення, сприяє зростанню мобільності та якості населення.

У даний час автомобільний парк України нараховує понад 14 млн. одиниць автомобілів, структура яких виглядає так: вантажних автомобілів – 15,5 %, автобусів – 2,6 %, легкових автомобілів – 81,9 % [1].

АТ належить до галузей, з яких почалася широкомасштабна приватизація в Україні. У першу чергу були приватизовані підприємства автомобільного транспорту (ПАТ), що здійснюють перевезення вантажів.

У зв'язку з цим на ринку автотранспортних послуг з'явилася велика кількість перевізників різних форм власності, які не мали досвіду організації перевезень, необхідних професійних знань, відповідної технічної бази, а їхні транспортні засоби не відповідали вимогам безпеки перевезень.

Державна транспортна політика в галузі реалізується за допомогою законів України, нормативно-правової та нормативно-технічної бази, шляхом вдосконалення системи державного управління та державного регулювання у сфері відносин і діяльності суб'єктів підприємництва.

Державне регулювання ринку транспортних послуг здійснюється шляхом ліцензування автотранспортної діяльності. До теперішнього часу кількість ліцензій, отриманих юридичними і фізичними особами України, становить приблизно 140 тис., а кількість використовуваних ними транспортних засобів (ТЗ) – до 400 тис. од. За даними Головної державної інспекції на АТ, частка перевізників, що мають в експлуатації тільки один ТЗ становить 61 %, до трьох ТЗ – 22,4 %, до п'яти ТЗ – 7 %, до десяти – 5,4 %, більше десяти – 4,3 %.

Становлення ринкових відносин у системі автомобільного транспорту загального користування (АТЗК), приватизація ПАТ державної власності, придбання транспортних засобів за власні кошти або придбання їх в оренду привели до появи на ринку транспортних послуг більше 30 тис. пасажирських перевізників, які отримали ліцензії на право господарської діяльності з надання послуг з перевезення пасажирів.

Мережа автобусних сполучень за станом на сьогоднішній день включає близько 19 тис. міських, приміських, міжнародних маршрутів, на яких задіяно приблизно 50 тис. автобусів. До переходу до ринкової економіки систему транспорту загального користування в Україні в різні роки обслуговували від 45 до 54 тис. автобусів, які були зосереджені в 449 спеціалізованих ПАТ державної форми власності.

Слід зазначити, що пасажирські автомобільні перевезення є технологічно централізованою системою, в якій кожний транспортний засіб має перебувати під диспетчерським контролем і управлінням. Як свідчить досвід вітчизняних і зарубіжних компаній-перевізників, найвища ефективність, якість і безпека досягаються тоді, коли транспортні засоби отримують необхідне технічне, а водії – медичне обслуговування, автобуси знаходяться в системі постійного спостереження, коли через певні відрізки часу система управління перевезеннями отримує інформацію про місцезнаходження автобуса і може втрутитися у процес перевезення.

АТ продовжує залишатися з наземних видів транспорту найбільш ресурсномістким і небезпечним для населення і навколишнього середовища.

АТ витрачає більше 6 % палива нафтового походження, 7 % трудових ресурсів, викликає більше 96 % дорожньо-транспортних пригод. На автомобільний транспорт припадає, відповідно до оцінок, 40 – 5 % забруднення навколишнього середовища, в тому числі у великих містах – 60 – 7 %, а в мегаполісах – більше 85 %. При цьому не менше 25 % забруднень пояснюється технічним станом автомобілів і виробничою діяльністю ПАТ [2].

Основними системними проблемами АТ на сучасному етапі є [1]:

- втрата адміністративних важелів управління АТ як повністю приватизованого;
- зниження обсягів транспортної роботи;
- збитковість діяльності пасажирського транспорту на автобусних маршрутах загального користування;
- масове старіння рухомого складу та не відпрацьованість механізмів його заміни;
- невідповідність структури вантажного і пасажирського парку попиту на його послуги;
- незадовільний рівень безпеки автомобільних перевезень і значне економічне навантаження на навколишнє середовище.

### 3.3.2 Життєвий цикл виробів і його інформаційна підтримка

На сьогодні термін «життєвий цикл» (ЖЦ) вживається як у природних і технічних, так і в гуманітарних науках. У різних предметних словниках є достатня кількість визначень ЖЦ, схожих одне з одним в основних рисах [3].

Модель повного життєвого циклу окремого об'єкта являє собою опис послідовності всіх фаз, етапів його існування від задуму і появи («народження») до зникнення («відмирання»), рис. 3.3.1).

Для моделі повного ЖЦ характерні такі основні властивості:

– структура (склад етапів) моделі ЖЦ не залежить від того, який об'єкт описується, тобто модель ЖЦ інваріантна стосовно зміни типу об'єкта, галузі тощо; це робить її універсальною і широко застосовуваною;

– в житті у будь-яку мить часу реально існує тільки процес діяльності конкретних агентів зі створення конкретних результатів, і цей вихідний первинний реальний процес повністю описується потоками моделей ЖЦ.

Новим прийомом для АТ в сфері контролю їх технічного стану є створення інформаційних систем організаційно-функціональної підтримки процесів експлуатації автомобілів, за допомогою інформаційної інтеграції: по-перше, стадій ЖЦ автомобілів, по-друге систем його технічного контролю (контролю і діагностування стану автомобілів).

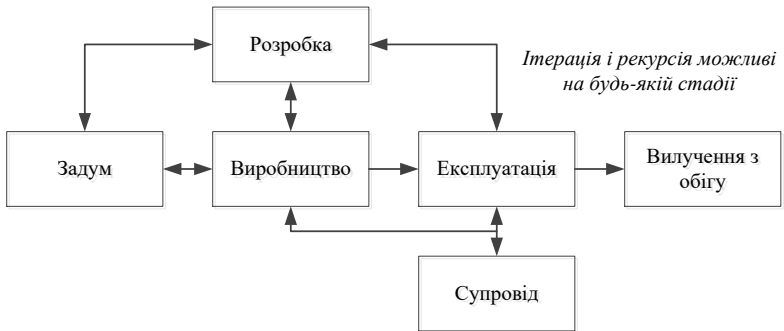


Рисунок 3.3.1– Модель життєвого циклу

Поява на транспорті «систем з повною відповідальністю», типу *FADEC* (Full Authority Digital Electronic Control system) [4], яка спрямована на створення єдиної структури з бортових систем управління робочими процесами вузлів і агрегатів, систем контролю і діагностування, систем організаційно-функціональної підтримки процесів ППВ / CALS / PLM-технології - це сучасний

підхід до проектування, виробництва і сучасних інформаційних технологій на всіх стадіях ЖЦ виробів [3, 4].

У сфері транспортних компаній АТ інтегроване інформаційне середовище ІПВ / CALS / PDM-технологій тільки впроваджується. Сьогодні це, лише сукупність мережевих електронних інформаційних систем у вигляді розподілених сховищ, які є гетерогенним, так як використовують в своєму складі різні:

Прикладом втілення в АТ може бути програма Torque, як основа «автомобільної» концепція *FADEC*, що представляє собою перший крок до системи *FRACAS* і, відповідно ІПВ / CALS / PLM-технологій, які призначені для отримання і відображення діагностичної інформації бортової системи самодіагностування. Сьогодні вона вже «вміє» відображати поточні параметри роботи двигуна, екологічну складову автомобіля, інших систем, вузлів і агрегатів, відображати і розшифровувати «коди помилок», «стирати помилки» з електронного блоку управління (ЕБУ), автоматично відправляти значення величин параметрів, що контролюються датчиком, в інтегроване електронне інформаційне метапространство, де протягом півроку можна подивитися не тільки поточні значення контрольованих величин в різний час, але і побачити на карті весь маршрут РС за цей період [5].

### 3.3.3 Особливості використання інформаційних програмних комплексів

На основі виконаних в ХНАДУ досліджень розроблені транспортно-інформаційна система віртуального підприємства «ХНАДУ ТЕСА» і наступні інформаційні програмні комплекси (ІПК) «Віртуальний механік «HADI-12»», ІПК «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»», ІПК «MonDiaFor “HADI-15”», ІПК ««IdenMonDiaOperCon«HNADU-16»», які мають можливість працювати у складі інтелектуальних транспортних систем (ITS) [5, 6].

За основу формування технології контролю технічного стану автомобілів

покладено загальний підхід до дослідження системи «автомобіль – водій – умови експлуатації – інфраструктура експлуатації автомобіля (транспортна і автомобільних доріг)», яка включає в себе системну взаємодію складових компонентів моніторингу: автомобіля з водієм і бортовим інформаційним комплексом (БІНК); умов експлуатації автомобіля (дорожні, транспортні, атмосферно-кліматичні умови, екологічні і культура праці) [5]; транспортної інфраструктури і інфраструктури автомобільних доріг.

Для прикладу наведемо алгоритм і деякі експериментальні результати ІПК «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»». В ньому є окремий блок ІПП «Екологічні показники» (рис. 3.3.2) в якому проводяться обчислення відповідно до методики «Service Fuel Eco«NTU-HADI-12»». Визначаються витрати пального, мастильних матеріалів, викиди, відходи [6].

Середня витрата пального автомобілем:

- при виконанні транспортної роботи, л/100км ( $\text{м}^3/100 \text{ км}$ , СПГ);
- при ТО і Р (5 % витрати палива при виконанні транспортної роботи), л.

Величина витрат мастильних матеріалів наведена в табл. 3.3.1.

Таблиця 3.3.1 – Витрата мастильних матеріалів в ППК «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»»

Категорія автомобільного транспортного засобу	Витрата мастильних матеріалів, л/100 л (л/100 м <sup>3</sup> , СПГ) (по відношенню до витрати пального)			
	моторна олива	трансмійсна олива	спеціальні оливи	пластичні мастила
M <sub>1</sub>	0,5...1,8	0,02...0,15	0,01...0,05	0,05...0,1
M <sub>2</sub>	0,5...1,8	0,02...0,15	0,01...0,05	0,05...0,1
M <sub>3</sub>	1,5...2,8	0,1...0,4	0,05...0,1	0,1...0,3
N <sub>1</sub>	0,5...1,8	0,02...0,15	0,01...0,05	0,05...0,1
N <sub>2</sub>	1,5...2,8	0,1...0,4	0,05...0,1	0,1...0,3
N <sub>3</sub>	1,5...2,8	0,1...0,4	0,05...0,1	0,1...0,3

Масові викиди шкідливих речовин (ШР) розраховуються за формулою 3.3.1, т:

$$M_i = \sum_{m=1}^m g_{icj} G_j K_{Tikj} k_j, \quad (3.3.1)$$

де  $g_{icj}$  – середній питомий викид  $i$ -ї ШР з одиниці маси  $j$ -го виду пального, кг/т;

$Q_j$  – витрата  $j$ -го пального автомобілем за певний період, т;

$T_{ikj}$  – коефіцієнт, що враховує вплив технічного стану автомобіля  $k$ -го типу, що споживає  $j$ -й вид пального, на величину питомих викидів;

$k_j$  – коефіцієнт приведення автомобіля до екологічного класу.

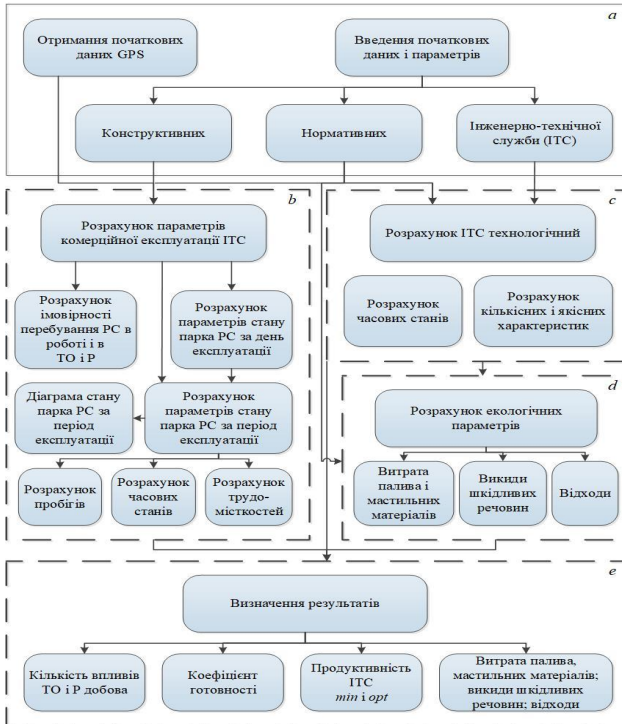


Рисунок 3.3.2 – Схема структури ІПК «Service Fuel Eco» (NTU-HADI-12)»

Значення коригуючого коефіцієнта  $T_{ikj}$  вибирають залежно від: шкідливої речовини ( $i$ ), викид якої розраховують; типу автомобіля ( $k$ ) і виду споживаного пального ( $j$ ), використовуючи дані табл. 3.3.2.

Таблиця 3.3.2 – Значення коефіцієнтів  $T_{ikj}$  у ІПК «Service Fuel Eco» (NTU-HADI-12)»

Категорія автомобілів	Значення коефіцієнта $T_{ikj}$ для різних ШП			
	$CO$	$C_m H_n$	$NO_x$	$PM$
M1	1,5	1,5	0,9	-
M2	1,7	1,8	0,9	-
M3	1,5	1,4	0,95	1,8

N1	1,7	1,8	0,9	-
N2	1,7	1,8	0,9	-
N3	1,5	1,4	0,95	1,8

Середні питомі викиди  $g_{icj}$  вибирають з табл. 3.3.3. Значення середніх питомих викидів ШП наведене для випадку, коли автомобіль немає систем нейтралізації відпрацьованих газів (Євро-0). Для екологічних класів Євро-1 – Євро-6 використовуються коефіцієнти приведення  $k_j$  до норм ЄВРО (табл. 3.3.4).

Таблиця 3.3.3 – Значення середніх питомих викидів ШП з одиниці споживаного пального в ІПК «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»»

Вид пального	Питомі викиди ШП кг/т пального			
	$g_{CO}$	$g_{CH}$	$g_{NOx}$	$g_{PM}$
Бензин	196,5	37,0	21,8	–
Зріджений нафтовий газ	196,5	37,0	21,8	–
Дизельне пальне	36,0	6,2	31,5	3,85
Стиснений природний газ	87,5	22,4	27,6	–

Таблиця 3.3.4 – Коефіцієнти приведення до норм Євро  $k_j$

Шкідливі речовини	Екологічні класи автомобілів						
	Євро-0	Євро-1	Євро-2	Євро-3	Євро-4	Євро-5	Євро-6
CO	1	0,4	0,32	0,17	0,12	0,12	0,1
NO <sub>x</sub>	1	0,55	0,49	0,34	0,24	0,13	0,1
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	1	0,46	0,46	0,28	0,2	0,2	0,15
PM	1	0,51	0,21	0,14	0,03	0,03	0,2

Відходами на АТ є акумуляторні батареї, шини, фільтри. Кількість відпрацьованих акумуляторних батарей визначається, виходячи з кількості

встановлених на автомобілі акумуляторів (за даними підприємства автомобільного транспорту), термінів їх експлуатації і ваги, од./ рік:

$$N = \sum_{m=1}^m N_{\text{авт.}i} \cdot n_i / T_i, \quad (3.3.2)$$

де  $N_{\text{авт.}i}$  – кількість автомобілів, забезпечена акумуляторами  $i$ -го типу, од.;

$n_i$  – кількість акумуляторів на автомобілі, од.;

$T_i$  – експлуатаційний термін служби акумулятора  $i$ -ї марки, рік.

Вага відпрацьованих акумуляторів дорівнює, т / рік:

$$M = \sum_{m=1}^m N_i \cdot m_i \cdot 10^{-3}, \quad (3.3.3)$$

де  $N_i$  – кількість відпрацьованих акумуляторів  $i$ -ї марки, од. / рік;

$m_i$  – вага акумуляторної батареї  $i$ -го типу з електролітом, кг.

Вага відпрацьованих шин з металевим кордом і з тканинним кордом визначається за формулою, т/ рік:

$$M = \sum_{m=1}^m (L_i \cdot m_i \cdot N_i \cdot n_i) / (L_{ni} \cdot 10^{-3}), \quad (3.3.4)$$

де  $N_i$  – кількість автомобілів  $i$ -ї марки, од.;

$n_i$  – кількість шин, встановлених на автомобілі  $i$ -ї марки, од.;

$m_i$  – вага однієї зношеної шини даного типу, кг;

$L_i$  – середній річний пробіг автомобіля  $i$ -ї марки, тис.км / рік;

$L_{ni}$  – норма пробігу автомобіля  $i$ -ї марки до заміни шин, тис.км.

Вага відпрацьованих фільтрів, що утворилися при експлуатації ТЗ, визначається за формулою, т/рік:

$$M = \sum_{m=1}^m (L_i \cdot m_i \cdot N_i \cdot n_i) / (L_{ni} \cdot 10^{-3}), \quad (3.3.5)$$

де  $N_i$  – кількість ТЗ  $i$ -ї марки, од.;

$n_i$  – кількість фільтрів, встановлених на ТЗ  $i$ -ї марки, од.;

$m_i$  – вага одного фільтра на ТЗ  $i$ -ї марки, кг;

$L_i$  – середній річний пробіг ТЗ  $i$ -ї марки, тис.км / рік;

$L_{ni}$  – норма пробігу ТЗ  $i$ -ї марки до заміни фільтрів, тис.км.

Приклад виводу інформації на робочі вікна «Розрахунки екологічних показників => Витрати» – це широкий спектр параметрів:

- державний реєстраційний номер автомобіля;
- група автомобілів;
- витрата пального при виконанні транспортної роботи, л/100 км;
- витрата пального при ТО і Р, л;
- витрата оливи моторної, л/100 л (л/100 м<sup>3</sup>, СПГ);
- витрата оливи трансмісійної, л/100 л (л/100 м<sup>3</sup>, СПГ);
- витрата оливи спеціальної, л/100 л (л/100 м<sup>3</sup>, СПГ);
- витрата мастил пластичних, л/100 л (л/100 м<sup>3</sup>, СПГ).

Для розрахунку викидів шкідливих речовин необхідно вибрати у головному меню вікно: «Розрахунки екологічних показників => Викиди».

Інформація вікна «Викиди» може бути відсортована за державними реєстраційними номерами автомобілів і за датою надходження.

До параметрів викидів належить така інформація:

- державний реєстраційний номер автомобіля;
- група автомобілів;
- тип пального;
- клас екологічний;
- масовий викид оксиду вуглецю, т;
- масовий викид вуглеводнів, т;
- масовий викид оксидів азоту, т;
- масовий викид твердих часток, т.

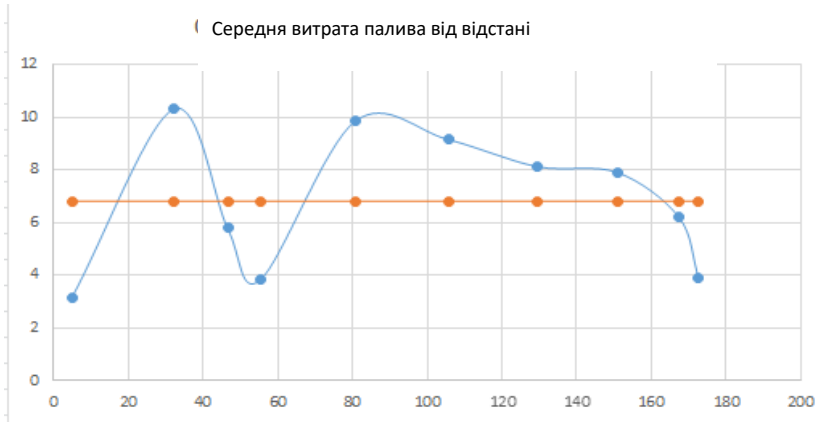
Для розрахунку відходів необхідно в головному меню вибрати вікно: «Розрахунки екологічних показників => Відходи».

У вікні «Відходи» можна відсортувати інформацію за державними реєстраційними номерами ТЗ, за датою і типом викидів: відпрацьовані акумуляторні батареї; шини; фільтри.

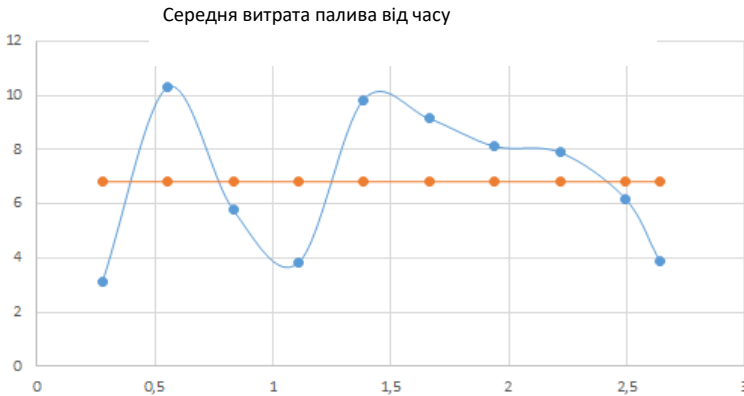
3.3.4 Приклад результатів витрати палива автомобілем на ділянках відстані руху із застосуванням геозон

Для визначення швидкості руху автомобіля з урахуванням умов експлуатації дослідну ділянку шляху розбивали в залежності від формування геозон на всій відстані шляху. В першу чергу виділяли геозони міст з обмеженням максимальної швидкості руху за вимогами правил дорожнього руху 50 км/год і геозони за містом з обмеженням максимальної швидкості руху – 130 км/год.

Результати дослідження витрати палива автомобілем на дослідних ділянках в межах відстані шляху – за допомогою ІПК «Service Fuel Eco «NTU-NADI-12»» показано на рис. 3.3.3, а зміни витрати палива автомобілем в процесі руху за результатами обробки звіту на рис. 3.3.4.



а



б

Рисунок 3.3.3 – Результати дослідження витрати палива автомобілем на дослідних ділянках в межах відстані шляху: а - в залежності від відстані шляху; б - в залежності від часу руху

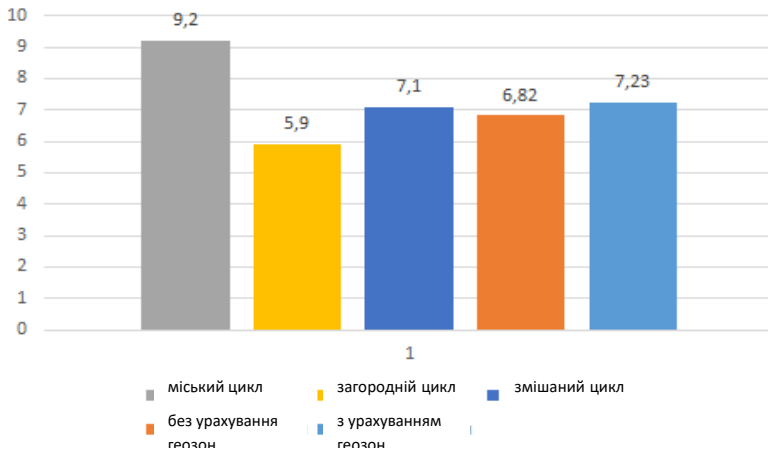


Рисунок 3.3.4 – Результати визначення зміни витрати палива автомобілем в процесі руху за результатами обробки звіту

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України: Транспорт. Офіційний сайт [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua); веб-сайт. URL: [https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/tr.htm](https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm) (дата звернення 04.07.2024).
2. Volkov V., Vnukova N., Taran I., Pozdnyakova O., Volkova T.. Influence of diesel vehicles on the biosphere / *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2021, № 5. – P.94-99. (ISSN 2071-2227, E-ISSN 2223-2362, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2021, No 5. <https://doi.org/10.33271/nvngu/20215/094>) Scopus.
3. Моніторинг технічного стану автомобіля в життєвому циклі: підручник / В.П. Волков та ін. – Харків: ХНАДУ, 2017. 301 с.
4. Інтелектуальні системи контролю технічного стану транспортних засобів: підручник/ Волков В.П. та ін. – Харків: ХНАДУ, 2019. 264 с.
5. Volkov V., Gritsuk I., Taran I., Volkova T., Kuzhel V., Semenov A., Voznyak O.. Information Systems for Vehicles Technical Condition Monitoring. Data-Centric Business and Applications Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2024, p. 61-96. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-7_4)
6. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту: монографія / М.Ф. Дмитриченко та ін.– Київ: НТУ, 2016. 204 с.

**ГЛАВА 4**  
**ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА ПРОБЛЕМА**  
**РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

## **РОЗДІЛ 4.1 НАУКОВІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯМ ЯК ПІДҐРУНТЯ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН**

**Барун Марина Вікторівна**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна*

Глобальна зміна клімату - це, мабуть, найбільший виклик, з яким коли-небудь стикалося людство. Це проблема, з якою вже стикається наше покоління, а її наслідки доведеться нести наступним поколінням. Зміна клімату – це реальність.

Якщо поточні тенденції не зміняться в найближчі роки, то до кінця століття глобальна температура досягне найвищого рівня. Вчені переконані, що зміна клімату відбувається під впливом людини і що людство несе відповідальність за забруднення та негативні зміни в глобальному кліматичному балансі. Однак ми все ще не здатні приймати швидкі рішення і просто намагаємося впоратися з наслідками та пристосуватися до змін навколо нас.

В умовах кризи та трансформації української економіки питання управління ресурсозберігаючою діяльністю на підприємстві набуває особливого значення. Ресурсозберігаюча діяльність має прояв не тільки на рівні підприємства, а через зменшення ресурсоемності виробництва та більш ефективну його роботу, має вплив на галузь та народне господарство в цілому. Тому, процес ресурсозбереження не тільки сприяє ефективній роботі В умовах кризи та трансформації української економіки питання управління ресурсозберігаючою діяльністю на підприємстві набуває особливого значення.

Розглядаючи серйозні проблеми екологічно-ресурсного характеру з різних боків можна сказати, що розвиток сучасного суспільства супроводжується використанням значних об'ємів природних ресурсів та

водночас відбувається руйнація навколишнього природного середовища, яка досягла критичної межі. Через порушення взаємозв'язків між природою та людством все більш відчуваються небажані наслідки. Тому застосування ресурсозберігаючих технологій, проектів, тощо які були б спрямовані на поліпшення ситуації з забрудненням оточуючого природного середовища, вивільнення природних ресурсів з виробничого обігу через використання відходів та вторинних ресурсів є актуальним в розвитку сучасного суспільства.

Ресурсозберігаюча діяльність має прояв не тільки на рівні підприємства, а через зменшення ресурсоемності виробництва та більш ефективну його роботу, має вплив на галузь та народне господарство в цілому. підприємства, галузі та економіки в цілому, а й зменшує вплив на навколишнє середовище. Підхід до сутності процесу ресурсозбереження на підприємстві зображено на рис. 4.1.



Рисунок 4.1.1 – Сутність процесу ресурсозбереження на підприємстві

1.Слід зазначити, що процес ресурсозбереження можна розглядати як у вузькому, та і в широкому значенні. В першому значенні, ресурсозбереження виступає середовищем в якому відбуваються конкретні процеси, тобто діяльність, яка спрямована на досягнення окреслених результатів, а саме

підвищення економічної ефективності виробництва при зменшенні використання ресурсів. В широкому розумінні, процес ресурсозбереження охоплює всі аспекти виробничо-господарської діяльності, як на рівні підприємства, та і на рівні галузі і держави в цілому. Вирішує питання які виникають при взаємодії існуючих можливостей діючого господарського механізму та розвитком і впровадження інноваційних ресурсозберігаючих технологій у виробничий процес.

Тому, виходячи з вищезазначеного, поняття ресурсозбереження має три прояви, а саме:

- 1) як сфера економічної діяльності суспільства – організаційно-економічна система;
- 2) як процес раціонального використання всіх видів ресурсів;
- 3) як результат – сума всіх видів ефектів.

Слід відмітити, що при аналізі підходів до визначення поняття ресурсозбереження були виявлені певні спільні риси та відмінності. Наприклад, в еколого-виробничому підходів акцент надається застосуванню нової техніки та впровадженню новітніх технологій в процес виробництва продукції, що призведе до зниження ресурсо- та енергоємності продукції, а в еколого-ресурсному підході акцент надається застосуванню новітніх безвідходних або маловідходних технологій, впровадження в виробництво вторинних ресурсів та відходів які призведуть до раціонального використання ресурсів та ресурсозбереження. В еколого-організаційному підході розглядаються організаційно-технічні заходи з впровадження ресурсозбереження в виробництво.

Загальна класифікація показників ресурсозбереження за окремими класифікаційними ознаками та з урахуванням закріпленої на державному рівні їх номенклатури приведені на рис. 4.1.2.

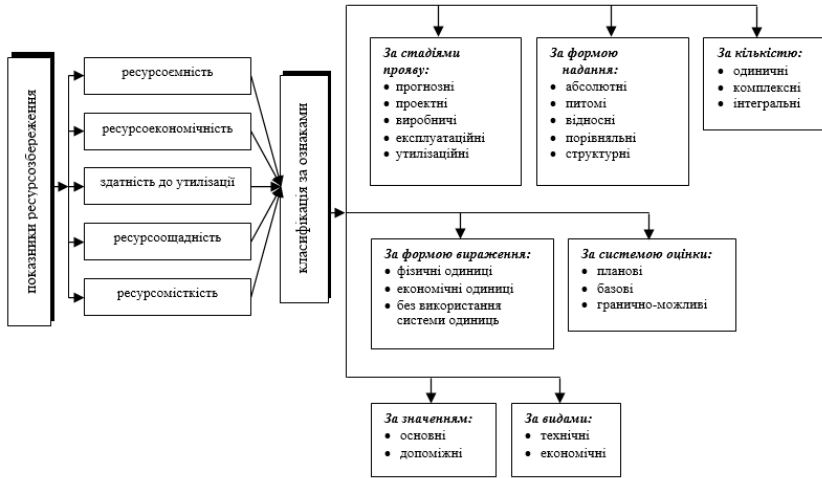


Рисунок 4.1.2 – Класифікація показників ресурсозбереження

Згідно з виділеною класифікацією показники ресурсозбереження розділяються за наступними ознаками:

- за видами (технічні та економічні);
- за стадіями прояву (прогнозні – на етапі науково-дослідних робіт; проектні – на етапі дослідно-конструкторських робіт; виробничі – на етапі виготовлення продукції; експлуатаційні – на етапі застосування; утилізаційні – на етапі ліквідації виробу);
- за формою надання (абсолютні, питомі, відносні, порівняльні, структурні);
- за формою вираження (в фізичних або економічних одиницях чи без використання системи одиниць);
- за системою оцінки (планові показники – на перспективу; базові – встановлені в міждержавних або державних стандартах України; фактичні; гранично-можливі – для кожного конкретного виду речовини, матеріалів, виробів, продукції);
- за значенням (основні та допоміжні);

- за кількістю (одиничні – часні; комплексні – групові; інтегральні – загальні).

Завдяки показникам ресурсозбереження можна оцінити результати діяльності в цій сфері. Безпосередньо до прямих результатів можна віднести ті, які визначені внутрішніми цілями, а саме: зростання прибутку, зменшення використання первинних природних ресурсів, зменшення витрат матеріальних ресурсів, поліпшення ефективності роботи підприємства тощо. Але також є й непрямі результати, (наприклад: покращення умов життя, екологічної ситуації, збереження ландшафту та ін.), які не можливо оцінити з економічної точки зору.

Найбільш зручними для нормування, прогнозування, порівнювальної оцінки та аналізу є питомі показники ресурсозбереження, оскільки вони мають певну ємність, інформаційність та можуть охарактеризувати взаємозалежність різнорідних параметрів. Формули для розрахунку питомих показників ресурсозбереження визначає розробник виробу та при необхідності застосовує кваліфікованих спеціалістів профільних організацій.

Проведений аналіз теоретичних засад формування показників ресурсозбереження зазначив, що на даний момент не існує єдиного уніфікованого показника оцінки ефективності ресурсозбереження на підприємстві.

Узагальнюючим показником, можна назвати показник ресурсоемності виробництва  $P$  (4.1), який відображає співвідношення результатів діяльності з витратами підприємства, що були витрачені для одержання максимального доходу [1].

$$P = \frac{ПС + ІОВ + ФВ + ВК + ІВ}{ЧД + ІОД + ДК + ІФД + ІД + НД}, \quad (4.1.1)$$

де,  $P$  – ресурсоемність підприємства;

$ПС$  – повна собівартість реалізованої продукції;

$ІОВ$  – інші операційні витрати;

- ФВ* – фінансові витрати;
- ВК* – втрати від участі в капіталі;
- ІВ* – інші витрати;
- ЧД* – доход від реалізації (товарів, робіт, послуг);
- ІОД* – інші операційні доходи;
- ДК* – доход від участі в капіталі;
- ІФД* – інші фінансові доходи;
- ІД* – інші доходи;
- НД* – надзвичайні доходи.

Зростання можливостей ресурсозбереження відбувається завдяки переходу до інтенсивного ресурсозберігаючого типу економічного розвитку, зниженню матеріалоемності продукції, підвищенню продуктивності праці, поліпшенню техніко-економічних показників та якості продукції. Так, зокрема сучасний розвиток технологій в сфері ресурсозбереження здатний забезпечити такий виробничий рівень, який дозволить здійснити: скорочення питомих витрат сировини та відходів на одиницю продукції; забезпечити створення системи рециркуляції вторинних ресурсів; знизити видобуток та використання первинної сировини; знизити вплив та мінімізувати економічний збиток навколишньому природному середовищу [2].

Основні аспекти управління ресурсозбереженням на підприємстві в контексті кліматичних змін:

1. Енергоефективність: Впровадження енергоефективних технологій і практик, таких як використання відновлюваних джерел енергії, модернізація обладнання, автоматизація виробничих процесів, ізоляція будівель для зниження витрат на опалення і кондиціонування.

2. Управління водними ресурсами: Оптимізація використання води, впровадження технологій повторного використання та очищення води, зменшення споживання води у виробничих процесах.

3. Зменшення відходів: Створення системи управління відходами, яка передбачає скорочення обсягу відходів, що утворюються, їх повторне використання або переробку. Наприклад, впровадження принципів циркулярної економіки, де відходи одного процесу стають ресурсами для іншого.

4. Управління викидами парникових газів: Впровадження заходів для зниження викидів CO<sub>2</sub> та інших парникових газів, таких як перехід на екологічно чисті джерела енергії, підвищення ефективності використання ресурсів, запровадження нових технологій.

5. Системи моніторингу та звітності: Впровадження сучасних систем моніторингу використання ресурсів і викидів, що дозволяють підприємству оперативно реагувати на відхилення від планових показників, а також забезпечують прозорість і підзвітність діяльності підприємства перед зацікавленими сторонами.

6. Освіта і навчання персоналу: Важливо забезпечити навчання працівників з питань ресурсозбереження, енергоефективності та сталого розвитку. Це дозволить їм усвідомлювати важливість своїх дій і вносити пропозиції щодо підвищення ефективності роботи підприємства.

7. Співпраця з постачальниками та клієнтами: Важливо вибудовувати партнерські відносини з постачальниками і клієнтами, щоб спільно працювати над скороченням споживання ресурсів і зменшенням впливу на довкілля.

8. Інноваційні технології та цифровізація.

9. Впровадження інноваційних технологій і цифрових рішень може суттєво підвищити ефективність управління ресурсами. Наприклад, використання Інтернету речей (IoT) для моніторингу енергоспоживання в реальному часі дозволяє виявляти та швидко усувати неефективність. Аналіз великих даних (Big Data) допомагає прогнозувати потреби в ресурсах та оптимізувати виробничі процеси.

10. Зелена сертифікація та стандарти

11. Отримання екологічних сертифікатів, таких як ISO 14001 (система екологічного менеджменту), LEED (стандарти для зеленого будівництва), може не тільки підвищити репутацію підприємства, але й забезпечити доступ до нових ринків і клієнтів, які надають перевагу екологічно відповідальним партнерам.

12. Адаптація до змін клімату: Підприємства повинні розробляти стратегії адаптації до змін клімату, враховуючи ризики, такі як підвищення рівня моря, екстремальні погодні умови, зміна водних ресурсів. Це може включати перепланування виробничих процесів, зміцнення інфраструктури та зміну постачальників.

13. Корпоративна соціальна відповідальність (КСВ): Інтеграція принципів КСВ в управління підприємством дозволяє враховувати соціальні та екологічні аспекти при прийнятті бізнес-рішень. Це може включати підтримку місцевих громад, участь у програмах захисту довкілля, впровадження соціальних ініціатив для працівників і місцевих мешканців.

14. Фінансові стимули та інвестиції : Залучення інвестицій у проекти з ресурсозбереження та кліматичної адаптації може бути підтримане державними програмами та міжнародними фондами. Наприклад, підприємства можуть отримати доступ до «зелених» фінансів, які надаються для проектів, що знижують вплив на навколишнє середовище.

15. Оцінка життєвого циклу продуктів: Оцінка життєвого циклу продуктів (LCA) дозволяє підприємству зрозуміти вплив своїх товарів і послуг на навколишнє середовище на всіх етапах – від видобутку сировини до утилізації. Це допомагає ідентифікувати ключові точки для покращення екологічних показників і зменшення ресурсоспоживання.

16. Співпраця з іншими підприємствами та організаціями: Кооперація з іншими компаніями, а також участь у галузевих ініціативах можуть допомогти підприємству в обміні досвідом і впровадженні нових практик. Це також сприяє

розвитку спільних проєктів, спрямованих на ресурсозбереження та захист довкілля.

Взаємозв'язок, координацію та спрямування дій між інноваційною та екологічною діяльністю підприємства, ресурсозберігаючими програмами та заходами, які відбуваються на цьому підприємстві та між існуючими законодавчими та нормативно-правовими документами виконує саме стратегія ресурсозбереження.

В основі природничозберігаючої організації виробничої діяльності при впровадженні стратегії ресурсозбереження виділяють наступні інноваційно-орієнтовані напрямки:

- мінімізація вилучення первинних природних ресурсів з акцентом на невідновлювальні та обмежені;

- створення та впровадження процесів комплексної переробки природної сировини без утворення відходів (мінімізація утворення відходів на всіх стадіях виробництва);

- переробка всіх видів відходів виробництва та споживання з отриманням вторинної сировини та товарної продукції;

- створення нових видів продукції з урахуванням їх можливого вторинного використання або екологічно безпечної асиміляції;

- застосування замкнених систем промислового енерго- та водопостачання;

- комерційний підхід до знешкодження відходів;

- створення регіональних безвідходних технопарків та технополісів;

- створення регіонального ринку вторинної сировини та матеріалів;

- кластерний підхід до розвитку виробництв, в тому числі зорієнтованих на вторинне використання матеріалів [3].

Зниження матеріалоємності, в тому числі, матеріальних витрат можна здійснити за рахунок впровадження прогресивних досягнень науково-технічного прогресу.

Тобто, стратегія ресурсозбереження – це така стратегія, – яка спрямована на істотне збільшення коефіцієнту використання сировинних ресурсів та максимізацію коефіцієнту корисної дії всіх технологічних процесів. Відповідно до цього, ефективна стратегія ресурсозбереження містить наступні підпорядковані їй стратегічні напрями:

- циркуляція, тобто мінімізація відходів та скорочення техногенного навантаження на навколишнє середовище за допомогою замкненого кругообігу потоків сировини, матеріалів, вторинних ресурсів та відходів;

- кооперування, тобто узгоджене скорочення негативного впливу на навколишнє середовище з боку комплексу підприємств, які кооперуються між собою для спільного рішення природоохоронних проблем, ресурсозбереження та мінімізації відходів [4].

Стратегія ресурсозбереження визначає доцільність певного напрямку витрат ресурсів, орієнтує керівництво підприємства на підвищення кількості впроваджених ресурсозберігаючих заходів та технологій, на розвиток методів аналізу, прогнозування, стимулювання раціонального використання ресурсів, що, в свою чергу, дозволить ефективно використовувати всі наявні резерви підприємства.

Впровадження та виконання нових, спрямованих на ресурсозбереження стратегій промислових підприємств, буде сприяти:

- ефективній економічній, технологічній, екологічній діяльності підприємства та загальному системному удосконаленню його роботи;

- створенню умов для зниження утворення відходів та активізації раціонального використання всіх видів ресурсів на підприємстві;

- удосконаленню організаційно-економічних заходів щодо створення системи екологічного менеджменту;

- організації системи постійного екологічного моніторингу підприємств;

- сертифікації та ліцензуванню діяльності вітчизняних підприємств за міжнародними екологічними стандартами;

- створенню сучасних систем управління природними ресурсами та оточуючим навколишнім середовищем.

Необхідне досягнення максимального задоволення потреб суспільства при мінімальній сукупності витрат виробничих ресурсів, потребує посилення режиму економії на всіх етапах виробничого циклу, на всіх ланках ринкової господарської системи. Саме тому, в умовах постійної конкурентної боротьби, підприємство не може існувати без раціонального використання діючого виробничого апарату, своєчасної модернізації та заміни засобів праці, удосконаленого використання фінансових, матеріальних, трудових та інших ресурсів, підвищення якості продукції, впровадження інновацій тощо.

Оскільки управління ресурсозберігаючою діяльністю є складовою частиною загального управління підприємством, то застосування вітчизняними підприємствами ефективних заходів та своєчасних управлінських рішень щодо ресурсозбереження та зниження ресурсоемності виробництва допоможуть при вирішенні наявних проблем.

Основний зміст управлінської діяльності в контексті ресурсозбереження на підприємстві полягає в безпосередній реалізації методів управління ресурсозбереженням, а саме методів управління функціональними системами, методів виконання функцій управління, математичних методів, методів статистики, експертних методів тощо. Аналіз сучасних теоретико-методичних робіт у сфері ресурсозбереження показав, що на даному етапі не існує єдиного методу щодо управління такою діяльністю у промислових підприємств. А тому правильне застосування обраного методу, або декількох з них, оптимальна їх комбінація та співвідношення допоможуть при ефективному управлінні ресурсозбереженням на підприємстві. Крім того, вірний вибір та реалізація управлінських рішень також залежать від обраного загальнонаукового підходу до управління, а саме: функціонального підходу; параметричного підходу; цільового підходу; процесного підходу; системного підходу.

В загальному випадку до кожного з цих підходів, можна віднести групу

методів, які використовуються (рис. 4.1.3).



Рисунок 4.1.3 – Систематизація методів та результатів ресурсозбереження в залежності від підходу до управління

Оскільки процес ресурсозбереження являє собою комплексне явище, що проникає у всі сфери діяльності підприємства, то на нашу думку, розглядати сутність управління ресурсозбереженням слід з точки зору саме системного підходу.

Процес формування системи ресурсозбереження на підприємстві передбачає проходження декілька етапів:

- 1) усвідомлення необхідності ресурсозбереження на підприємстві;
- 2) планування та організація;
- 3) збирання та аналіз даних за технологічними процесами та обладнанням, визначення пріоритетних показників при оцінці даних, підбір кваліфікованих кадрів, розробка можливих альтернативних варіантів;

- 4) аналіз можливостей впровадження запропонованих варіантів ресурсозбереження;
- 5) впровадження заходів з ресурсозбереження;
- 6) оцінка ефективності заходів з ресурсозбереження.

Слід зауважити, що запропонований підхід щодо формування системи забезпечення ресурсозбереження на підприємстві та її управління, базується на принципі функціональної повноти системи, тобто система управління ресурсозбереженням на підприємстві є частиною загальної системи управління підприємством, до якої входять: організаційна структура; діяльність по плануванню; обов'язки та відповідальність; процедури, процеси, ресурси для формування, впровадження, досягнення, аналізу, актуалізації та оптимізації політики впровадження ресурсозберігаючих програм.

На основі послідовності процесів, які визначають порядок дій щодо ресурсозбереження на підприємстві, запропоновано наступний алгоритм формування та функціонування системи управління ресурсозбереженням (рис.4.1.4).

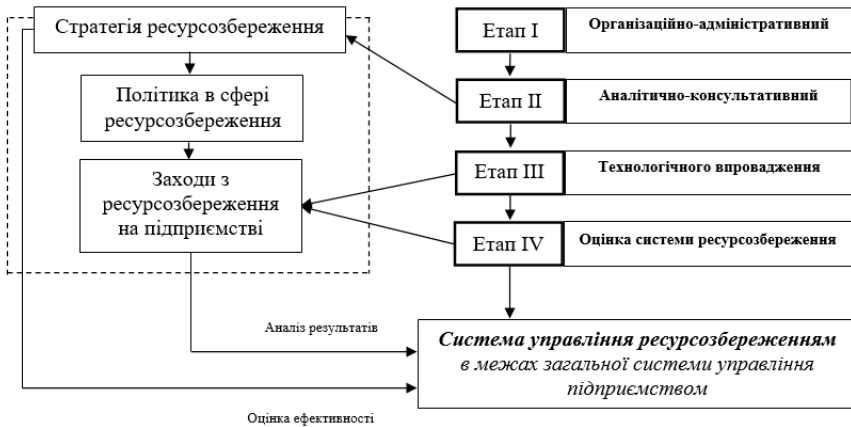


Рисунок 4.1.4 – Схема алгоритму формування та функціонування системи управління ресурсозбереженням на підприємстві

Слід зазначити, що до першого етапу (Етап I) можна віднести орієнтування підприємства на виконання вимог, які висуває діюча законодавча база України з питань природокористування, ресурсозбереження та поводження з відходами виробництва. З'ясування причин високої матеріалоємності виробництва слід розглядати як обов'язкову складову процесу управління матеріальним виробництвом. Інформаційною основою, яка дозволить сформулювати обґрунтовані управлінські рішення, стануть результати обліку та аналізу основних показників ресурсозбереження, таких, як матеріалоємність, ресурсоємність, ресурсоекономічність, енергоємність та здатність до утилізації. Також не слід забувати про поводження з відходами та можливість застосування їх у виробничому процесі як вторинних ресурсів, що, в свою чергу, дозволить грамотно організувати процес зниження витрат на виробництві.

На другому – аналітично-консультативному етапі (Етап II), проводять аналіз проектних документів з ресурсозбереження. З урахуванням виявлених напрямків розробляється відповідна стратегія ресурсозбереження на підприємстві, визначається політика в сфері управління ресурсозбереженням, ціллю якої є зниження ресурсоємності виробництва.

На етапі прийняття управлінських рішень щодо технологічних впроваджень (Етап III) здійснюється прийняття управлінських рішень щодо впровадження заходів з ресурсозбереження на підприємстві.

На четвертому – завершальному етапі (Етап IV), систематизується та накопичується досвід, отриманий на попередніх етапах, а також оцінюється ефективність системи управління ресурсозбереженням й розробляються та приймаються корегуючі рішення.

Отже, процесу управління ресурсозбереженням на підприємстві властиві функції загального управління, цей процес є самостійним, але й, водночас є підсистемою загального управління підприємством. Враховуючи особливості

управління ресурсозбереженням, та використовуючи функцію моніторингу можна аналізувати та контролювати показники ресурсозбереження на підприємстві, зокрема ресурсоемність, та опираючись на ці показники, приймати обґрунтовані рішення щодо управління ресурсозберігаючою діяльністю.

Управління ресурсозбереженням на підприємстві в умовах кліматичних змін є складним, але необхідним завданням. Впровадження системного підходу до збереження ресурсів дозволяє підвищити конкурентоспроможність підприємства, зменшити ризики, пов'язані зі зміною клімату, і сприяти стійкому розвитку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Селезньова Г. О. Оцінювання ефективності системи управління підприємством [Електронний ресурс] / Г. О. Селезньова, І. Я. Іпполітова // Ефективна економіка. – 2020. – № 3. – URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7711>
2. Сотник І.М. Економічні основи ресурсозбереження: Навчальний посібник / І.М. Сотник. – Суми: Університетська книга. 230 с.
3. BURKYNKYI, B., LAIKO, O., SHLAFMAN, N., & GORYACHUK, V. (2021). COMPREHENSIVE PROVISION OF TECHNOLOGICAL POTENTIAL GROWTH IN THE ENTREPRENEURIAL SECTOR OF UKRAINE. *Economic Innovations*, 23(3(80)), 11-20. [https://doi.org/https://doi.org/10.31520/ei.2021.23.3\(80\).11-20](https://doi.org/https://doi.org/10.31520/ei.2021.23.3(80).11-20)
4. BURKYNKYI, B., KHUMAROVA, N., & SHEVCHENKO, H. (2020). SOME ASPECTS OF STATE GOVERNANCE OF NATURAL ASSETS IN UKRAINE. *Economic Innovations*, 22(1(74)), 8-19. [https://doi.org/https://doi.org/10.31520/ei.2020.22.1\(74\).8-19](https://doi.org/https://doi.org/10.31520/ei.2020.22.1(74).8-19)

## **ГЛАВА 5**

# **ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА**

## **«ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА»**

**другого (магістерського) рівня вищої освіти**

**за спеціальністю 101 Екологія**

**ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА**

«ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА»

другого (магістерського) рівня вищої освіти  
за спеціальністю 101 Екологія  
галузі знань 10 Природничі науки  
кваліфікація Магістр з екології

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою ХНАДУ

Протокол № 55/23 від «30» червня 2023 р.

Голова Вченої ради


Віктор БОГОМОЛОВ

Освітня програма вводиться в дію з 1 вересня 2023 р.  
наказ № 87 від «03» липня 2023 р.

Ректор


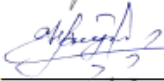
  


Віктор БОГОМОЛОВ

Харків 2023 р.

## ПЕРЕДМОВА

1. Розроблено проектною групою:  
Ганна ЖЕЛНОВАЧ, доцент кафедри екології ХНАДУ,  
гарант ОП

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
22

Наталія ВНУКОВА, завідувач кафедри екології  
ХНАДУ

Олена ЛЕЖНЕВА, доцент кафедри екології ХНАДУ

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

Олександр ЛИТВИНЕНКО, голова Громадської  
організації «Екологічна безпека регіонів України»

Яна ЄРЕМЄЄВА, Начальник Хіміко-радіологічної  
лабораторії частини спеціальних рятувальних робіт  
Аварійно рятувального загону спеціального  
призначення ГУ ДСНС України у м. Києві

  
\_\_\_\_\_

Юлія ГОРЕНКО, здобувач II рівня вищої освіти  
(ДЕ-51-22), ХНАДУ

  
\_\_\_\_\_

Олександра ЛЕБЕДЬ, здобувач II рівня вищої освіти  
(ДЕ-51-22), ХНАДУ

  
\_\_\_\_\_

Дар'я ОРЛОВА, здобувач I рівня вищої освіти (ДЕ-  
31-20), ХНАДУ

  
\_\_\_\_\_

2. Рекомендовано методичною комісією Дорожньо-будівельного  
факультету

Протокол № 9 від «25» травня 2023 р.

3. Схвалено Методичною радою

Протокол № 8 від «07» червня 2023 р

4. Рецензенти:

– д.т.н., проф. Мирослав МАЛЬОВАНИЙ, завідувач кафедри екології  
та збалансованого природокористування Інституту екології,  
природоохоронної діяльності та туризму ім. В'ячеслава Чорновола  
Національного університету «Львівська політехніка» (Україна)

– д.г.-м.н., проф. Тамерлан САФРАНОВ, завідувач кафедри кафедри  
екології та охорони довкілля Одеського державного екологічного  
університету (Україна)

– к.т.н., доц. Теа КОРДЗАДЗЕ, керівник відділу забезпечення якості  
Державного університету імені Акакія Церетеллі (Грузія)

## 1. ПРОФІЛЬ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ

<b>1 - Загальна інформація</b>	
Повна назва закладу вищої освіти та кафедри, відповідальної за реалізацію ОП	Харківський національний автомобільно-дорожній університет Кафедра екології
Ступінь вищої освіти та назва кваліфікації мовою оригіналу	Магістр, Магістр з екології Master's degree, Master in Environmental studies
Офіційна назва освітньої програми	Освітньо-професійна програма «Екологічна безпека»
Тип диплому та обсяг освітньої програми	Диплом магістра, одиничний, 90 кредитів ECTS, термін навчання 1 рік та 4 місяці
Наявність акредитації	Акредитаційна інституція – Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти, Україна Сертифікат про акредитацію – № 6485, прийнято рішенням НАЗЯВО, дата видачі сертифіката 14.12.2023 Акредитовано на період – з 14 грудня 2023 по 01 липня 2029 року
Цикл/рівень	НПК України – 7 рівень, FQ-EHEA – другий цикл, EQF-LLL – 7 рівень
Передумови	1. Наявність ОС «Бакалавр» зі спорідненої спеціальності 2. Наявність ОС «Бакалавр» зі неспорідненої спеціальності (зі складанням додаткового вступного випробовування)
Мова(и) викладання	Українська
Термін дії освітньої програми	до 2029 року
Інтернет-адреса постійного розміщення опису освітньої програми	<a href="https://www.khadi.kharkov.ua/education/katalog-osvitnikh-program/101-ekologija/">https://www.khadi.kharkov.ua/education/katalog-osvitnikh-program/101-ekologija/</a>
<b>2 – Мета освітньої програми</b>	
Метою програми є підготовка висококваліфікованих і професійних екологів, здатних вирішувати науково-професійні задачі та питання щодо зменшення рівня антропогенного впливу на природне середовище, розробки ефективних природоохоронних заходів, розв'язання практичних завдань у галузі екології та охорони навколишнього середовища, а також підготовка здобувачів з особливим інтересом до еколого-педагогічної, природоохоронної та просвітницької діяльності і до подальшого навчання.	

<b>3 – Характеристика освітньої програми</b>	
Предметна область (галузь знань, спеціальність)	<p>10 Природничі науки 101 Екологія</p> <p><i>Об'єкт:</i> структура та функціональні компоненти екосистем різного рівня та походження; антропогенний вплив на довкілля та оптимізація природокористування.</p> <p><i>Ціль навчання:</i> формування у здобувачів вищої освіти комплексу знань, умінь та навичок для застосування в професійній діяльності у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування.</p> <p><i>Теоретичний зміст предметної області.</i> Поняття, концепції, принципи природничих наук, сучасної екології та їх використання для охорони навколишнього середовища, збалансованого природокористування та сталого розвитку.</p> <p><i>Методи, методики та технології.</i> Здобувач має оволодіти методами збирання, обробки та інтерпретації результатів екологічних досліджень.</p> <p><i>Інструменти та обладнання:</i> обладнання, устаткування та програмне забезпечення, необхідне для натурних, лабораторних та дистанційних досліджень будови та властивостей екологічних систем різного рівня та походження.</p>
Орієнтація освітньої програми	<p>Освітньо- професійна програма «Екологічна безпека» пропонує комплексний підхід до вирішення сучасних екологічних проблем на локальному, регіональному та національному рівнях. Дисципліни та розділи програми засновані на теоретичних знаннях, які тісно пов'язані з практичними навичками. Програма дозволяє здобувачам набути необхідних навичок в галузі екології, охорони навколишнього середовища та екологічної безпеки.</p>
Основний фокус освітньої програми та спеціалізації	<p>Акцент робиться на здобутті навичок та знань щодо забезпечення належного рівня екологічної безпеки на всіх рівнях, що передбачає здатність забезпечувати управління природоохоронною діяльністю, визначену зайнятість та можливість подальшої освіти та кар'єрного зростання.</p> <p>Передбачено поглиблені знання в галузі охорони навколишнього середовища та забезпечення екологічної безпеки на автомобільному транспорті й транспортній інфраструктурі, а також запобігання, адаптації та мінімізації наслідків зміни клімату.</p>

	Ключові слова: охорона довкілля, екологічна безпека, автомобільний транспорт, транспортна інфраструктура, зміна клімату, адаптація та мінімізація
Особливості програми	1. Забезпечується ефективне поєднання теоретичних знань та практичних навичок для підготовки висококваліфікованого фахівця із забезпечення екологічної безпеки в умовах неповноти інформації шляхом використання ризик-орієнтованого підходу. 2. Програма розвиває можливості та перспективи щодо практичного опанування навичок відносно запобігання, адаптації та мінімізації наслідків зміни клімату, що виникають внаслідок функціонування транспортного, енергетичного та промислового комплексів, з урахуванням міжнародного співробітництва.
Подальше навчання	Можливість навчання за програмою третього рівня вищої освіти (доктор філософії) та протягом життя
<b>4 – Придатність випускників до працевлаштування та подальшого навчання</b>	
Придатність до працевлаштування	2211.2 Еколог 2211.2 Експерт з екології 2213.2 Фахівець з екологічної освіти 1494 Менеджер (управитель) екологічних систем 2149.2 Науковий співробітник (галузь інженерної справи) 2310.2 Викладач університетів та вищих навчальних закладів
Подальше навчання	Можливість навчання за програмою третього рівня вищої освіти (доктор філософії) та протягом життя
<b>5 – Викладання та оцінювання</b>	
Викладання та навчання	Навчання за ОПП проваджується у контексті студентоцентрованості, проблемно-орієнтованого навчання через ефективне поєднання навчальних занять, самостійної роботи, практичної підготовки та контрольних заходів з одночасним створенням умов для ініціативного самонавчання.
Оцінювання	Оцінювання здобувачів ОПП відбувається згідно внутрішніх Положень ХНАДУ щодо організації освітнього процесу та контролю якості підготовки фахівців у відповідності до вимог стандарту вищої освіти 101 «Екологія» для другого (магістерського) рівня вищої освіти за 100-бальною шкалою, шкалою

	<p>ЄКТС та національною шкалою.</p> <p>Поточне оцінювання проводиться у формі семінарів, практичних робіт, проміжного тестування.</p> <p>Підсумкове оцінювання проводиться у формі письмового/усного екзамену або заліку, курсової роботи.</p>
<b>6 – Програмні компетентності</b>	
Інтегральна компетентність	<p>КІ. Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування при здійсненні професійної діяльності або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій, та характеризуються комплексністю і невизначеністю умов та вимог.</p>
Загальні компетентності (ЗК)	<p>ЗК01. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>ЗК02. Здатність приймати обґрунтовані рішення.</p> <p>ЗК03. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).</p> <p>ЗК04. Здатність розробляти та управляти проектами.</p> <p>ЗК05. Здатність спілкуватися іноземною мовою.</p> <p>ЗК06. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК07. Здатність мотивувати людей та рухатись до спільної мети.</p>
Фахові компетентності спеціальності (ФК)	<p>ФК01. Обізнаність на рівні новітніх досягнень, необхідних для дослідницької та/або інноваційної діяльності у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування.</p> <p>ФК02. Здатність застосовувати міждисциплінарні підходи при критичному осмисленні екологічних проблем.</p> <p>ФК03. Здатність до використання принципів, методів та організаційних процедур дослідницької та/або інноваційної діяльності.</p> <p>ФК04. Здатність застосовувати нові підходи до аналізу та прогнозування складних явищ, критичного осмислення проблем у професійній діяльності.</p> <p>ФК05. Здатність доводити знання та власні висновки до фахівців та нефахівців.</p> <p>ФК06. Здатність управляти стратегічним розвитком команди в процесі здійснення професійної діяльності у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування.</p> <p>ФК07. Здатність до організації робіт, пов'язаних з</p>

	<p>оцінкою екологічного стану, захистом довкілля та оптимізацією природокористування, в умовах неповної інформації та суперечливих вимог.</p> <p>ФК08. Здатність до самоосвіти та підвищення кваліфікації на основі інноваційних підходів у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування.</p> <p>ФК09. Здатність самостійно розробляти екологічні проекти шляхом творчого застосування існуючих та генерування нових ідей.</p> <p>ФК10. Здатність оцінювати рівень негативного впливу природних та антропогенних факторів екологічної небезпеки на довкілля та людину.</p> <p>ФК11. Здатність проваджувати діяльність щодо забезпечення екологічно збалансованого розвитку автомобільного транспорту та транспортної інфраструктури.</p> <p>ФК12. Здатність розробляти та реалізовувати комплекс робіт із запобігання, адаптації та мінімізації наслідків зміни клімату.</p>
<b>7 – Програмні результати навчання</b>	
<p>ПРН01. Знати та розуміти фундаментальні і прикладні аспекти наук про довкілля.</p> <p>ПРН02. Уміти використовувати концептуальні екологічні закономірності у професійній діяльності.</p> <p>ПРН03. Знати на рівні новітніх досягнень основні концепції природознавства, сталого розвитку і методології наукового пізнання.</p> <p>ПРН04. Знати правові та етичні норми для оцінки професійної діяльності, розробки та реалізації соціально-значущих екологічних проектів в умовах суперечливих вимог.</p> <p>ПРН05. Демонструвати здатність до організації колективної діяльності та реалізації комплексних природоохоронних проектів з урахуванням наявних ресурсів та часових обмежень.</p> <p>ПРН06. Знати новітні методи та інструментальні засоби екологічних досліджень, у тому числі методи та засоби математичного і геоінформаційного моделювання.</p> <p>ПРН07. Уміти спілкуватися іноземною мовою в науковій, виробничій та соціально-суспільній сферах діяльності.</p> <p>ПРН08. Уміти доносити зрозуміло і недвозначно професійні знання, власні обґрунтування і висновки до фахівців і широкого загалу.</p> <p>ПРН09. Знати принципи управління персоналом та ресурсами, основні підходи до прийняття рішень в умовах неповної/недостатньої інформації та суперечливих вимог.</p> <p>ПРН10. Демонструвати обізнаність щодо новітніх принципів та методів захисту навколишнього середовища.</p>	

ПРН11. Уміти використовувати сучасні інформаційні ресурси з питань екології, природокористування та захисту довкілля.	
ПРН12. Уміти оцінювати ландшафтне і біологічне різноманіття та аналізувати наслідки антропогенного впливу на природні середовища.	
ПРН13. Уміти оцінювати потенційний вплив техногенних об'єктів та господарської діяльності на довкілля.	
ПРН14. Застосовувати нові підходи для вироблення стратегії прийняття рішень у складних непередбачуваних умовах.	
ПРН15. Оцінювати екологічні ризики за умов недостатньої інформації та суперечливих вимог.	
ПРН16. Вибирати оптимальну стратегію господарювання та/або природокористування в залежності від екологічних умов.	
ПРН17. Критично осмислювати теорії, принципи, методи і поняття з різних предметних галузей для вирішення практичних задач і проблем екології.	
ПРН18. Уміти використовувати сучасні методи обробки і інтерпретації інформації при проведенні інноваційної діяльності.	
ПРН19. Уміти самостійно планувати виконання інноваційного завдання та формулювати висновки за його результатами.	
ПРН20. Володіти основами еколого-інженерного проектування та екологоекспертної оцінки впливу на довкілля.	
ПРН21. Застосовувати інноваційні та практичні підходи для забезпечення екологічно збалансованого розвитку автомобільного транспорту та транспортної інфраструктури.	
ПРН22. Уміти розробляти та реалізовувати комплекс робіт із запобігання, адаптації та мінімізації наслідків зміни клімату.	
<b>8 – Ресурсне забезпечення реалізації програми</b>	
Кадрове забезпечення	100 % науково-педагогічних працівників задіяних до викладання професійно-орієнтованих дисциплін зі спеціальності 101 «Екологія» мають наукові ступені та вчені звання.
Матеріально-технічне забезпечення	Обладнання та устаткування, необхідне для лабораторних і польових досліджень, технічні засоби навчання (мультимедійні проектори, ноутбуки, принтери, сканери) для формування предметних компетентностей в процесі навчання здобувача і необхідних в освітньому процесі, використання баз для проведення навчальних і виробничих практик в інших наукових, державних та комерційних установах (за договорами про співпрацю). Є навчальні аудиторії, лабораторії, комп'ютерні класи, гуржиток, пункти харчування, точки бездротового доступу до Інтернет, спортзали тощо. Навчально-методичне забезпечення і консультування до самостійної роботи здійснюється через

	використання підручників, конспектів лекцій, методичних вказівок, а також віртуального навчального середовища на платформі Moodle ( <a href="https://dl.khadi.kharkov.ua/">https://dl.khadi.kharkov.ua/</a> та <a href="https://dl2022.khadi.kharkov.ua/">https://dl2022.khadi.kharkov.ua/</a> ).
Інформаційне та навчально-методичне забезпечення	Офіційний веб-сайт: <a href="https://www.khadi.kharkov.ua">https://www.khadi.kharkov.ua</a> містить інформацію про освітні програми, навчальну, наукову і виховну діяльність, структурні підрозділи, правила прийому, контакти. Матеріали навчально-методичного забезпечення освітньо-професійної програми викладені на у віртуальному навчальному просторі ХНАДУ, ще реалізується за допомогою навчального сайту ХНАДУ на платформі Moodle : <a href="https://dl2022.khadi.kharkov.ua">https://dl2022.khadi.kharkov.ua</a> та <a href="https://dl.khadi.kharkov.ua">https://dl.khadi.kharkov.ua</a> . Читальні зали університету забезпечені бездротовим доступом до мережі Інтернет. Усі ресурси бібліотеки доступні через сайт університету: <a href="http://library.khadi.kharkov.ua">http://library.khadi.kharkov.ua</a> . Участь наукової бібліотеки ХНАДУ у проєкті «Єдина картка читача» забезпечує систему взаємообслуговування у бібліотеках закладів вищої освіти міста Харкова
<b>9 – Академічна мобільність</b>	
Національна кредитна мобільність	Індивідуальна академічна мобільність реалізується у рамках міжуніверситетських договорів про встановлення науково-освітнянських відносин для задоволення потреб розвитку освіти і науки.
Міжнародна кредитна мобільність	На основі двосторонніх договорів між Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом та університетами зарубіжних країн-партнерів. Участь у Програмі Еразмус+ КА1, КА2. Робота Кафедри ЮНЕСКО «Екологічно чисті технології» (409)
Навчання іноземних здобувачів вищої освіти	Можливе за умови володіння українською мовою.

## 2. ПЕРЕЛІК КОМПОНЕНТІВ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ ТА ЇХ ЛОГІЧНА ПОСЛІДОВНІСТЬ

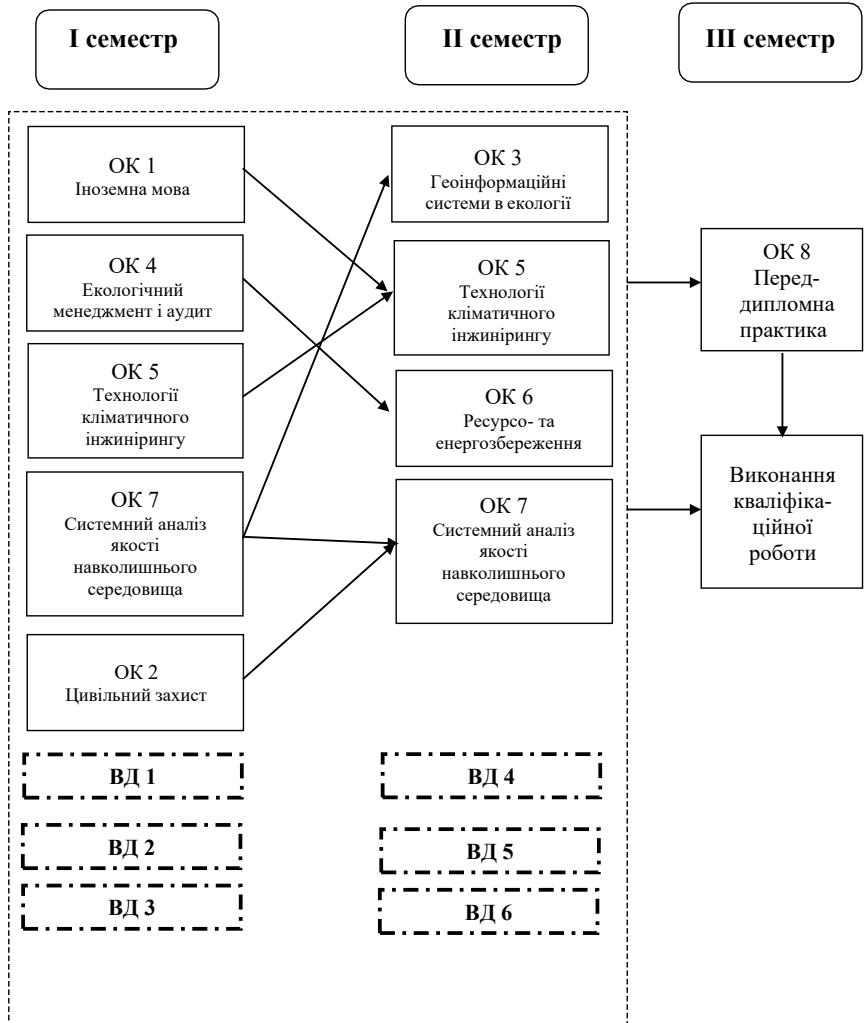
### 2.1 Перелік компонентів ОП

Код	Компоненти освітньої програми (навчальні дисципліни, курсові проекти (роботи), практики, кваліфікаційна робота)	Кількість кредитів	Форма підсумк. контролю
1	2	3	4
<b>Обов'язкові компоненти ОП</b>			
ОК 1	Іноземна мова	3	залік
ОК 2	Цивільний захист	3	залік
ОК3	Геоінформаційні системи в екології	3	екзамен
ОК 4	Екологічний менеджмент і аудит	4	екзамен
ОК 5	Технології кліматичного інжинірингу	6	залік, екзамен, курсова робота
ОК 6	Ресурсо- та енергозбереження	4	екзамен, курсова робота
ОК 7	Системний аналіз якості навколишнього середовища	7	екзамен, залік, курсова робота
ОК 8	Переддипломна практика	6	залік
	Виконання кваліфікаційної роботи	30	
<b>Загальний обсяг обов'язкових компонентів:</b>		66	
<b>Вибіркові компоненти ОП</b>			
ВД 1	Вибіркова дисципліна 1	4	залік
ВД 2	Вибіркова дисципліна 2	4	залік
ВД 3	Вибіркова дисципліна 3	4	залік
ВД 4	Вибіркова дисципліна 4	4	залік
ВД 5	Вибіркова дисципліна 5	4	залік
ВД 6	Вибіркова дисципліна 6	4	залік
<b>Загальний обсяг вибірових компонентів:</b>		24	
<b>ЗАГАЛЬНИЙ ОБСЯГ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ</b>		90	

2.2 Загальноуніверситетський каталог вибірових дисциплін розміщено на офіційному сайті університету за посиланням

<https://www.khadi.kharkov.ua/education/katalog-vibirkovikh-disciplin/magistr/>

### 3 СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ОП



#### **4. ФОРМА АТЕСТАЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Атестація здобувачів ОПП «Екологічна безпека» другого (магістерського) рівня вищої освіти, згідно стандарту вищої освіти за спеціальністю 101 «Екологія» для другого магістерського рівня вищої освіти відбувається у вигляді публічного захисту кваліфікаційної роботи та завершується видачою документів встановленого зразка про присудження ступеня освіти магістр та присвоєння здобутої кваліфікації «Магістр з екології».

Згідно Стандарту, кваліфікаційна робота повинна являти собою самостійне розв'язання комплексної проблеми у сфері екології, охорони довкілля та/або збалансованого природокористування, що супроводжується проведенням досліджень та/або застосуванням інноваційних підходів. Основні результати кваліфікаційної роботи мають бути апробовані, опубліковані та перевірені на плагіат. Кваліфікаційна робота має бути розміщена у репозитарії ХНАДУ.

Процедурні вимоги щодо проведення атестації здобувачів ХНАДУ закріплено у документі «Положення про організацію освітнього процесу в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті».

### 5. МАТРИЦЯ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОГРАМНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ КОМПОНЕНТАМ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ

	ОК1	ОК2	ОК3	ОК4	ОК5	ОК6	ОК7	ОК8
<b>КІ</b>			+	+	+	+	+	
<b>ЗК01</b>	+			+		+		
<b>ЗК02</b>		+	+		+	+	+	+
<b>ЗК03</b>		+	+		+			
<b>ЗК04</b>				+	+		+	+
<b>ЗК05</b>	+							
<b>ЗК06</b>			+			+	+	+
<b>ЗК07</b>	+			+				
<b>ФК01</b>			+	+		+	+	
<b>ФК02</b>					+	+	+	
<b>ФК03</b>				+				
<b>ФК04</b>			+			+		+
<b>ФК05</b>	+						+	
<b>ФК06</b>				+	+			+
<b>ФК07</b>		+	+		+		+	
<b>ФК08</b>	+	+			+		+	
<b>ФК09</b>		+		+	+			+
<b>ФК10</b>		+	+		+		+	
<b>ФК11</b>						+	+	
<b>ФК12</b>			+		+			

## 6. МАТРИЦЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГРАМНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ КОМПОНЕНТАМИ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ

	ОК1	ОК2	ОК3	ОК4	ОК5	ОК6	ОК7	ОК8
ПРН 1							+	
ПРН 2				+			+	
ПРН 3							+	
ПРН 4							+	
ПРН 5				+				+
ПРН 6			+					
ПРН 7	+							
ПРН 8	+							
ПРН 9				+				
ПРН 10		+			+	+		
ПРН 11			+				+	+
ПРН 12			+					
ПРН 13					+			+
ПРН 14		+			+			
ПРН 15					+		+	
ПРН 16				+				+
ПРН 17					+	+		
ПРН 18						+		
ПРН 19					+			+
ПРН 20							+	
ПРН 21						+	+	
ПРН 22			+		+			

**7. МАТРИЦЯ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОГРАМНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ (ПРН) ТА КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ**

	К1	ЗК1	ЗК2	ЗКО3	ЗК4	ЗК5	ЗК6	ЗК7	ФК1	ФК2	ФК3	ФК4	ФК5	ФК6	ФК7	ФК8	ФК9	ФК10	ФК11	ФК12
ПРН 1	+		+		+		+		+	+			+		+	+	+	+	+	
ПРН 2	+	+	+		+			+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	
ПРН 3	+		+		+		+		+	+			+		+	+		+	+	
ПРН 4	+		+		+		+		+	+			+		+	+		+	+	
ПРН 5	+	+			+			+	+		+				+			+		
ПРН 6	+		+	+			+		+			+			+			+		+
ПРН 7																				
ПРН 8						+			+				+							
ПРН 9	+	+			+			+	+		+			+			+			
ПРН 10	+	+	+	+	+	+			+	+		+		+	+	+	+	+	+	+
ПРН 11	+		+	+	+		+		+	+		+	+		+	+		+	+	+
ПРН 12	+		+	+	+				+			+			+	+	+	+	+	+
ПРН 13	+		+	+	+					+				+	+	+	+	+	+	+
ПРН 14	+		+	+	+					+				+	+	+	+	+	+	+
ПРН 15	+		+	+	+					+				+	+	+	+	+	+	+
ПРН 16	+	+			+			+	+		+			+	+	+	+	+	+	+
ПРН 17	+	+	+	+	+		+		+	+		+		+	+	+	+	+	+	+
ПРН 18	+	+	+				+		+	+		+		+	+	+	+	+	+	+
ПРН 19	+		+	+	+					+				+	+	+	+	+	+	+
ПРН 20	+		+		+		+		+	+			+		+	+		+	+	
ПРН 21	+	+	+		+		+		+	+		+	+		+	+		+	+	
ПРН 22	+		+	+	+		+		+	+		+		+	+			+	+	+

## **ГЛАВА 6**

# **ЗМІНА КЛІМАТУ ТА БІОЕНЕРГЕТИКА**

## РОЗДІЛ 6.1 AGRICULTURAL RESIDUES AS A PROMISING SOURCE FOR BIOENERGY PRODUCTION

**Mirko Barz,**

*Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin, Germany*

Biomass is the most important renewable energy source in use today. Renewable Energies contribute approx. 15 % to the global primary energy consumption and biomass remained steadily with share of 10% of the total primary energy consumption since 2000 [1], during at the same time an increase of the total primary energy consumption by approx. 30 % was registered. Considering the climate change as one of the main driver for the development of RE technologies advanced technologies to generate heat and power and the substitution from fossil fuels in the transportation sector are becoming more important.



Figure 6.1.1 – Total primary energy consumption by source (adopted from [2])

Many studies and scenarios predict a future potential contribution of biomass for energy production, resulting in a wide range of estimations. Numbers for a scenario for 2050 range up to 1,135 EJ annually [4], which would be equivalent to more than 100% of the expected primary energy demand in 2050. It's obvious that biomass has a high potential, e.g. annual growing biomass (theoretical potential) is

equivalent to approx. 4,500 EJ, but in terms of using biomass in a sustainable way we have to consider technical, economic, ecologic and socioeconomic limitations. The “sustainable” useable potential is difficult to estimate or calculate. This is one of the reasons why predictions about the useable potential vary in a wide range.

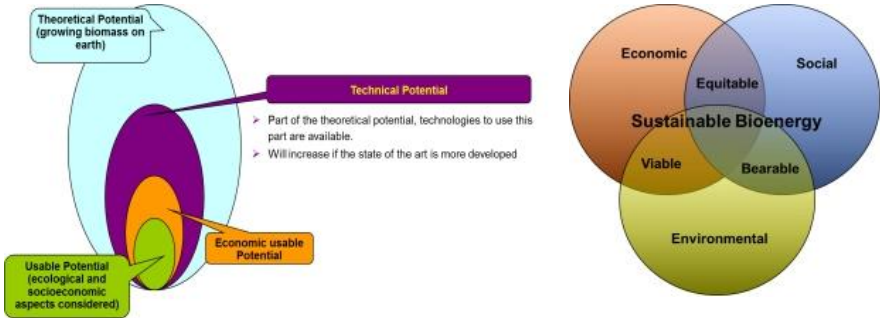


Figure 6.1.2 – Aspects of a sustainable biomass utilization, definition of potentials

Bioenergy (including the traditional use for cooking and heating) is the largest renewable energy source in use with a total contribution of about 58 EJ in 2020. Most of the bioenergy was provided from using woody biomass sources in traditional (e.g. fuelwood for heating and cooking) and advanced (e.g. CHP) applications.

Reason for the predominant use of woody biomass sources was in the past the high availability of this source, a comparatively high caloric value (18 – 20 MJ/kg), low ash contents (0.5 – 2%) and low contents of unwanted components such as sulphur or chlorine (table 6.1).

Table 6.1.1 – Characteristics of woody biomass fuels (analysis results of various samples at TU Berlin 1998 – 1999)

Type of wood	C [%]	H [%]	O [%]	N [%]	S [%]	Cl [%]	Ash [%]	Ho [MJ/kg]
Pine	48 - 50	6 – 6.3	41 - 43	~ 0.2	~ 0.02	~ 0.01	0.5 - 1	18 – 20
Beech	49 - 51	6 – 6.1	41 - 44	~ 0.3	~ 0.01	~ 0.005	0.5 - 1	18 – 20
Poplar	47 - 48	6 – 6.2	42 - 44	~ 0.4	~ 0.03	~ 0.004	1 - 2	19 – 19
Willow	47 - 48	6 – 6.1	42 - 44	~ 0.5	~ 0.05	~ 0.006	1 - 2	18 - 19

Caused by favourable national support instruments, such as e.g. guaranteed feed in tariffs for biomass power in many countries the total amount of wood used for energy purposes is increasing continuously and in some regions, we recognize already a certain pressure to fuel supply security leading to increasing prices for fuel wood.

To reduce this pressure on woody biomass resources the use of agricultural residues as energy source is a promising opportunity. According to UNEP about 140 billion tons of biomass is generated every year from agriculture [3].

Many agricultural residues can potentially be used as bioenergy sources. The raw material base is diverse in form of e.g. stalks, straw, leaves, roots, husk or seed shells and farm- and animal husbandry waste. The properties of these biomass sources vary within a wide range. The most significant difference is between those residues that are predominantly dry (such as straw) and more suitable for thermochemical conversion routes (e.g. combustion, gasification, pyrolysis) and those that are wet (such as animal slurries) and more suitable for biological conversion routes (e.g. biogas production).

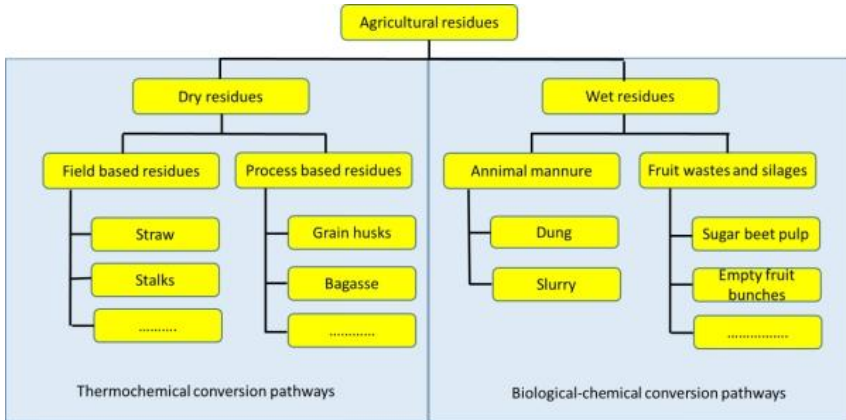


Figure 6.1.3 – Exemplary classification of agricultural residues

One of the most important advantages of using agro-wastes and residues as energy source is that such materials are often available in huge amount's and at low costs. Although this advantages are well known agro residues are still underutilized today. The common practice especially in developing countries is open field burning of dry residues (e.g. straw) which causes enormous air pollution or rotting of wet residues at the fields or dump sites which causes emission's, ground and water pollution.

A disadvantage is that many agricultural residues are only seasonal available (e.g. after harvest). Storage is required to ensure all season utilization and the energy density is often lower compared to woody fuels. In addition, the more difficult handling and partly high contents of critical components such as sulfur, chlorine, ash etc. (table 6.1.2) are barriers for the utilization.

Table 6.1.2 – Characteristics of dry agricultural residues as biomass fuels (adopted from [5])

Type of fuel	C [%]	H [%]	O [%]	N [%]	S [%]	Cl [%]	Ash [%]	Ho [MJ/kg]
Maize straw	45.7	5.3	41.7	0.65	0.12	0.35	6.7	16.7
Rape straw	47.1	5.9	40.0	0.84	0.27	0.47	6.2	18.4
Wheat straw	45.6	5.8	42.4	0.48	0.089	0.40	5.7	17.4
Sunflower straw	42.5	5.1	39.1	1.11	0.15	0.81	12.2	15.8

Especially for field based residues like straw as shown in table 2 the problematic fuel composition (high sulfur, chlorine and ash content) is combined with the limited seasonal availability (storage requirement), low transportation density (120 – 230 kg/m<sup>3</sup> depending on the baling technology) and further disadvantages (storage risks, technological problems caused by low ash melting points etc.). The challenge is to adopt proven and robust technologies for other fuels into decentralized low capacity applications for the economic utilization of such critical fuels.

Agricultural residues are renewable resources that causes problems when not used but they can contribute to climate protection, energy security, creation of income and jobs especially in rural areas when they are converted into useful energy.

The generation of electricity from biomass encompasses a wide range of different possible conversion processes. The most important factors that influence the choice of conversion processes are the type of the biomass fuel and the fuel properties, the available quantity of biomass and as well environmental standards; economic conditions; and project specific factors [6]. This paper is considering only the thermochemical conversion route to generate heat and power via combustion and gasification processes.

The thermochemical conversion processes require fuels with high heating values and for this reason lower water contents of the biomass fuels. The most common process is the direct combustion of the fuels to produce thermal energy, which can be used e.g. for steam production and in further steps for electricity

generation by using steam turbines, steam engines or other energy converter [7]. Further suitable thermochemical processes are gasification and pyrolysis processes, which will convert the biomass into so called secondary bio-fuels, such as combustible gases or oils as a fuel for gas engines and gas turbines to generate electricity. A promising advanced Biomass Power Generation concept for the future is the combination of gasification technologies with advanced gas turbines to biomass integrated gasification combined cycle (IGCC) concepts which will result in higher efficiencies compared to conventional Biomass Power Technologies. Net conversion to electricity is projected to be approximately 35% for biomass IGCC plants, compared to 20 to 25% for conventional biomass combustion plants [8]. IGCC is a proven concept for coal-based power generation (reaching electrical efficiencies up to 50% in large scale applications), but since up to now only large scale applications seem to be economic feasible, the conventional steam cycle processes will remain the most important technological solutions for the next years.

The conventional conversion technologies for solid biofuels by combustion have a great importance for the electricity generation. Most of the biomass power generation plants use direct fired systems, whereby the biomass is burned directly and the released thermal energy is used to produce steam leading to the generation of electricity via so called conventional steam cycle processes [10].

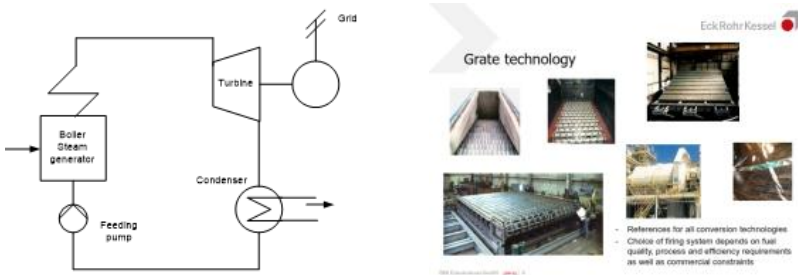


Figure 6.1.4 – Flow sheet diagram of conventional steam cycle for power generating and example grate technology

The combination of direct biomass combustion technologies, steam generators and power generation facilities like steam turbines, steam engines, steam screw engines and ORC systems is already established at market and the power range between 0,1 – max. 20 MW meets the requirements of the decentralized utilization of agricultural residues like e.g. straw or husks. Most of the systems (especially in the lower power range below 20 MW) are grate boilers, whereby the fuel is fed to the grate with the help of mechanical or pneumatic fuel feeders. The fuel is burned on the grate and the hot combustion gases are passing through heat exchanger to generate high pressure and high temperature steam to run a steam turbine (figure 6.1.4). Most of the biomass power plants are operated with relatively low temperature and pressure steam parameters (steam pressures of between 30-65 bar and temperatures between 450-485°C). Such systems can reach typical net electrical efficiencies between 20-25%, depending on plant capacities and steam parameters [10].

The challenge in case of using agro residues like straw in such systems is, that caused by the problematic fuel characteristic (table 6.1.2) straw fired biomass power plants require higher technological efforts to prevent ash agglomeration and/or corrosion. Especially Cl, S, K and Na in biofuels play a major role in deposit formation and corrosion mechanisms [11]. All of these elements can be found in significant higher concentrations in straw compared to wood. For this reason practice has shown that investment costs for straw fired power plants are up to 50% higher compared to wood fired power plants. Another obstacle is the more complex logistic process. As mentioned already caused by the limited seasonal availability enormous storage areas (a 10 MWe1 straw fired power plant will consume more than 100.000 t of straw/year) are required. The pre-conversion logistic is complex and includes collection, compacting/baling, field hauling/transportation, storage and further pretreatment before combustion. So beside higher investment costs also the costs for the logistic processes are higher. A long term profitable operation of straw fired power plants is only possible if the fuels supply is secured over a long timeframe (e.g. 20 years) at economic prices.

Another opportunity of the energetic utilization of dry agro-residues is the co-combustion in existing coal fired power plants. The biomass co-firing in coal-fired power plants offers significant advantages: it is highly efficient, approximately between 36% and 44%, depending on the efficiency of the coal-fired unit [9]. Such co-firing with coal is the most-simplest way to use biomass since an existing coal-fired power plant is used and this is more cost-effective than building a new power plant. Typical share of biomass in such co-firing systems is between 10-20 % contributing to the substitution of the coal and related environmental issues such as the mitigation of greenhouse gases [10].

Integrated gasification combined cycle power plants (IGCC) have been developed and demonstrated for power generation using fossil fuels such as coal as feedstock since many years [12]. Principle of the technological concept is the generation of burnable gases via a gasification process, the use of the burnable gas to run a gas turbine for electricity generation in a first power generation step and the further use of the hot flue gas from the gas turbine for steam generation, which will be used for electricity generation in a conventional steam cycle process as a second power generation step (figure 6.1.5).

The combination of both power generation processes (gas turbine + steam turbine) will result in an increased electrical efficiency (projected electrical conversion efficiencies for biomass IGCC are above 35%) and reduced greenhouse gas emissions (figure 6.1.6).

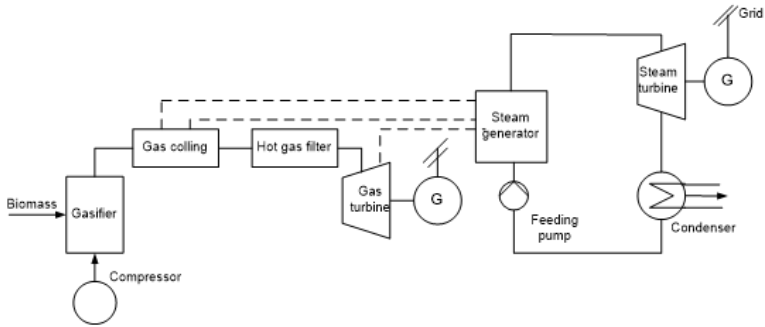


Figure 6.1.5 – Flow sheet diagram of biomass IGCC power plant

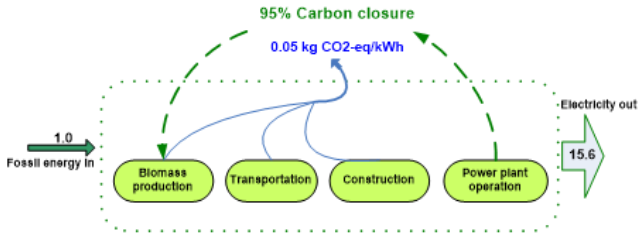


Figure 6.1.6 – Life cycle GWP balance for advanced biomass IGCC technology (adopted from Ref. [14]).

Biomass IGCC power generation process is technically viable as demonstrated at the Biomass IGCC project in Värnamo, Sweden. But critical issues are still the high necessary technological efforts as e.g. gas cleaning to ensure a long term reliable operation. The removal of tars, alkalis and PM is a great challenge for biomass IGCC facilities and high temperature methods to remove these compounds must be improved. Current research for biomass-derived syngas cleanup is focused on the catalytic cracking of tars, sintered metal candle filters for particulate removal, and high temperature alkali capture [8].

Further obstacles are, that IGCC facilities are more expensive to build than conventional direct fired power plants and that a limited reliability is currently being considered as the most important process-related problem of IGCC plants [13]. However, the further development of biomass IGCC is a central research focus of

several R&D projects and a multitude of research institutions and commercial enterprises started extensive R&D efforts trying to solve the existing problems.

Biomass gasification is a thermo-chemical conversion process, aimed to convert solid biomass into a gaseous fuel, a so called syngas or burning gas (usually characterized by low caloric values between 4- 6 MJ/m<sup>3</sup>) which can be used in combustion engines or gas turbines or if burned in a conventional boiler to generate steam for steam turbines to generate electricity.

Most of the biomass gasification systems in use today are auto-thermal operated partial oxidation reactors, where just sufficient amount of air (typical excess air ration  $\lambda \approx 0.25$ ) is introduced to the main reaction zone to burn a part of the biomass and to provide the required thermal energy for the endothermic pyrolysis and gasification processes. The reaction products are gaseous components such as CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (representing the burning gag/syngas); solid products like char and ash and some condensable products such as tars and condensable vapors (unwanted components which have to be removed from the produced gas). A huge variety of gasification technologies, including fixed bed technologies such as updraft and downdraft gasifier, entrained flow gasifier and fluidized bed gasifier are available.

In most of the small scale applications (< 1 MW<sub>th</sub>) the biomass is gasified in a fixed bed (e.g. downdraft) gasifier, and the produced gas is then wet-scrubbed to condense tars and reduce syngas temperature and cleaned from particles. After such a comprehensive cleaning process the gas can be used in an internal combustion engine for power generation. In general gasification can handle a wide range of biomass fuels, ranging from woody residues to various agricultural residues. Biomass gasifier technologies combined with internal combustion engines are available at the market starting with very small scale applications (35 kW<sub>el</sub> – 1 MW<sub>el</sub>) but until now in the most cases only implemented for woody biomass fuels (caused by the favorable fuel characteristics of woody fuels). For agricultural residues such as straw, husks and other dry products only pilot or demonstration plants are in operation. Reason are the high efforts required to ensure a sufficient gas quality. A commercial implementation

of gasification projects to use agro-residues with critical fuel characteristics requires that the still existing drawbacks such as system reliability, relatively high operation and maintenance costs (caused e.g. due to the necessary efforts to clean up the produced burning gas and to ensure a long term reliable performance of gas engines) have to be solved. But this technology might be a promising opportunity for the gasification of agricultural residues in the future, especially since gasification based CHP plants can be realized with lower capacities compared to conventional thermal power plants.

A promising and already successful implemented concept is the combination of biomass gasification and the use of the produced burning gas in conventional combustion system such as industrial gas boiler or as an alternative (renewable) fuel to substitute e.g. natural gas in cement kilns. In most cases the produced burning gas can be used without gas cleaning which makes the process more feasible by reducing the costs for investment and operation. The general principle is shown in figure 6.1.7 based on an example realized in Uruguay.

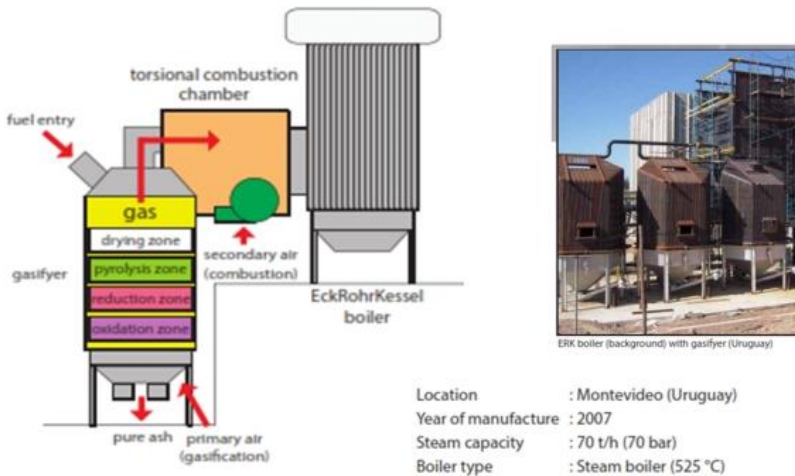


Figure 6.1.7 – Concept of biomass gasification and gas use in conventional boiler technologies

Fluidized bed gasification systems are more complex and for this reason more cost intensive than fixed bed gasification systems. The application area for fluidized bed gasification is thus more feasible for larger scale power generation projects (>3 MWel). In Thailand e.g. some test plants (prior to commercialized applications) are designed to use rice husk as biomass fuel. Drawbacks recognized until now is the poor gas quality and the high concentration of unwanted components such as tars and PM which might be caused by insufficient process control measures [10]. But as the high ash content, the low bulk density, poor flow characteristics and low ash melting point makes the other types of reactors inefficient or unsuitable for straw or husk conversion to energy, the fluidized bed reactor system seems to be the promising choice for this kind of fuel in the future [15]. Fluidized bed gasification systems could be especially a beneficial solution for locations where sufficient fuel amounts are available (e.g. byproducts of industrial processing of agricultural goods) and long distance transportation to existing power plants is unprofitable.

The author acknowledges the support received from the European Commission from the ERASMUS+ Program for the project "Synergy of educational, scientific, management and industrial components for climate management and climate change prevention (CLIMAN)", project number: 619119-EPP-1-2020-1-NL-EPPKA2-CBHE-JP. The contents presented in this chapter is part of the activities to support the partner Universities to become centers for the development of research of climate management to accelerate integration into the global climate market and to meet global climate regulation requirements by acquiring best European practices in the field of climate change prevention, adaptation, and mitigation.

## REFERENCES

1. REN21. 2015. Renewables 2015 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat), ISBN 978-3-9815934-6-4
2. IPCC 2011: Summary of the Special Report Renewable Energy Sources (SRREN), Intergovernmental Panel for Climate Change, Summary formally approved at the 11th Session of Working Group III of the IPCC, Abu Dhabi, United Arab Emirates. 5-8 May 2011.
3. UNEP 2009: Converting Waste Agricultural Biomass into a Resource, United Nations Environment Programme, 2009
4. Ladana, S; Vinterbäck, J. 2009: Global Potential of Sustainable Biomass for Energy, Swedish University of Agricultural Sciences, Report 013, ISSN 1654-9406, Uppsala 2009
5. FNR 2014: „Leitfaden Feste Biobrennstoffe“, 4., vollständig überarbeitete Auflage, Mai 2014, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, ISBN 9783000153891
6. McKendry P, Energy production from biomass (part 2): conversion technologies, Bioresource Technology 83 (2002) 47–54
7. Barz M, Biomass Technology for Electricity Generation in Community, International Journal of Renewable Energy 3/1 (2008)
8. Black & Veatch, Advanced biopower technology assessment, assessment report prepared for the Massachusetts Division of Energy Resources & Massachusetts Department of Conservation & Recreation (2008).
9. IEA ETSAP, Biomass for Heat and Power, Technology Brief E05 (2010) [www.etsap.org](http://www.etsap.org)
10. Barz, M; Delivand, M. K.: Agricultural Residues as Promising Biofuels for Biomass Power Generation in Thailand, Journal of Sustainable Energy and Environment, S. 21-27, 2011, ISSN 1906-4918
11. Obernberger, I; Brunner, T.; Bärnthaler, G.: Chemical properties of solid biofuels significance and impact; Biomass and Bioenergy, 30 (2006) 973 – 982

12. Stahl, K; Neergaard, M.: IGCC Power plant for biomass utilization, Varnamo, Sweden, Biomass and Bioenergy 15/3 (1998) 205-211
13. Liu H, Ni W, Li Z, Ma L, Strategic thinking on IGCC development in China, Energy Policy 36 (2008) 1–11
14. Spath, P.L.; Mann, M.K.: Biomass power and conventional fossil systems with and without CO<sub>2</sub> Sequestration – Comparing the energy balance, greenhouse gas emissions and economics (2004) NREL-Technical Report, NREL/TP-510-32575.
15. Natarajan E, Nordins A, Rao AN, Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors, Biomass and Bioenergy 14/5-6 (1998) 33-546.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Jan van Zwieten**, Visiting professor BSK, Prof Dr.h.c., Rector of the Netherlands Business Academy, Netherlands

**Mirko Barz**, Doctor of Technical Sciences, Professor, University of Applied Sciences (HTW Berlin), Germany

**Барун Марина Вікторівна**, кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6183-9462>

**Богаченко Галина Казимирівна**, Офіс міжнародних проєктів університету «КРОК», Україна

**Борисяк Олена Володимирівна**, кандидат економічних наук, старший викладач, Західноукраїнський національний університет, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-8068>

**Внукова Наталія Володимирівна**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології ХНАДУ, член Національної Комісії України в справах ЮНЕСКО, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4097-864X>

**Волкова Тетяна Вікторівна**, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8546-4119>

**Вронська Наталія Юріївна**, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка", Україна  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6569-3288>

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

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

**Козловський Олександр Володимирович**, ДП «Адміністрація річкових портів», Україна, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0256-8383>

**Кочубей Вікторія Віталіївна**, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка", Україна  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1537-3953>

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

**Лотарєв Андрій Григорович**, кандидат наук з державного управління, Університет «КПОК», Україна, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5852-231X>

**Люта Оксана Володимирівна**, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка", Україна  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9078-7457>

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

**Наргулі Асанідзе**, доцент, Батумський державний університет ім. Шота Руставелі, Грузія

**Нуну Накашідзе**, доцент, Батумський державний університет ім. Шота Руставелі, Грузія

**Прокопенко Наталія Вікторівна**, кандидат біологічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5046-6122>

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

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

**Георгій Турманідзе**, здобувач, Батумський державний університет імені Шота Руставелі, Грузія

**Шманько Назар**, аспірант, Західноукраїнський національний університет, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4456-8224>

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

**Шувар Богдан Іванович**, кандидат економічних наук, доцент, Львівський національний університет водного господарства та природокористування, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4722-8929>

**Шувар Іван Антонович**, доктор сільськогосподарських наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, Львівський національний університет водного господарства та природокористування, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4149-1761>

**Фещенко Василь Васильович**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, , ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2199-8565>

# ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	.....	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1</b>	<b>Зміни клімату та енергетика.....</b>	<b>8</b>
	Розділ 1.1 Загальні питання впливу змін клімату на галузь енергетики.....	<b>9</b>
	Розділ 1.2 Мезофільна анаеробна ферментація суспензій широколистоного рогозу з використанням ферментованих продукційних залишків дріжджів як стартової культури.....	<b>25</b>
	Розділ 1.3 Обробка деревини грануляцією для виробництва біопалива.....	<b>42</b>
<b>ГЛАВА 2</b>	<b>Зміни клімату та сільське господарство.....</b>	<b>57</b>
	Розділ 2.1 Особливості впливу змін клімату на сільськогосподарську діяльність.....	<b>58</b>
	Розділ 2.2 Зростаюча посушливість вегетаційного періоду - виклики для фермерів Тернопільщини.....	<b>69</b>
	Розділ 2.3 Зміна клімату та сільське господарство.....	<b>74</b>
	Розділ 2.4 Сільське господарство в умовах глобальної зміни клімату: реалії та перспективи.....	<b>79</b>
	Розділ 2.5 Зміна клімату, інтенсивне використання пестицидів та їх негативний вплив на цитрусові культури.....	<b>92</b>
<b>ГЛАВА 3</b>	<b>Зміни клімату і транспортна система.....</b>	<b>97</b>
	Розділ 3.1 Зміна клімату і транспортна сфера.....	<b>98</b>
	Розділ 3.2 Перехід Європи до розвитку декарбонізаційних інновацій у транспорті та логістиці.....	<b>108</b>
	Розділ 3.3 Інтелектуальні системи оцінки паливної економічності транспортних засобів.....	<b>115</b>

<b>ГЛАВА 4</b>	<b>Зміни клімату та проблема ресурсозбереження.....</b>	<b>129</b>
	Розділ 4.1 Наукові аспекти управління ресурсозбереженням як підгрунтя кліматичних змін.....	130
<b>ГЛАВА 5</b>	<b>Освітньо-професійна програма «Екологічна безпека» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 101 Екологія.....</b>	<b>145</b>
<b>ГЛАВА 6</b>	<b>Зміна клімату та біоенергетика.....</b>	<b>161</b>
	Розділ 6.1 Agricultural residues as a promising source for bioenergy production.....	162
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>		<b>176</b>

**Наукове видання**

**ОБ'ЄДНАННЯ НАУКИ, ОСВІТИ,  
ВИРОБНИЦТВА ЯК ШЛЯХ ДО  
ФОРМУВАННЯ ДІЄВОГО МЕХАНІЗМУ  
ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗМІН КЛІМАТУ**

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

*За редакцією Н. Внукової, Н. Прокопенко*

Здано до друку 01.11.2024. Підписано до друку 07.11.2024.

Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк офсетний.

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 24,25. Обл.-вид. арк. 20,86.

Наклад 100 прим. Замовлення № . 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.