dixigroup ANALYTICS ON DUTY

Офіс Зеленого Переходу

UK International Development
Partnership | Progress | Prosperity

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО:

сталі практики для продовольчої безпеки і досягнення кліматичних цілей

Секторальне дослідження потенціалу скорочення викидів парникових газів і збільшення поглинання вуглецю

2025

Офіс зеленого переходу є незалежним консультативно-дорадчим органом при Міністерстві економіки України, який допомагає впроваджувати реформи у сфері зеленого переходу, енергетичної та кліматичної політики України. Офіс зеленого переходу здійснює свою діяльність за фінансової підтримки Агенції Великої Британії з міжнародного розвитку та імплементується ГО «ДІКСІ ГРУП».

Позиції, представлені у дослідженні, відображають лише позиції ГО «ДІКСІ ГРУП» (Офісу зеленого переходу).

Подяки

За співпрацю у підготовці дослідження, обговорення, коментарі, тематичні дослідження, матеріали та надання інформації Офіс зеленого переходу вдячний таким експертам, організаціям, ініціативам та проєктам:

- Ігорю Онопчуку, експерту з питань інвентаризації парникових газів у сфері землекористування та лісового господарства бюджетної установи «Національний центр обліку викидів парникових газів»
- Біоенергетичній Асоціації України (БАУ) та експертам асоціації: Георгію Гелетусі (Голова Правління БАУ, д.т.н.), Тетяні Желєзній (к.т.н.), Семену Драгнєву (к.т.н.), Петру Кучеруку (к.т.н.), Євгену Олійнику
- Миколі Бикову, консультанту з органічного виробництва, дорадника з агрономії
- Проєкту «Оцінка технологічних потреб в Україні» (Technology Needs Assessment), виконаному за координації Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів у 2019-2021 роках
- Центру екологічних ініціатив «Екодія»
- Громадській спілці “Зелені Агро Рішення” (Green Agro Solutions)
- Громадській спілці “Всесвітній фонд природи Україна” (WWF-Україна) та проєкту «Запровадження природоорієнтованих кліматичних рішень у Порядок денний реформ в Україні» (INSURE: movIng Nature baSed climate solutions into Ukraine’s Reform agenda)
- Проєкту Фонду Міхаеля Зуккова (Michael Succow Foundation for the Protection of Nature) «Управління ґрунтами, багатими на вуглець: обізнаність, розвиток потенціалу й економічні можливості» та науковій координаторці проєктів Фонду Міхаеля Зуккова Ользі Денищик
- Проєкту ПРООН-ГЕФ “Сприяння сталому тваринництву та збереженню екосистем на півночі України” та національній технічній аналітикині проєкту Інні Гоч
- Інформаційному центру «Зелене досьє» та координаторці проєктів в аграрній сфері Катерині Шор

Зміст

ПЕРЕЛІК РИСУНКІВ 7

ПЕРЕЛІК ТАБЛИЦЬ 8

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ 10

РЕЗЮМЕ 11

1. СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО ТА ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ 17

1.1 Сільське господарство – викиди від рослинництва та тваринництва 22

1.1.1 Рослинництво 23

1.1.2 Землекористування – втрати і накопичення органічного вуглецю ґрунту 30

1.1.3 Тваринництво 31

1.2 Споживання палива та енергії 34

2. ПОТЕНЦІАЛ СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА ЗБІЛЬШЕННЯ ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕЦЮ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ 37

2.1 Прогнози НПЕК 38

2.2 Оцінка технологічних потреб 39

2.3 Підхід до оцінки кліматичних технологій та загальний потенціал скорочень викидів парникових газів 39

2.4 Виклики підтвердження скорочення викидів та збільшення поглинання вуглецю 43

2.4.1 Потреба в удосконаленні обліку на національному рівні 44

2.4.2 Складність фіксації поглинання вуглецю 52

3. КЛІМАТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ 55

3.1 Технології обробітку ґрунту 55

3.1.1 Безполицевий обробіток ґрунту 58

3.1.2 Поверхневий обробіток ґрунту (Mini-till) 60

3.1.3 Смуговий обробіток ґрунту (Strip-till) 61

3.1.4 Технологія нульового обробітку ґрунту (No-till) 63

3.2 Підвищення ефективності використання добрив 66

3.2.1 Використання добрив із сповільненим виділенням азоту та інгібіторів 70

3.2.2 Диференційоване внесення добрив та інші інструменти точного землеробства 72

3.2.3 Оптимізація обсягів, способів та часу внесення азоту 76

3.3 Зміна землекористування 78

3.3.1 Виведення земельних ділянок із сільськогосподарського виробництва 78

3.3.2 Відновлення осушених торфовищ 84

3.4 Збільшення обсягів внесення вуглецю 90

3.4.1 Використання покривних культур 92

3.4.2 Використання гною тварин як органічного добрива 96

3.4.3 Використання біочару 99

3.4.4 Використання компосту 102

3.4.5 Органічне землеробство 105

3.5 Енергетичне використання рослинних решток та іншої агросировини 108

3.5.1 Виробництво теплової енергії з рослинних решток 115

3.5.2 Комбіноване виробництво електричної та теплової енергії з рослинних решток 122

3.5.3 Виробництво біогазу та біометану 128

3.5.4 Виробництво біодизелю 137

3.5.5 Виробництво біоетанолу 141

3.6 Скорочення викидів у тваринництві 150

3.6.1 Використання кормових добавок 151

3.6.2 Виробництво біогазу з відходів тваринництва 153

3.6.3 Покращення систем поводження з відходами тваринництва 157

4. ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРІОРИТЕТИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ . . . 162

4.1 Стратегічні документи у сфері кліматичної політики 162

4.2 Національний план з енергетики та клімату 162

4.3 Стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій 164

4.4 Напрями підтримки скорочення викидів парникових газів та збільшення поглинання вуглецю в агросекторі 166

5. ДОСТУП ДО ФІНАНСУВАННЯ ТА ПРІОРИТЕТИ БІЗНЕСУ 170

5.1 Підтримка України міжнародними партнерами 170

5.2 Міжнародні фінансові установи 171

5.3 Вуглецеве фермерство 171

5.4 Пріоритети бізнесу 172

6. ЗЕЛЕНИЙ ПЕРЕХІД У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ТА ВСТУП ДО ЄС 176

6.1 Стратегічні документи та ініціативи ЄС для агросектору та збереження ґрунтів 176

6.2 Регламент про розподіл зусиль 177

6.3 Регламент щодо сектору землекористування 177

6.4 Спільна аграрна політика 178

6.5 Система торгівлі викидами 180

6.6 Поглинання вуглецю та вуглецеве фермерство 180

6.7 Закон про відновлення природи 181

6.8 Директива щодо моніторингу ґрунтів та стійкості 182

6.9 Директива про викиди від промисловості і тваринництва 182

6.10 Регламент ЄС щодо знеліснення та деградації лісів (EUDR) 183

Перелік рисунків

Рисунок 1. Динаміка трьох складових викидів парникових газів, пов'язаних із сільським господарством, в Україні у 1990-2022 роках. 17

Рисунок 2. Частка сільського господарства у загальному обсязі викидів парникових газів 18

Рисунок 3. Динаміка викидів парникових газів, пов'язаних із сільським господарством, у розрізі окремих категорій та джерел викидів. 19

Рисунок 4. Динаміка викидів парникових газів та валової доданої вартості сектору 20

Рисунок 5. Динаміка питомого показника валової доданої вартості на одиницю викидів 21

Рисунок 6. Динаміка розподілу викидів між рослинництвом та тваринництвом у категорії «Сільське господарство» національного кадастру викидів. 22

Рисунок 7. Динаміка та структура викидів від рослинництва у секторі «Сільське господарство» . . . 23

Рисунок 8. Динаміка викидів закису азоту в категорії «Сільськогосподарські ґрунти» 24

Рисунок 9. Внесок різних джерел азоту у загальні викиди в категорії «Сільськогосподарські ґрунти». . . 25

Рисунок 10. Маса рослинних решток, залишених на полях, та прямі викиди N_2O від них. 27

Рисунок 11. Структура рослинних решток. 27

Рисунок 12. Динаміка викидів / поглинання внаслідок зміни вмісту органічного вуглецю в ґрунтах .31

Рисунок 13. Динаміка та структура викидів у тваринництві та дані про поголів'я тварин. 32

Рисунок 14. Викиди парникових газів у розрізі видів тварин 33

Рисунок 15. Динаміка та структура викидів від споживання палива та енергії 35

Рисунок 16. Оцінений потенціал скорочення викидів парникових газів / збільшення поглинання вуглецю 40

Рисунок 17. Потенціал скорочення викидів парникових газів / збільшення поглинання вуглецю у розрізі основних груп технологій 41

Рисунок 18. Крива граничних витрат скорочення викидів. 42

Рисунок 19. Масштаб змін вмісту вуглецю у ґрунті (т С / га). 53

Рисунок 20. Посівні площі сільськогосподарських культур під урожай 2021 року (млн га). 57

Рисунок 21. Діапазони норми внесення азотних мінеральних добрив для різних культур і природних зон та середні норми внесення (кг N / га). 67

Рисунок 22. Питомі капітальні витрати (CAPEX) на станції очистки та збагачення біогазу 133

Рисунок 23. Питомі річні операційні витрати (OPEX) на очистку та збагачення біогазу. 136

Рисунок 24. Порівняльна схема переробки меляси і зерна на біоетанол 143

Перелік таблиць

Таблиця 1. Очікувані викиди в категорії «Сільське господарство», млн т CO_2-екв. 38

Таблиця 2. Питомі показники балансу азоту та зміни запасів вуглецю у ґрунті 50

Таблиця 3. Оцінка енергетичного потенціалу сільськогосподарської біомаси в Україні (2021 р.) і прогноз потенціалу на 2050 р. 111

Таблиця 4. Технологічні рішення при виробництві теплової енергії з біомаси 116

Таблиця 5. Капітальні витрати для будівництва котелень на біомасі 119

Таблиця 6. Порівняння витрати (кг/год) різних видів біопалив (із зазначеною калорійністю) 120

Таблиця 7. Технічні характеристики когенераційних технологій. 124

Таблиця 8. Структура капітальних витрат когенераційних технологій з використанням біомаси як палива 126

Таблиця 9. Структура операційних витрат когенераційних технологій з використанням біомаси як палива 127

Таблиця 10. Вихід біогазу з рослинної агросировини 129

Таблиця 11. Основні технологічні параметри технологій збагачення біогазу до біометану. 131

Таблиця 12. Резюме типових витрат на виробництво електричної енергії з біогазу 132

Таблиця 13. Орієнтовна структура капітальних витрат типового біогазового проєкту 132

Таблиця 14. Сировинна складова собівартості 1 м³ CH_4 з окремих видів сировини. 134

Таблиця 15. Складові вартості логістики окремих видів сировини для біогазу 134

Таблиця 16. Резюме типових витрат на виробництво електричної енергії з біогазу 135

Таблиця 17. Орієнтовна структура операційних витрат типового біогазового проєкту 135

Таблиця 18. Масовий баланс виробництва біодизелю (FAME) з рослинної олії. 139

Таблиця 19. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) будівництва заводу з виробництва біодизелю (FAME) з насіння ріпаку. 139

Таблиця 20. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) будівництва заводу з виробництва біодизелю (FAME) з ріпакової олії 140

Таблиця 21. Структура операційних витрат (OPEX) при виробництві біодизелю (FAME) 140

Таблиця 22. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) будівництва заводу з виробництва біоетанолу з зерна кукурудзи 147

Таблиця 23. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) виробництва біоетанолу з меляси на існуючому цукровому заводі 147

Таблиця 24. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) будівництва заводу з виробництва передового біоетанолу з соломи 148

Таблиця 25. Структура операційних витрат при виробництві біоетанолу з зерна кукурудзи 148

Таблиця 26. Структура операційних витрат (OPEX) при виробництві біоетанолу з меляси на існуючому цукровому заводі 149

Таблиця 27. Структура операційних витрат при виробництві передового біоетанолу з соломи . . . 149

Таблиця 28. Зведені величини питомих капітальних та операційних витрат різних моделей організації виробництва біоетанолу 150

Таблиця 29. Вихід біогазу з відходів тваринництва 154

Таблиця 30. Сировинна складова собівартості 1 м^3 CH_4 з окремих видів сировини 156

Таблиця 31. Стратегічні цілі розвитку агросектору та зв'язок із зеленим переходом 164

Перелік скорочень

БАУ – Біоенергетична асоціація України

ВРХ – велика рогата худоба

ГІС – геоінформаційні системи

ГРМ – газорозподільна мережа

ГТС – газотранспортна система

дал – декалітр (10 л)

ДЗЗ – дистанційне зондування землі

ДССУ – Державна служба статистики України

ел. – електричний

ІТТФ – Інститут технічної теплофізики НАН України

ЗЗВ – зміна запасів вуглецю

ЗЗЗЛГ – землекористування, зміни в землекористуванні та лісове господарство

ККД – коефіцієнт корисної дії

КС – Конференція Сторін

МГЕЗК – Міжурядова група експертів зі зміни клімату

НАН – Національна академія наук

н.е. – нафтовий еквівалент (теплотворна здатність 41,9 МДж/кг)

НПЕК – Національний план з енергетики та клімату

НТЦ – науково-технічний центр

ОЕЗ – олійно-екстракційний завод

ПГП – потенціал глобального потепління

ПСГ – підземні сховища газу

РКЗК ООН – Рамкова конвенція ООН про зміну клімату

СОР – суха органічна речовина

СР – суха речовина

ТЕС – теплова електростанція

ТЕЦ – теплоелектроцентраль

ТП – теоретичний потенціал

CAPEX – капітальні витрати

CNG – стиснений природний газ

DDGS – післяспиртова зернова барда з розчинними речовинами

FAME – метилові естери жирних кислот (біодизель)

LNG – скраплений природний газ

NPK – азот, фосфор, калій (комплексне мінеральне добриво)

OPEX – операційні витрати

ORC – органічний цикл Ренкіна

Резюме

Про що цей документ?

Дослідження Офісу зеленого переходу як незалежного консультативно-дорадчого органу Міністерства економіки України оцінює потенціал декарбонізації для сектору сільського господарства, в тому числі роль сектору у збільшенні частки відновлюваних джерел енергії в кінцевому енергоспоживанні.

Метою дослідження є підтримка намірів України щодо низьковуглецевого розвитку та **досягнення нетто-нульових викидів до середини століття.**

Цей документ містить детальний аналіз структури викидів парникових газів у сільському господарстві, опис технологій скорочення викидів та збільшення поглинання вуглецю, а також оцінку потенціалу і вартості скорочення викидів парникових газів.

Оцінка вартості скорочення викидів є важливим для планування кліматичної політики, визначення пріоритетних для впровадження технологій та потенційних джерел фінансування. Зокрема, пріоритетом державної підтримки можуть бути найбільш дешеві способи скорочення викидів парникових газів, тоді як приватні кошти та міжнародне кліматичне фінансування може залучатися для більш витратних заходів.

У досліджені представлений **потенціал скорочення викидів для 22 технологій** із урахуванням консервативних припущень, але фактичні скорочення викидів будуть залежати від рівня впровадження технологій та мають визначатися на рівні окремих проєктів та програм.

Який обсяг викидів парникових газів утворюється у сільському господарстві?

Сільське господарство в Україні є одним із ключових секторів економіки і є значним джерелом викидів парникових газів.

Викиди парникових газів пов'язані із діяльністю у рослинництві (наприклад, внаслідок використання мінеральних азотних добрив), тваринництві (наприклад, викиди від кишкової ферментації та поводження з відходами тваринництва), виснажливим землекористуванням (втрата органічного вуглецю ґрунту внаслідок інтенсивного землеробства) або зміною землекористування (наприклад, втрата органічного вуглецю ґрунту внаслідок розорювання пасовищ), а також із споживанням палива та енергії сільськогосподарськими підприємствами.

Загальний обсяг викидів парникових газів, пов'язаних із діяльністю у сільському господарстві, **у 2021 році сягнув майже 76 млн тонн CO_2-екв., що становило близько 23%** від усіх викидів парникових газів в Україні. У 2022 році через вплив війни та спричинений російською збройною агресією економічний спад викиди скоротилися **до 57 млн тонн CO_2-екв., але частка зросла до 26%.**

Чому важливо займатися декарбонізацією сільського господарства?

Важливість декарбонізації у сільському господарстві пояснюється пріоритетами національної політики, міжнародними зобов'язаннями України (зокрема, пов'язаними із вступом до ЄС), можливостями доступу до кліматичного фінансування, а також пріоритетами бізнесу в частині кліматичного урядування.

Запровадження кліматичних технологій і реалізація кліматичної політики у сільському господарстві важливі з точки зору **залучення інвестицій та фінансування.** Зокрема, цілі, прямо або опосередковано пов'язані із декарбонізацією сектору, включені до міжнародних документів, які визначають фінансову підтримку України під час війни та післявоєнної відбудови, в тому числі до Плану України. Такі вимоги стосуються передусім стратегічних документів розвитку сільського господарства та сільських територій, продовження узгодження законодавства з acquis ЄС та запровадження секторальних політик для розвитку органічного сільського господарства та розподіленої генерації із відновлюваних джерел енергії, в тому числі із використанням сільськогосподарської біомаси. Крім того, запровадження кліматичних технологій у сільському господарстві і розвиток корпоративного кліматичного урядування в аграрних компаніях посилює їх можливості у залученні кліматичного фінансування від міжнародних фінансових організацій. Поглинання вуглецю у сільському господарстві може бути важливим чинником досягнення корпоративних науково-обґрунтованим цілей скорочення викидів. Іншим важливим чинником є можливість залучення додаткового фінансування через механізми «вуглецевого фермерства».

Декарбонізація сільського господарства відповідає **пріоритетам національної політики.** Оскільки сектор є одним із найбільших джерел викидів парникових газів, запровадження кліматичних технологій важливе для досягнення національно-визначеного внеску України в рамках Паризької угоди та загальної цілі **досягнення кліматичної нейтральності України до 2050 року**. Національний план з енергетики та клімату (НПЕК) на період до 2030 року також містить низку заходів та пріоритетів, які пов'язані із декарбонізацією агросектору. Серед іншого НПЕК передбачає поступове узгодження державної аграрної політики із Європейським зеленим курсом, розвиток сталого сільськогосподарського виробництва та органічного рослинництва, охорону земель та підвищення родючості ґрунтів.

Українські компанії та фермерські господарства уже активно впроваджують кліматичні технології й проєкти, які скорочують викиди парникових газів та збільшують поглинання вуглецю. Серед них - технології мінімального обробітку ґрунту, посів покривних культур, використання інгібіторів нітрифікації та диференційоване внесення азотних добрив. Однак, для досягнення суттєвих результатів цілі із запровадження багатьох технологій мають бути суттєво амбітнішими у порівнянні з існуючими, що наразі покривають до 10% загального земельного банку. Хоч наразі ключовим стимулом є економічна ефективність і збереження вологи, урахування потенціалу скорочення викидів при плануванні інвестицій та зміни агротехнічних практик може збільшити можливості для залучення фінансування та посилити позитивний вплив. Декарбонізація сільського господарства відповідає стратегічним пріоритетам бізнесу, оскільки сприятиме доступу до ринків та джерел фінансування, а також конкурентоспроможності на міжнародних ринках в умовах посилення кліматичної політики та розробки механізмів захисту від так званих «витоків» вуглецевих викидів. Провідні українські аграрні компанії уже формують плани заходів та встановлюють цілі зі скорочення викидів. Разом із тим, у багатьох компаніях, в тому числі на малих та середніх підприємствах, використання кліматичних технологій та розуміння їх важливості знаходяться на ранніх етапах.

Велика частина технологій, які дозволяють скорочувати викиди парникових газів та збільшувати поглинання вуглецю, одночасно **сприяють адаптації агросектору до зміни клімату.** Найбільш значними для рослинництва та тваринництва є ризики підвищення частоти періодів екстремальної спеки, посух та пожежонебезпечної погоди, а також збільшення частоти злив та дощових паводків. Український агросектор уже відчуває вплив

зміни клімату, однак має бути готовим до ще більш теплішого світу із хвилями спеки та ще більш непередбачуваними опадами, коли періоди посухи можуть чергуватися із зливовими дощами у різні роки та пори року. Запровадження багатьох технологій скорочення викидів парникових газів та збільшення поглинання вуглецю матиме позитивний вплив на утримання дефіцитної вологи і захист від ерозії та зменшуватиме кліматичні ризики. Акцент на перевагах кліматичних технологій для адаптації до наслідків зміни клімату може суттєво покращити їх сприйняття фермерами та пришвидшити запровадження, оскільки сільськогосподарські виробники уже зараз розуміють важливість збереження вологи та мінімізації інших кліматичних ризиків.

Декарбонізація сільського господарства та **запровадження нових політик для підтримки скорочення викидів парникових газів і збільшення поглинання вуглецю наближатимуть Україну до вступу до Європейського Союзу**. Законодавство ЄС уже зараз містить цілу низку нормативних документів, які встановлюють вимоги щодо скорочення викидів парникових газів в аграрному секторі, як от регламент про розподіл зусиль, або підтримують збільшення поглинання вуглецю, як от регламент щодо сектору землекористування. Спільна аграрна політика також покликана сприяти досягненню цілей Європейського Зеленого Курсу і передбачає підтримку заходів зі скорочення викидів парникових газів і посилення поглинання вуглецю в рамках механізмів державної підтримки сільськогосподарських підприємств. ЄС продовжує працювати над посиленням кліматичної політики у сільському господарстві і приймає або розробляє додаткові механізми, як от регламент щодо поглинання вуглецю та сертифікації вуглецевого фермерства, закон про відновлення природи, директива щодо моніторингу ґрунтів та стійкості, розвиток систем торгівлі викидами та розширення сфери дії директиви про викиди від промисловості і тваринництва. Інтеграція України до ЄС вимагатиме впровадження уже існуючих і нових положень права ЄС у національне законодавство. Розуміння поточного стану структури викидів та потенціалу для скорочення викидів і збільшення поглинання вуглецю важливе для ефективного впровадження законодавства ЄС та розроблення національних інструментів кліматичної політики для агросектору, а отже наближатимуть Україну до членства в ЄС.

Яких скорочень викидів можна досягнути в агросекторі?

Сільське господарство відноситься до секторів, де складно досягнути кардинального скорочення викидів парникових газів. Разом з тим, сектор має великий потенціал для збільшення поглинання вуглецю і, відповідно, компенсації наявних джерел викидів. При цьому, існує досить багато кліматичних технологій, які дозволяють досягати обох цих цілей, як от зміна практики обробітку ґрунту або використання покривних культур.

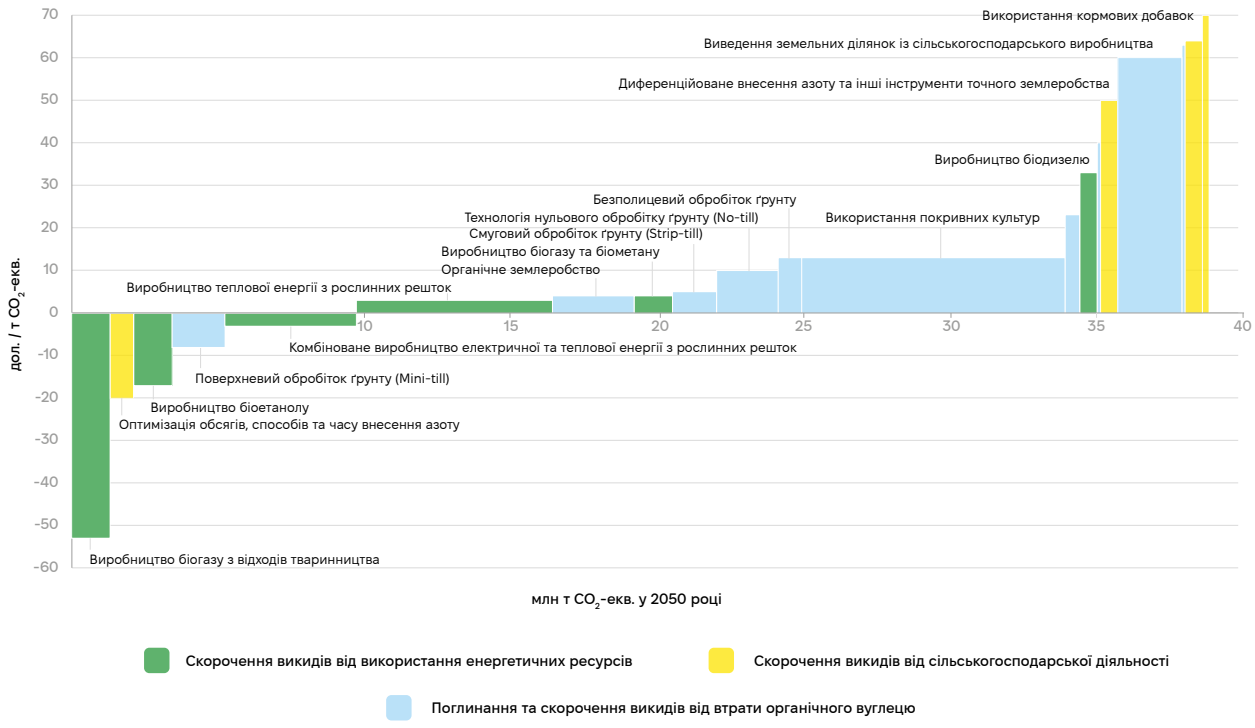
Потенціал декарбонізації у сільському господарстві пов'язаний із такими трьома складовими:

- Скорочення викидів парникових газів у сільському господарстві (наприклад, від використання мінеральних добрив та палива);
- Збільшення поглинання вуглецю у сільському господарстві (наприклад, за рахунок використання покривних культур, технологій мінімального обробітку ґрунту та органічного землеробства);
- Забезпечення скорочення викидів в інших секторах (наприклад, за рахунок використання твердого біопалива, рідкого біопалива чи біогазу).

Кліматичні технології у сільському господарстві, розглянуті у дослідженні, розподілені на такі категорії:

- Технології та заходи зміни практик обробітку ґрунту,
- Технології та заходи підвищення ефективності використання добрив,
- Технології та заходи, пов'язані із зміною практик землекористування,
- Технології та заходи, пов'язані із збільшенням внесення вуглецю у ґрунт,
- Технології скорочення викидів у тваринництві,
- Технології, пов'язані із енергетичним використанням сільськогосподарської біомаси.

Загальний **потенціал скорочення викидів парникових газів і збільшення поглинання вуглецю** для технологій, пов'язаних із сільським господарством, **визначено на рівні 39 млн т CO_2-екв. на рік.** При цьому, скорочення викидів безпосередньо у секторі «Сільське господарство», що, зокрема включає викиди від сільськогосподарських ґрунтів та тваринництва, складає лише 3,0 млн т CO_2-екв. на рік або близько 7% від рівня викидів 2021 року у цій категорії. Найбільші можливості визначені для зменшення викидів від втрати органічного вуглецю і збільшення поглинання вуглецю – 20,9 млн т CO_2-екв. Для України цілком досяжним є перетворення орних земель із джерела викидів на джерело поглинання вуглецю. Важливо, що реалізація цього потенціалу не лише зробить внесок у декарбонізацію, але й сприятиме довгостроковій продуктивності сектору, адже якість ґрунтів і вміст органічної речовини є важливим фактором урожайності та економічного розвитку агросектору. Додатково, за рахунок використання рослинних решток для виробництва теплової та електричної енергії, біогазу та біометану, а також використання іншої сільськогосподарської сировини для виробництва рідкого біопалива, агросектор потенційно уможливить скорочення викидів від спалювання викопного палива на рівні 15,1 млн т CO_2-екв. на рік. Варто підкреслити, що у дослідженні використовувалися консервативні припущення, описані для кожної технології, тому загальний потенціал скорочення викидів може бути ще більшим.



Крива граничних витрат скорочення викидів

Технології, для яких граничні витрати на скорочення викидів мають від'ємні значення, як от виробництво біогазу з відходів тваринництва чи оптимізація обсягів і способів внесення азотних добрив, **є економічно вигідними**, тому потрібно визначати і мінімізувати бар'єри і підвищувати спроможність для їх масштабування. Т**ехнології, для яких граничні витрати скорочення викидів є меншими за 20 дол. / т CO_2-екв.,** як от різні практики мінімального обробітку ґрунту та використання покривних культур, **мають можливості для залучення кліматичного фінансування**, тоді як технології із високою вартістю скорочення викидів потребують додаткового розвитку або додаткових інструментів підтримки. Індикативні дані про вартість скорочення викидів і криву граничних витрат скорочення викидів будуть уточнені в рамках розробки загального підходу до національного вуглецевого бюджету України, враховуючи подальші консультації із усіма зацікавленими сторонами.

Для багатьох кліматичних технологій важливим є ефект масштабу, коли граничні витрати скорочення викидів будуть суттєво меншими при запровадженні на великих площах або при будівництві об'єктів більшого масштабу. З огляду на це, важливою є підтримка малих та середніх виробників у запровадженні кліматичних технологій, наприклад через пряму економічну підтримку або підтримку розвитку кооперативів.

Незважаючи на широке охоплення кліматичних технологій у дослідженні, існують і додаткові технології, які можуть розширити оцінений потенціал скорочень викидів, зокрема, агрофотовольтаїка, агролісівництво або потенційний непрямий вплив вапнування ґрунтів на зменшення викидів N_2O та збільшення поглинання вуглецю за рахунок зменшення кислотності ґрунту. Так само, дослідження не охоплює ланцюги постачання агросектору, зокрема, виробництво різноманітних речовин, які використовуються у сільському господарстві (наприклад, мінеральних добрив), та галузі переробки сільськогосподарської продукції, а також заходи, які пов'язані із поведінковими змінами та впливом на попит на різні продукти харчування.

Сільське господарство навіть під час війни, незважаючи на її значний вплив через втрату доступу до земельних ресурсів та руйнування, продовжує відігравати ключову роль в економіці України. Під час післявоєнного відновлення агросектор може бути одним із драйверів економічного розвитку завдяки підвищенню продуктивності виробництва та використання інноваційних технологій. Впровадження багатьох кліматичних технологій дозволятиме одночасно із підвищенням продуктивності зменшувати вплив сектору на клімат або забезпечувати декарбонізацію інших секторів економіки України.

З огляду на вплив війни, декарбонізація сільського господарства має розглядатися в контексті економічного розвитку, продовольчої безпеки та підвищення ефективності виробництва та можливостей залучення додаткового кліматичного фінансування.

Поєднання кліматичних цілей та цілей продовольчої безпеки повністю узгоджується із ключовими міжнародними та національними пріоритетами. Паризька угода визнає фундаментальний пріоритет продовольчої безпеки та, серед іншого, ставить за ціль підвищення здатності адаптуватися до несприятливих наслідків зміни клімату, а також сприяння опірності до зміни клімату та низьковуглецевому розвитку таким чином, щоб не ставити під загрозу виробництво продовольства. Національні стратегічні цілі розвитку агросектору також поєднують задоволення суспільних потреб у високоякісних, поживних і безпечних харчових продуктах та забезпечення продовольчої безпеки із підтримкою кліматично орієнтованого сільського господарства, в тому числі скороченням викидів парникових газів та адаптацією до наслідків зміни клімату.

Дослідження презентує потенціал та вартість скорочення викидів, однак не визначає траєкторій чи кількісних цілей, оскільки такі оцінки мають здійснюватися, враховуючи актуальні дані про вплив війни на сектор та викиди парникових газів, на основі широких консультацій із зацікавленими сторонами.

Необхідно більше даних про агросектор та викиди парникових газів

Україна щорічно готує Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції парникових газів, де представлена детальна інформація про обсяги викидів, пов'язані із агросектором. Тим не менш, національна система обліку має цілу низку прогалин, які стосуються і збору даних про діяльність, і коефіцієнтів викидів. Це стосується, зокрема, даних щодо площ різних категорій земель, використання різних технологій обробітку ґрунту чи практик посіву покривних культур, національних коефіцієнтів для використання азотних добрив за різних умов та методів і багатьох інших питань. **За поточних умов, навіть масштабне запровадження багатьох кліматичних технологій,** наприклад добрив із сповільненим виділенням азоту чи технологій мінімального обробітку ґрунту, **не відобразиться у національному кадастрі викидів через обмеження методологічних підходів.**

Більш детальна інформація про викиди парникових газів в агросекторі і вплив кліматичних технологій потрібна і для державних управлінців і для представників бізнесу.

Публічна політика має спиратися на кращу інформацію для розуміння можливостей внеску агросектору у досягнення цілі з кліматичної нейтральності і залучення кліматичного фінансування. Покращення збору інформацію про викиди парникових газів від агросектору можливе в рамках подальшого удосконалення підготовки Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції парникових газів в Україні, збору даних про сільськогосподарські практики через Державний аграрний реєстр та розвитку системи збору статистичних даних за прикладом мережі збору даних сталого розвитку фермерських господарств (FADN / FSDN) Європейського Союзу.

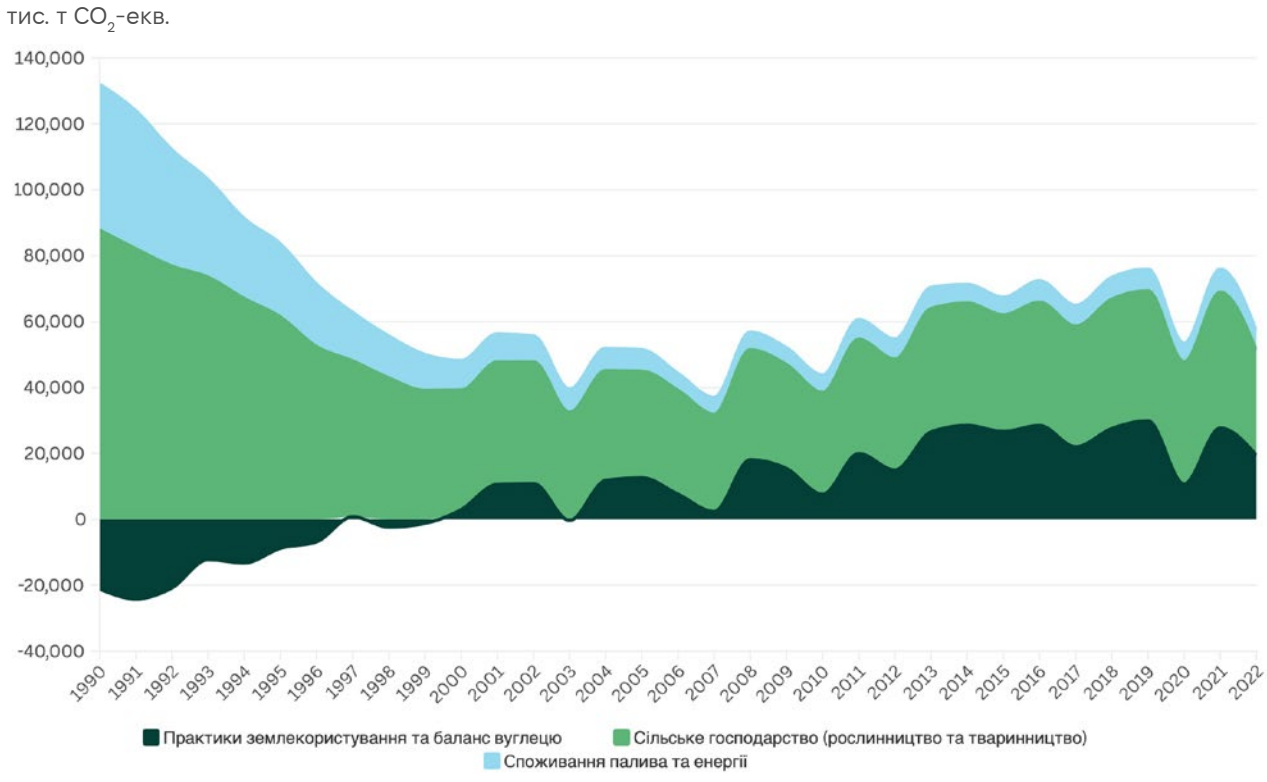
Для бізнесу важливий ще більш детальний облік викидів парникових газів та поглинання вуглецю, аби мати можливість займатися «вуглецевим фермерством» відповідно до чітких затверджених методологій і отримувати додатковий прибуток від продажу вуглецевих одиниць, встановлювати і досягати корпоративні цілі зі скорочення викидів та дотримуватися, в тому числі законодавства ЄС, вимог ключових клієнтів, міжнародних фінансових установ або інших кредиторів чи інвесторів. Українські підприємства та фермерські господарства мають краще розуміти якість ґрунтів, які вони обробляють, в тому числі динаміку вмісту органічного вуглецю і потребу у поживних речовинах, а також вплив запровадження кліматичних технологій на ґрунти.

1. Сільське господарство та викиди парникових газів

Сільське господарство займає вкрай важливе місце у досягненні глобальних кліматичних цілей через значні обсяги викидів, роль у продовольчій безпеці та економіці багатьох країн.

Паризька угода, яка спрямована на зміцнення глобального реагування на загрозу зміни клімату в контексті сталого розвитку та зусиль з викорінення бідності, **визнає фундаментальний пріоритет продовольчої безпеки** та враховує її важливість при встановленні трьох ключових цілей[1]:

- стримання зростання глобальної середньої температури значно нижче 2° С понад доіндустріальні рівні і докладання зусиль з метою обмеження зростання температури до 1,5° С понад доіндустріальні рівні, визнаючи, що це суттєво знизить ризики та наслідки зміни клімату;
- підвищення здатності адаптуватися до несприятливих наслідків зміни клімату, а також сприяння опірності до зміни клімату та низьковуглецевому розвитку таким чином, щоб не ставити під загрозу виробництво продовольства;
- забезпечення узгодженості фінансових потоків із напрямом низьковуглецевого та опірного до зміни клімату розвитку.



Джерело: тут і надалі дані щодо викидів базуються на інформації Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції парникових газів в Україні для 1990-2022 років

Рисунок 1. Динаміка трьох складових викидів парникових газів, пов'язаних із сільським господарством, в Україні у 1990-2022 роках

1 Паризька угода {Угоду ратифіковано Законом № 1469-VIII від 14.07.2016}, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_l61#Text; https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

В Україні сільське господарство – це одне з найбільших джерел викидів парникових газів, які можна розділити на три основні категорії:

- Викиди від сільськогосподарської діяльності у рослинництві та тваринництві (такі джерела включаються у розділ «Сільське господарство» національних кадастрів викидів парникових газів);
- Викиди, пов'язані із землекористуванням та зміною землекористування у сільському господарстві (такі джерела викидів пов'язані із втратою органічного вуглецю ґрунту і включаються до підкатегорій «Орні землі» та «Пасовища» категорії «Землекористування, зміна землекористування та лісове господарство» національних кадастрів викидів парникових газів);
- Викиди, пов'язані із споживанням палива та енергії сільськогосподарськими підприємствами (такі джерела включаються до різних підкатегорій категорії «Діяльність із спалювання палива» національних кадастрів викидів і включають викиди від споживання пального сільськогосподарською технікою, викиди від спалювання різного роду палива стаціонарними джерела на сільськогосподарських підприємствах та викиди, пов'язані із споживанням електричної енергії у сільському господарстві).

Усі три складових є суттєвими джерелами викидів в Україні, тому потребують належного урахування та аналізу.

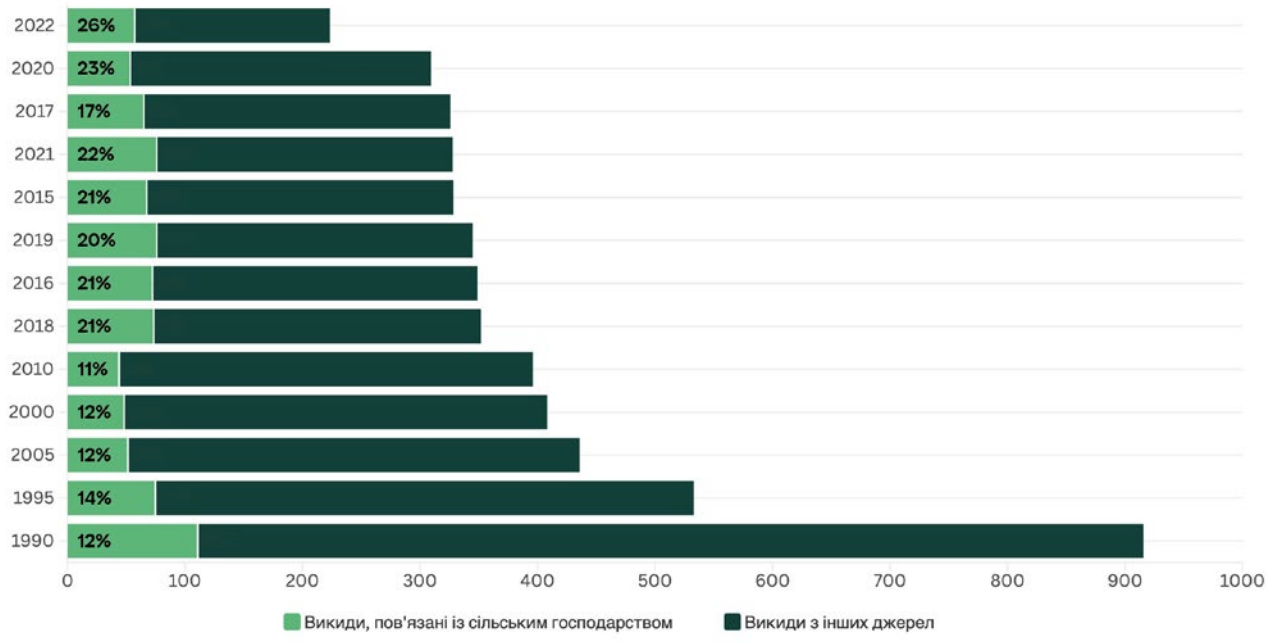


Рисунок 2. Частка сільського господарства у загальному обсязі викидів парникових газів

Загальні обсяги викидів, пов'язаних із сільським господарством, історично складали близько 12-14% від усіх викидів парникових газів в Україні, однак через суттєве зростання викидів, пов'язаних із втратою органічного вуглецю в ґрунті і використанням мінеральних азотних добрив, ця частка поступово зросла до понад 20%, а в у 2022 році склала 26%.

У порівнянні із 1990 роком відбулася кардинальна зміна структури викидів, адже сектор орних земель перетворився із поглинача вуглецю на суттєве джерело викидів, а обсяг викидів від тваринництва скоротився у понад п'ять разів.

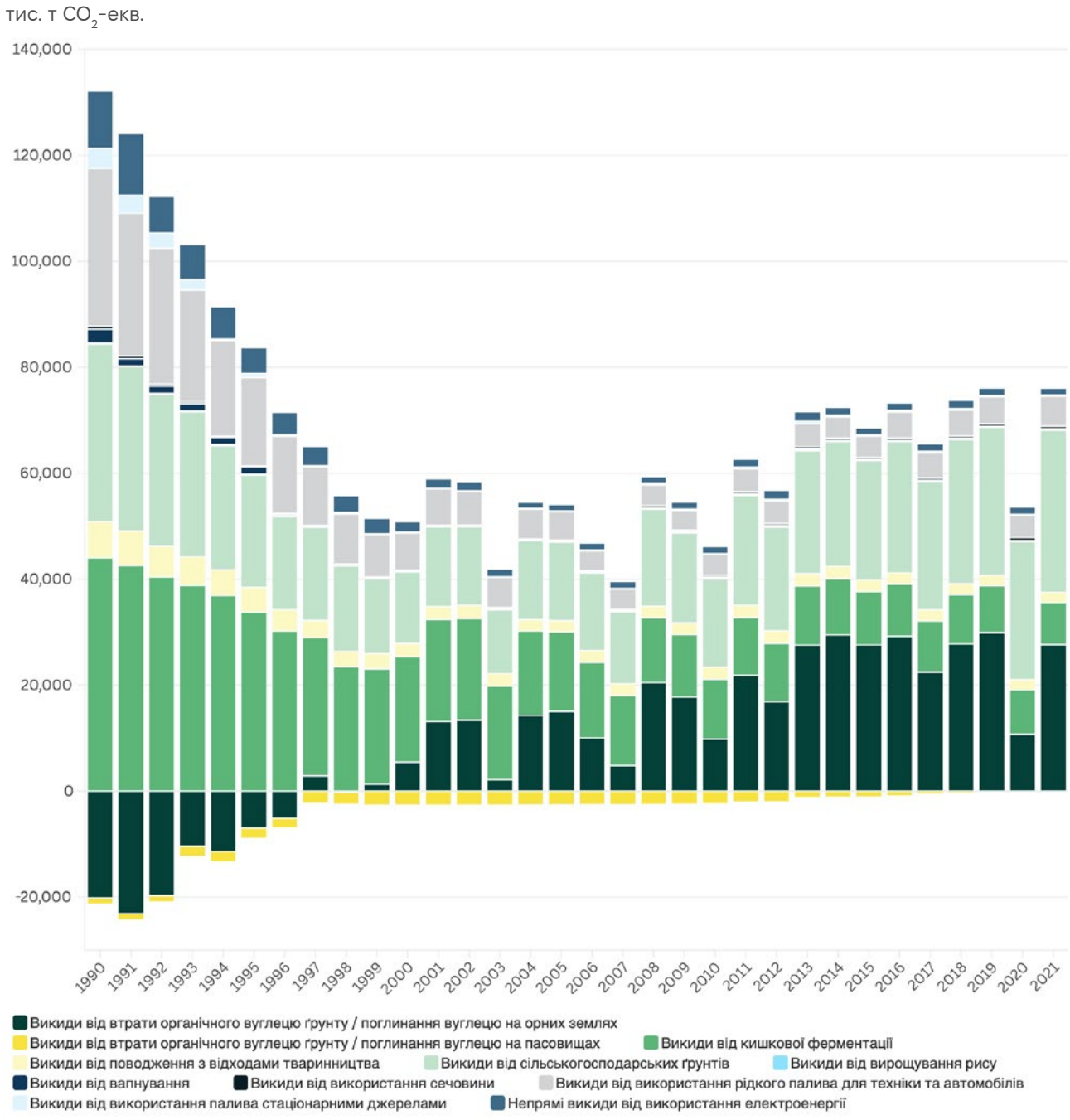


Рисунок 3. Динаміка викидів парникових газів, пов'язаних із сільським господарством, у розрізі окремих категорій та джерел викидів

Для рослинництва національна інвентаризація відображає викиди і поглинання парникових газів в двох секторах: «Сільське господарство» та «Землекористування, зміни в землекористуванні та лісове господарство» (ЗЗЗЛГ). Зокрема, в секторі «Сільське господарство» обліковуються викиди N_2O від орних земель та пасовищ, а також викиди CH_4 від вирощування рису. В секторі ЗЗЗЛГ категорії «Орні землі» та «Пасовища» є тими, де

проводиться оцінка змін запасів вуглецю (в еквіваленті CO_2) в ґрунті ріллі та пасовищ і сінокосів. Такий розподіл накладає певні особливості на моніторинг результатів запровадження будь-яких програм та заходів зі скорочення викидів в агросекторі і пов'язаний із рішеннями та вказівками Конференції Сторін РКЗК ООН.[2]

Динаміка викидів парникових газів у сільському господарстві фактично повторює динаміку валової доданої вартості сектору «Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство», а відповідно створення валової доданої вартості на одиницю викидів є відносно сталим.[3]

Валова додана вартість галузі на одиницю викидів у 2010-2021 роках складала близько 10-11 тисяч гривень у цінах 2021 року або 315-350 Євро (за середнім курсом 2021 року) на тонну CO_2-екв. Відповідно, показник утворення викидів на одиницю валової доданої вартості коливався на рівні 89-98 кг CO_2-екв. на тисячу гривень (у цінах 2021 року) або 2,7-3,0 кг CO_2-екв. на Євро.

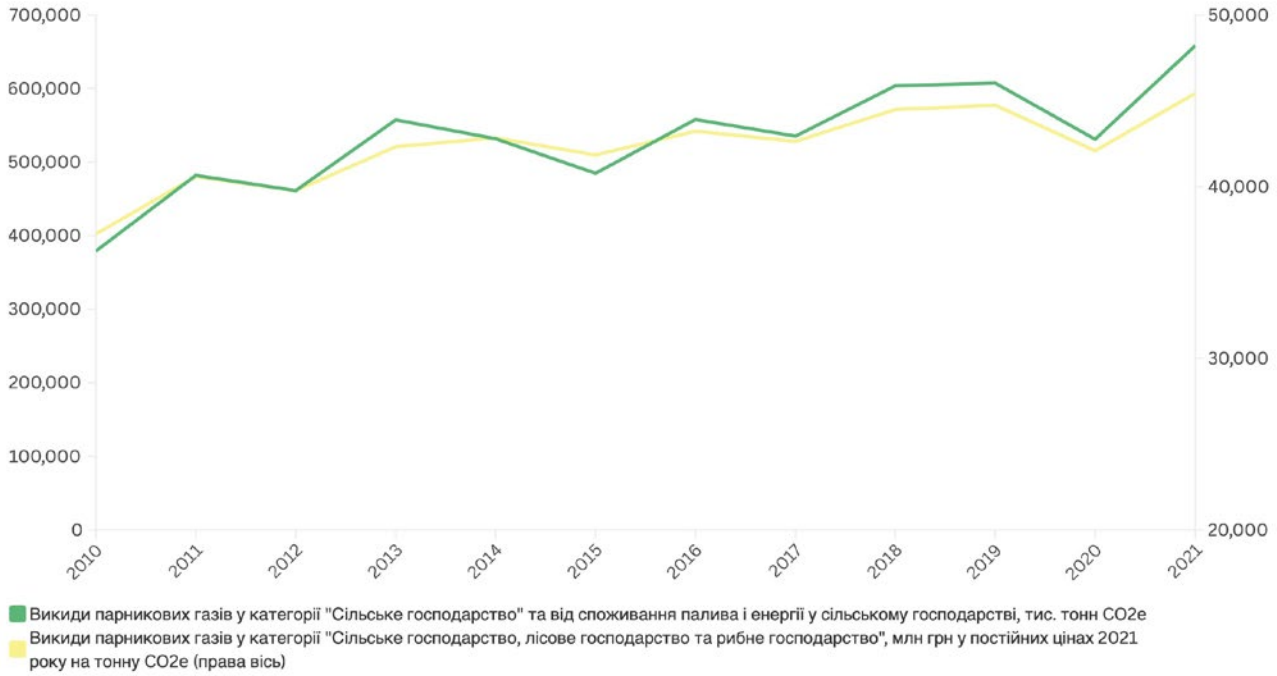


Рисунок 4. Динаміка викидів парникових газів та валової доданої вартості сектору

2 У формах звітування інформації про викиди та поглинання парникових газів, затверджених рішеннями Конференції сторін (КС) Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (РКЗК ООН) використовуються сектори «Сільське господарство» та 3ЗЗЛГ, тоді як у Методичних вказівках Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) обидва ці сектори об'єднані в один, що має назву «Сільське господарство, лісове господарство та інші види землекористування». Не дивлячись на те, що структуризація МГЕЗК є більш послідовною та логічною, Конференції сторін (КС) не взяла це до уваги, коли розроблялися вказівки в Рішеннях 24/CP.19 (FCCC/CP/2013/10/Add.3) та 18/CMA.1 (FCCC/PA/CMA/2018/3/Add.2), якими Методичні вказівки МГЕЗК були визначені як обов'язковими для вибору методів розрахунків викидів та поглинань парникових газів національною інвентаризацією.

3 Варто підкреслити, що таке порівняння має ілюстративний характер і певні обмеження, оскільки наявні статистичні дані не дозволяють виокремити валову додану вартість лише для сільського господарства, однак рослинництво та тваринництво відповідають за основну частину створення валової доданої вартості даного сектору (понад 90%).

Для порівняння, в ЄС схожий показник в 2019-2023 роках коливався в межах 1,6 – 2,2 кг CO_2-екв. на Євро валової доданої вартості у поточних цінах (для ЄС-27), хоч і суттєво різнився за країнами.[4]

Зважаючи на важливу роль сільського господарства в економіці України і необхідність загального зниження викидів парникових газів, для сектору важливе зниження обсягів викидів на одиницю валової доданої вартості. Одним із пріоритетів галузевої державної політики може бути **створення більшої валової доданої вартості галуззю при менших обсягах викидів парникових газів.**

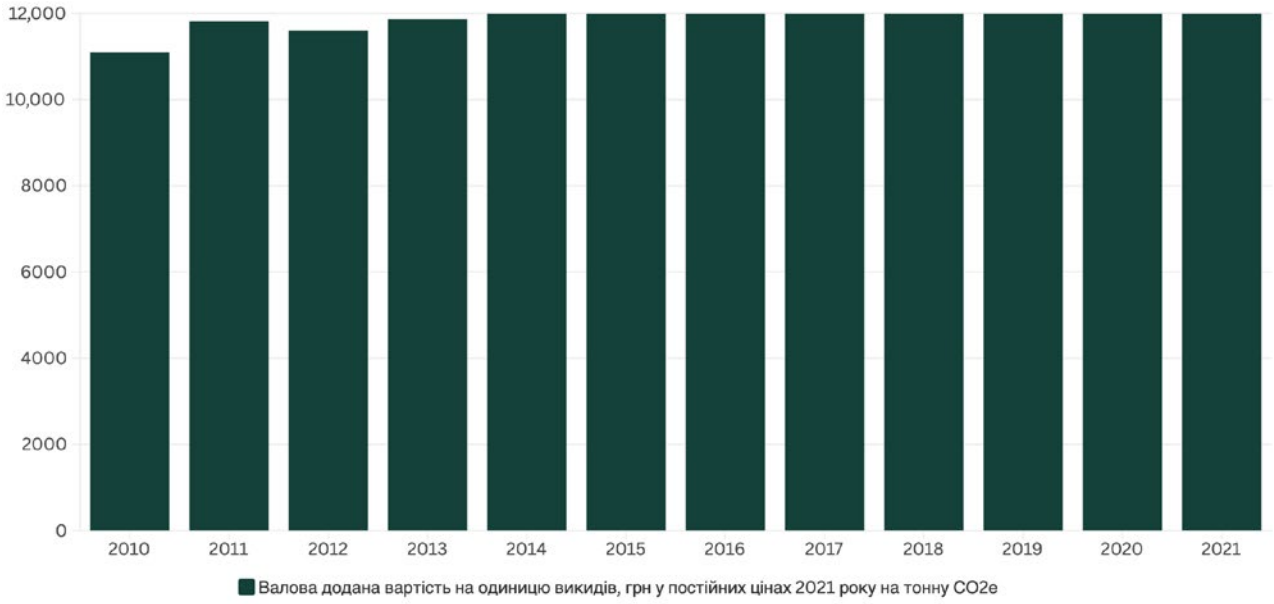


Рисунок 5. Динаміка питомого показника валової доданої вартості на одиницю викидів

У 2022 році сільське господарство забезпечило 8% ВВП, 20,5% капітальних інвестицій та 53% експорту (сільське господарство та харчова промисловість), а також 13,6% зайнятості населення. Разом з тим, війна спричинила серйозні виклики для галузі, що пов'язані із скороченням сільськогосподарського виробництва, замінуванням та забрудненням земель, зниженням закупівельних цін на продукцію та втратою доходів виробників.[5] Війна також призвела до фізичного пошкодження техніки та елеваторів, зменшення збору урожаю зернових та олійних культур, ускладнила та зробила більш дорогою логістику і змінила структуру експорту.[6] Крім того, війна суттєво вплинула на економічну ефективність роботи підприємств галузі, спричинивши, з одного боку, суттєву інфляцію та підвищення витрат, а з іншого боку зменшення закупівельних цін та доходів. Ускладнення логістики та пов'язані

4 Eurostat, Air emissions intensities by NACE Rev. 2 activity, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_aeint_r2__custom_16790564/default/table?lang=en

5 Міністерство аграрної політики та продовольства України, https://minagro.gov.ua/news/minahropolityky-prezentuvalo-stratehiiu-rozvytku-silskoho-hospodarstva-ta-silskykh-terytorii-v-ukraini-do-2030-roku

6 KSE. Center for Food and Land Use Research. AgroDigest Ukraine. January, 2025, https://kse.ua/AgroDigest_Ukraine_January_2025.pdf

із цим збільшення різниці між внутрішніми цінами та цінами на міжнародних ринках також спричинили зміни структури посівних площ зі зменшенням площ вирощування кукурудзи та збільшення площ олійних культур.

За даними RDNA4, збитки для агросектору внаслідок війни перевищили 11 млрд дол., а найбільші збитки пов'язані із втратою та пошкодженням сільськогосподарської техніки, зерносховищ та інших матеріальних активів. Втрати сектору оцінюються на рівні 72,7 млрд дол., включаючи втрати від зменшення обсягів виробництва, падіння цін на вироблену продукцію через ускладнення логістики, збільшення витрат на виробництво та інші фактори. Витрати на відновлення та реконструкцію оцінюються на рівні 55,5 млрд дол. При цьому, потреба в інвестиціях у кліматичні технології (climate-smart technologies adoption) оцінюється на рівні 15 млрд дол.[7]

Вплив війни на обсяг викидів від сільського господарства також є суттєвим, зокрема, через тимчасове виведення з використання значних площ земельних ресурсів. У 2022 році викиди в категорії «Сільське господарство» скоротилися на 23% у порівняння із попереднім роком через зменшення обсягів внесення мінеральних та органічних добрив, скорочення площ вирощування культур, а також подальшого скорочення поголів'я сільськогосподарських тварин.

1.1 Сільське господарство – викиди від рослинництва та тваринництва

У категорії «Сільське господарство» національного кадастру викидів протягом останніх десятиліть відбулися значні структурні зміни: частка тваринництва зменшилася із близько 60% до менш ніж 30%, тоді як частка рослинництва пропорційно зросла.

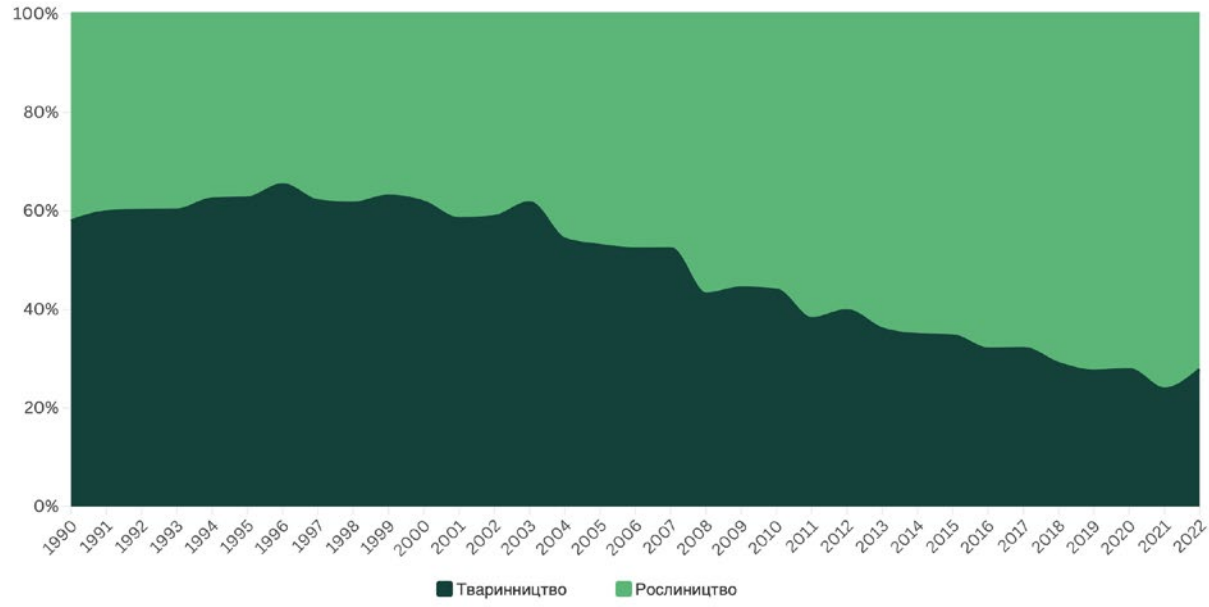


Рисунок 6. Динаміка розподілу викидів між рослинництвом та тваринництвом у категорії «Сільське господарство» національного кадастру викидів

7 Ukraine Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4), https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/02/25/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released

Варто підкреслити, що дана категорія викидів не охоплює усі викиди від рослинництва, адже втрата органічного вуглецю ґрунту також пов'язана із практиками вирощування сільськогосподарських культур, як і споживання пального сільськогосподарською технікою та частково споживання електроенергії та палива на стаціонарних об'єктах в галузі сільського господарства.

1.1.1 Рослинництво

Рослинництво є основою сільського господарства в Україні, забезпечуючи левову частину доходів та валової доданої вартості галузі. Основну частину посівних площ займають посіви зернових та олійних культур.

Викиди від рослинництва у секторі «Сільське господарство» визначаються, головним чином, викидами від сільськогосподарських ґрунтів – до 99% від загальних викидів категорії. Обсяги цих викидів залежать від використання мінеральних та органічних добрив, а також обсягу та способу управління рослинними рештками, що напряму пов'язано із урожайністю культур. Відповідно, обсяг викидів може залежати від структури посівної площі та багатьох інших факторів, які визначають урожайність, в тому числі використання добрив, погодних та кліматичних умов, якості ґрунту, тощо.

На початку 1990 років додатковим помітним джерелом було вапнування ґрунтів, однак через зміну сільськогосподарських практик значення даного джерела наразі не є суттєвим.

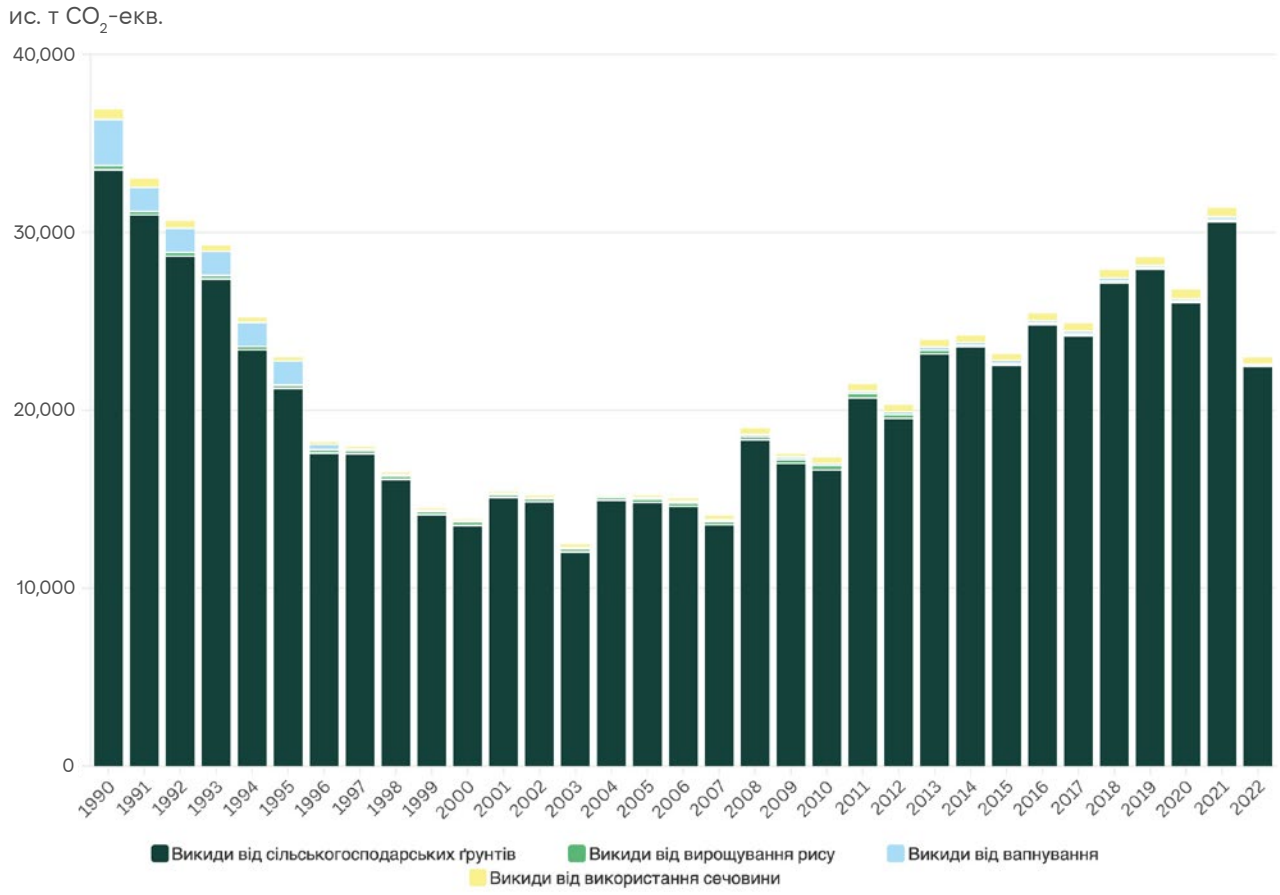


Рисунок 7. Динаміка та структура викидів від рослинництва у секторі «Сільське господарство»

Викиди від сільськогосподарських ґрунтів – це викиди закису азоту (N_2O), який утворюється в ґрунтах природним шляхом внаслідок мікробіологічних процесів нітрифікації та денітрифікації. Нітрифікація це аеробне мікробне окислення амонію до нітратів, а денітрифікація - анаеробне мікробне відновлення нітратів до газоподібного азоту (N2). Закис азоту (N_2O) є газоподібним проміжним продуктом у послідовності реакцій денітрифікації та побічним продуктом нітрифікації, який потрапляє з мікробних клітин у ґрунт і, зрештою, в атмосферу.

Такі викиди утворюються і у природних екосистемах, однак сільськогосподарська діяльність, а саме внесення мінеральних та органічних азотних добрив і інших джерел азоту, суттєво збільшує обсяг доступного азоту та відповідні викиди. Таким чином, внесення азоту в ґрунт з одного боку є вкрай важливим елементом регулювання балансу основних поживних речовин в ґрунті (NPK - азоту, фосфору і калію) при вирощуванні сільськогосподарських культур, але з іншого боку також сприяє збільшенню викидів парникових газів.

Внесення азоту у ґрунт у складі різних речовин або інший антропогенний вплив на його рівень в ґрунті безпосередньо призводить до активізації процесів нітрифікації та денітрифікації.

Викиди N_2O, які є результатом антропогенного надходження азоту або мінералізації азоту, відбуваються як прямим шляхом (тобто, безпосередньо з ґрунтів, в які додається/вивільняється азот), так і двома непрямими шляхами:

- внаслідок депонування в атмосферу (вивітрюванні) азоту у формі NH_3 та NO_x з оброблюваних ґрунтів, спалювання викопного палива та спалювання біомаси і подальшого осадження цих газів та їх продуктів NH_4+ та NO_3- у ґрунти та води; та
- внаслідок депонування азоту в ґрунт (вимивання), в основному у вигляді NO_3-, з орних ґрунтів[8].

Прямі викиди складають близько 80% від загальних, тоді як на непрямі припадає решта 20%. У 2021 році загальний обсяг викидів сягнув рівня, який спостерігався у 1990 році.

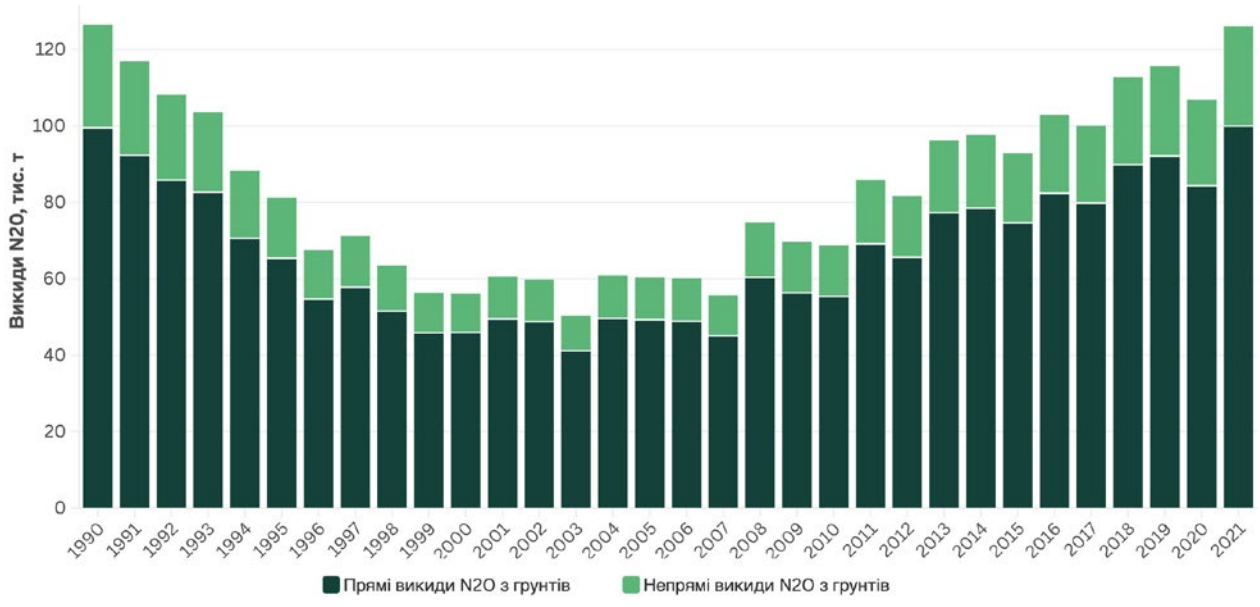


Рисунок 8. Динаміка викидів закису азоту в категорії «Сільськогосподарські ґрунти»

8 Розділ 11.2, том 4, Керівні принципи національних інвентаризацій парникових газів МГЕЗК 2006

На даний час національною інвентаризацією виокремлюються такі основні види діяльності, що призводять до прямих викидів N_2O від сільськогосподарських ґрунтів:

- внесення мінеральних азотних добрив;
- внесення органічних азотних добрив;
- сеча та гній від тварин на пасовищах;
- рослинні рештки, що залишаються на полях;
- мінералізація ґрунтів, пов'язана із втратою органічного вуглецю ґрунту;
- культивація органічних ґрунтів.

Протягом останніх десятиліть зростали обсяги прямих викидів закису азоту, які пов'язані із внесенням мінеральних азотних добрив, рослинними рештками, а також мінералізацією ґрунтів, що пов'язана із втратою органічної речовини ґрунту.

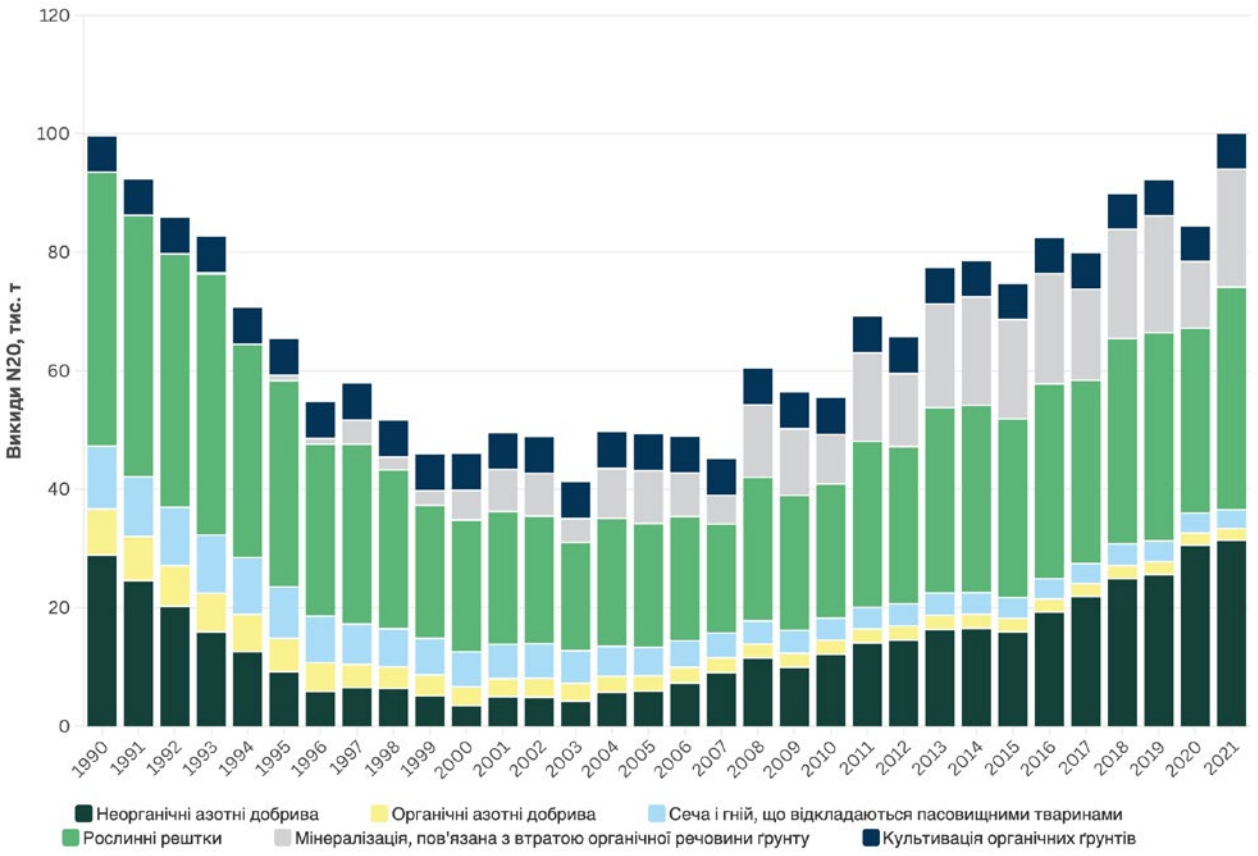


Рисунок 9. Внесок різних джерел азоту у загальні викиди в категорії «Сільськогосподарські ґрунти»

Власне, саме **мінеральні азотні добрива**, з одного боку, є відносно простим і швидким способом збільшувати кількість азоту для отримання кращих урожаїв сільськогосподарських культур, але водночас і ключовим фактором, який визначає обсяги викидів закису азоту від сільськогосподарських ґрунтів. Прямі викиди N_2O від внесення азотних мінеральних добрив в сільськогосподарські ґрунти і обсяги внесення добрив мають пряму залежність.

Це пояснюється методикою розрахунку викидів за першим (найнижчим) рівнем, яка згідно МГЕЗК (Розділ 11.2.1.1, том 4) враховує тільки кількість внесених азотвмісних добрив та коефіцієнт викидів, що складає 1 % від внесеної активної речовини. Такий підхід до обліку викидів N_2O є дуже спрощеним і має високу невизначеність (за даними керівних принципів МГЕЗК значення коефіцієнту може варіюватись в межах 0,1-3 %). Більше того, така методика обліку викидів унеможливлює фіксацію скорочення викидів внаслідок використання добрив із сповільненим вивільненням азоту або покращень практик і технологій внесення різних типів добрив. Лише вплив заходів, які безпосередньо впливають на кількість внесеного азоту, як от наприклад диференційоване внесення азотних добрив, буде відображений у національній звітності.

Внесення азоту із **органічними добривами** суттєво скоротилося в Україні через падіння поголів'я тварин. Саме внесення гною тварин було і залишається основним джерелом органічних добрив в Україні.

Прямі викиди N_2O обліковуються на основі розрахункової кількості азоту у гної, використовуючи дані про поголів'я тварин. Натомість, статистичні дані про обсяги внесення органічних добрив не завжди відображають тенденцію прямих викидів N_2O від органічних добрив, що може свідчити і про методологічні відмінності, і про недоліки системи статистичного обліку.

Інші джерела азоту можуть включати внесення осаду стічних вод, компосту, відходів харчової промисловості чи пивоваріння, дигестату тощо. Для внесення осаду стічних вод в якості добрива в сільськогосподарські ґрунти існує ряд вимог та перелік випадків, коли його заборонено використовувати.[9] Така практика не є поширеною, і через брак цілісної інформація стосовно кількості внесеного азоту з осадом в національній інвентаризації України відсутня оцінка викидів N_2O від цього джерела. Однак в майбутньому вона може бути оцінена і стати ще одним джерелом прямих викидів N_2O. Серед інших джерел інвентаризацією охоплюється лише внесення компосту, але його обсяги є мінімальними, а прямі викиди N_2O від цього джерела становлять менше 1% від усіх прямих викидів N_2O від внесення органічних добрив.

Для розрахунків викидів, як і у випадку із мінеральними добривами, використовується коефіцієнт МГЕЗК за замовчуванням на рівні 1%, який не завжди може відображати специфічність умов внесення та конкретний тип органічних добрив і має високу невизначеність (діапазон значень 0,1-3%).

На **прямі викиди N_2O від сечі та гною, залишених тваринами на пасовищах,** впливає: а) поголів'я різних видів тварин в країні; б) частка тварин, що залишається на пасовищі та у загоні; в) середньорічна кількість азоту, що виділяється від однієї тварини кожного виду; та г) частка прямих втрат азоту. Частки прямих втрат азоту за замовчуванням, які використовуються національною інвентаризацією, згідно із МГЕЗК 2006 мають різні значення для різних видів тварин: для ВРХ та свиней – 2%, для овець та інших видів – 1%.

Викиди парникових газів від **розкладання рослинних решток,** залишених на полях, є найбільшими в категорії прямих викидів N2O від сільськогосподарських ґрунтів. Зокрема, в 2021 році вони складали 38% від усіх прямих викидів азоту. Хоч у процесі перегнивання

9 Порядок повторного використання очищених стічних вод та осаду стічних вод за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин, затверджений Наказом № 341 від 12.12.2018 року Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0075-19#Text

більшість речовин внаслідок діяльності мікроорганізмів засвоюється у ґрунті у вигляді гумусних речовин та інших сполук, частина все ж вивітрюється і потрапляє в атмосферу. Прямі викиди N2O від рослинних решток залежать від того, який обсяг біомаси залишився на полях. Разом із цим, зв'язок не завжди прямолінійний, оскільки структура рослинних решток також впливає на обсяг азоту, який потрапляє в ґрунт, а отже і викиди N_2O.

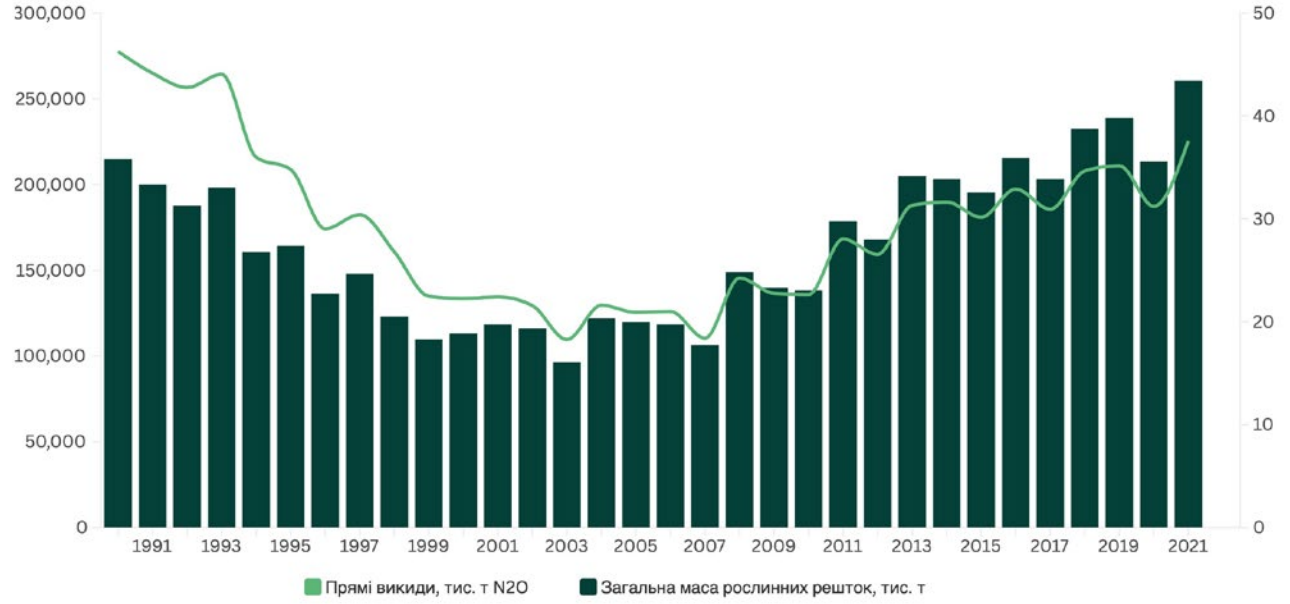


Рисунок 10. Маса рослинних решток, залишених на полях, та прямі викиди N_2O від них

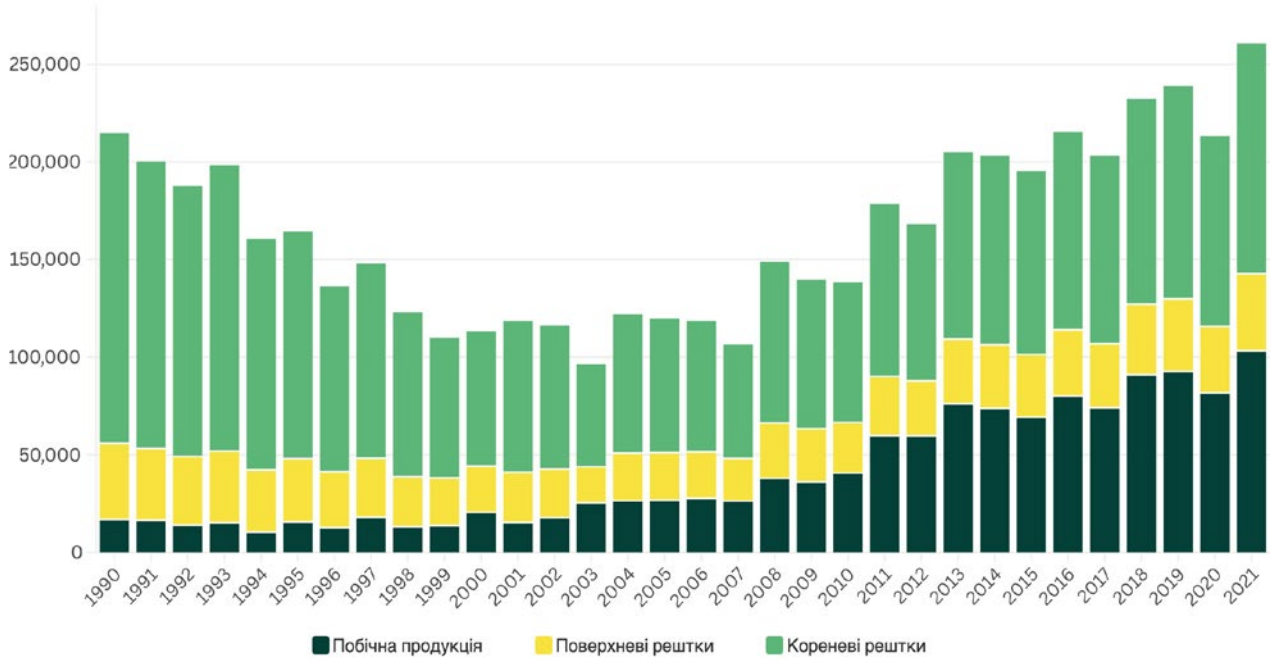


Рисунок 11. Структура рослинних решток (тис. т)

Протягом останніх десятиліть відбулася суттєва зміна структури культур, які вирощуються в Україні. Через падіння поголів'я у тваринництві відбулося кардинальне скорочення посівних

площ під травами на зелену масу та сіно, а натомість - різке збільшення площ під олійними культурами та суттєве зростання площ під зерновими культурами. Це, в свою чергу, призвело до зміни складу рослинних решток: відбувся поступовий спад кількості кореневих решток (адже для трав маса коренів значно переважала масу поверхневих решток) і суттєвий ріст кількості побічної продукції (зокрема, соломи зернових культур та технічних культур).

Азот, що міститься в рослинних рештках, розраховується за допомогою коефіцієнтів вмісту азоту[10] в різних частинах рослин. Цей коефіцієнт має різне значення для різних видів культур та різних частин рослинних решток (надземна чи підземна), а значення коливається від 0,35% до 2,2%[11]. За найпростішим підходом, який використовується у розрахунках національних викидів, вважається, що 1% азоту рослинних решток потрапляє в атмосферу у вигляді закису азоту.

Вміст азоту у кореневих рештках трав (2,1%) є суттєво вищим за вміст азоту у побічній продукції та поверхневих рештках зернових культур та олійних культур (0,45-0,75%). Як наслідок, через зміну структури посівних площ, незважаючи на те, що загальні обсяги рослинних решток уже суттєво перевищують рівні 1990 року, обсяги внесення азоту із рослинних рештками і викиди закису азоту все ще суттєво менші.

Для розрахунку кількості рослинних решток в Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції парникових газів в Україні використовують розрахунковий метод. Зокрема, використовуються рівняння регресії[12] для кожної окремої культури, які дозволяють на основі врожайності сільськогосподарських культур та площ посівів визначити обсяги рослинних решток для різних частин рослини (побічна продукція, наземні рештки та підземні рештки). При цьому, в рамках статистичних спостережень площі посівів коригуються на площі, які згоріли внаслідок пожеж, що дозволяє виключити ту кількість рослинних решток, що згоріла під час пожеж (надземні рештки та побічна продукція). Однак, статистика пожеж на сільськогосподарських полях є фрагментарною і покриває лише незначну частину від фактичних пожеж.

Крім того, існують недоліки в обліку рослинних решток для цілей національної інвентаризації викидів парникових газів. Зокрема, при підготовці національних кадастрів викидів припускається, що побічна продукція зернових повністю видаляється з полів для використання в тваринництві в якості кормів, підстилки, для використання в якості біопалива тощо. Основним фактором для цього є відсутність об'єктивної інформації про кількість побічної продукції зернових, що була залишена на полях. На практиці ж, значні обсяги соломи зернових залишаються на полях.

Ще одним джерелом прямих викидів закису азоту є **мінералізація, пов'язана із втратою органічної речовини ґрунту.** Оскільки, вуглець і азот тісно пов'язані в органічній речовині ґрунту, втрата вуглецю через окислення в результаті змін у землекористуванні або управлінні буде супроводжуватися і мінералізацією азоту із утворенням N_2O[13]. Для розрахунку прямих викидів N_2O від мінералізації використовується національний показник відношення вуглецю

10 Ф.И. Левин. Вопросы окультуривания, деградации и повышения плодородия пахотных почв., Москва: МГУ, 1983, 95 с.

11 https://unfccc.int/documents/628276

12 Ф.И. Левин. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции. Агрохимия, №8, 1977г. С. 36-42.

13 Розділ 11.2.1.3, том 4, МГЕЗК 2006

до азоту (C:N). Що більші обсяги викидів вуглецю в категорії «4.B Орні землі» сектору ЗЗЗЛГ, то більші будуть обсяги прямих викидів N_2O від сільськогосподарських ґрунтів в категорії «3.D Сільськогосподарські ґрунти». І навпаки, якщо сталі практики сільського господарства дозволятимуть уникати втрати органічного вуглецю ґрунту, то й зникнуть і додаткові викиди N_2O. Разом з тим, при поглинанні вуглецю (збільшенні кількості вуглецю у ґрунтах) вважається, що прямі викиди N_2O від мінералізації ґрунтів будуть рівні нулю.

Додатковим джерелом прямих викидів N_2O від сільськогосподарських ґрунтів, що відбуваються в Україні, є **культивація органічних ґрунтів** (ґрунтів із високим вмістом органічної речовини), площа яких в обробітку складає 471 602 га. Викиди від цієї діяльності прямо залежать від площі культивації, а розрахунок викидів здійснюється за коефіцієнтом викидів МГЕЗК за замовчуванням, який становить 8 кг $N_2O–N$ з гектару. Варто зазначити, що нові керівництва з інвентаризації парникових газів[14] наводять уточнені значення. Зокрема, для орних ґрунтів єдине значення змінюється з 8 до 13 кг $N_2O–N$ з гектару, а для пасовищ показник викидів встановлюється залежно від глибини меліоративної мережі осушення: для неглибокого осушення він складає 1,6 кг $N_2O–N$ з гектару, а для глибокого – 8,2 кг $N_2O–N$ з гектару.

Непрямі викиди закису азоту пов'язані із тим, що антропогенна діяльність із регулювання кількості азоту в ґрунті призводить до викидів NH_3 та оксидів азоту (NO_x), які хоч безпосередньо і не є парниковими газами, однак внаслідок ланцюгових реакцій призводять до додаткових викидів N_2O. Такі викиди утворюються внаслідок вивітрювання (депонування азоту в атмосферу) або вимивання та стоку (депонування азоту в ґрунт) сполук азоту з орних ґрунтів.

Процес вивітрювання азоту у вигляді NH_3 та оксидів азоту (NO_x) відбувається від внесених мінеральних та органічних добрив, включаючи сечу і гній, що залишаються на пасовищах. Згідно МГЕЗК 2006 частка азоту, що вивітрюється у вигляді NH_3 та оксидів азоту (NO_x), складає 10% для мінеральних азотних добрив та 20% для органічних добрив. В Україні однак для мінеральних добрив використовується показник 14,5%, отриманий з національних досліджень. Вважається, що 1% азоту у вигляді NH_3 та оксидів азоту (NO_x) перетвориться в атмосфері на N_2O. Таким чином, 0,145% азоту, внесеного із мінеральними добривами, та 0,2% азоту, внесеного із органічними добривами, потрапляє в атмосферу у вигляді непрямих викидів N_2O.

При внесенні азоту (із мінеральними добривами, органічними добривами чи рослинними рештками або внаслідок мінералізації) певна частка також може бути вимитою в нижні шари ґрунту. Найчастіше такі випадки пов'язані із перенасиченням азотом верхніх шарів ґрунту, де азот засвоюється біологічно. Як і у випадку із вивітрюванням, процес вимивання призводить до утворення речовин, що не є безпосередньо парниковими газами, однак послідовність хімічних реакцій призводить до викидів парникових газів. Зокрема, у процесі вимивання в основному утворюються молекули NH_4+ і NO_3-, які в подальшому є причиною утворення N_2O, що потрапляє в атмосферу[15]. Керівництва з національної інвентаризації за замовчуванням рекомендують використовувати коефіцієнт 0,3 в якості частки азоту від загальної кількості його внесення, що вимивається з ґрунту у вигляді NH_4+ і NO_3-. Однак, із цієї кількості не весь азот перетвориться в парниковий газ, а тільки 0,75%, відповідно до значення за замовчуванням, що рекомендується МГЕЗК. Отже, внаслідок вимивання азоту при його внесенні із мінеральними чи органічними добривами, гноєм на пасовищах,

14 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands

15 Розділ 11.2.2.1, том 4, МГЕЗК 2006

рослинними рештками чи мінералізацією від втрати ґрунтового вуглецю 0,225% азоту в кінцевому результаті перетвориться у N_2O, що потрапить в атмосферу.

Майбутні викиди від рослинництва будуть залежати, головним чином, від обсягів використання мінеральних добрив та зміни структури посівних площ. Культури, які вирощуються, визначають потреби у мінеральних добривах та кількість біомаси, яка залишається на полях та слугує додатковим джерелом азоту. З огляду на це, зміни у структурі посівних площ, які будуть відбуватися через зміни попиту та маржинальності окремих культур, вплив зміни клімату та інші фактори, будуть впливати на майбутню динаміку викидів.

У частині зміни структури посівних площ в Україні очікується поступове заміщення зернових культур олійними, що пояснюється вищою рентабельністю вирощування соняшника, ріпаку та сої. До 2033 року площа вирощування зернових може скоротитися до 11,3 млн га, тоді як площа олійних культур може зрости до 11,9 млн га. Соняшник залишатиметься основною олійною культурою (7,4 млн га), хоч площа вирощування ріпаку та сої дещо зросте. Серед зернових культур при цьому буде спосетерігатися заміщення пшениці кукурудзою.[16]

1.1.2 Землекористування – втрати і накопичення органічного вуглецю ґрунту

Сектор «Землекористування, зміни в землекористуванні та лісове господарство» є унікальним, тому що тільки в ньому можуть відбуватися поглинання парникових газів за рахунок росту біомаси, накопичення вуглецю в мертвій органічній речовині та в ґрунтах.

Базовим поняттям, за яким відбувається категоризація в секторі ЗЗЗЛГ є категорія землекористування, тобто фактичне використання земель у звітному році. Згідно із вказівками МГЕЗК таких категорій є шість:

A. Лісові площі;
B. Орні землі (рілля);
C. Сінокоси і пасовища (землі, вкриті трав'янистою рослинністю);
D. Водно-болотні угіддя;
E. Поселення;
F. Інші землі.

У секторі ЗЗЗЛГ категорії «Орні землі» та «Пасовища» є тими, де проводиться оцінка змін запасів вуглецю (в еквіваленті CO_2) в ґрунті ріллі та пасовищ і сінокосів.

Ґрунти або ґрунтова органічна речовина є одним із основних резервуарів, в якому відбувається довготермінове зберігання вуглецю. В залежності від різних кліматичних та господарських умов цей запас може збільшуватися чи зменшуватися. Зокрема, це залежить від процесів розкладання біомаси та мертвої органічної речовини мікроорганізмами, заходів агротехніки, внесення додаткового вуглецю із органічними добривами тощо. Зміна запасів вуглецю (ЗЗВ) в ґрунтах може відбуватися в усіх категоріях сектору ЗЗЗЛГ. Однак, оскільки

16 На основі прогнозу КШЕ Агроцентру із використанням економетричної моделі часткової рівноваги AGMEMOD. Див. KSE. Center for Food and Land Use Research. AgroDigest Ukraine. January, 2025, https://kse.ua/AgroDigest_Ukraine_January_2025.pdf

найбільш родючі ґрунти зазвичай використовуються для ведення сільського господарства, саме в категорії «Орні землі» цей резервуар має найбільше значення в обліку викидів та поглинань парникових газів.

Категорія орних земель перетворилася із поглинача вуглецю на початку 1990-х років на суттєве джерело викидів через втрати органічного вуглецю ґрунту, що пов'язано із змінами практик ведення сільського господарства. Основними причинами є різке зменшення використання органічних добрив і, відповідно, обсягів внесення вуглецю у ґрунти, а також зміни у структурі посівних площ.

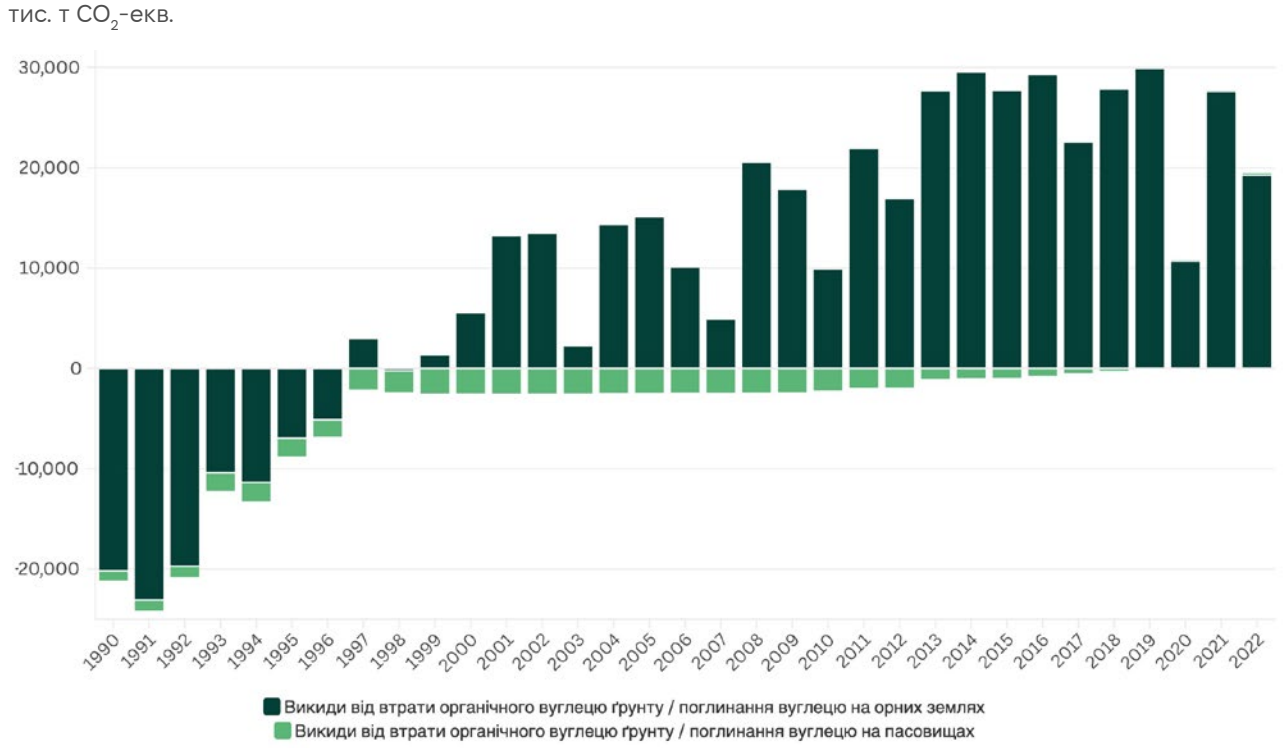


Рисунок 12. Динаміка викидів / поглинання внаслідок зміни вмісту органічного вуглецю в ґрунтах

Разом з тим, **сектор сільського господарства має значний потенціал для збільшення поглинання вуглецю за рахунок сталих практик**, зокрема, технологій мінімального обробітку ґрунту, використання покривних рослин, збільшення кількості використання органічних добрив тощо. Водночас, існують значні обмеження щодо застосування таких технологій, які пов'язані, в тому числі, із кліматичними особливостями (наприклад, брак вологи для вирощування покривних культур), обмеженим обсягом доступних органічних добрив, економічними та фінансовими бар'єрами, а також недостатнім рівнем поінформованості про детальні технологічні аспекти. В умовах України у багатьох випадках мова йде, перш за все, про зменшення викидів від втрати органічного вуглецю ґрунту, а вже потім про потенціал збільшення поглинання.

1.1.3 Тваринництво

Тваринництво, хоч і є важливою галуззю економіки України, традиційно в останні десятиліття займає меншу роль у порівнянні з рослинництвом.

Викиди від тваринництва пов'язані із кишковою ферментацією та поводженням із відходами. Найбільше викидів утворюється від великої рогатої худоби, оскільки вона є основним джерелом викидів метану від кишкової ферментації, а також значним джерелом викидів від поводження з відходами.

В Україні вирощування великої рогатої худоби представлене двома сегментами: сільськогосподарськими підприємствами та домогосподарствами. Сільськогосподарські підприємства та ферми використовують промислові технології, мають кращі породи тварин та вищу якість кормів. Тоді як домогосподарства, як правило, доглядають одну тварину або кілька тварин та використовують молоко для власних потреб або продають у невеликих обсягах. В обох сегментах протягом 30 років сталося різке скорочення поголів'я і відбулися кардинальні зміни у структурі виробництва тваринних продуктів. Поголів'я ВРХ на підприємствах скоротилося із 21 млн голів до 1, а у домогосподарств – із 3,5 млн до 1,2 млн голів. Як наслідок, у структурі виробництва і молока, і м'яса на перше місце вийшли саме домогосподарства. Хоч в обох сегментах відбувалося зростання ефективності, сільськогосподарські підприємства суттєво виграють у продуктивності виробництва молока (6611 кг на рік на голову проти 4569 кг на рік на голову) та м'яса (середня забійна вага складає 225 кг проти 151 кг на голову), але навіть така перевага не може компенсувати вплив різкого падіння поголів'я.[17]

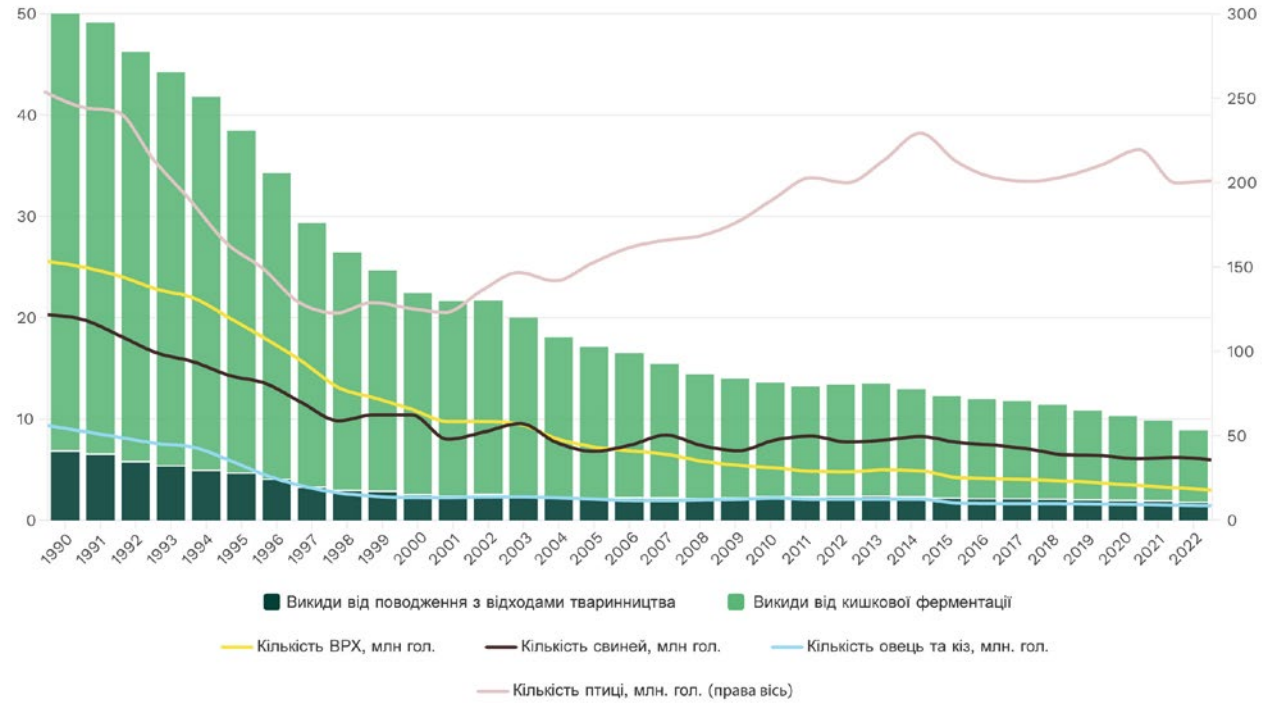


Рисунок 13. Динаміка та структура викидів у тваринництві та дані про поголів'я тварин (млн т CO_2-екв.)

Оскільки протягом останніх трьох десятиліть спостерігається чітка тенденція зниження поголів'я більшості видів тварин, так само знижуються і викиди парникових газів від

17 Eurointegration 1.0: Sector overview. Current state and trends of cattle rearing, cattle meat and milk sectors in Ukraine. Petro Pyvovar, Oleksandr Rozhkov, https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/Cattle_UA.pdf

тваринництва. Від початку 1990-х років поголів'я великої рогатої худоби та свиней скоротилося на близько 80%. Лише поголів'я птиці після скорочення до початку 2000-х років демонструвало тенденцію до зростання протягом останніх десятиліть і на піку у 2020 році складало 86% від рівня 1990 року. Однак відходи птахівництва відповідають за дуже незначну частку викидів парникових газів від тваринництва.

Під час війни поголів'я тварин ще більше скоротилося і станом на 2023 рік поголів'я великої рогатої худоби, свиней та птахів залишалися на 16%, 11% та 12% нижчими за рівні 2021 року.[18]

Подальша динаміка викидів буде напряму залежати від динаміки поголів'я тварин, в тому числі у фермерських господарствах та у населення, і, насамперед, динамікою поголів'я великої рогатої худоби. При цьому, викиди на одиницю створеної додаткової вартості будуть залежати від продуктивності тварин, яка буде вищою на фермерських господарствах, де значна частка тварин західної генетики.

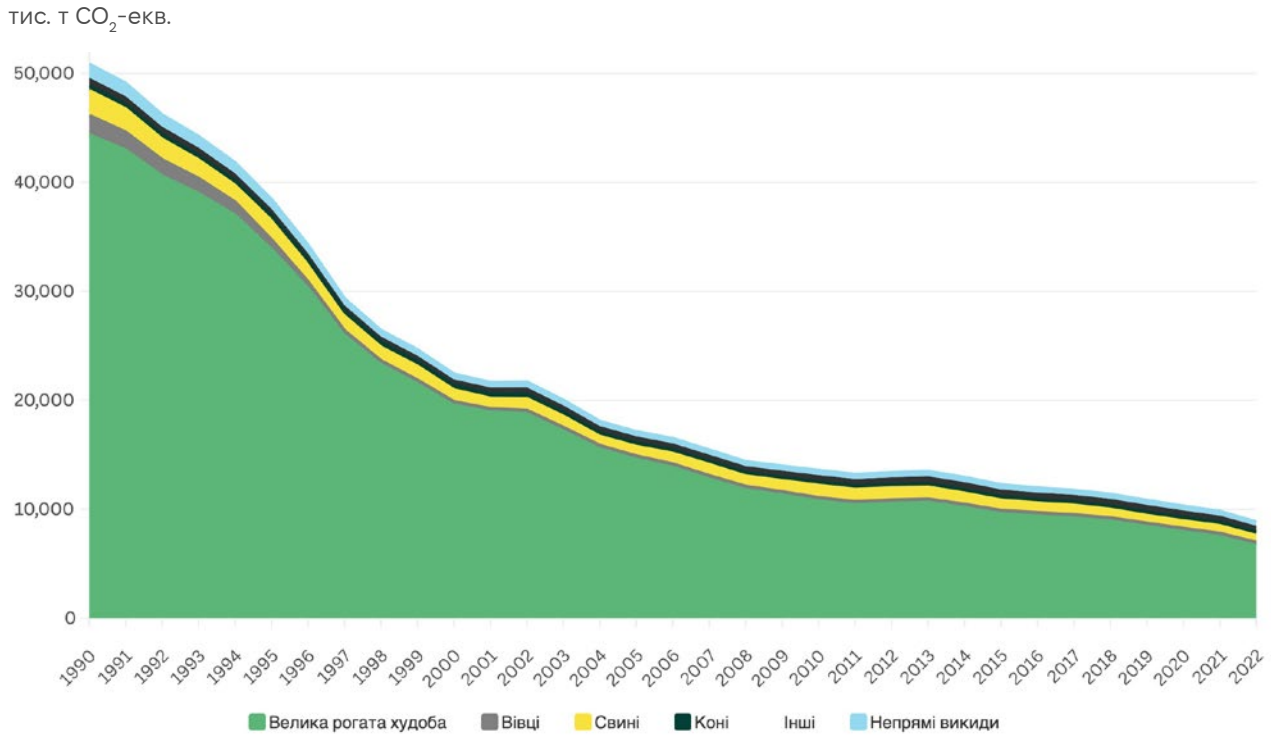


Рисунок 14. Викиди парникових газів у розрізі видів тварин

У січні 2025 року Уряд України затвердив пріоритети розвитку тваринництва[19], аби стимулювати досягнення конкурентоспроможного сталого виробництва продуктів тваринництва в обсязі, що забезпечує потреби внутрішнього ринку та збільшення експорту. Концепція, зокрема, передбачає здійснення заходів щодо стабілізації і збільшення поголів'я сільськогосподарських тварин, в першу чергу великої рогатої худоби. Зокрема, передбачається

18 KSE. Center for Food and Land Use Research. AgroDigest Ukraine. January, 2025, https://kse.ua/AgroDigest_Ukraine_January_2025.pdf

19 Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 січня 2025 р. № 76-р «Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми розвитку тваринництва на період до 2033 року», https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-kontseptsii-derzhavnoi-tsilovoi-ekonomichnoi-prohramy-rozvytku-tvarynnytstva-na-period-do-2033-roku-76r-310125

збільшення кількості сільськогосподарських тварин у сільськогосподарських підприємствах (збільшення кількості корів у сільськогосподарських підприємствах порівняно з показниками на кінець 2024 року — до 6%) та окремих селянських фермерських господарствах. Крім того, передбачається здійснення заходів для зменшення впливу тваринництва на стан навколишнього природного середовища і клімат, створення інфраструктури поводження з побічними продуктами тваринного походження, не призначеними для споживання людиною, та запровадження інструментів підтримки для розвитку потужностей з переробки продуктів тваринництва.

Уряд України також відзначає загрозливу тенденцію порушення пропорційності розвитку галузей тваринництва і рослинництва. Якщо в 1990 році частки виробництва продукції тваринництва і рослинництва в структурі виробництва продукції сільського господарства були практично рівними, що відповідало європейським тенденціям, то в 2010 році частка продукції тваринництва зменшилася до 28,3%, а в 2023 році — до 18,9%. Основною причиною такого дисбалансу є те, що рентабельність тваринництва є суттєво нижчою, ніж рентабельність вирощування високомаржинальних експортноорієнтованих рослинницьких культур, а також потребує більшого обсягу капітальних інвестицій і, відповідно, має триваліші періоди окупності. Заходи зі зменшення дисбалансу, зокрема, включають збільшення обсягів використання продуктів рослинництва для виробництва продуктів тваринництва, активізація розвитку виробництва кормової суміші та збільшення обсягів внесення органічних добрив.

Незважаючи на заявлені цілі зі стабілізації поголів'я тварин, аналітики очікують, що історичні тенденції збережуться і скорочення виробництва молока та яловичини буде продовжуватися, тоді як виробництво курятини (до 1,7 млн т або на 28% до 2033 року у порівнянні із 2023) та яєць зростатиме. За окремими оцінками, прогнозується, що поголів'я великої рогатої худоби до 2033 року скоротиться на 49% у порівнянні із 2023 роком і Україна залишатиметься імпортером яловичини. Продуктивність виробництва молока зросте із 5.7 до 6.4 тонн на корову на рік, але через зменшення поголів'я виробництво молока скоротиться із 7,4 млн т до 5,9 млн т у 2033 році. Такі тенденції пов'язані із прибутковістю птахівництва, в тому числі за рахунок ефекту масштабу та вертикальної інтеграції, та зміною харчових звичок населення – очікується подальше зростання споживання курятини до 32.3 кг на особу до 2033 року та витіснення із раціону яловичини як основного джерела білка.[20] Споживання яловичини натомість буде й надалі скорочуватися (споживання скоротилося із 10,5 кг на особу на рік у 2008 році до 7,3 кг на особу у 2021 році).[21]

Такі тенденції розвитку тваринництва свідчать про подальші очікуванні скорочення викидів парникових газів у даній категорії.

1.2 Споживання палива та енергії

Викиди від споживання палива та енергії обліковуються в різних категоріях національного кадастру, однак складають суттєву частину кліматичного впливу діяльності агросектора. Ця категорія викидів включає викиди від спалювання палива сільськогосподарською технікою,

20 На основі прогнозу КШЕ Агроцентру із використанням економетричної моделі часткової рівноваги AGMEMOD. Див. KSE. Center for Food and Land Use Research. AgroDigest Ukraine. January, 2025, https://kse.ua/AgroDigest_Ukraine_January_2025.pdf

21 Eurointegration 1.0: Sector overview. Current state and trends of cattle rearing, cattle meat and milk sectors in Ukraine. Petro Pyvovar, Oleksandr Rozhkov, https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/Cattle_UA.pdf

спалювання палива стаціонарними об'єктами (наприклад, на фермах, сушарках тощо), а також непрямі викиди від споживання електроенергії сільськогосподарськими підприємствами.

Обсяги споживання палива та енергії і відповідні викиди парникових газів суттєво скоротилися у порівнянні із 1990 роком, однак наразі перебувають на відносно сталому рівні або навіть демонструють певне зростання. Ключовим джерелом викидів є використання пального сільськогосподарською технікою.

Дані про обсяги споживання палива та енергії базуються на основі статистичної інформації про використання паливно-енергетичних ресурсів підприємствами галузі «Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство», даних Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції парникових газів в Україні та окремих припущень для закриття прогалин у даних. Для прикладу, дані про обсяги споживання бензину моторного та дизельного палива для 2006-2015 та 2017-2020 років базуються на інформації статистичних збірників «Паливно-енергетичні ресурси України»[22], тоді як для інших років оцінені на основі даних національного кадастру про викиди від позашляхової техніки.[23] Дані про споживання електроенергії базуються на інформації продуктового енергобалансу України[24], але оскільки дані не оновлюються з 2022 року, споживання для 2021-2022 років прийнято на рівні 2020 року.

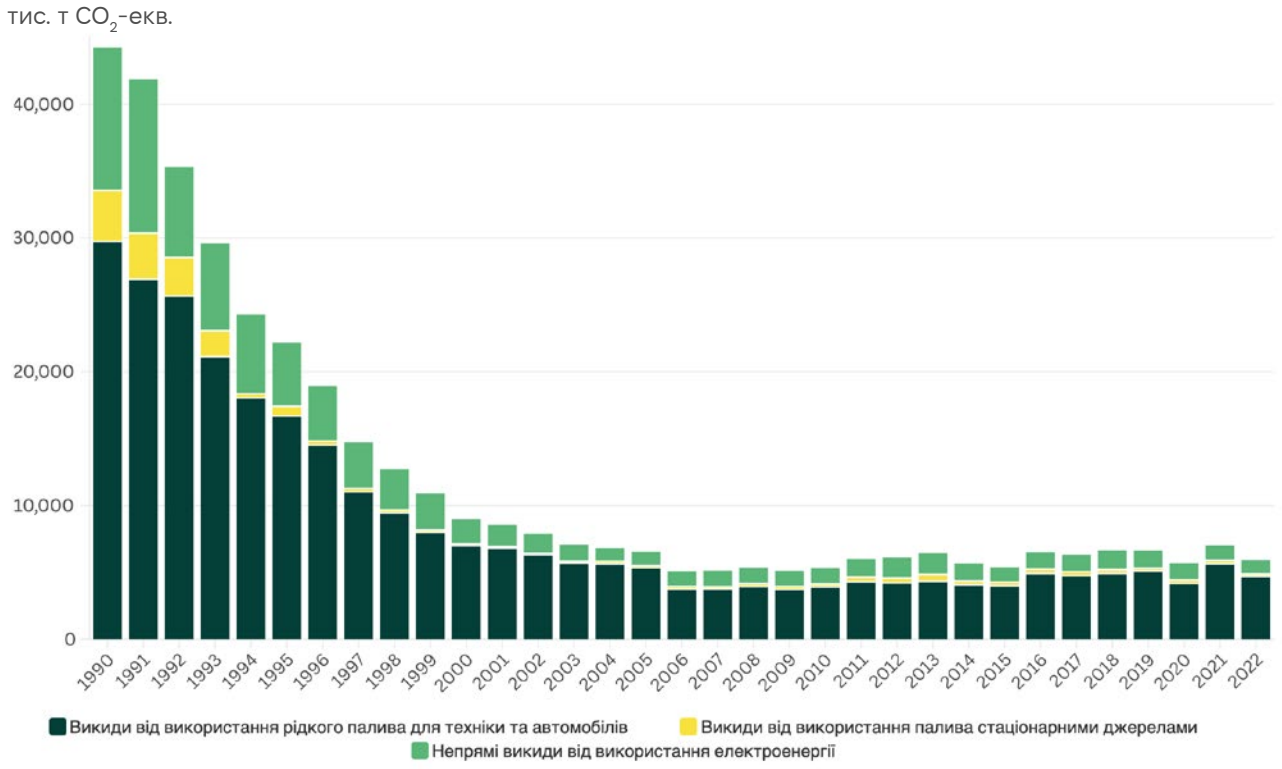


Рисунок 15. Динаміка та структура викидів від споживання палива та енергії

22 Держстат. Паливно-енергетичні ресурси України, https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/5a/Arch_per_bl.htm

23 Прийнято, що близько 90% викидів в категорії 1.A.3.e.ii. Off-road vehicles and other machinery відноситься до сільськогосподарської техніки. Даний відсоток оцінений на основі порівняння розрахованих викидів для 2006-2015 та 2017-2020 років і викидів національного кадастру у даній категорії. Ця категорія включає викиди від спалювання палива комбайнами, тракторами та іншою технікою, що використовується в сільському господарстві, а також позашляховою технікою гірничо-видобувних підприємств.

24 Energy Map, Продуктовий енергобаланс України, https://map.ua-energy.org/uk/resources/e09e3aee-2b1f-4a23-b039-bd3674a830bf/

Непрямі викиди від споживання електроенергії оцінені на основі середнього коефіцієнта викидів для електроенергії в енергосистемі України для 2020-2022 років[25] та спрощеного розрахунку питомих викидів на основі загального виробництва електроенергії в Україні та загальних викидів від виробництва електричної енергії для інших років.

Викиди від використання палива стаціонарними джерелами базуються на даних національного кадастру.[26]

25 Офіс зеленого переходу. Коефіцієнт викидів парникових газів для виробництва та споживання електроенергії. Аналітичне дослідження та опис методологічного підходу до розрахунку, https://gto.dixigroup.org/assets/images/files/filesdixi-gto-electricity-grid-ef.pdf

26 Категорія 1.A.4.c. Agriculture/forestry/fishing

2. Потенціал скорочення викидів парникових газів та збільшення поглинання вуглецю у сільському господарстві

Сільське господарство відноситься до секторів, де складно, а інколи загалом неможливо досягти значного скорочення викидів парникових газів. Разом з тим, сільське господарство має великий потенціал для збільшення поглинання вуглецю і відповідно компенсації наявних джерел викидів.

Відповідно до Звіту третьої робочої групи 6 оціночного циклу Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК) сільське господарство може забезпечити значні обсяги скорочень викидів уже у короткостроковій перспективі при відносно низьких витратах. Загальний глобальний потенціал скорочення викидів парникових газів у сільському господарстві, вартість якого знаходиться у межах 100 доларів за тонну CO_2-екв., оцінюється на рівні близько 4 млрд тонн CO_2-екв. на рік. Левову частку скорочень у сільському господарству (3,4 млрд тонн CO_2-екв. або понад 80% від економічного потенціалу) можна досягти завдяки різним підходам до збільшення поглинання вуглецю ґрунтами.[27]

Безперечно, ключовим пріоритетом розвитку сектора у період післявоєнного відновлення буде підвищення продуктивності сільськогосподарських виробників через збільшення капітальних інвестицій, використання інноваційних технологій та розвиток переробки сільськогосподарської сировини. Водночас, важливо також забезпечити мінімізацію негативного впливу на довкілля та викиди парникових газів, що цілком досяжно, зважаючи на наявні кліматичні технології для агросектору та великий потенціал для поглинання вуглецю у сільському господарстві України.

Поєднання підтримки кліматичних технологій, доступу до кліматичного фінансування і побудови ефективної системи відстеження позитивного кліматичного впливу як на рівні окремих проєктів і програм, так і на рівні національного обліку викидів парникових газів сприятиме відновленню обсягів виробництва із меншими обсягами викидів.

Динаміка майбутніх викидів парникових газів буде залежати, в тому числі, й від структурних змін в агропромисловому секторі, однак історичні дані дозволяють проаналізувати ключові драйвери викидів та їх потенційні обсяги за різних сценаріїв.

Виробництво і експорт сировинних товарів (зернових, олійних культур та рослинної олії) буде продовжувати зберігатися на високому рівні, оскільки є висококонкурентним на міжнародному рівні і є важливим джерелом надходження іноземної валюти.

Водночас, українські сільськогосподарські виробники мають відчутний потенціал для підвищення ефективності використання мінеральних добрив та енергоресурсів. Для прикладу, окремі наукові дослідження демонструють, що виробники пшениці та соняшника можуть в середньому збільшити урожайність на 19%, зменшуючи при цьому викиди парникових газів від використання мінеральних добрив на 16%. Хоч подібні дослідження пов'язані із значним рівнем невизначеності, в тому числі через обмеження якості статистичних даних,

27 IPCC. Sixth Assessment Report. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/

вони демонструють суттєвий потенціал підвищення продуктивності без збільшення викидів парникових газів й те, що існує суттєва частка виробників, яка поступається ефективністю лідерам галузі. [28]

Розвиток переробки сільськогосподарської продукції (наприклад, переробки кукурудзи із виробництво крохмалю, глюкози та інших продуктів), хоч і буде пов'язаний із додатковим споживанням ресурсів та викидами парникових газів, в цілому відноситься до галузей із низькою вуглецевою інтенсивністю. За даними Євростат, обсяг викидів переробної галузі на одиницю валової доданої вартості є суттєво меншими за відповідний показник для сільського господарства та багатьох інших галузей промисловості.[29]

2.1 Прогнози НПЕК

Національний план з енергетики та клімату (НПЕК) на період до 2030 року[30] – це один із ключових стратегічних документів, який спрямований на узгодження екологічної, енергетичної та економічної політики для сталого розвитку України.

НПЕК містить також інформацію про політики та заходи для скорочення викидів парникових газів в категорії «Сільське господарство», однак такі потенційні скорочення оцінені як дуже обмежені, оскільки розглядається впровадження лише двох додаткових політик щодо органічного рослинництва та точного землеробства.

Таблиця 1. Очікувані викиди в категорії «Сільське господарство», млн т CO_2-екв.

Сценарій	2021	2022	2030	2040	2050
WEM сценарій – обмежене впровадження поточного законодавства	47	35.7*	42.4	48.0	51.0
WAM сценарій – впровадження додаткових політики			41.4	47.8	50.7

* відповідно до попередніх оцінок, наведених у НПЕК

Таким чином, НПЕК передбачає поступове збільшення обсягів викидів у порівнянні із поточною ситуацією та поступове відновлення рівнів, які спостерігалися до війни з подальшим поступовим зростанням. Різниця між рівнями викидів за двома сценаріями не перевищує 1 млн т CO^2-екв.

НПЕК не наводить оцінок для сектору землекористування у зв'язку із війною та пов'язаною з нею відсутністю надійних даних про сектор ЗЗЗЛГ.

28 Halytsia, O., Vrachioli, M., Nivievskyi, O., & Sauer, J. (2024). Assessing the Environmental Performance of Agricultural Production Using a Parametric Approach: An Application for Crop Producers in Ukraine. Eastern European Economics, 1–23. https://doi.org/10.1080/00128775.2024.2368042

29 Eurostat, Air emissions intensities by NACE Rev. 2 activity, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_aeint_r2/default/table?lang=en

30 Україна затвердила Національний план з енергетики та клімату в день початку перемовин про вступ до ЄС, https://www.kmu.gov.ua/news/ukraina-zatverdyla-natsionalnyi-plan-z-enerhetyky-ta-klimatu-v-den-pochatku-peremovyn-pro-vstup-do-ies

2.2 Оцінка технологічних потреб

У 2019-2021 роках у рамках проєкту «Оцінка технологічних потреб»[31] було обрано пріоритетні технології для скорочення викидів парникових газів у сільському господарстві, для кожної з якої на основі широких консультацій із зацікавленими сторонами були розроблені пропозиції щодо політик та заходів для підтримки поширення технологій.

На основі аналізу наявних досліджень та анкетування українських експертів щодо визначення пріоритетних технологій (у контексті скорочення викидів парникових газів) було обрано п'ять пріоритетних технологій:

- Органічне землеробство,
- Технології мінімального обробітку землі (low-till, no-till, strip-till тощо),
- Виробництво біогазу з відходів тваринництва,
- Виробництво і використання твердого біопалива з відходів сільського господарства,
- Використання інформаційних та телекомунікаційних технологій для скорочення викидів парникових газів у сільському господарстві.

Загальний потенціал скорочення викидів парникових газів для 5 пріоритетних технологій було оцінено в обсязі 24,6 млн т CO_2-екв. Загальний потенціал усіх технологій, які розглядалися у дослідження, складав 34,5 млн т CO_2-екв.

2.3 Підхід до оцінки кліматичних технологій та загальний потенціал скорочень викидів парникових газів

Потенціал скорочення викидів у сільському господарстві визначається наявною структурою викидів та технологіями, які доступні на ринку і можуть бути адаптовані для використання в Україні.

Потенціал скорочення викидів парникових газів та збільшення поглинання вуглецю можна розділити на такі основні три напрями:

- Скорочення викидів парникових газів у сільському господарстві (наприклад, зменшення викидів від використання мінеральних добрив та палива, зменшення викидів від покращення систем поводження з відходами тощо);
- Збільшення поглинання вуглецю у сільському господарстві (наприклад, за рахунок використання покривних культур, технологій мінімального обробітку ґрунту та органічного землеробства);
- Забезпечення ресурсів для скорочення викидів в інших секторах (наприклад, за рахунок постачання сировини для виробництва твердого біопалива, рідкого біопалива чи біогазу та забезпечення скорочення викидів від споживання викопного палива в енергетиці, промисловості та транспорті).

Водночас, окремі технології можуть одночасно приводити до скорочення викидів та збільшення поглинання вуглецю, а також мати додаткові переваги (наприклад, технологія

31 Повні тексти звітів та інших документів, підготовлених в рамках проєкту, доступні за посиланням https://tech-action.unepccc.org/country/ukraine

нульового обробітку ґрунту дозволяє скорочувати викиди від споживання палива та сприяє накопиченню вуглецю у ґрунті).

Кліматичні технології у сільському господарстві розподілені на такі категорії:

- Технології та заходи зміни практик обробітку ґрунту;
- Технології та заходи підвищення ефективності використання добрив;
- Технології та заходи, пов'язані із збільшенням внесення вуглецю у ґрунт;
- Технології та заходи, пов'язані із зміною практик землекористування;
- Технології скорочення викидів у тваринництві;
- Технології, пов'язані із енергетичним використанням сільськогосподарської біомаси.

Потенціал скорочення викидів і збільшення поглинання розглядається у зв'язку зі структурою викидів сектора, а також ключовими драйверами, які визначатимуть динаміку викидів у майбутні роки і які можна використовувати для прогнозування або моделювання.

Наведені попередні оцінки потенціалу скорочення та вартості технологій можуть надалі уточнюватися, в тому числі на основі консультацій із зацікавленими сторонами і додаткових досліджень. **Результати оцінки будуть використані для розробки національного вуглецевого бюджету та загальної кривої граничних витрат скорочення викидів парникових газів**.

У рамках дослідження загальний потенціал скорочення викидів оцінено на рівні 39 млн т CO_2-екв., причому понад половину потенціалу представлено потенціалом зменшення викидів від втрати органічного вуглецю ґрунту / збільшенням поглинання вуглецю.

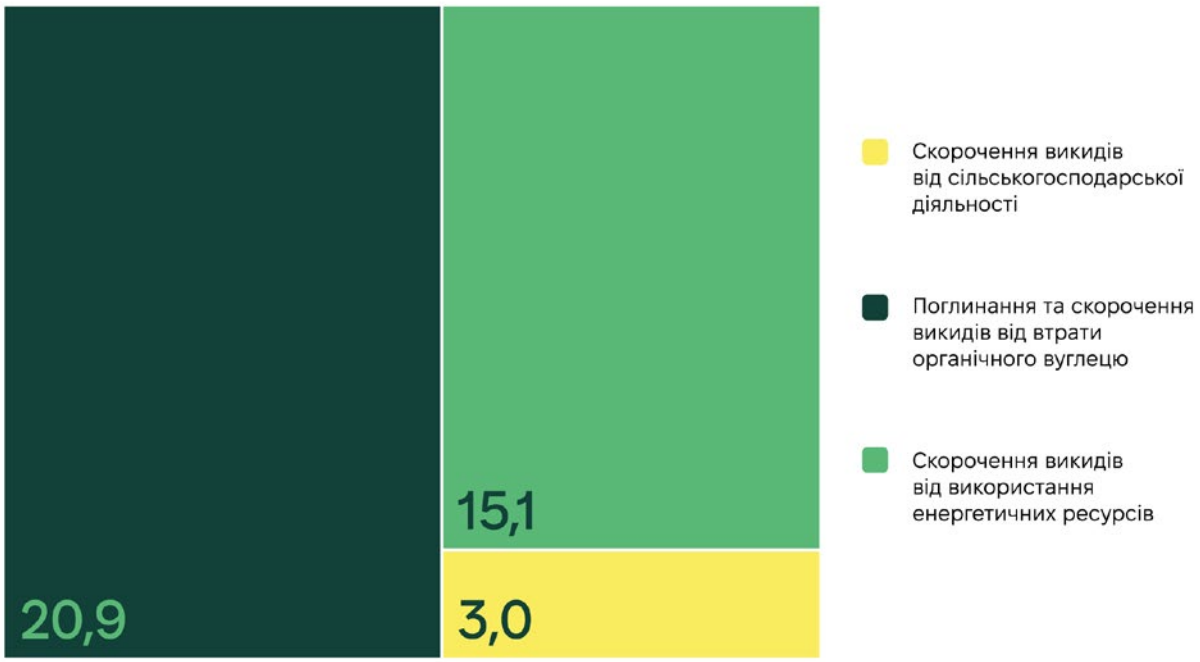


Рисунок 16. Оцінений потенціал скорочення викидів парникових газів / збільшення поглинання вуглецю (млн т CO_2-екв.)

Оцінка здійснювалася із використанням консервативних припущень, тому досяжні скорочення викидів можуть бути суттєво більшими.

У роки післявоєнного відновлення ключова увага буде приділена економічному відновленню та продовольчій безпеці, тому пріоритетом в частині декарбонізації сектора мають бути технології, які одночасно сприяють збільшенню продуктивності виробництва, адаптації до наслідків зміни клімату та доступу до нових джерел кліматичного фінансування. Таким чином, увага має бути приділена передусім технологіям поглинання вуглецю і забезпечення ресурсів для скорочення викидів в інших секторах, а також досяжному скороченню викидів у секторі сільського господарства.

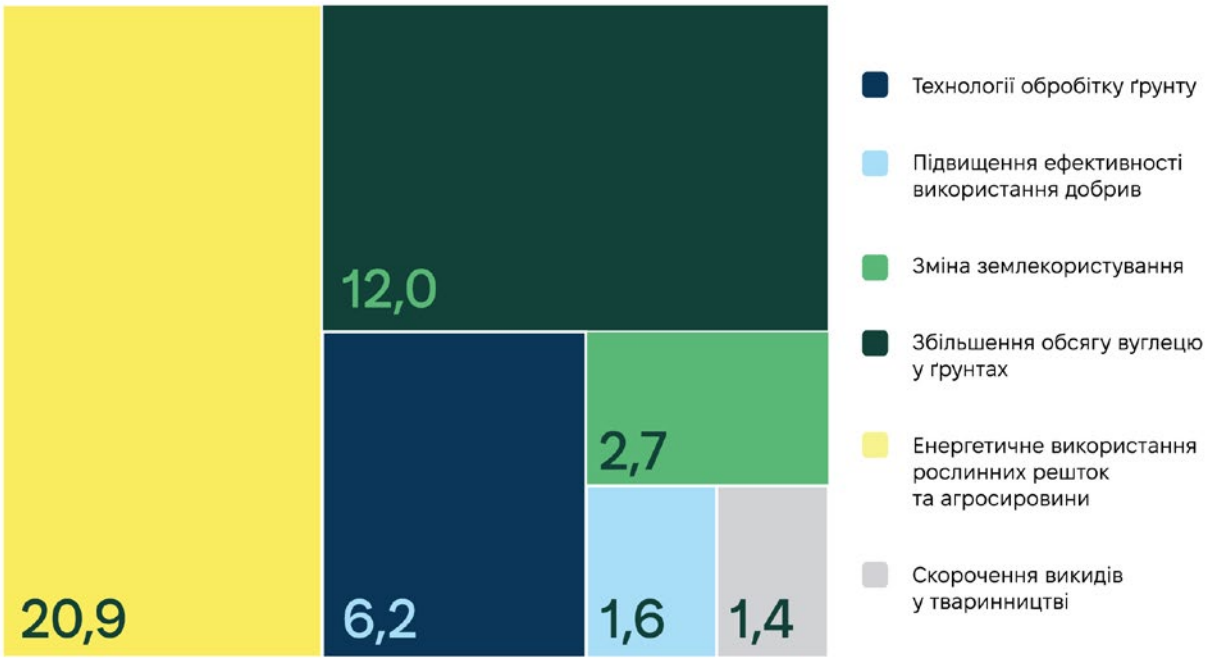


Рисунок 17. Потенціал скорочення викидів парникових газів / збільшення поглинання вуглецю у розрізі основних груп технологій (млн т CO_2-екв.)

Окремі технології, описані у дослідженні, на даний час не досягли повноцінної комерціалізації, або немає повної інформації про їх вартість та потенціал скорочення викидів в умовах України. З огляду на це, важливо проводити додаткові дослідження та збір інформації та оновлювати прогнози потенціалу технологій (наприклад, добрива із контрольованим виділенням азоту, кормові добавки для тваринництва тощо). Передусім, уточнення інформації повинне стосуватися потенційних рівнів запровадження технологій (наприклад, площі земель, на яких використовується технологія), капітальних та операційних витрат, а також оцінок скорочення викидів або збільшення поглинань.

Для України цілком досяжними та виправданими є цілі зведення до нуля викидів від втрати органічного вуглецю ґрунту, а також досягнення додаткових скорочень викидів завдяки використання сільськогосподарської сировини в енергетичних цілях і певного незначного скорочення викидів від рослинництва та тваринництва.

Крива граничних витрат скорочення викидів дозволяє ранжувати технології та заходи за рівнем їх економічної ефективності та демонструвати одночасно масштаб (ширина

стовпців) та вартість (висота стовпців) зниження викидів парникових газів або збільшення поглинання вуглецю.

При побудові кривої граничних витрат враховуються результати аналізу кожної технології в частині потенціалу скорочення викидів, капітальних та операційних витрат, як описано у наступних розділах. При аналізі використовувався консервативний підхід, відповідно до якого при оцінці потенціалу скорочень із можливого діапазону обиралися менші значення рівня запровадження технології та скорочення викидів на гектар або іншу одиницю виміру, а при оцінці капітальних та операційних витрат – вищі значення із можливих діапазонів.

Оцінка рівнів запровадження технології враховувала взаємодію між різними технологіями та заходами. Для прикладу, при оцінці потенціалу енергетичного використання рослинних решток враховувався потенціал запровадження технологій мінімального обробітку ґрунту, які потребують збереження рослинних решток на полях, і прийняті значення є суттєво меншими за економічний потенціал.

Оцінки вартості скорочень викидів залежать від багатьох припущень та змінюються в часі, враховуючи розвиток технологій, покращення знань про ефективність технологій в частині скорочення викидів та зміну загальних економічних показників (ставка дисконтування, показник інфляції, вартість енергоресурсів тощо). З огляду на це, важливо використовувати криву граничних витрат як «живий» інструмент для аналізу і планування державної політики та розробки національного вуглецевого бюджету із періодичним оновленням даних.

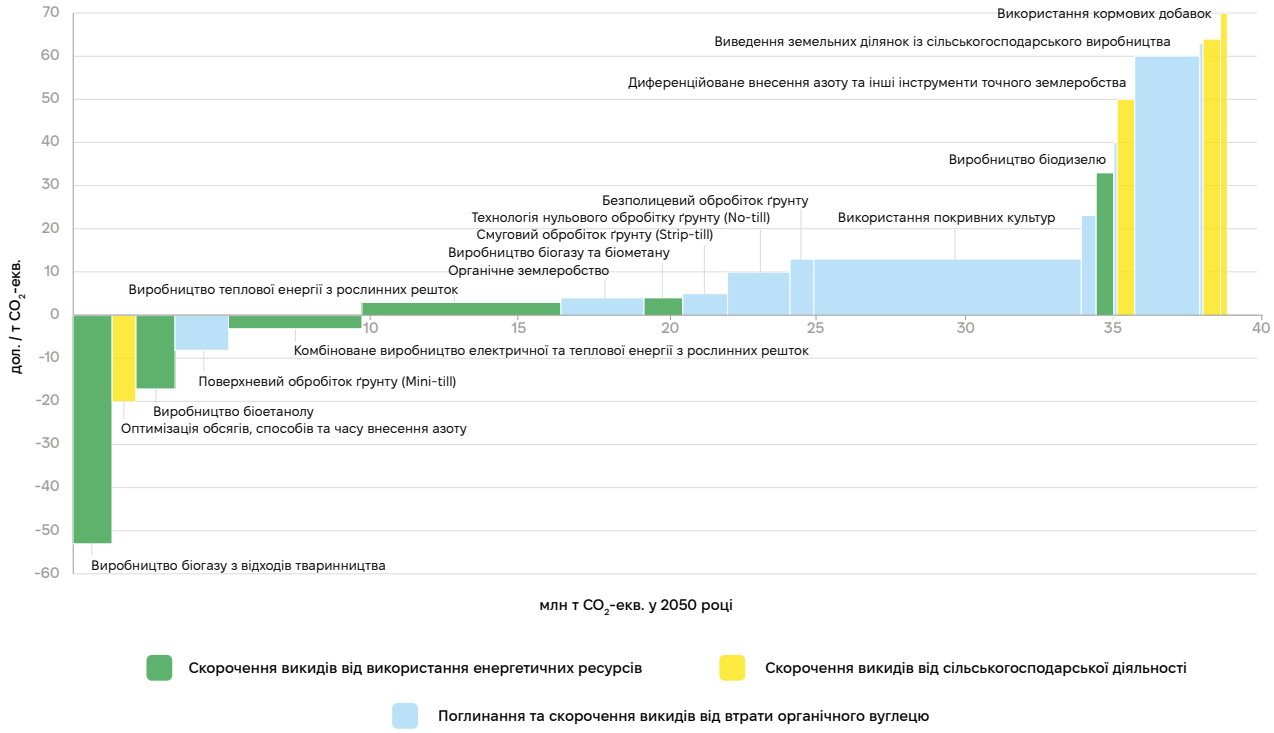


Рисунок 18. Крива граничних витрат скорочення викидів

Джерело: індикативні розрахунки на основі результатів дослідження; графіка створена за допомогою інструменту https://tamc.github.io/macc/

Технології, для яких граничні витрати скорочення викидів мають від'ємні значення, як от виробництво біогазу з відходів тваринництва чи оптимізація обсягів і способів внесення азотних добрив, **є економічно вигідними**, тому потрібно визначати і мінімізувати бар'єри і підвищувати спроможність для їх масштабування. **Технології, для яких граничні витрати скорочення викидів є меншими за 20 дол. / т CO_2-екв.**, як от різні практики мінімального обробітку ґрунту та використання покривних культур, **мають можливості для залучення кліматичного фінансування** через механізми вуглецевих ринків і можуть бути привабливими для підтримки міжнародними фінансовими організаціями, які враховують ціну на вуглець при прийняті рішень щодо фінансування. Технології із граничними витратами скорочення викидів понад 50 дол. / т CO_2-екв., вочевидь, потребують додаткового розвитку або додаткових інструментів підтримки для масштабування впровадження.

Наведені розрахунки є усередненими та узагальненими для національного рівня та довгострокової перспективи. Високий рівень непевності щодо потенціалу скорочення і вартості окремих технологій обумовлює необхідність постійного уточнення та покращення даних, але крива граничних витрат є ефективним інструментом аналізу і визначення пріоритетів для скорочення викидів парникових газів.

Схожі криві граничних витрат скорочення викидів можуть будуватися і на рівні окремих компаній із використанням більш деталізованих даних про пріоритетні технології, потенціал їх запровадження, вартість капіталу та відповідну ставку дисконтування тощо.

2.4 Виклики підтвердження скорочення викидів та збільшення поглинання вуглецю

Сільське господарство є одним із найскладніших секторів для обліку викидів парникових газів і оцінки скорочень викидів або збільшення поглинання вуглецю.

Різні організації активно працюють над розвитком методологій для оцінки скорочень викидів та поглинання вуглецю внаслідок сталих практик сільського господарства та «вуглецевого фермерства». Протягом останніх кількох років відбувається пошук балансу між складністю застосування, надійністю оцінок та доступністю для фермерів і сільськогосподарських підприємств, враховувати розвиток практик моніторингу поглинання вуглецю. Разом з тим, надійність і довіра до оцінок досягнутих скорочень викидів парникових газів впливає на вартість вуглецевих одиниць та попит на них від зацікавлених сторін. Іншими словами, можуть існувати методики, які дозволяють швидкий розрахунок на основі певних стандартних значень, але точність таких розрахунків буде низькою і відповідні вуглецеві одиниці матимуть низьку вартість або загалом будуть неліквідними. З іншого боку, можуть існувати методики, які вимагатимуть значну кількість інструментальних вимірів та містити інші запобіжники для консервативної оцінки скорочень викидів, однак складність і висока вартість їх використання може стати серйозними перепонами для відповідних проєктів.[32]

32 Микола Шлапак. Перспективи використання механізмів вуглецевого фермерства для підтримки розвитку природоорієнтованих рішень у сільському господарстві, https://nbs.wwf.ua/wp-content/uploads/2022/10/shlapak_stattia_perspektyvy-vykorystannia-mekhanizmiv-vuhletsevoho-fermerstva_compressed.pdf

2.4.1 Потреба в удосконаленні обліку на національному рівні

Основним підходом в оцінці викидів парникових газів в категорії «Сільськогосподарські ґрунти» є розрахунок на основі даних про діяльність та коефіцієнтів викидів. Підхід оцінки викидів і поглинань парникових газів в категорії «Орні землі» є дещо іншим, оскільки в секторі ЗЗЗЛГ вуглець може перебувати певний час в зв'язаному стані в одному із резервуарів (жива біомаса, мертва органічна речовина, ґрунт). Тому важливим для обліку викидів і поглинань парникових газів в секторі ЗЗЗЛГ є кількість вуглецю в кожному резервуарі на початку та в кінці звітного періоду. При скороченні кількості вуглецю в резервуарі вважається, що він викидається в атмосферу.

В Україні існує необхідність суттєвого удосконалення обліку викидів в рамках окремих категорій та джерел викидів під час підготовки щорічних національних кадастрів, оскільки вплив деяких технологій скорочення викидів неможливо відстежити в рамках існуючої системи національної інвентаризації викидів парникових газів і досить складно підтверджувати через систему моніторингу, звітності та верифікації. Основні проблемні питання описані нижче, однак даний огляд не є вичерпним.

Облік площ земель

Дані про площі земель у розрізі категорій землекористування є одним із базових видів інформації, що використовується для обліку викидів парникових газів, пов'язаних із сільським господарством..

В Україні облік земель відбувається в Державному земельному кадастрі відповідно до Закону України «Про Державний земельний кадастр»[33] та Порядку ведення Державного земельного кадастру[34]. Цими актами передбачено виділення категорії земель «сільськогосподарські угіддя», що включають в себе ріллю, пасовища, сінокоси, перелоги, теплиці та багаторічні насадження. З точки зору методичних вказівок МГЕЗК, така категоризація не повністю співпадає із категорією «Орні землі», оскільки включає землі, вкриті трав'яною рослинністю, що відповідають категорії «сінокоси та пасовища». З огляду на це, національна статистика повинна бути скорегована для цілей національної інвентаризації. Державний земельний кадастр в нинішній час продовжує наповнюватись оновленими даними[35], тому інформація у ньому є неповною, а відтак не відповідає принципу «повноти» національної інвентаризації парникових газів України.

У 2022 році фактично перестали збирати та публікувати інформацію про всі землі України згідно форм адміністративної звітності з кількісного обліку земель (форми №№ 11-зем, 12-зем, 15-зем, 16-зем). Останні дані свідчать про те, що станом на кінець 2021 року в Україні обліковували 42,7 млн га сільськогосподарських земель, включаючи 32,5 млн га ріллі. Окремо ДССУ збирає та публікує на щорічній основі інформацію про збір врожаю сільськогосподарських культур. Згідно цих даних, для урожаю 2021 року було посіяно культур на площі 28,6 млн га. Таким чином, різниця між загальною площею ріллі, що обліковувалася за статистичними формами, та посівною площею складає близько 4 млн га. Для цілей національної інвентаризації парникових газів приймають до уваги саме площі, з яких було зібрано урожай.

33 Закон України «Про Державний земельний кадастр», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text

34 Постанова Кабінету Міністрів України «від 17 жовтня 2012 р. № 1051 «Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF#n3

35 Відкрита частина Державного земельного кадастру, https://kadastr.live/#5/48.43/32.77

Різниці у визначеннях між національним законодавством та МГЕЗК, а також неповнота статистичного обліку може спотворювати результати національної інвентаризації викидів парникових газів.

Державна статистична інформація публікується за результатами отриманих опитувальників від респондентів відповідно до визначених інструкцій та вимог. Як наслідок, починаючи з 2014 року, коли розпочалася окупація Автономної республіки Крим та частин Донецької і Луганської областей, державна статистика охоплювала виключно тих респондентів, які відзвітувалися. Для цілей національної інвентаризації парникових газів упорядники, натомість, почали коригувати дані ДССУ для врахування тимчасово окупованих територій з метою дотримання принципу повноти, за яким викиди і поглинання парникових газів повинні бути враховані на всій географічній території країни. З огляд на це, дані Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції парникових газів в Україні відрізняються від офіційної статистики.

З огляду на описані проблемні питання, на національному рівні для зменшення неточностей та похибок перспективним може бути застосування сучасних технологій із використанням супутникових знімків. Такі методи також можуть відображати швидкі об'єктивні зміни в характері використання земель.

Деякі країни (Швеція[36], Австрія[37]) використовують набір даних, що генерується національними інвентаризаціями сільськогосподарських або всіх земель країни. Ці процеси зазвичай мають довгу історію з архівом даних для кількох десятиліть. В інших країнах дані про землекористування, в тому числі про площі орних земель, отримують від даних ДЗЗ (Португалія[38]). Ці дані можуть коригуватися чи доповнюватися інформацією з наземних спостережень, які за допомогою ГІС технік та технологій поєднуються із геопросторовими даними. Такий підхід має ряд переваг, серед яких менші витрати та можливість оперативного відслідковування фактичних змін у землекористуванні.

В Україні в Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів за 1990-2017 роки[39] спробували використати підхід з використанням відкритих даних ДЗЗ. Однак, беручи до уваги різні джерела даних за 1992-2015 та 2016-2017 роки, а також відсутність знань та досвіду в комбінації геопросторових даних, цей підхід вирішено було не використовувати в національній інвентаризації, оскільки отримані результати не демонстрували узгодженість на часовому ряді.

Враховуючи значну площу України, а також значні території, що не є доступними для наземних методів збору інформації через окупацію чи мінну небезпеку, використання даних ДЗЗ для отримання інформації про площі земель, що використовуються в рослинництві, стає дедалі важливішим.

За допомогою використання індексів відбиття певного спектру електромагнітних хвиль (наприклад, NDVI) методами ДЗЗ можна розрізняти і тип культур, що вирощуються (наприклад, використовуючи інноваційні методи використання штучного інтелекту[40]). Як

36 UNFCCC, https://unfccc.int/documents/627663

37 UNFCCC, https://unfccc.int/documents/627757

38 UNFCCC, https://unfccc.int/documents/627602

39 UNFCCC, https://unfccc.int/documents/195605

40 UNFCCC, https://map.onesoil.ai/2023#2.7/50.9/-45.5

результат, при наявності даних ДЗЗ можуть бути ідентифіковані площі вирощування окремих сільськогосподарських культур для всієї території України за певні роки.

Такі сучасні методи дозволять проводити незалежну від державної статистики оцінку інформації про площі зібраного врожаю або стати основним джерелом інформації для проведення обліку викидів і поглинань парникових газів. Зокрема, оскільки ДССУ проводить збір статистичної інформації від підприємств, а інформація про господарства населення оцінюється на основі опитувань, оцінка площ за рахунок ДЗЗ може суттєво покращити точність тих даних, які оцінюються статистичними методами.

Викиди від використання мінеральних та органічних добрив та інші джерела викидів N_2O

Для розрахунку прямих викидів N_2O від мінеральних та органічних добрив, рослинних решток та мінералізації ґрунтової органіки використовується єдиний коефіцієнт, що є коефіцієнтом за замовчуванням МГЕЗК. Національна методика розрахунку викидів покладається на перший (найнижчий) рівень розрахунків, який згідно вказівок МГЕЗК використовує коефіцієнт викидів 1% від внесеної активної речовини. Не дивлячись на те, що застосування єдиного коефіцієнта дозволяє проводити національну інвентаризацію парникових газів та дотримуватись її основних принципів, моніторинг впровадження заходів зі скорочення прямих викидів N_2O може бути проблемним.

Для того, щоб національна інвентаризації парникових газів могла відображати заходи із підвищення ефективності використання мінеральних азотних добрив, на зразок використання інгібіторів чи добрив із сповільненим виділенням азоту або оптимізації способів та часу внесення азотних добрив, потрібні зміни у підходах до розрахунку викидів. Зокрема, необхідно розробити нові національні коефіцієнти втрат азоту від внесення азотних мінеральних добрив, що врахують особливості як природно-кліматичних умов їх внесення, так і типів азотних добрив. Крім цього, Державній службі статистики України потрібно буде зробити певні зміни у формах статистичної звітності, аби експерти національної інвентаризації мали вихідні дані для використання національних коефіцієнтів.

Обсяг внесення органічних добрив щороку збирається та публікується ДССУ у розрізі кількох категорій: гній сільськогосподарських тварин, послід птиці, мул і сапропель, торф та його субстрати та інші види органічних добрив. З точки зору проведення обліку викидів парникових газів важливою категорією органічних добрив, що окремо не виділяється статистикою, однак має високе значення особливо в ключі подальшого розвитку біоенергетики, є дигестат. Такі дані мають високу цінність, оскільки дозволяють узгоджено підходити до даних про діяльність в інших секторах (тваринництві, управління відходами) і уникати потенційного подвійного обліку. Окрім обліку кількості дигестату важливі дані про вміст азоту та дослідження про національні коефіцієнти викидів для внесення дигестату. Враховуючи специфічність матеріалів після їх використання в біогазових установках, цілком ймовірною є відмінність цих речовин від інших органічних добрив.

На даний час існують дуже обмежені наукові дослідження в Україні щодо впливу різних типів і технологій внесення мінеральних та органічних азотних добрив, а також впливу кліматичних умов (температура, вологість, випаровуваність тощо), ґрунтових умов, часу внесення та інших факторів на прямі втрати азоту. Зменшення втрат азоту, а відповідно і коефіцієнта викидів, дозволить скорочувати прямі викиди N_2O від внесення добрив без негативного впливу на урожай сільськогосподарських культур. Однак, необхідною передумовою цього є детальні дослідження як поточних темпів прямих втрат від внесення добрив (тобто підтвердження

або уточнення коефіцієнту за замовчуванням), так і інноваційних методів внесення чи нових видів добрив.

Національна коефіцієнти викидів також необхідні для кращого урахування викидів від поводження із рослинними рештками, оскільки обсяги викидів можуть залежати від типів культур та їх рівня стиглості, ґрунтово-кліматичних умов, часу та глибини заорювання рослинних решток тощо. Крім того, необхідно краще розуміти способи поводження із рослинними рештками: обсяги рослинних решток, що залишаються на полях, обсяги використання в якості корму чи підстилки для худоби, будівельних матеріалів, біопалива чи матеріалу для виробництва біопалива. У національній методиці прийнято припущення про те, що всю солому забирають із полів для інших цілей (підстилка, корм, біоенергетика). Це припущення було зафіксовано через відсутність надійних даних про структуру використання соломи на основі експертної оцінки, однак зовсім не відповідає поточній практиці поводження із рослинними рештками у сільському господарстві. Якщо врахувати, що рослинні рештки залишаються на полях, то більший обсяг рослинних решток призводитиме до більшої кількості прямих викидів азоту, але значно більше скорочення викидів буде зафіксовано в категорії «Орні землі» через позитивний вплив на зміну запасів вуглецю у ґрунті.

Для оцінки прямих викидів N_2O від сечі і гною, що відкладаються пасовищними тваринами, необхідно мати більш точний облік кількості тварин на випасі та їх час перебуванні там. Хоч перебування тварин на пасовищах не поширене серед підприємств в Україні, цей метод годівлі все ще використовується домогосподарствами та малими фермерськими господарствами. Коефіцієнти викидів за замовчуванням (2% для ВРХ та свиней, 1% для овець та інших тварин) для викидів від сечі та гною, що відкладаються пасовищними тваринами, мають досить значний рівень невизначеності. Зокрема, для ВРХ та свиней значення може коливатись в межах 0,7-6 %, для овець та інших видів тварин – від 0,3% до 3%. Для більш точного врахування всіх умов, що впливають на рівень прямих викидів N_2O від сечі і гною, що відкладаються пасовищними тваринами, потрібні точніші дослідження умов, при яких прямі викиди азоту є нижчими (температура, вологість, види тварин, особливості режиму харчування).

Відсутність національних коефіцієнтів викидів не лише впливає на точність обліку, але й призводить до того, що значна кількість заходів зі скорочення викидів не може бути врахована на національному рівні без вдосконалення методів національної інвентаризації парникових газів.

Зміна запасів вуглецю у мінеральних ґрунтах

Національна методика обліку змін запасів вуглецю в мінеральних ґрунтах орних земель базується на національних дослідженнях[41] та використовує чималу кількість коефіцієнтів та припущень.

Основою методики є оцінка балансових потоків азоту та перерахунок результуючого значення в вуглець (додаток 3.3 Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990-2021 рр.[42]). Тобто ключовий підхід

41 Методика була розроблена в рамках дисертації Бутрим О.В. за темою «Теоретико-методологічні основи низьковуглецевого землекористування в контексті збалансованого розвитку агросфери» на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук за спеціальністю 08.00.06 «Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища», https://uacademic.info/ua/document/0518U000684#google_vignette

42 UNFCCC, https://unfccc.int/documents/628276

національної методики відповідає підходу обліку надходжень-втрат вуглецю згідно МГЕЗК 2006[43] за тією різницею, що національна методика обліковує надходження і витрати азоту в ґрунті за рік, а переведення у вуглець здійснюється на основі співвідношення вуглецю та азоту в ґрунті (C:N ratio).

Згідно із національною методикою, надходження азоту в ґрунт відбувається разом із:

- рослинними рештками, що були залишені на полях;
- мінеральними та органічними добривами;
- коренями бобових, в яких відбувається зв'язування атмосферного азоту бульбочковими бактеріями;
- природнім надходженням азоту із атмосфери в ґрунт за рахунок діяльності мікроорганізмів.

Втрати (винесення) азоту із ґрунту, згідно національного підходу, відбувається за рахунок:

- вирощування та видалення із полів урожаю сільськогосподарських культур та частин рослин (для використання в інших галузях);
- прямих та непрямих викидів азоту через процеси вивітрювання та вимивання.

Варто зазначити, що дана методика має сильний зв'язок із даними, а також результуючими значеннями прямих і непрямих втрат азоту, що розраховуються в секторі «Сільське господарство», категорії «Сільськогосподарські ґрунти».

Співвідношення вуглецю та азоту, яке закладено в основу методику, хоч і є важливою характеристикою ґрунтів не дозволяє охопити різноманіття мікробіологічних та фізико-хімічних процесів, які відбуваються у ґрунтах. Як наслідок, певний розрахунковий баланс азоту не може у повній мірі відображати процеси накопичення або мінералізації вуглецю.

Методика також спирається на чималу кількість джерел, що в нинішній час можуть мати застарілі дані. Наприклад, оцінка рослинних решток національною методикою проводиться на основі публікації 1977 року. Згідно із порівнянням оцінки рослинних решток за методикою МГЕЗК[44] різниця може складати сотні відсотків, що може пояснюватися значною зміною сортів культур, що вирощуються протягом останніх десятиліть. Для удосконалення обліку на національному рівні потрібна розробка актуальних усереднених факторів з урахуванням різних умов ведення рослинництва.

Національна методика також дуже чутлива до припущень про способи використання рослинних решток. Як зазначалося, національна методика приймає припущення про те, що вся біомаса побічної продукції зернових (солома) видаляється з полів та використовується за їх межами (в тваринництві, біоенергетиці тощо). Як і у випадку із викидами N_2O, якщо припустити, що весь обсяг рослинних решток залишається на полях, то результати розрахунків викидів від втрати органічного вуглецю будуть суттєво відрізнятися від звітних. Залежно від культури та року оцінені викиди від втрати органічного вуглецю ґрунту скоротяться у два та більше разів.

43 Розділ 2.2.1, том 4

44 UNFCCC, https://unfccc.int/documents/628276

Національна методика демонструє втрати органічного вуглецю при вирощуванні більшості основних культур (окрім ріпаку та картоплі), але значення викидів на одиницю площі для кожної культури сильно відрізняється по роках залежно від офіційних статистичних даних про урожайність та обсяги внесення мінеральних (на основі статистичних даних в розрізі культур) та органічних (на основі розрахункової величини кількості азоту в гної тварин, що розраховується в секторі «Сільське господарство», та статистичних даних про обсяги внесення органічних добрив у натуральних масових величинах) добрив. Урожайність культур використовується для розрахунку обсягів внесення азоту із рослинними рештками та обсягів винесення із урожаєм.

Сильні коливання будь-яких із ключових показників (урожайність чи обсяг внесення мінеральних добрив) різко впливають на результати розрахунків змін запасів вуглецю за національною методикою. Разом з тим, такі різкі зміни не можливі у ґрунтових системах через особливості мікробіологічних та фізико-хімічних процесів. Наприклад, для років із високим урожаєм через високі обсяги утворення рослинних решток, баланс для деяких культур, наприклад, кукурудзи, може бути позитивним, однак наявність рослинних решток на полі не обов'язково призведе до швидкого накопичення органічного вуглецю. Згідно з допущенням національної методики вважається, що азот від рослинних решток, що залишились на полях, надходить у рослини із затримкою в 2 роки (тобто, 2 роки потрібно на розкладання рослинних решток), що є суттєвим спрощенням мікробіологічних процесів.

Також для культур із вищими нормами внесення мінеральних азотних добрив, баланс азоту, а відповідно і зміни запасів вуглецю за національною методикою буде демонструвати кращий результат, хоч, очевидно, що внесення мінеральних азотних добрив не може бути визначальним фактором вмісту вуглецю у ґрунті. І навпаки, для культур із низькими нормами внесення азотних мінеральних добрив, на зразок соняшнику чи сої, розрахункові втрати органічного вуглецю будуть вищими.

Інші країни використовують різні підходи до обрахунку викидів від втрати органічного вуглецю або поглинання вуглецю у категорії «Орні землі», тому аналіз міжнародного досвіду може стати основою для удосконалення національної методики.

Хоч національна методика оцінки змін запасів вуглецю в мінеральних ґрунтах прирівнюється до найвищого 3 рівня обліку, вона не відповідає усім вимогам для підходів обліку викидів з високою точністю. З точки зору вимог проведення національної інвентаризації парникових газів, оцінки за методиками 3 рівня повинні проходити верифікацію незалежними методами, щоб пересвідчитися в тому, що методика систематично не переоцінює чи недооцінює рівень викидів чи поглинань парникових газів. Така перевірка може здійснюватися іншими методиками, що були верифіковані, або більш простими методами, наприклад, методикою рівня 2 переглянутих керівництв МГЕЗК 2019 року. Національна методика оцінки змін запасів вуглецю не проходила такої верифікації, про що неодноразово нагадують міжнародні експерти із перевірки національних інвентаризацій викидів парникових газів.[45]

45 UNFCCC, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/arr2023_UKR.pdf

Таблиця 2. Питомі показники балансу азоту та зміни запасів вуглецю у ґрунті

	2017	2018	2019	2020	2021
Пшениця					
Внесення мінеральних азотних добрив, кг N/га	68	58	61	80	79
Внесення органічних добрив, кг N/га	2,9	3,1	3,4	3,1	2,5
Урожайність, т/га	4,01	3,63	4,05	3,71	4,42
Питомі зміни запасу вуглецю, т CO_2/га	-1,40	-1,36	-1,59	-1,03	-1,51
Кукурудза					
Внесення мінеральних азотних добрив, кг N/га	75	63	64	87	89
Внесення органічних добрив, кг N/га	8,0	7,9	7,6	7,1	6,7
Урожайність, т/га	5,49	7,82	7,16	5,61	7,61
Питомі зміни запасу вуглецю, т CO_2/га	0,03	-1,11	-0,96	0,40	-0,45
Соняшник					
Внесення мінеральних азотних добрив, кг N/га	32	22	26	44	44
Внесення органічних добрив, кг N/га	2,6	3,5	4,0	3,8	3,6
Урожайність, т/га	2,00	2,28	2,55	2,01	2,45
Питомі зміни запасу вуглецю, т CO_2/га	-0,70	-1,09	-1,29	-0,40	-0,77
Соя					
Внесення мінеральних азотних добрив, кг N/га	32	18	17	32	31
Внесення органічних добрив, кг N/га	2,7	3,6	3,1	3,8	3,3
Урожайність, т/га	1,97	2,58	2,30	2,05	2,66
Питомі зміни запасу вуглецю, т CO_2/га	-1,26	-2,25	-1,80	-1,16	-2,09

Крім цього, національна методика на даний час має кілька пробілів у врахуванні процесів, які вважаються заходами зі скорочення викидів парникових газів від рослинництва. Зокрема, це стосується методів обробітку ґрунту, які жодним чином не враховуються при оцінці зміни запасів вуглецю в ґрунті за національною методикою. Разом із цим, цей захід був визначений як один із перспективних для досягнення скорочення викидів.[46]

З огляду на зазначені недоліки, національна методика оцінки змін запасів вуглецю в мінеральних ґрунтах потребує наукового доопрацювання.

46 TNA, https://tech-action.unepccc.org/country/ukraine/

Викиди від боліт, торфовищ та органічних ґрунтів

Згідно із вказівками МГЕЗК, до органічних ґрунтів відносять ґрунти, що мають принаймні 12-20% органіки за масою, та були утворені в умовах постійного перезволоження. Внаслідок проведення заходів штучної меліорації та припинення режиму перезволоження, високий вміст органіки в ґрунті починає активно розкладатися за рахунок дії мікроорганізмів та аеробних умов. Тому вважається, що незалежно від господарської діяльності на осушених органічних ґрунтах відбуваються активні викиди парникових газів у вигляді CO_2 та N_2O (останній враховується в категорії «Сільськогосподарські ґрунти» сектору «Сільське господарство»).

У Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції парникових газів в Україні, викиди від органічних ґрунтів обліковуються у кількох категоріях. Категорія Wetlands («Водно-болотні угіддя») національного кадастру включає лише викиди, пов'язані із видобуванням торфу (8,9 тис. га), але осушені землі із органічними ґрунтами включені і в інші категорії землекористування. Органічні ґрунти обліковуються у складі лісових земель (193 тис. га), орних земель (107 тис. га) та пасовищ (365 тис. га).[47]

Разом з тим, інформація про площі органічних ґрунтів, на яких відбувається культивація сільськогосподарських культур, існує тільки для земель, що обслуговуються меліоративними мережами Державного агентства водних ресурсів України. Відповідно існує ризик неповного обліку всіх органічних земель, що культивуються, а також меліоративних мереж, що не обслуговуються Державним агентством водних ресурсів України. За допомогою даних ДЗЗ та картографічних матеріалів типів ґрунтів в Україні можна провести аналіз ділянок, що не були покриті статистикою Державного агентства водних ресурсів України.

Існує також значна непевність щодо коефіцієнтів викидів і необхідність їх розробки для різних типів торфовищ і джерел викидів (наприклад, близьких до природного стану, відпрацьованих торфовищ, рекультивованих ділянок, викидів від пожеж тощо).

Для покращення обліку необхідно забезпечити:

- покращення збору даних щодо торфовищ різних категорій, в т.ч. узгодження даних про площі осушених органічних ґрунтів в різних категоріях землекористування національного кадастру із даними про загальну площу торфовищ в Україні відповідно до історичних даних та галузевих досліджень;
- деталізацію інформації про структуру торфовищ та осушених органічних ґрунтів в Україні та оновлення розрахунків викидів;
- підтримку наукових досліджень щодо розробки національних коефіцієнтів викидів для різних типів та категорій торфовищ;
- розвиток методичних підходів та коефіцієнтів викидів для розрахунку скорочення викидів парникових газів при відновленні торфовищ.

Для України існує необхідність удосконалення обліку викидів парникових газів від торфовищ із урахуванням положень те рекомендацій 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (Wetlands Supplement).

47 Ukraine. 2024 Common Reporting Table (CRT), https://unfccc.int/documents/645144

Інші джерела викидів

Дані ДЗЗ можуть значно покращити точність та повноту даних **про пожежі на полях та спалювання рослинних решток**. На даний момент ця інформація надається регіональними та центральним офісами ДСНС України, які при викликах фіксують площу горіння та характер того, що саме горить. Однак, у випадку пожеж чи спалювання рослинних решток на дуже невелику частку такого горіння викликають пожежників, а тому значна частка викидів парникових газів не є облікованою.

Нинішні дані ДЗЗ включають в тому числі фіксацію горіння на поверхні Землі (наприклад, НАСА[48]). За допомогою цих даних та ГІС інструментів можна проводити більш точну оцінку викидів парникових газів від пожеж за рахунок більш точного обліку площ сільськогосподарських угідь, на яких було зафіксовано горіння (наприклад, як це було використано у дослідженні про викиди парникових газів, спричинених війною в Україні[49]).

2.4.2 Складність фіксації поглинання вуглецю

Для оцінки кількості вуглецю у певному природному резервуарі, зокрема ґрунті, можуть використовуватися два підходи: «метод надходження-втрат» та «метод різності запасів».[50] Згідно першого методу, обліку підлягає весь обсяг вуглецю, що надходить в резервуар і втрачається з резервуару. Зазвичай, для цього методу використовують певні дані та коефіцієнти, які дають змогу оцінити кількість вуглецю. «Метод різності запасів» базується на тому, що проводиться періодична оцінка запасу вуглецю в резервуарі. На основі різниці між двома замірами та часу між замірами визначають зміну запасів на одиницю часу (день, місяць, рік). Не дивлячись на те, що в теорії безпосередні заміри дають кращу точність оцінок, в реальності у великих масштабах його застосування стає дуже затратним.

З огляду на це, варто підкреслити складність відстежування зміни обсягів поглинання вуглецю, що потребує покращення системи моніторингу якості ґрунтів, посилення експертизи щодо застосування моделей динаміки вмісту органічного вуглецю у ґрунтах та використання дистанційних технологій моніторингу.

Складність відстежування поглинання чи втрати вуглецю пов’язана з тим, що дані процеси є динамічними у просторі та часі. У ґрунті постійно відбуваються процеси, які призводять до утворення органічного вуглецю і паралельно відбуваються протилежні процеси, які призводять до мінералізації органічної речовини. Зміни є дуже незначними у порівнянні із загальними запасом вуглецю у ґрунті, що ще більше ускладнює процес відстежування.

48 https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@31.2,48.2,6.3z

49 EcoAction, https://en.ecoaction.org.ua/climate-damage-by-russia-24-months.html

50 IPCC, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf

Рисунок 19. Масштаб змін вмісту вуглецю у ґрунті (т С / га)

Поглинання вуглецю відбувається тоді, коли кількість вуглецю, яка накопичена у рослинній біомасі і потрапляє у ґрунт із рослинними рештками або іншими джерелами, зокрема, органічними добривами, перевищує кількість вуглецю, який розкладається внаслідок мікробіологічних процесів у ґрунті та потрапляє в атмосферу у вигляді CO_2. Такий процес є досить тривалим, а помітні зміни у вмісті вуглецю можуть відображатися принаймні через 5 років або й більше.

На рівні окремих проєктів, основними методологіями, які можуть використовуватися у сільському господарстві для оцінки поглинання вуглецю, є такі:

- VM0042 Methodology for Improved Agricultural Land Management (Методологія покращеного управління сільськогосподарськими землями) - Verra Verified Carbon Standard;[51]
- Soil Organic Carbon Framework Methodology (Рамкова методологія щодо органічного вуглецю у ґрунтах) - Gold Standard for Global Goals.[52]

Методологія VM0042 використовується найчастіше і оцінює скорочення викидів парникових газів та збільшення обсягів поглинання вуглецю внаслідок запровадження покращених практик управління земельними ресурсами, включаючи мінімальний обробіток ґрунту, покращення ефективності використання добрив, зміну практик поводження з рослинними рештками, використання покривних культур тощо. Дана методика є також доволі складною і постійно розвивається, зокрема, в напрямі використання цифрових інструментів.[53]

Gold Standard також розробляє нові підходи до оцінки та моделювання змін вмісту органічного вуглецю у ґрунті.[54]

51 Verra, VM0042 Improved Agricultural Land Management, https://verra.org/methodologies/vm0042-improved-agricultural-land-management-v2-1/

52 Gold Standard, https://globalgoals.goldstandard.org/402-luf-agr-fm-soil-organic-carbon-framework-methodolgy/

53 Tool for quantifying organic carbon stocks using digital soil mapping: calibration, validation, and uncertainty estimation, https://verra.org/methodologies/tool-for-quantifying-organic-carbon-stocks-using-digital-soil-mapping-calibration-validation-and-uncertainty-estimation/

54 Soil Organic Carbon (SOC) Model Requirements and Guidelines, https://www.goldstandard.org/consultations/soil-organic-carbon-soc-model-requirements-and-guidelines-consultation-jan2025

Незалежне підтвердження відповідності вимогам методології та підтвердження досягнутих скорочень викидів відбувається у всіх випадках відповідно до умов стандартів. Оскільки невизначеність оцінки поглинання вуглецю залишається досить високою, методології передбачають механізми оцінки та урахування невизначеності.

На рівні ЄС розробляються методології в рамках механізмів, передбачених Регламентом (ЄС) 2024/3012 про європейську сертифікацію поглинання вуглецю та вуглецевого землекористування, зокрема, методології щодо оцінки поглинання вуглецю при використані біочару та уловлювання і зберігання вуглецю при використанні біомаси для виробництва енергії.[55]

У рамках ринкових механізмів Паризької угоди розроблено окремий стандарт, який стосується будь-яких проєктів, що включають видалення або поглинання вуглецю.[56]

З огляду на складність обліку поглинання вуглецю у сільському господарстві і постійний розвиток методологій та стандартів, важливо детально вивчати вимоги та ретельно планувати впровадження проєктів та програм щодо зменшення викидів парникових газів від втрати органічного вуглецю ґрунту та збільшення поглинання вуглецю.

55 Див. EU Expert Group on carbon removals, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en#eu-expert-group-on-carbon-removals

56 Standard: Requirements for activities involving removals under the Article 6.4 mechanism (v.01.0) (SBM014), https://unfccc.int/documents/641231

3. Кліматичні технології у сільському господарстві

3.1 Технології обробітку ґрунту

В Україні на значній частині посівних площ досі продовжує використовуватися традиційний полицевий обробіток ґрунту (оранка), де глибина залежить від типу ґрунту, кліматичних факторів та інших чинників. На значних площах уже почали використовувати поверхневий (Mini-till) та безполицевий обробіток (чизелювання), тоді як технології нульового (No-till) та смугового (Strip-till) обробітку лише поступово набирають популярності і покривають незначні площі.

Технології мінімального обробітку зменшують порушення структури ґрунту і дозволяють збільшити вміст вуглецю у ґрунті, забезпечуючи таким чином поглинання двоокису вуглецю. Додаткові переваги для скорочення викидів парникових газів полягають у менш інтенсивному використанні пального сільськогосподарською технікою.

Вибір технологій обробітку ґрунту залежить від агрономічних потреб культур, наявного обладнання, часових можливостей проведення обробітку, кліматичних умов та інших факторів. Тим не менш, для більшості культур та регіонів України можливе зменшення інтенсивності обробітку ґрунту і перехід на технології, які дозволяють зменшувати обсяги викидів парникових газів та збільшувати поглинання вуглецю у ґрунті. Такий перехід може відбуватися поступово, враховуючи стан ґрунтів, зокрема щільність, сівозміну та доступне обладнання, а також основні цілі, які можуть включати економію операційних витрат, збереження вологи, захист від ерозії або накопичення вуглецю. **Основним стимулом для відмови від традиційного полицевого обробітку в Україні є прагнення максимального збереження вологи, що стає критичним фактором для вирощування культур через вплив зміни клімату**. За оцінками фахівців, оранка призводить до втрати 30-50 мм вологи, що може бути дуже вагомим чинником у регіонах із низькою кількістю опадів або у періоди посух.[57] Із очікуваним збільшенням середньої температури повітря та зменшення вологості ґрунтів внаслідок кліматичних змін значення цього фактору тільки посилюватиметься.

Зміна технології обробітку ґрунту, як правило, пов'язана із потребою у закупівлі спеціального обладнання. Розрахунок капітальних витрат на гектар залежить від режиму використання техніки і базується на низці припущень щодо роботи обладнання під час одного сезону та загального періоду експлуатації обладнання. Підбір техніки має бути комплексним і враховувати потреби кожного окремого господарства, але для цілей дослідження використана інформація про основні агрегати, необхідні для запровадження технологій. Для цілей дослідження розглядаються інвестиції саме у додаткове обладнання і не враховуються витрати на обладнання, яке використовується і при традиційному, і при мінімальному обробітку ґрунту (трактори, обприскувачі, комбайни тощо).[58] Сучасні сівалки можуть бути адаптовані для різних технологій обробітку ґрунту.

57 Зелені Агро Рішення (AgroCare). Методичні підходи із зменшення обробітку ґрунту, https://www.youtube.com/watch?v=lDlpqQKt2ME

58 З огляду на це, загальний обсяг витрат та витрати у розрахунку на гектар будуть нижчими ніж у дослідженнях, які враховують весь комплекс обладнання.

За деякими оцінками, перехід на технології мінімального обробітку ґрунту може призводити до зменшення урожайності у перші роки запровадження (на близько 10%), однак, як правило, при належних практиках урожайність відновлюється чи навіть збільшується у довгостроковій перспективі, особливо в умовах дефіциту вологи. Зниження урожайності можна уникнути при правильній підготовці та плануванні запровадження технологій, а зменшення операційних витрат може сприяти збереженню прибутковості, компенсуючи вплив нижчої урожайності. Ефект впливу на урожайність не враховується в рамках дослідження.

Площі сільськогосподарських земель, на яких використовуються технології мінімального обробітку, можуть бути суттєво розширені у середньостроковій перспективі, а загальний потенціал був оцінений в рамках проєкту «Оцінка технологічних потреб» на рівні 10-15 млн га.[59] Більш ранні дослідження оцінювали потенціал запровадження технологій мінімального обробітку на рівні 17 млн га.[60]

Запровадження технологій залежить від ґрунтових та кліматичних параметрів, сівозміни, наявності відповідної техніки, фінансових, технологічних бар'єрів та наявності досвіду. Для цілей дослідження прийнято, що **різні технології мінімального обробітку ґрунту (безполицевий обробіток ґрунту, Mini-till, Strip-till, No-till) можуть використовуватися на площі 16 млн га** або 80% від площ сільськогосподарських угідь, які обробляються підприємствами, в тому числі фермерськими господарствами. У 2021 році загальна посівна площа сільськогосподарських культур на угіддях, які оброблялися підприємствами, складала 20 млн га.[61] При цьому орієнтовний розподіл між технологіями здійснювався на основі площ вирощування культур, враховуючи доцільність використання різних технологій мінімального обробітку для різних культур.

При цьому, варто відзначити, що часто використовуються комбіновані варіанти обробітку, коли технологія може відрізнятися в різні роки, залежно від культур або інших факторів. Залежно від сівозміни можуть бути обмеження на застосування певних технологій мінімального обробітку ґрунту. Для прикладу, при вирощуванні цукрового буряка практикується використання традиційного полицевого обробітку, при вирощуванні озимого ріпаку можливе використання полицевого обробітку або технології Strip-till. Поверхневий обробіток практикується при вирощуванні сої, ярих культур (ячмінь, пшениця, овес, горох, гречка, інші культури) та озимих зернових культур (пшениця, ячмінь, жито). No-till використовується при вирощуванні соняшника, кукурудзи, сої та озимих зернових культур (пшениця, ячмінь, жито).

59 TNA. Інформаційна картка технології. Технології мінімального обробітку землі (low-till, no-till, strip-till, тощо), https://drive.google.com/file/d/1fBzmjBDHx3PlvP45P_wgAJud2_ZwGd2H/view

60 Bernoux,Martial Michel Yoric; Fileccia, Turi; Guadagni,Maurizio; Hovhera, Vasyl. Ukraine - Soil fertility to strengthen climate resilience : preliminary assessment of the potential benefits of conservation agriculture (Vol. 1 of 2) : Main report (English). Washington, DC : World Bank Group. http://documents.worldbank.org/curated/en/755621468319486733

61 За даними Державної служби статистики України, статистичні дані про «Посівні площі сільськогосподарських культур за їх видами», https://www.ukrstat.gov.ua/

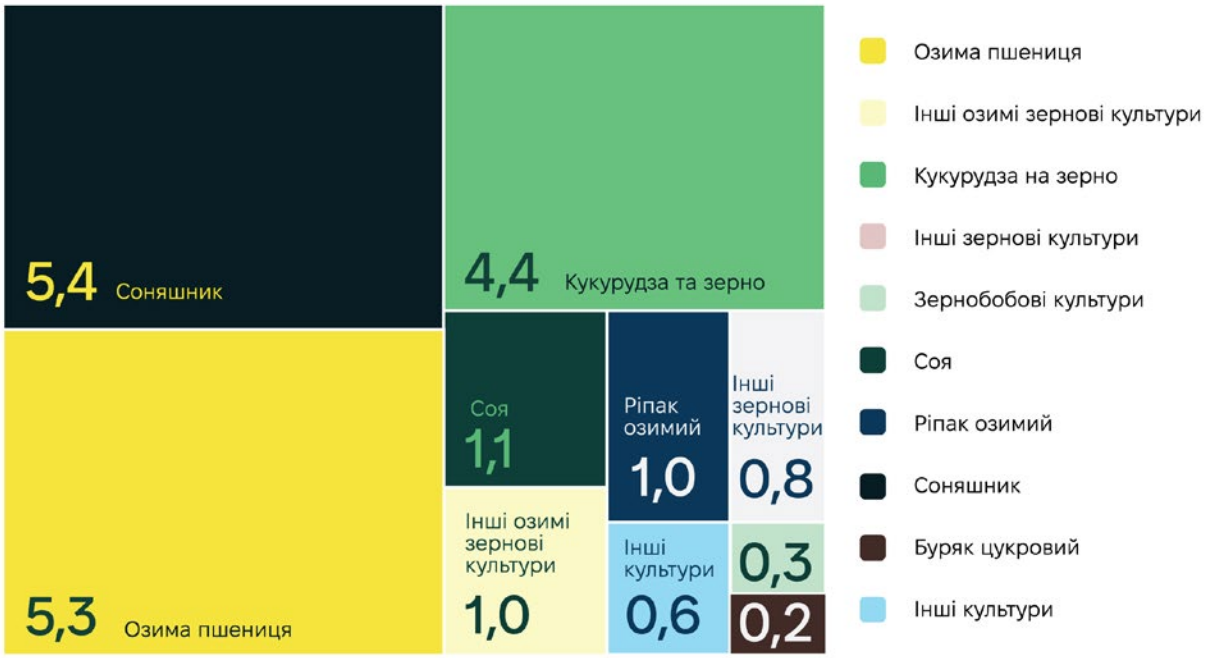


Рисунок 20. Посівні площі сільськогосподарських культур під урожай 2021 року (млн га)

Запровадження кліматичних технологій обробітку ґрунту впливає на викиди у категорії «Орні землі», пов'язані із втратою органічного вуглецю ґрунту, і викиди від споживання палива сільськогосподарською технікою. Тип, частота та глибина операцій із обробітку ґрунту визначає інтенсивність мінералізації органічного вуглецю ґрунту, кількість вуглецю, яка потрапляє у ґрунт із рослинними рештками, а також обсяг використання палива на проведення операцій із обробітку. Рівень поглинання вуглецю залежить від багатьох факторів, в тому числі фізико-хімічних характеристик ґрунту, мікробіологічної активності ґрунту, кількості опадів та рівня вологості, температури ґрунту, сівозміни тощо. Як наслідок, **узагальнені оцінки потенціалу скорочення викидів є орієнтовними і характеризуються високим рівнем непевності.**

З огляду на це, важко оцінити вплив кожної окремої технології на збільшення поглинання вуглецю без прив'язки до конкретних умов. Тим не менш, технологія No-till дозволяє досягати найбільших обсягів поглинання вуглецю, Strip-till – дещо менші обсяги поглинання, а технології безполицевого обробітку та Mini-till – найменші обсяги. Для цілей дослідження використані індикативні значення для кожної технології, а детальніші оцінки необхідно здійснювати для кожного проєкту із використанням загальновизнаних методик та підходів, а також на основі довготривалих польових досліджень щодо кожної окремої технології.

Індикативні значення потенційних скорочень викидів були визначені на основі досліджень щодо технології нульового обробітку ґрунту, а також відмінностей технологій щодо рівня механічного обробітку і використання рослинних решток:

- нульовий обробіток ґрунту (No-till) – мінімальний механічний вплив на ґрунт (<5% площі), весь або майже весь обсяг рослинних решток залишається на полі;
- смуговий обробіток ґрунту (Strip-till) – механічного обробітку зазнає близько 20% площі лише у смугах для посіву (ґрунт у смугах обробляється на глибину 15-25 см) і на полях залишається 70% і більше рослинних решток;

- поверхневий обробіток ґрунту (Mini-till) – механічного обробітку зазнає більша частина площі, хоч ґрунт обробляється на глибину лише 10-15 см, і на полях залишається 70% і більше рослинних решток;
- безполицевий обробіток ґрунту – механічного обробітку зазнає більша частина площі, ґрунт обробляється на більшу глибину (20-30 см), і відбувається більш інтенсивне переміщення шарів ґрунту, а на поверхні поля залишаються менші обсяги рослинних решток.

Були обрані консервативні припущення, які потребують уточнення на основі детальних досліджень та пілотних проєктів оцінки скорочення викидів при зміні технологій обробітку ґрунту. Збільшення поглинання вуглецю та скорочення викидів парникових газів можна очікувати при різних технологіях та їх комбінаціях.

При цьому варто пам'ятати, що невизначеність щодо впливу технологій є настільки високою, що низка досліджень загалом ставлять під сумнів загальне збільшення поглинання вуглецю при використанні технологій мінімального обробітку ґрунту на територіях із помірним кліматом. Такі дослідження підтверджують збільшення вмісту вуглецю у верхньому шарі, але демонструють одночасне зменшення у нижніх шарах, свідчачи про перерозподіл вмісту органічного вуглецю, а не його збільшення.[62]

3.1.1 Безполицевий обробіток ґрунту

Опис технології

Технологія безполицевого обробітку ґрунту (Chiesel Tillage) передбачає обробіток без перевертання скиби ґрунту та зі збереженням на поверхні поля більше 30% післяжнивних решток. Глибина обробітку може варіюватися і досягати 30 см і більше при використанні важких чизель-культиваторів. ґрунт при цьому розпушується та частково перемішується.

Обробіток виконується, як правило восени, культиваторами-плоскорізами, плоскорізами-глибокорозпушувачами, чизельними плугами (чизелями), чизель-культиваторами, плугами без полиць та іншими знаряддями.[63] Таке обладнання забезпечує розрихлювання шару ґрунту, а також одночасне подрібнення і часткове перемішування з ґрунтом рослинних решток. Глибина обробітку може змінюватися залежно від потреб культур та виявленого рівня ущільнення ґрунту. З огляду на це, доцільним є проведення додаткових досліджень ґрунтів на утворення плужної підошви.

Для посіву не потрібне спеціалізоване обладнання, але може бути необхідне переобладнання існуючих сівалок.

Додатковими перевагами запровадження технології є зменшення ерозії ґрунту (в т.ч. на ділянках зі схилами із підвищеними ризиками ерозії), покращення накопичення вологи в глибших горизонтах ґрунту та уникнення формування ущільненого шару нижче орного горизонту (плужної підошви).

62 Carbon sequestration through agricultural practices A review of international literature. L.B. Martinez Garcia, Z.G.J. Herbert, D. Westerik, J.A.B. Schepens, https://slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2023-07/SL%20A7%20Onderbouwing%20C-vastlegging%20-%20eindrapportage.pdf

63 Див. приклади обладнання для чизелювання: Технологія та засоби механізації чизелювання ґрунту, https://agroexpert.ua/tekhnolohiia-ta-zasoby-mekhanizatsii-chyzeliuvannia-gruntu/

Капітальні витрати

Капітальні витрати пов'язані із закупівлею спеціалізованої сільськогосподарської техніки на заміну традиційного плуга. Для індикативних розрахунків було використано припущення про базове господарство із земельним банком 1500 га, з яких на 1000 га відбувається зміна технології обробітку на безполицевий обробіток (соняшник, кукурудза, соя, ріпак). Обсяг капітальних витрат буде залежати від вибору обладнання:

- придбання 2 глибокорозпушувачів українського виробництва може коштуватиме близько 20-30 тис. дол.;
- придбання 2 глибокорозпушувачів іноземного виробництва коштуватиме близько 50-80 тис. дол.

Як результат, капітальні витрати у розрахунку на гектар складатимуть близько **20 – 80 дол.** (для розрахунків приймається верхня межа для консервативності оцінок).

Термін експлуатації ґрунтообробної техніки може суттєво варіюватися і залежати від типу та можливостей господарства. Сільськогосподарські підприємства можуть оновлювати техніку через 5-7 років, але старіше обладнання може продовжувати використовуватися на інших підприємствах і мати залишкову вартість. Для цілей дослідження загальний термін експлуатації ґрунтообробної техніки прийнято на рівні **10 років**.

Операційні витрати

Основні операційні витрати пов'язані із щорічним ремонтом та поточним обслуговуванням ґрунтообробної техніки. Обсяг таких витрат прийнятий на рівні 10% від вартості обладнання або **2 – 8 дол. на гектар** (для розрахунків приймається верхня межа для консервативності оцінок).

Економія пального буде суттєво меншою у порівнянні із іншими технологіями мінімального обробітку ґрунту і може складати близько 10 л / га. При вартості дизельного палива на рівні 1,3 дол. за літр, економія на операційних витратах складе **13 дол. на гектар.**

Для цілей дослідження, на основі описаних вище припущень, економія оцінена на рівні **5 дол. на гектар** (різниця між додатковими операційними витратами та економією на пальному).

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Індикативний обсяг збільшення поглинання вуглецю внаслідок використання технології прийнято на рівні від 0 до 0,4 т CO_2 / га, а **середній показник - 0,2 т CO_2 / га.**

Необхідні додаткові дослідження щодо фактичного впливу використання технології на зменшення викидів парникових газів / збільшення поглинання вуглецю у різних регіонах, для різних типів ґрунтів та сівозмін.

Для попередньої оцінки потенціалу скорочення використано припущення про **використання технології безполицевого обробітку ґрунту на площі близько 4 млн га** (20% від земель сільськогосподарських підприємств), зокрема, при вирощуванні соняшника, сої, кукурудзи та деяких інших зернових культур.

Загальний потенціал скорочення викидів оцінено на рівні **0,8 млн т CO_2 на рік.**

3.1.2 Поверхневий обробіток ґрунту (Mini-till)

Опис технології

Технологія поверхневого обробітку передбачає обробіток культиваторами без перевертання скиби ґрунту на глибину до близько 10-15 см, при якому відбувається змішування лише верхніх шарів ґрунту і частини рослинних решток. Культиватори, які використовуються для Mini-till, відрізняються від звичайних, оскільки працюють із необробленою поверхнею ґрунту. Глибина обробітку залежить від потреб культур. Частина рослинних решток при цьому залишається на поверхні ґрунту і захищає його від ерозії. При використанні Mini-till раз на 3-5 років рекомендується використовувати глибокорозпушувач.

Технологія не потребує використання спеціалізованих сівалок, оскільки можливе дообладнання наявних. Однак, на ринку існують рішення, які адаптовані для даної технології (для сівби при наявності рослинних решток).

Поверхневий обробіток є досить поширеним в Україні і часто є основним методом для вирощування озимої пшениці, ярого ячменю та інших культур через його відносну простоту і ефективність. Практикується також поєднання безполицевого і поверхневого обробітку, що може бути більш гнучким підходом для агровиробників.

Використання технології також допомагає досягти зменшення ерозії ґрунту та економії використання пального.

Запровадження технології потребує додаткових досліджень ґрунтів на утворення плужної підошви, оцінки доступності елементів живлення та коригування системи живлення культур. Зокрема, необхідно не допускати переущільнення ґрунту (наприклад, уникати використання на полі вантажівок із навантаженням на вісь понад 7 т). Необхідно також здійснювати додатковий контроль за поширенням шкідників рослин та гризунів та, за необхідності, впроваджувати заходи захисту.

Капітальні витрати

Капітальні витрати пов’язані із закупівлею спеціалізованої сільськогосподарської техніки на заміну традиційного плуга. Для індикативних розрахунків було використано припущення про базове господарство із земельним банком 1500 га, з яких на 1000 га відбувається зміна технології обробітку на поверхневий обробіток (соняшник, кукурудза, соя, ріпак). Обсяг капітальних витрат буде залежати від вибору обладнання:

- придбання 2 стерньових культиваторів українського виробництва коштуватиме близько 10-20 тис. дол;
- придбання 2 стерньових культиваторів іноземного виробництва коштуватиме близько 40-60 тис. дол.

Як результат, капітальні витрати у розрахунку на гектар складатимуть **близько 10 – 60 дол.**

Термін експлуатації ґрунтообробної техніки прийнятий на рівні **10 років.** На практиці, термін використання може суттєво варіюватися і залежати від типу та можливостей господарства.

Операційні витрати

Основні операційні витрати пов’язані із щорічним ремонтом та поточним обслуговуванням ґрунтообробної техніки. Обсяг таких витрат прийнятий на рівні 10% від вартості обладнання або **1 – 6 дол. на гектар.**

Разом з тим, запровадження технології дозволяє досягати економії операційних витрат у порівнянні із традиційним полицевим обробітком. При полицевому обробітку витрати пального трактором можуть складати 35-50 л / га і більше, тоді як витрати пального при поверхневому обробітку суттєво знижуються. Скорочення використання палива може сягати до 20 л/га в порівнянні із традиційною оранкою і досягатися за рахунок меншої кількості проходів техніки через більшу ширину захвату агрегатів. При вартості дизельного палива на рівні 1,3 дол. за літр, **економія на операційних витратах складе 26 дол. на гектар.** Крім того, технологія призводить до зменшення витрат праці у розрахунку на гектар, але така економія не є суттєвою із урахуванням загальних операційних витрат.

Для цілей дослідження, на основі описаних вище припущень, **загальна економія оцінена на рівні 20 дол. на га** (різниця між додатковими операційними витратами та економією на пальному).

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Індикативний обсяг збільшення поглинання вуглецю внаслідок використання технології прийнято на рівні 0,1-0,5 т CO_2 / га, а **середній показник - 0,3 т CO_2 / га.**

Необхідні додаткові дослідження щодо фактичного впливу використання технології на зменшення викидів парникових газів / збільшення поглинання вуглецю у різних регіонах, для різних типів ґрунтів та сівозмін.

Для попередньої оцінки потенціалу скорочення використано припущення про **використання технології поверхневого обробітку ґрунту на площі близько 6 млн га** (30% від земель сільськогосподарських підприємств), зокрема, при вирощуванні озимих зернових (пшениці, ячменю, жита).

Загальний потенціал скорочення викидів оцінено на рівні **1,8 млн тонн CO_2 на рік.**

3.1.3 Смуговий обробіток ґрунту (Strip-till)

Опис технології

Смуговий обробіток передбачає обробіток тільки припосівної смуги для внесення добрив та формування сприятливих умов для посіву, тоді як основна частина поля залишається покритою рослинними рештками, і ґрунт не підлягає механічному обробітку. Посівні смуги займають менше третини поверхні поля, тоді як рослинні рештки залишаються на 70% поверхні ґрунту. Можливе нарізання смуг із внесенням добрив восени і здійснення посіву весною, або здійснення смугового посіву одночасно із внесенням добрив навесні.

Впровадження технології смугового обробітку ґрунту (Strip-till або Strip Tillage) потребує спеціалізованого обладнання для формування посівної смужки і висіву в них насіння. Ширина таких смужок може складати від 10 до 30 см. Спеціалізовані сівалки обладнані глибокорозпушувачами, колесами-прикочувачами, а також дозволяють здійснювати внесення добрив одночасно з посівом.

Дана технологія найчастіше використовується для культур, які висіваються з широким міжряддям: кукурудза, соя, соняшник, ріпак. Практикують використання технології також при вирощуванні озимої пшениці та ячменю, цукрових буряків. При використанні технології також існує необхідність змінювати систему застосування добрив та боротьби з бур'янами.

Для використання технології важливі системи автоматичного керування і навігації, зокрема із використанням технології RTK, оскільки необхідно забезпечити точний висів насіння у нарізані смуги. Крім того, важливим є правильний розподіл рослинних залишків, дотримання рекомендованої швидкості обробітку та посіву і підбір полів, для яких використання технології є оптимальним.[64]

Використання технології дозволяє зберігати органічний вуглець у ґрунті, а також отримувати додаткові переваги – економія використання пального, зменшення ерозії ґрунту, збереження ґрунтової вологи та уникнення формування ущільненого шару нижче орного горизонту (плужної підошви).

В Україні компанії запроваджують смуговий обробіток для різних культур, зокрема для соняшника та кукурудзи, і поступово збільшують площі, де використовується дана технологія, оскільки вона допомагає зберігати вологу. Існують приклади компаній, які суттєво збільшили площі під Strip-till за останні роки, і компаній, які використовують технологію на усій площі, але у різні роки, залежно від сівозміни, комбінуючи із іншими технологіями обробітку ґрунту.[65] Статистичні дані щодо рівня використання технології наразі відсутні.

Капітальні витрати

Капітальні витрати пов'язані із закупівлею спеціалізованої сільськогосподарської техніки.

Як правило, для проведення посівної за оптимальних умов підприємство має обмежений період часу, тому обладнання для сівби використовується протягом короткого періоду і одна одиниця обладнання може забезпечити посів на обмеженій площі. Тривалість посівної кампанії може складати від 10 до 30 днів. Площа обробітку буде залежати від ширини та швидкості сівалки, особливостей форми та рельєфу поля і тривалості роботи. Для розрахунків було використано припущення про базове господарство із земельним банком 1500 га, з яких на 1000 га використовується смуговий обробіток із застосуванням двох сівалок. Для прикладу, при робочій ширині захвату сівалки близько 9 м, швидкості 6 км / год, та показнику ефективного використання на рівні 75% (враховує затримки на розвороти, поповнення посівного матеріалу та інші перерви) одна сівалка може засіяти близько 50 га протягом 12-годинного робочого дня. Для посіву 1000 га дві сівалки потребуватимуть близько 10 днів.

Капітальні витрати для базового господарства для закупівлі двох сівалок становитимуть орієнтовно:

- 30-40 тис. дол. у випадку придбання обладнання українського виробника;
- 90-120 тис. дол. у випадку придбання обладнання іноземного виробника.

Орієнтовні витрати у розрахунку на 1 гектар становитимуть 30-120 дол.

Як і для ґрунтообробної техніки, тривалість життєвого циклу обладнання для посіву прийнято **на рівні 10 років**. Тривалість роботи обладнання залежить від його якості, інтенсивності використання, рівня обслуговування та інших факторів, а на практиці виробники можуть оновлювати обладнання і через 5-7 років.

64 Уникаємо помилок при Strip-till, https://agrotimes.ua/opinion/unykayemo-pomylok-pry-strip-till/

65 Див. приклади використання технології: https://www.zerno-ua.com/journals/2025/berezen-2025/skilky-gul-potribno-nabyty-shhob-zaprovadyty-strip-till/, https://agrotimes.ua/agronomiya/zahidnyj-bug-zbilshuye-ploshhi-zastosuvannya-strip-till/, https://www.growhow.in.ua/ekonomnyy-i-efektyvnyy-strip-till-dosvid-ukrainskoho-ahropidpryiemstva/, https://alfagro.com.ua/uk/intervyu-zherar-de-lya-sal-pro-tehnologiyu-strip-till/

Операційні витрати

Основні операційні витрати пов'язані із обслуговуванням те ремонтом ґрунтообробної техніки. Для цілей дослідження прийнято значення на рівні 10% від капітальних витрат. Операційні витрати складатимуть **від 3 до 12 дол. на гектар.** Поточне обслуговування та ремонт проводиться щорічно.

Витрати пального при смуговому обробітку суттєво знижуються і економія може складати близько 20 л / га. При вартості дизельного палива на рівні 1,3 дол. за літр, **економія на операційних витратах складе 26 дол. на гектар.**

Для цілей дослідження, на основі описаних вище припущень, **загальна економія оцінена на рівні 14 дол. США на га** (різниця між додатковими операційними витратами та економією на пальному).

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Індикативний обсяг збільшення поглинання вуглецю внаслідок використання технології прийнято на рівні 0,3-0,7 т CO_2 / га, а **середній показник - 0,5 т CO_2 / га.**

Додаткові скорочення викидів досягаються за рахунок зменшення споживання пального у порівнянні із традиційною оранкою орієнтовно на 20-30 л / га.

Для попередньої оцінки потенціалу скорочення використано припущення про **використання технології смугового обробітку ґрунту на площі близько 3 млн га** (15% від земель сільськогосподарських підприємств), зокрема, при вирощуванні соняшника, кукурудзи, сої та ріпаку.

Загальний потенціал скорочення викидів оцінено на рівні **1,5 млн тонн CO_2 на рік.**

3.1.4 Технологія нульового обробітку ґрунту (No-till)

Опис технології

Технологія передбачає виключення обробітку ґрунту і прямий посів за допомогою спеціалізованих сівалок.

При використанні технології рештки рослин залишаються на полі повністю або частково, але забезпечуючи повне покриття поверхні поля, а добрива і інші засоби розкидаються по поверхні або вносяться під час посіву.[66] При потребі можуть проводитися заходи по мульчуванню/подрібненню рослинних решток.

Впровадження технології потребує ретельної підготовки, яка включає додаткові дослідження ґрунтів (оцінка доступності елементів живлення, утворення плужної підошви тощо), коригування системи внесення поживних речовин, зміни системи боротьби з бур'янами і планування сівозміни.

Деякі українські аграрні компанії активно експериментують із технологією No-till або працюють, використовуючи її як основну. Разом з тим, є й випадки відмови від технології через недостатню її ефективність. Протягом перших 3-5 років після переходу до нульового обробітку може спостерігатися зменшення врожайності через адаптацію ґрунтової

66 Food and Agriculture Organization of the United Nations, http://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/minimum-mechanical-soil-disturbance/en/

екосистеми. Якщо технологічні операції розроблені не в оптимальний спосіб, то результати можуть не відповідати очікуванням.

Надійних даних про поширення технології No-till, як і інших технологій мінімального обробітку ґрунту, в Україні немає. За оцінками інформаційної бази FAO Aquastat, у 2013 році технології мінімального обробітку в Україні використовували на площі 700,000 га (2.14% від загальної площі сільськогосподарських земель).[67]

Додаткові переваги застосування технології включають зменшення ерозії ґрунту, збереження ґрунтової вологи та уникнення формування ущільненого шару нижче орного горизонту (плужної підошви). Запровадження технології відповідає національним пріоритетам екологічної політики щодо зменшення ерозії ґрунтів та забруднення водних ресурсів стоками з сільськогосподарських полів завдяки збереженню залишків біомаси на полях. Крім того, додаткові економічні переваги полягають у зменшенні операційних витрат на пальне та оплату праці завдяки зменшенню кількості технологічних операцій. До того ж, технологія має значні вигоди для адаптації до зміни клімату, оскільки забезпечує меншу залежність від погодних умов та більш ефективне використання водних ресурсів.

Капітальні витрати

Запровадження технології вимагає значних капітальних інвестицій для закупівлі спеціалізованих сівалок (сівалки для прямого посіву чи модифіковані сівалки), а також обладнання для внесення гербіцидів та добрив. Спеціалізовані сівалки для технології No-till суттєво дорожчі за традиційні сівалки.

Масштаб необхідних інвестицій залежить від конкретної технології та обладнання і у міжнародних дослідженнях (США, Казахстан, Парагвай) оцінювався на рівні 100 – 200 дол. США на га. Експерти робочої групи "Технології скорочення викидів у сільському господарстві" оцінили необхідні капітальні інвестиції на рівні 115 дол. США на га.[68]

Розрахунок капітальних витрат на гектар залежить від режиму використання техніки і базується на низці припущень щодо роботи обладнання під час проведення посівної та загального періоду експлуатації обладнання. Площа обробітку буде залежати від ширини та швидкості сівалки, особливостей форми та рельєфу поля та тривалості роботи. Для розрахунків було використано припущення про базове господарство із земельним банком 1500 га, на яких використовується дві сівалки. При робочій ширині захвату сівалки близько 9 м, швидкості 8 км / год, та показнику ефективного використання на рівня 75% (враховує затримки на розвороти, поповнення посівного матеріалу та інші перерви) одна сівалка може засіяти близько 65 га протягом 12-годинного робочого дня. Для посіву 1500 га дві сівалки потребуватимуть близько 12 днів.

Капітальні витрати для базового господарства для закупівлі двох сівалок становитимуть орієнтовно:

- від 40 до 80 тис. дол. у випадку придбання обладнання українського виробника;
- орієнтовно 200 тис. дол. у випадку придбання обладнання іноземного виробника.

67 TNA. Інформаційна картка технології. Технології мінімального обробітку землі (low-till, no-till, strip-till, тощо), https://drive.google.com/file/d/1fBzmjBDHx3PlvP45P_wgAJud2_ZwGd2H/view

68 TNA. Інформаційна картка технології. Технології мінімального обробітку землі (low-till, no-till, strip-till, тощо), https://drive.google.com/file/d/1fBzmjBDHx3PlvP45P_wgAJud2_ZwGd2H/view

Орієнтовні витрати у розрахунку на 1 гектар становитимуть 30-130 дол.

Як зазначалося вище, тривалість життєвого циклу обладнання для посіву прийнято на рівні **10 років.**

Операційні витрати

Основні операційні витрати пов'язані із обслуговуванням те ремонтом ґрунтообробної техніки. Для цілей дослідження прийнято значення на рівні 10% від капітальних витрат. **Операційні витрати складатимуть від 3 до 13 дол. на гектар.** Поточне обслуговування та ремонт проводиться щорічно.

Разом з тим, запровадження технології дозволяє досягати економії операційних витрат у порівнянні із традиційним полицевим обробітком. При полицевому обробітку витрати пального трактором можуть складати 35-50 л / га і більше. Витрати пального при нульовому обробітку знижуються на 50-70% і економія може складати близько 25 л / га. При вартості дизельного палива на рівні 1,3 дол. за літр, **економія на операційних витратах складе 33 дол. на гектар.**

Крім того, мінімальний обробіток землі дозволяє скоротити операційні витрати завдяки меншим витратам на зарплату через меншу кількість операцій з оранки та культивації перед посівом, менші витрати на ремонт та обслуговування техніки та меншу потребу у зрошенні проти традиційних практик оранки. Разом з тим, операційні витрати на засоби захисту рослин можуть зрости.[69]

У Казахстані, загальна економія за рахунок практик No-till при вирощуванні пшениці була оцінена на рівні 15 дол. США на га.[70]

Для цілей дослідження, на основі описаних вище припущень, **економія оцінена на рівні 13** дол. на га (різниця між додатковими операційними витратами та економією на пальному).

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Наукова література свідчить про потенціал збільшення поглинання вуглецю за рахунок технології No-till на рівні 270 – 500 кг С на га на рік для США[71] та 200–400 кг С на га на рік для Європи[72], що відповідає скороченню викидів парникових газів на рівні 0,7-1,8 тонн CO2 на га на рік. У рамках проєкту «Оцінка технологічних потреб», базуючись на консервативних оцінках, поглинання вуглецю було оцінено на рівні 0,7 тонн CO_2 на га на рік протягом періоду 20 років.[73]

Аналогічний індикативний обсяг збільшення поглинання вуглецю внаслідок використання технології на рівні 0,7 т CO_2 / га прийнято і для цілей даного дослідження.

Додаткові скорочення викидів досягаються за рахунок зменшення споживання пального у порівнянні із традиційною оранкою орієнтовно на 25-30 л / га.

69 Climate TechWiki, http://www.climatetechwiki.org/technology/conservation-tillage

70 FAO Investment Centre, Advancement and impact of conservation agriculture/no-till technology adoption in Kazakhstan, http://www.eastagri.org/publications/pub_docs/Info%20note_Print.pdf

71 Olson, K. R. (2013). Soil organic carbon sequestration, storage, retention and loss in U.S. croplands: Issues paper for protocol development. Geoderma, 195–196, 201–206, doi: 10.1016/j.geoderma.2012.12.004

72 Smith, P. et al. (2005). Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated, Global Change Biology, 11, 2153–2163, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.01052.x

73 TNA. Інформаційна картка технології. Технології мінімального обробітку землі (low-till, no-till, strip-till, тощо), https://drive.google.com/file/d/1fBzmjBDHx3PlvP45P_wgAJud2_ZwGd2H/view

Потенціал запровадження технології залежить від багатьох факторів, зокрема ґрунтових та кліматичних параметрів. Для прикладу, важкосуглинкові і середньосуглинкові ґрунти є більш придатними у порівнянні із глинистими та піщаними ґрунтами. Висока щільність глинистого ґрунту обмежує проникнення коренів і доступ до води, що ускладнює ріст рослин. Низька щільність легкосуглинкових ґрунтів погіршує утримання вологи, що критично для озимих культур. Піщані ґрунти мають дуже низьку щільність і структуру, яка сприяє швидкому висиханню ґрунту і призводить до обмеженої ефективності використання технології. Натомість, важкосуглинкові і середньосуглинкові ґрунти мають більш оптимальну щільність і забезпечують достатнє утримання вологи і поживних речовин для росту рослин. Низький вміст доступної вологи у ґрунті також зменшує його привабливість для використання технологій нульового обробітку. При цьому, використання технології можливе і при менш сприятливих умовах, однак потребуватиме адаптації методів, підбору культур та сівозміни, а також може бути пов'язаним із певним зниженням урожайності.

Для попередньої оцінки потенціалу скорочення використано припущення про **використання технології нульового обробітку ґрунту на площі близько 3 млн га** (15% від земель сільськогосподарських підприємств), зокрема, при вирощуванні соняшника, кукурудзи, сої та озимої пшениці.

Загальний потенціал скорочення викидів оцінено на рівні **2,1 млн тонн CO_2 на рік.**

3.2 Підвищення ефективності використання добрив

Використання мінеральних азотних добрив є основним драйвером викидів N_2O від сільськогосподарських ґрунтів. Підвищення ефективності використання добрив дозволить не лише зменшити викиди парникових газів, але й покращити економічну ефективність сільськогосподарського виробництва. Ключовим викликом для мінімізації викидів при збереженні або збільшенні рівня урожайності є балансування потреби культур у поживних речовинах та доступних обсягів азоту у ґрунті.

Будь-яке додаткове внесення азоту із мінеральними добривами разом із іншими джерелами азоту (рослинні рештки, органічні добрива) спричиняють збільшення викидів N_2O, який має значний показник глобального потенціалу потепління.

Одночасно, внесення мінеральних добрив є вкрай важливим для забезпечення високої урожайності, тому є невід'ємною практикою при вирощуванні сільськогосподарських культур, а будь-які обмеження використання мінеральних добрив можуть негативно сприйматися виробниками.

З огляду на це, **першочерговим пріоритетом є саме підвищення ефективності використанні азоту**. Наразі втрати азоту можуть складати понад 50% і залежать від форми добрив, способу застосування, ґрунтово-кліматичних умов, гідро-геологічних умов території, навиків фермера, наявної техніки, агротехнічних прийомів, виду та форми азотних добрив, строків і способів їх внесення та інших факторів. Втрата азоту з ґрунту може відбуватися у різній формі та через різні механізми: безпосередні викиди у повітря у формі N_2O або викиди у формі NH_3+ чи вимивання у формі NO_3- (нітрати), що також спричиняє додаткове утворення N_2O у процесі хімічних реакцій.

Висока вартість мінеральних азотних добрив та прагнення оптимізації сільськогосподарського виробництва стимулює господарства до запровадження технологій підвищення ефективності

використання азотних добрив. Зокрема, поширення набуває диференційоване внесення азотних добрив, оптимізація часу внесення добрив і кількаразове внесення добрив протягом року у менших кількостях, а також використання інгібіторів. Основним стимулом запровадження технологій є саме зменшення операційних витрат на вирощування урожаю. Скорочення використання азотних добрив, проте, не завжди відбувається із належним науковим обґрунтуванням, що призводить до зменшення урожайності.

Оптимальні обсяги внесення мінеральних азотних добрив залежать від культур, які вирощуються, і культур-попередників, планової урожайності та характеристик ґрунту, але на практиці також визначаються їх вартістю та фінансовими можливостями. Для зернових культур у різних господарствах обсяги внесення можуть складати 100-150 кг N на гектар, тоді як для соняшника – 60-90 кг N на гектар. Для деяких культур, як от соя, добрива можуть не вноситися або вноситися у мінімальних обсягах.

Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів[74] визначають норми внесення азотних добрив під різні сільськогосподарські культури і для різних кліматичних зон. Правила були встановлені з метою охорони вод та ґрунтів і зменшення ризику їхнього забруднення сполуками нітрогену від сільськогосподарських джерел, і поширюються на товаровиробників, які займаються сільськогосподарською діяльністю в уразливих до (накопичення) нітратів зонах. Оскільки особливості застосування добрив у значній мірі залежать від природної зони, норми встановлені окремо для п'яти природно-сільськогосподарських зон: Полісся, Лісостеп, Степ, зона Степу Посушливого, Сухостепова зона, які характеризуються певним водним режимом ґрунтів, середньорічною кількістю опадів та типом ґрунтів.[75]

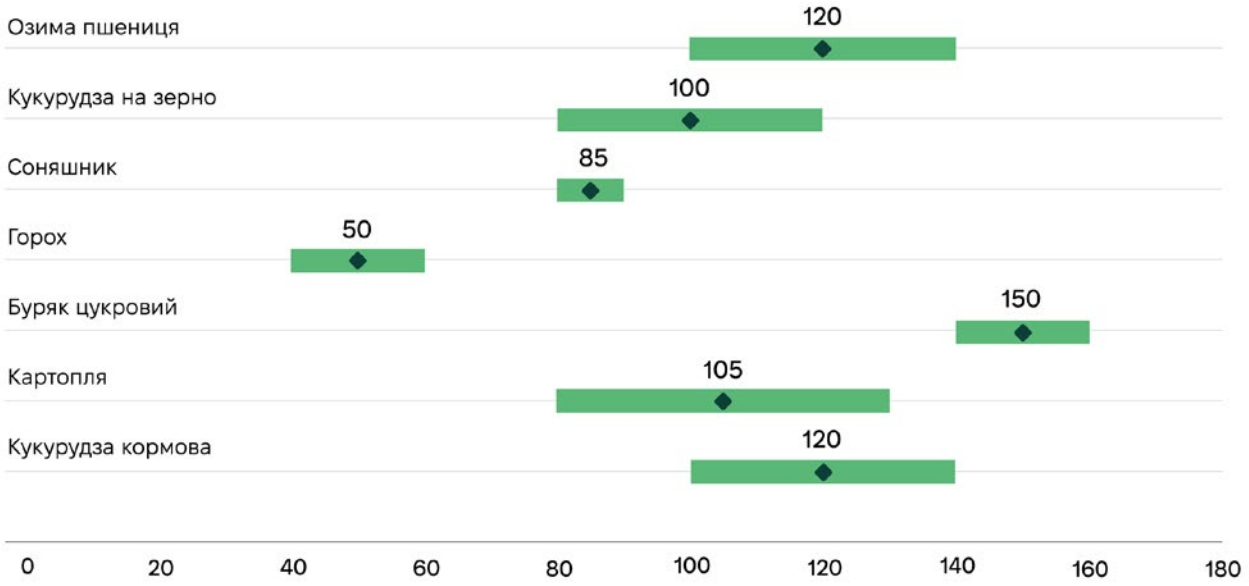


Рисунок 21. Діапазони норми внесення азотних мінеральних добрив для різних культур і природних зон та середні норми внесення (кг N / га)

74 Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24.11.2021 № 382 «Про затвердження Правил щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text

75 Такі зони визначаються Методикою визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів, затвердженою наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 квітня 2021 року № 244, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-21#n14

Якщо порівняти середні норми внесення для різних культур та структуру сільськогосподарських площ підприємств за різними культурами, то **середньозважена рекомендована норма внесення мінеральних азотних добрив складатиме близько 100 кг N / га.** Залежно від типу добрив цей показник в діючій речовині відповідає загальному обсягу внесення на рівні 200-300 кг на га (для прикладу, 216 кг на га для карбаміду, 294 кг на га для селітри тощо).

За даними Державної служби статистики України, максимального використання мінеральних азотних добрив було досягнуто у 2021 році, коли загальні обсяги внесення сягнули майже 2 млн т азоту, а через вплив російської агресії проти України використання мінеральних азотних добрив суттєво впало. При цьому **середня норма внесення протягом 2020-2023 років складала 98 кг N / га**.[76]

Ключовим фактором, який визначав обсяги споживання добрив, була ціна, яка суттєво зросла у 2022 році, і хоч потім дещо зменшилася, залишається на високому рівні.[77] Для цілей дослідження прийняте індикативне значення вартості азотних мінеральних добрив на рівні **1,4 дол. / кг N.**

Обсяги використання добрив у розрахунку на гектар також суттєво різняться за регіонами та областями України.[78]

При високих обсягах внесення і широких діапазонах типових норм внесення **існує значний потенціал для підвищення ефективності їх використання**, і компанії активно починають їх досліджувати, з огляду на зростання вартості добрив.

Найпростіші підходи до оцінки ефективності використання азотних добрив полягають у порівнянні обсягу винесення азоту із урожаєм і загального обсягу внесення азоту із добривами та рослинними рештками. На практиці, проте, можуть існувати різні підходи до оцінки і обсягів винесення, і обсягів внесення, що може призводити до різних результатів оцінки. Ефективність використання азоту може виражатися або як співвідношення, або як різниця між винесенням та внесенням азоту (у кг N / га). З точки зору агровиробників, ефективність використання добрив також оцінюється як рівень використання добрив, при якому досягається максимальний урожай і збільшення якого не впливає або несуттєво впливає на урожайність.

Одним із поширених індикаторів є показник ефективності використання азоту NUE (Nitrogen Use Efficiency), який базується на принципі балансу мас і визначається як співвідношення обсягів винесення азоту до обсягів його внесення. Низькі значення показника (<50%) свідчитимуть про неефективне використання азоту, тоді як дуже високі значення (>90%) – про ризик виснаження ґрунтів і втрати органічної речовини ґрунту. Разом з тим, сам по собі показник NUE є недостатнім для оцінки ефективності використання азоту, а має використовуватися у поєднанні із аналізом різниці між обсягами внесення та винесення азоту та загальним рівнем винесення азоту. Найбільш ефективне використання азоту відбувається за високого показника NUE, високої урожайності і малої різниці між обсягами внесення та винесення азоту. Оцінка такого показника, проте, вимагає збору детальної

76 Розрахунки на основі даних Державної служби статистики України, https://stat.gov.ua/uk/datasets/vykorystannya-dobryv-i-pestytsydiv-pid-urozhay-silskohospodarskykh-kultur-0

77 Див. коливання вартості добрив в ЄС https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DashboardFertiliser/FertiliserPrices.html та Великобританії https://ahdb.org.uk/GB-fertiliser-prices (вартість вказана для на тону продукту, а не діючої речовини).

78 Див. регіональні дані та візуалізацію на https://agrostats.uhmi.org.ua/

інформації про обсяги внесення та винесення азоту, в тому числі оцінки біологічної фіксації азоту бобовими культурами та зміни вмісту азоту в ґрунті. Для урахування різних факторів такі оцінки варто здійснювати на рівні усієї ферми чи господарства і охоплювати період, який відповідає типовій сівозміні.[79] Оптимальні значення будуть залежати від культури, сільськогосподарських практик та ґрунтово-кліматичних умов, але у багатьох випадках ефективним вважається показник на рівні 60-80%.

Для оцінки ефективності використання поживних речовин серед агроекологічних індикаторів у ЄС Євростат збирає дані про обсяги внесення та винесення азоту на гектар сільськогосподарських угідь та розрахунковий загальний баланс – для більшості країн фіксується надлишок азоту у межах 30-60 кг N на гектар.[80] При цьому середній показник на рівні ЄС скоротився із 62,2 кг N на гектар на початку 2000-х до 51.1 кг N на гектар у 2015 році у великій мірі через підвищення ефективності використання азотних добрив. Хоч уникнути втрат азоту через викиди в повітря та вимивання у водні об'єкти неможливо, втрати азоту необхідно зменшувати до мінімально можливих рівнів.[81]

У ЄС використання азотних добрив складало близько 10 млн тонн протягом останніх кількох десятиліть, однак суттєво скоротилося внаслідок російської агресії проти України та спровокованого війною підвищення цін. Протягом останніх трьох сезонів в середньому використовувалося 8,7 млн т азоту на 122,9 млн га (71 кг / га). На близько чверті сільськогосподарських земель (38,9 млн га), головним чином пасовищах, добрива не використовуються. Протягом наступних 10 років, за оцінками, використання азотних добрив поступово відновлюватиметься і становитиме близько 9 млн тонн добрив, які будуть використовуватися на 122,1 млн га сільськогосподарських земель.[82] Таким чином, **в ЄС середній показник використання азотних добрив складатиме близько 74 кг / га**. При цьому, очікується помітне зростання урожайності зернових культур і певне збільшення споживання добрив для більшості культур при зменшенні споживання для кукурудзи, яка використовується для силосу і виробництва біогазу.

Разом з тим, у середньостроковій перспективі (до 2035 року) Європейська Комісія прогнозує скорочення використання мінеральних азотних добрив через краще управління їх використанням. Як наслідок, викиди N_2O від сільського господарства зменшаться на 4%, в тому числі завдяки скороченню споживання мінеральних добрив на 6,7% і зменшення площі землі, яка обробляється (utilised agricultural area (UAA)) на 2,6%. Покращення управління добривами разом з іншими факторами зменшить втрати азоту – загальний надлишок скоротиться на 11% у розрахунку на гектар.[83]

Підвищення ефективності використання азоту у сільському господарстві за рахунок

79 E Nitrogen Expert Panel. Nitrogen Use Efficiency (NUE). Guidance Document for assessing NUE at farm level, https://www.eunep.com/wp-content/uploads/2023/12/NUE-Guidance-Document.pdf

80 Eurostat. Gross nutrient balance, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/aei_pr_gnb/default/table?lang=en

81 EEA. Agricultural land: nitrogen balance, https://www.eea.europa.eu/airs/2018/natural-capital/agricultural-land-nitrogen-balance

82 Fertilizer Europe, Forecast of food, farming & fertilizer use in the European Union 2024-2034, https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2024/12/Forecast-2024-34-web.pdf ; Див. також дані Євростат, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/aei_fm_usefert/default/table?lang=en та https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_mineral_fertiliser_consumption

83 European Commission. Report: EU agricultural outlook 2024-2035, https://agriculture.ec.europa.eu/data-and-analysis/markets/outlook/medium-term_en

оптимізації кількості, способу або часу внесення добрив може сприяти зменшенню і прямих, і непрямих викидів N_2O, особливо від вивітрювання. Непрямі викиди від вимивання пов'язані із режимом зволожування, тому їх рівень у більшій мірі може залежати від кількості опадів та наявності зрошення.[84]

Враховуючи стандартні коефіцієнти викидів і керівництва, що використовуються у національній інвентаризації, економія 10 кг азоту призводить до скорочення викидів на рівні близько 0,2 кг N_2O (прямих та непрямих викидів) або близько 53-55 кг CO_2-екв. (залежно від показника потенціалу глобального потепління: 5 Оціночний звіт МГЕЗК - GWP_{N2O} = 265; 6 Оціночний звіт МГЕЗК - GWP_{N2O} = 273).

Особливістю даних технологій є те, що не всі заходи, які скорочують викиди парникових газів, можуть бути зафіксовані у національних кадастрах викидів парникових газів через обмеження методологій, які використовуються.

3.2.1 Використання добрив із сповільненим виділенням азоту та інгібіторів

Опис технології

Добрива із контрольованими вивільненням азоту (controlled-release fertilizers (CRF), slow-release fertilizers (SRF)) забезпечують поступове постачання азоту у ґрунт протягом 2-6 місяців, що більше відповідає потребам рослин під час росту. Приклади таких добрив включають гранули карбаміду, вкриті сіркою (Sulfur-Coated Urea) або полімерами (Polymer-Coated Urea). Існують різні класифікації та критерії, які визначають добрива зі сповільненим або контрольованим виділенням азоту, і види таких добрив постійно розвиваються.[85]

Факторами, які контролюють виділення азоту, можуть бути вологість, температура та мікробіологічна активність. Капсульовані добрива також можуть містити різні мікроелементи для покращення якості ґрунтів.

Інгібітори сповільнюють перетворення амонію у нітрати, що також скорочує викиди N_2O, однак важливим є своєчасне використання інгібіторів із належними характеристиками. Загалом, існує два основних типи інгібіторів:

- інгібітори уреази, які пригнічують гідролітичну дію ферменту уреази на сечовину та сповільнюють процес перетворення азотних добрив на основі сечовини (карбамід, карбамідно-аміачна селітра) на амоніак (NH_3), який в подальшому перетворюється на амоній (NH_4^+), та карбамінову кислоту на період близько двох тижнів;
- інгібітори нітрифікації, які пригнічують перетворення мікроорганізмами амонію (NH_4^+) з добрив в нітрити та, в подальшому, в нітрати; затримка відбувається через пригнічення активності бактерій роду Nitrosomonas і залежить від температури та може тривати від кількох тижнів при вищих температурах і до десяти тижнів при низьких температурах.

84 Bruno, I.P.; Araújo, A.G.; Merten, G.H.; Ladeira, A.S.; Pinto, V.M. Crop Rotation and Nitrogen Fertilizer on Nitrate Leaching: Insights from a Low Rainfall Study. Nitrogen 2024, 5, 329-348. https://doi.org/10.3390/nitrogen5020022

85 Alexey P. Dovzhenko, Olga A. Yapryntseva, Kirill O. Sinyashin, Tinatin Doolotkeldieva, Rustem R. Zairov, Recent progress in the development of encapsulated fertilizers for time-controlled release, Heliyon, Volume 10, Issue 15, 2024, e34895, ISSN 2405-8440, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34895. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024109267)

Інгібітори можуть продаватися як окремий продукт для додавання до добрив або входити до складу деяких добрив.

В Україні технології ще не набули поширення, однак окремі українські компанії експериментують з різними типами інгібіторів та добривами зі сповільненим виділенням азоту для оцінки їх економічної ефективності. Зокрема, сільськогосподарські компанії та фермерські господарства поступово збільшують використання інгібіторів уреази спільно із внесенням рідких азотних добрив. Технологія є достатньо простою у застосуванні і не потребує додаткового технологічного обладнання. Основним стимулом використання інгібіторів є потенційний вплив на урожайність через підвищення ефективності використання азотних добрив. У більшості випадків інгібітори мають позитивний ефект і у вологому ґрунті, і в період посухи, подовжуючи період активності азоту.

Додаткові переваги від використання технології включають зменшення негативного впливу на довкілля, зокрема водні ресурси.

Капітальні витрати

Використання технології не потребує додаткових капітальних витрат, оскільки добрива можуть вноситися технікою та обладнанням, які використовуються для внесення звичайних добрив.

Операційні витрати

Додаткові операційні витрати пов'язані із значно більшою вартістю добрив із сповільненим виділенням азоту і добрив з інгібіторами. Вартість застосування інгібіторів уреази та нітрифікації буде залежати від обраного типу та складу препарату, його рекомендованої норми внесення та виробника і може коливатися у широких межах.

Вартість добрив з інгібіторами може бути на 30%-60% вищою, тоді як ціна на добрива із сповільненим виділенням азоту може бути у два і більше разів вищою за вартість традиційних мінеральних добрив.[86]

Оскільки внесення відбувається традиційною технікою, додаткові операційні витрати на процес внесення добрив не передбачаються.

При цьому, використання таких добрив може дозволити частково скоротити загальний обсяг внесення азоту через більш ефективне його використання.

При індикативній вартості мінеральних азотних добрив на **рівні 1,4 дол. на кг N** вартість добрив із сповільненим вивільненням азоту та інгібіторами може складати 1,8-2,8 дол. на кг N. Із урахуванням потенційної 10% економії на загальних обсягах внесення додаткові витрати можуть складати **від 22 до 112 доларів на гектар і більше (для цілей дослідження прийнято середнє значення 67 дол. / га).**

Капсульовані добрива можуть містити різні мікроелементи, тому мати додаткові переваги і призводити до економії на окремому внесенні.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Потенціал скорочення викидів N_2O внаслідок використання інгібіторів і добрив із сповільненим

86 IFA. Reducing Emissions from Fertilizer Use, 2022, https://www.fertilizer.org/wp-content/uploads/2022/09/2022_IFA_Systemiq_Reducing_Emissions_from_Fertilizer_Use_Report_Jan_12_2023.pdf

виділенням азоту залежить від багатьох факторів і може коливатися у широких межах від 20% до 60%. Скорочення викидів досягається за рахунок більш ефективного використання азоту і зменшення обсягів втрат азоту з ґрунту, а також частково за рахунок потенційного зменшення норми застосування добрив.

За індикативними усередненими оцінками дані технології можуть дозволити скоротити викиди від використання мінеральних добрив на **0,2 т CO_2-екв. на гектар** (припускається скорочення норми внесення на 10 кг N на гектар та додаткові скорочення на 30% через зменшення втрат азоту).

З огляду на високу вартість потенціал використання добрив із сповільненим та контрольованим виділенням азоту на даному етапі є обмеженим. За деякими оцінками, вони займають менше 1% ринку мінеральних добрив.[87]

Для цілей дослідження використане припущення про потенціал запровадження технологій на **1 млн га** (5% від площ сільськогосподарських підприємств), а загальний потенціал скорочення викидів – **0,2 млн т CO_2-екв на рік.**

3.2.2 Диференційоване внесення добрив та інші інструменти точного землеробства

Опис технології

Технології точного землеробства включають різні практики, зокрема, використання автопілотів та систем паралельного водіння (Controlled Traffic Farming), диференційований посів, диференційований полив чи внесення пестицидів, однак саме диференційоване внесення добрив може мати найбільший позитивний вплив на скорочення викидів парникових газів. Інші технології також мають позитивний вплив, наприклад, завдяки економії пального для техніки, електроенергії для транспортування води або меншого обсягу викидів, пов'язаних із виробництвом пестицидів, але такий вплив є меншим за обсягом і більш складним для оцінювання.

Диференційоване внесення азотних добрив пов'язане із використанням інформаційних і телекомунікаційних технологій у секторі сільського господарства[88], зокрема:

- використання дронів для моніторингу стану сільськогосподарських земель з повітря з фото- та відеофіксацією, а також застосуванням різноманітних сенсорів; дрони використовуються для розробки карт внесення добрив, а також карт вегетаційних індексів (NDVI), вологості та інших карт із характеристиками ґрунтів;
- використання супутникових знімків для аналізу родючості земельних ділянок та інших характеристик на основі дослідження історичних знімків з метою підготовки карт середньої родючості та вегетаційних індексів;

87 Alexey P. Dovzhenko, Olga A. Yapryntseva, Kirill O. Sinyashin, Tinatin Doolotkeldieva, Rustem R. Zairov, Recent progress in the development of encapsulated fertilizers for time-controlled release, Heliyon, Volume 10, Issue 15, 2024, e34895, ISSN 2405-8440, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34895. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024109267)

88 TNA. Інформаційна картка технології. Використання інформаційних та телекомунікаційних технологій для скорочення викидів парникових газів у сільському господарстві, https://drive.google.com/file/d/1EaBF76IjZKSgf6MHlOq5xFt2g3K0E0zL/view

- використання спеціалізованого програмного забезпечення та додатків, включаючи хмарні рішення, для управління внесенням добрив, зрошенням, внесенням засобів захисту рослин тощо.

Мультиспектральні та гіперспектральні зйомки з повітря та супутникові знімки дозволяють створювати карти індексів вегетації (NDVI), на яких можна фіксувати рослини, що знаходяться у стресових умовах, а також розрізняти рослини на різних стадіях розвитку. Дані про індекс NDVI у поєднанні з іншими індексами, зокрема індексом дефіциту водозабезпечення рослин (Crop- Water Stress Index (CWSI)) та індексом вмісту хлорофілу у рослинному покриві (Canopy-Chlorophyll Content Index), в інструментах сільськогосподарського картування можуть надати цінну інформацію про стан здоров'я рослин. Дані, які збираються за допомогою дронів і супутникових знімків, також поєднуються з іншими джерелами інформації, наприклад, даними аналізу ґрунту та інформацією про погоду для планування внесення добрив.

Використання інформаційних та телекомунікаційних технологій дозволяє диференційовано вносити добрива та скорочувати кількість внесених добрив, а також більш ефективно використовувати паливо та інші ресурси. **Економія може сягати до 20% без втрати родючості на полях із значними варіаціями характеристик ґрунту на різних ділянках і в середньому складати 5-10%.** Разом з тим, **диференційоване внесення добрив не завжди призводить до зменшення використання добрив,** оскільки практикується внесення меншої кількості добрив на ділянках поля із низькою історичною родючістю (або так званим потенціалом поля), але одночасне збільшення внесення добрив на ділянках з високою родючістю. При такому підході середня норма внесення добрив залишається незмінною (для прикладу, для пшениці на низькопродуктивних ділянках може вноситися 110 кг азоту, а на високопродуктивних 150 кг при середній нормі внесення 130 кг N на гектар).

Технологія може широко використовуватися в усіх регіонах України. На українському ринку присутні і національні, і міжнародні надавачі відповідних послуг. Продукти, що пропонуються, включають обладнання і програмне забезпечення для управління роботою сільськогосподарських компаній, рішення для обстеження полів дронами та використання супутникових знімків, а також рішення для точного землеробства. Великі українські агрохолдинги також розробляють власні інноваційні продукти, засновуючи акселератори для розробників та співпрацюючи з місцевими і міжнародними стартапами, а також створюючи окремі підрозділи чи компанії. Використання технології може бути суттєво розширено у короткостроковій перспективі.[89]

Для внесення добрив використовується різні методи та обладнання, які залежить від типу та форми застосування добрив (гранули, рідкі добрива, тверді органічні добрива тощо), але у більшості випадків існують опції для запровадження диференційованого внесення. Диференційоване внесення рідких неорганічних добрив може здійснюватися за допомогою спеціалізованих обприскувачів, а гранульованих добрив – за допомогою центрифужних розкидачів (spinner spreader / centrifugal spreader), пневматичних розкидачів (pneumatic spreader) та обладнання для локального внесення добрив під корінь рослин (fertiliser drills). На основі карт внесення добрив системи контролю диференційованого внесення для розкидачів можуть змінювати масовий потік добрив від бункера до систем дозування та

89 Див. приклади компаній та інформацію про перспективні напрями розвитку у Ukrainian Global Innovation Strategy Until 2030, AgroTech Sectoral Development Strategy, https://winwin.gov.ua/assets/files/ENG_AgroTech.pdf

подачі, наприклад, через зміну величини отвору у нижній частині бункера чи через зміну швидкості конвеєрної стрічки. Органічні добрива також можуть вноситися диференційовано за рахунок зміни налаштувань насосного обладнання чи клапанів у випадку рідких добрив.[90]

Ефективне використання добрив окрім позитивного впливу на клімат забезпечує додаткові екологічні переваги, зокрема, зменшення забруднення водних ресурсів та скорочення забруднення атмосферного повітря, пов'язаного зі спалюванням викопного палива при виробництві добрив. Більш ефективне використання добрив матиме позитивний вплив на здоров'я населення через менший вміст нітратів у сільськогосподарських продуктах та зменшення забруднення ґрунтів і водних ресурсів. До того ж, технології точного землеробства мають позитивний вплив на продуктивність господарств, оскільки вони забезпечують вищі або сталі показники урожайності при менших операційних витратах.

Підвищення ефективності сектору сільського господарства та управління земельними ресурсами за рахунок інноваційних рішень є однією із стратегічних цілей стратегії цифрового розвитку інноваційної діяльності, яка передбачає розробку сучасних технологій автоматизації та роботизації, а також технологій точного землеробства та інших кліматичних технологій.[91]

Капітальні витрати

Капітальні витрати стосуються, головним чином, витрат на закупівлю техніки та обладнання, яке дозволить застосовувати на практиці рекомендації, розроблені на основі використання цифрових технологій (трактори з бортовими комп'ютерними системами, спеціалізоване програмне забезпечення, обладнання для диференційованого внесення добрив тощо). Додаткові витрати можуть бути також актуальними у випадку створення власних підрозділів з використання цифрових технологій як альтернативи послуг спеціалізованих компаній.

Отже, обсяг капітальних інвестицій залежить від наявного обладнання та рівня запровадження технологій точного землеробства, але загалом перехід на диференційоване внесення добрив не потребує дуже значних витрат. Наявна техніка, наприклад розкидачі добрив, може бути дообладнана для диференційованого внесення **із інвестиціями близько 5-20 тис. дол. і більше на одиницю обладнання** шляхом встановлення систем управління та контролю внесення (контролери, консолі, вагові системи тощо). Витрати будуть вищими при купівлі нових розкидачів добрив із функціями диференційованого внесення.

Орієнтовний життєвий цикл обладнання складає **10 років**, тому, враховуючи потенційну площу обробітку, капітальні витрати у розрахунку на гектар є відносно незначними – для цілей дослідження капітальні витрати прийняті на рівні **20 дол. / га**, однак витрати будуть суттєво залежати від наявного парку техніки та рівня запровадження технології.

90 Soto Embodas, I., Barnes, A., Balafoutis, A., Beck, B., Sanchez Fernandez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., Van Der Wal, T., Eory, V. and Gomez Barbero, M., The contribution of precision agriculture technologies to farm productivity and the mitigation of greenhouse gas emissions in the EU, EUR 29320 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-79-92834-5, doi:10.2760/016263, JRC112505, https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC112505

91 Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2024 р. № 1351-р «Про схвалення Стратегії цифрового розвитку інноваційної діяльності України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1351-2024-%D1%80#Text; Ukrainian Global Innovation Strategy Until 2030, AgroTech Sectoral Development Strategy, https://winwin.gov.ua/assets/files/ENG_AgroTech.pdf

Операційні витрати

Операційні витрати включають витрати на внесення добрив та витрати на визначення обсягів внесення та створення відповідних карт та завдань. Оскільки витрати на внесення добрив відбуваються і при традиційному внесенні, вони не враховуються для оцінки вартості технології. Додаткові операційні витрати варіюють від 3 дол. США на гектар (розробка рекомендацій щодо внесення добрив на основі моніторингу за допомогою дронів) до близько 10 доларів на гектар для використання супутникових знімків при плануванні зрошення і аж до 100 доларів на гектар і більше залежно від комплексу технологій, що використовуються, і необхідних додаткових аналізів ґрунту.[92] Усереднені операційні витрати, пов'язані із використанням дронів та супутникових знімків для оцінки стану культур, прогнозу урожайності, створення карт диференційованого внесення добрив, складають близько 6-25 Євро на гектар.[93] Разом з тим, такі технології стрімко розвиваються і їх вартість може скорочуватися. Для цілей дослідження **додаткові операційні витрати прийняті на рівні 15 дол. на гектар.**

Водночас, запровадження технології може скоротити операційні витрати аграрних компаній внаслідок економії на закупівлі добрив та підвищити економічну ефективність їх роботи, створюючи загальний позитивний фінансовий ефект. При загальній економії 8 кг N на гектар і прийнятій вартості добрив **рівні 1,4 дол. на кг N** зменшення витрат складе **11 дол. на гектар,** у великій мірі компенсуючи додаткові витрати. Фінансова ефективність, проте, буде залежати від обладнання та капітальних інвестицій, розміру господарства та впливу на операційні витрати і має визначатися у кожному окремому випадку. Більші господарства матимуть кращі показники ефективності.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Оцінки потенціалу скорочення використання добрив за рахунок диференційованого внесення у різних дослідженнях варіює у широких межах від 5% до 30% і більше. Для цілей дослідження прийнято **середній показник на рівні 8% зменшення використання азотних добрив** на основі європейського досвіду. Додатково, використання технологій автопілотів та точного керування для сільськогосподарської техніки може скоротити споживання палива на близько 5%.[94]

При усередненій індикативній нормі внесення добрив на рівні 100 кг N / га зменшення використання на 8% відповідатиме скороченню викидів на рівні **0,04 т CO_2-екв. на гектар.**

Потенціал запровадження технології буде залежати від низки факторів, в тому числі розміру

92 TNA. Інформаційна картка технології. Використання інформаційних та телекомунікаційних технологій для скорочення викидів парникових газів у сільському господарстві, https://drive.google.com/file/d/1EaBF76IjZKSgf6MHlOq5xFt2g3K0E0zL/view

93 Soto Embodas, I., Barnes, A., Balafoutis, A., Beck, B., Sanchez Fernandez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., Van Der Wal, T., Eory, V. and Gomez Barbero, M., The contribution of precision agriculture technologies to farm productivity and the mitigation of greenhouse gas emissions in the EU, EUR 29320 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-79-92834-5, doi:10.2760/016263, JRC112505, https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC112505

94 Soto Embodas, I., Barnes, A., Balafoutis, A., Beck, B., Sanchez Fernandez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., Van Der Wal, T., Eory, V. and Gomez Barbero, M., The contribution of precision agriculture technologies to farm productivity and the mitigation of greenhouse gas emissions in the EU, EUR 29320 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-79-92834-5, doi:10.2760/016263, JRC112505, https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC112505

господарств, оскільки для економічної ефективності технологій характерний ефект масштабу. Для цілей дослідження прийнято припущення про **потенціал запровадження на 15 млн га або 75% від площі угідь сільськогосподарських підприємств, оскільки для підвищення ефективності використання добрив і зменшення впливу на довкілля такі підходи мають стати звичною практикою для виробників.**

Додаткові скорочення викидів парникових газів можуть бути досягнуті через зменшення обсягів використання викопного палива для виробництва добрив. Водночас, з огляду на глобальні ринки добрив та можливість додаткового використання добрив на інших площах, а також враховуючи те, що викиди хімічної промисловості не охоплюються даним дослідженням, такий потенціал не розглядається.

Загальний потенціал скорочення викидів оцінено на рівні **0,6 млн т CO2-екв. на рік**.

3.2.3 Оптимізація обсягів, способів та часу внесення азоту

Опис технології

Визначення оптимальних обсягів, способу (розкидний чи локальний) та часу внесення мінеральних добрив (і окремих періодів, і кількості окремих операцій із внесення) із урахуванням характеристик ґрунту, кількості рослинних решток та інших факторів дозволяє уникати надмірного вмісту азоту та викидів N_2O. Оптимальний час внесення добрив, який відповідає періодам найбільших потреб рослин у поживних речовинах, також сприяє підвищенню ефективності використання азоту, хоч і може потребувати збільшення кількості операцій зі внесення добрив.

Основне внесення добрив спрямоване на забезпечення рослин елементами живлення впродовж всього періоду вегетації (вноситься більша частина загальної норми добрив під культуру), припосівне або рядкове внесення добрив спрямоване на забезпечення рослин елементами живлення на перших етапах онтогенезу, а підживлення покликане забезпечити рослин елементами живлення в критичні фази росту та розвитку.[95]

У багатьох випадках виробники вносять азотні добрива один раз на рік та за один прохід в осінній або весняний період, що пов'язано із уставленими практиками, обмеженими технічними можливостями, а також дефіцитом вологи та опадів. Водночас, потреби рослин в азоті залежать від етапу вегетаційного циклу і є найбільшими під час інтенсивного росту, що призводить до дисбалансу і неефективного використання азоту. Для прикладу, втрати можуть бути особливо значними при використанні рідкого безводного аміаку, що містить 82,3% азоту, якщо воно відбувається в ранньовесняний період. У деяких випадках, для компенсації втрат азоту фермери збільшують норми внесення, щоб покрити недоотримання азоту культурами протягом вегетації, що приводить до ще більшого зростання викидів та ще менш ефективного використання азотних добрив.

Одним із способів оптимізації є проведення «дробного» внесення азотних добрив протягом вегетації, що підвищує ефективність використання добрив та зменшує викиди. Важливо також враховувати кліматичні особливості регіону при плануванні обсягів внесення добрив (для прикладу, застосування менших норм азотних добрив в південних областях). Загальна норма внесення добрив для кукурудзи, озимої пшениці, ріпаку, соняшника та інших культур

95 Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24.11.2021 № 382 «Про затвердження Правил щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text

може вноситися за 2-3 етапи. Такий спосіб може дозволити скоротити використання азоту на 10-30 кг N / га за рахунок підвищення ефективності засвоєння добрив.

Заходи із оптимізації обсягів, способів та часу внесення азотних добрив також відповідатимуть цілям впровадження положень Нітратної директиви[96], яка покликана зменшити забруднення води від сільськогосподарських джерел через ефективніше використання азоту й інших поживних елементів.[97] Одним із ключових інструментів Нітратної директиви є розробка програм заходів для кожної країни, які визначають вимоги щодо використання азотних добрив для різних культур та умов.[98]

Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів[99] надають загальні рекомендації щодо норм, часу та способів внесення добрив для різних природних зон на ґрунтів. Рекомендації, зокрема, включають розподіл загальної норми на кілька прийомів, періоди, в які внесення мінеральних азотних добрив є небажаним тощо. Внесення азотних добрив відповідно до правил забороняється на землях, які розташовані на крутих схилах з ухилом >5° (можливе лише позакореневе підживлення у критичні фази росту та розвитку рослин). Крім того, забороняється застосування азотних добрив на перезволожених, підтоплених, затоплених, мерзлих (з глибиною промерзання більше 8 см) та вкритих снігом ґрунтах.[100]

Важливим є розрахунок балансу елементів живлення в ґрунтах при визначенні норм внесення добрив. Базова інформація для розрахунку балансу елементів живлення в ґрунтах, яка включає надходження азоту з мінеральними і органічними добривами, посівним матеріалом, атмосферними опадами та за рахунок симбіотичної фіксації, а також винесення азоту із товарною та нетоварною частиною врожаю, втрати з фільтраційними водами та газоподібні втрати, наведена у Правилах щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів.[101] При урахуванні ґрунтово-кліматичних умов, способу внесення, культур-попередників та інших факторів норму внесення азотних добрив можна зменшити на 20-40 кг N / га.

Додатковими факторами, які можуть зменшити потреби в азотних добривах, є збільшення бобових культур в сівозміні (соя, квасоля, сочевиця, вика, нут) та посів багаторічних трав (конюшина, люцерна, еспарцет) для зменшення використання азотних добрив під наступні культури без негативного впливу на врожайність, а також використання біологічних інокулянтів насіння, що дозволяє збільшувати фіксацію азоту.

96 Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources, https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/676/oj/eng

97 Див. приклади досвіду європейських фермерів щодо впровадження положень Нітратної директиви: Як впроваджувати Нітратну директиву у межах ферми та країн та на фермі?, https://ecoaction.org.ua/iak-vprovadzhuvaty-nitratnu-dyrektyvu.html

98 Див. приклад Польщі: Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 stycznia 2023 r. w sprawie „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu", https://dziennikustaw.gov.pl/DU/2023/244

99 Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24.11.2021 № 382 «Про затвердження Правил щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text

100 Див. карту природно-сільськогосподарських зон та іншу додаткову інформацію: Екодія, Кодекс кращих сільськогосподарських практик, https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/01/kodeks-krashyh-sg-praktyk.pdf

101 Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24.11.2021 № 382 «Про затвердження Правил щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text

Капітальні витрати

Запровадження технологій не потребує додаткових капітальних витрат.

Операційні витрати

Ключовим для запровадження технологій є розробка належних рекомендацій, що може бути забезпечено за допомогою залучення спеціалізованих надавачів послуг або власного персоналу. Однак, важливим для таких рекомендацій є детальний агрохімічний аналіз ґрунту, вартість якого може складати **4-10 дол. / га.**[102] Для цілей дослідження загальні операційні витрати, пов'язані із закупівлею консультаційних послуг, оплатою праці та аналізами ґрунту, прийняті на рівні **10 дол. / га.**

При загальній економії 10 кг N на гектар і прийнятій вартості добрив **рівні 1,4 дол. на кг N** зменшення витрат складе **14 дол. на гектар,** компенсуючи додаткові витрати.

Певні додаткові операційні витрати можуть бути пов'язані із додатковими операціями щодо внесення азотних добрив, однак вони також можуть компенсуватися певним збільшенням урожайності за рахунок підвищення ефективності використання поживних речовин.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Для цілей дослідження **потенціал скорочення споживання азоту прийнято на рівні 10 кг N на га** (або 10% від усередненої індикативної норми внесення добрив на рівні 100 кг N на гектар), що відповідає скороченню викидів на рівні **0,05 т CO_2-екв. на гектар.**

Потенціал запровадження технології прийнято на рівні 15 млн га або 75% від площі угідь сільськогосподарських підприємств, оскільки для підвищення ефективності використання добрив і зменшення впливу на довкілля такі підходи мають стати звичною практикою для виробників.

Загальний потенціал скорочення викидів оцінено на рівні **0,8 млн т CO2-екв. на рік**.

3.3 Зміна землекористування

Зміна землекористування може призводити до значних змін у обсягах накопиченого у ґрунтах вуглецю, досягаючи при цьому позитивного впливу для захисту біорізноманіття, зменшення забруднення водних ресурсів, адаптації до наслідків зміни клімату та збереження і відновлення екосистемних послуг.

3.3.1 Виведення земельних ділянок із сільськогосподарського виробництва

Опис технології

Виведення земельних ділянок із сільськогосподарського виробництва може бути пов'язане із впливом військових дій, дотриманням природоохоронного законодавства та створенням буферних зон.

Концепція Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель серед іншого передбачає зменшення сільськогосподарської освоєності на 5% та розораності

102 Де зробити аналіз ґрунту: список агролабораторій, https://superagronom.com/blog/1073-de-zrobiti-analiz-gruntu-spisok-agrolaboratoriy

території на 10%, а також оптимізацію структури агроландшафту, земельних угідь і підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь.[103]

Крім того, Національний план дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням передбачає створення і відновлення сіножатей та пасовищ та виведення зі складу орних земель схилів, земель водоохоронних зон, ерозійно небезпечних та інших не придатних для розорювання угідь.[104] Питома вага площі сільськогосподарських угідь екстенсивного використання (сіножатей, пасовищ) у загальній території країни має зрости до 15,8% із базового рівня 13% (збільшення площі на 1,7 млн га).[105]

В українському законодавстві передбачено процедуру консервації земельних ділянок, однак досі існують лише окремі приклади виведення невеликих ділянок із сільськогосподарського використання, в тому числі виведення з господарського обігу ріллі для відтворення степового фітоценозу.[106]

Закон України «Про охорону земель»[107], визначає земельні ділянки, які підпадають консервації, зокрема:

- земельні ділянки, що використовуються з порушенням вимог щодо охорони земель від ерозії та зсувів, які включають заборону розорювання схилів крутизною понад 7 градусів (крім ділянок для залуження, залісення та здійснення ґрунтозахисних заходів);
- рілля із ґрунтовими властивостями, які зумовлюють необхідність консервації земель відповідно до Порядку консервації земель (еродовані ділянки, ділянки із вмістом гумусу менше 1% від маси ґрунту (0,5% для Полісся), засолені, хімічно забруднені ґрунти тощо)[108];
- деградовані землі, малопродуктивні землі, що не мають степового, лучного, лісового рослинного покриву, господарське використання яких є екологічно небезпечним та економічно неефективним, а також техногенно забруднені земельні ділянки, на яких неможливо одержати екологічно чисту продукцію, а перебування людей на цих земельних ділянках є небезпечним для їхнього здоров'я;
- земельні ділянки, забруднені хімічними речовинами внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану;
- земельні ділянки, на яких розташовані військові інженерно-технічні та/або фортифікаційні споруди;

103 Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 січня 2022 р. № 70-р Київ Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-%D1%80#Text

104 Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 березня 2016 р. № 271-р (зі змінами) «Про затвердження Національного плану дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/271-2016-%D1%80#Text

105 Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text

106 Приклади консервації земель в Україні: практичний досвід / С.М. Панченко та ін. Грайфсвальд: Фонд Зукково, 2024. 58 с.

107 Закон України «Про охорону земель», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#n388

108 Додаток до Порядку консервації земель, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19 січня 2022 р. № 35, «Показники, що характеризують ґрунтові властивості і зумовлюють необхідність консервації земель за природно-сільськогосподарськими зонами», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/35-2022-%D0%BF#Text

- інші деградовані та малопродуктивні землі.

Відповідно до Земельного кодексу України (Глава 28), до деградованих земель відносяться, зокрема, земельні ділянки із забрудненими хімічними речовинами ґрунтами, а до малопродуктивних земель - сільськогосподарські угіддя, ґрунти яких характеризуються негативними природними властивостями, низькою родючістю, а їх господарське використання за призначенням є економічно неефективним.

Консервація земель здійснюється відповідно до робочого проєкту землеустрою шляхом припинення чи обмеження їх господарського використання на визначений термін та залуження, заліснення або ренатуралізації.[109]

У рамках проєкту «Управління ґрунтами, багатими на вуглець: обізнаність, розвиток потенціалу й економічні можливості» було розроблено алгоритм консервації земель з подальшим їх заповіданням (надання статусу територій та об'єктів природно-заповідного фонду) за умов значного хімічного забруднення внаслідок військових дій та алгоритм консервації земель в умовах забруднення вибухонебезпечними предметами внаслідок військових дій.[110]

У наслідок військової агресії РФ Україна втратила значну частину земельних ресурсів і внаслідок тимчасової окупації території, і внаслідок забруднення підконтрольних територій під час військових дій. Станом на 2024 рік, Україна втратила 8,4 млн га сільськогосподарських земель внаслідок окупації, включаючи 6,9 млн га ріллі та перелогів.[111] За оцінками NASA Harvest, **близько 2,1-2,8 млн га земель вздовж ліній фронту були покинуті і не використовувалися для вирощування сільськогосподарських культур** внаслідок військових дій.[112] На більшій частині окупованих територій продовжувалося сільськогосподарське виробництво. Крім того, станом на жовтень 2023 року площа забруднених сільськогосподарських земель оцінювалася на рівні 1,5 млн га, а вартість їх рекультивації оцінювалася як 329 млн дол. (близько 220 дол. на га).[113]

Досвід деокупованих територій демонструє, що значна частина земельних ділянок повертаються до сільськогосподарського виробництва після розмінування. Тим не менш, безпосередньо на лінії зіткнення земельні ділянки можуть бути настільки пошкодженими і забрудненими, що вже не зможуть бути повернуті до безпечного сільськогосподарського використання.

ґрунти у зоні бойових дій можуть бути забруднені нафтопродуктами (пальне, мастильні матеріали), залишками вибухових речовин та продуктами їхнього розпаду, важкими металами та їхніми сполуками і радіоактивними речовинами. Саме ґрунти є головним середовищем депонування воєнно-техногенних забруднювальних речовин і ключовою ланкою міграційних процесів. Забруднюючі речовини, залежно від міграційних властивостей та особливостей

109 Стаття 172 Земельного кодексу України, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text

110 Консервація земель, що постраждали від військових дій / А. Сплодитель, Г. Левіна, В. Левін. - Грайфсвальд: Фонд Зуккова, 2024. 161 с.

111 KSE. Center for Food and Land Use Research. Dynamics of the land fund: how the land resources of Ukraine changed after February 24, 2022, https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/03/Agroviglyad_2_angl.pdf

112 NASA Harvest. Farming Amidst a War: Satellite Data Reveals Productive Yet Challenging Season for Ukraine, https://www.nasaharvest.org/news/farming-amidst-war-satellite-data-reveals-productive-yet-challenging-season-ukraine

113 KSE. Center for Food and Land Use Research. AgroDigest Ukraine. January, 2025, https://kse.ua/AgroDigest_Ukraine_January_2025.pdf

природних (ландшафтних) умов території можуть поширюватися із поверхневим стоком чи шляхом повітряної або біогенної міграції. Необхідні детальні польові дослідження для екологічної оцінки впливу факторів воєнно-техногенного навантаження на стан ґрунтів та можливостей їх господарського використання, враховуючи результати аналізів та їх порівняння із ГДК для кожної окремої речовини.[114]

Незважаючи на законодавчі обмеження, в Україні спостерігаються практики **розорювання ділянок територій та об'єктів природно-заповідного фонду, прибережних захисних смуг**, ширина яких залежить від типу водного об'єкта та крутизни схилів, заплав малих річок, схилів із крутизною понад 7 градусів, пасовищ та сіножатей. Такі порушення часто пов'язані із відсутністю визначених меж на місцевості, проєктів землеустрою та іншої землевпорядної документації або опису обмежень у використанні земельної ділянки у землевпорядній документації, а також із прогалинами у законодавстві (зокрема, в частині визначення поняття заплав малих річок та їх меж).[115] Контроль за дотриманням природоохоронних вимог можна забезпечити за допомогою супутникових технологій, поєднуючи дані про розроблені та внесені до Державного земельного кадастру межі охоронних зон та дані про посіви сільськогосподарських культур.[116] Аналіз супутникових знімків та технології машинного навчання можуть надавати цінну інформацію про практики землекористування та відповідні порушення законодавства (наприклад, розорювання природоохоронних територій, водоохоронних зон, схилів тощо) та робити внесок в охорону земельних ресурсів. Належне визначення меж прибережно-захисних зон є вкрай важливим при складанні містобудівної та землевпорядної документації, а також розробленні планів управління басейнами річок.[117]

Виведення земельних ділянок із сільськогосподарського виробництва може відбуватися паралельно із **створенням буферних зон - зелених зон багаторічних насаджень вздовж сільгоспугідь**. В Україні поширеними є лісосмуги вздовж полів, однак попри очевидні вигоди вони у багатьох випадках стали занедбаними через використання деревини для опалення або розширення площ угідь. Такі буферні зони доречно, зокрема, створювати навколо водойм для уникнення забруднення надземних та підземних водних об'єктів хімічними речовинами, які використовуються в агровиробництві. Хоч захисні зони навколо водойм передбачені законодавством, дані вимоги далеко не завжди дотримуються. Створення буферних зон, які включають дерева, кущі та багаторічну трав'янисту рослину, матиме суттєві додаткові переваги для захисту біорізноманіття. При цьому, буферні зони можуть використовуватися і з економічною метою – за рахунок вирощування плодових дерев та кущів або часткового використання деревини для опалення.[118]

Створення буферних зон не призведе до масштабних змін у землекористуванні (буферні зони можуть займати від 0,5% до 1% від площі земельних ділянок), однак при масовому впровадженні може охопити суттєві площі сільськогосподарських земель. Примітно, що при

114 Консервація земель, що постраждали від військових дій / А. Сплодитель, Г. Левіна, В. Левін. - Грайфсвальд: Фонд Зуккова, 2024. 161 с.

115 Тєстов П. Огляд тенденцій порушень природоохоронного законодавства с/г підприємствами / П. Тєстов, , К. Гарбачук, О. Василюк; за ред. М. Бєлкіна, О. Романова, Б. Кученко, А. Клєпко — Київ: ГО «Екодія», 2024. — 15 с., https://ecoaction.org.ua/ohliad-porushen-pryrod-zakonodavstva-sg.html

116 Наприклад, дані карти посівів https://ukraine-cropmaps.com/

117 WWF, Правове регулювання відновлення і захисту прибережних захисних смуг, https://nbs.wwf.ua/useful/pravove-rehuliuvannia-vidnovlennia-i-zakhyst-pryberezhnykh-zakhysnykh-smuh/

118 Екодія. Буферні зони – природній біозахист для фермерського поля, https://www.seeds.org.ua/buferni-zoni-prirodnij-biozaxist-dlya-fermerskogo-polya/

одночасному запровадженні технологій точного землеробства і підвищення ефективності використання земельних ресурсів можна загалом уникнути зменшення площі земель, які використовуються для вирощування культур. Адже цифрові технології дозволяють фермерам більш ефективно використовувати їх земельний банк завдяки визначенню ділянок, що неефективно обробляються (наприклад, ділянки заїзду та виїзду з полів). За оцінками експертів, близько 2-4% земельних площ може бути додано до площі вирощування урожаю завдяки використанню цифрових технологій.[119]

При засіванні виведених земельних ділянок трав'яною рослинністю у перші роки необхідно здійснювати періодичний покіс, аби не допустити поширення інвазійних видів дерев і формування насіння інвазійних однорічних бур'янів.[120]

Окремим напрямом є збереження та відновлення полезахисних лісових смуг - штучно створених насаджень лінійного типу для захисту сільськогосподарських угідь від негативного впливу природних та антропогенних факторів. Створення (відновлення) полезахисних лісових смуг здійснюється шляхом садіння сіянців, саджанців або висівання насіння деревних порід та чагарників, а також природного поновлення на місці загиблих насаджень після їх вирубування. При цьому необхідно застосовувати способи і схеми змішування, що відповідають місцевим ґрунтово-кліматичним та іншим умовам.[121] Опис основних підходів до оцінки стану лісосмуг, інвентаризації та державної реєстрації земельних ділянок під ними, агролісомеліоративного впорядкування, а також особливостей проєктування полезахисних лісових смуг і прикладів ефективного використання лісосмуг наведено у практичному керівництві Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН.[122]

Формування зон біорізноманіття в агроландшафтах є важливою практикою підтримки екологічної рівноваги, збереження біорізноманіття та підвищення стійкості сільськогосподарських систем.

Виведення земельних ділянок із сільськогосподарського виробництва може здійснюватися одночасно із заходами щодо збереження біорізноманіття, зокрема, відновлення степових екосистем. У рамках таких заходів можуть бути необхідні операції з обробітку ґрунту, посіву суміші трав (костерець, люцерна), які мають стати основною для відновлення степової рослинності, або перенесення ґрунту з сусідніх природніх степових ділянок, а також моніторинг, боротьба із бур'янами у разі необхідності та інші заходи. На відновлених ділянках може здійснюватися періодичне косіння або неінтенсивний ротаційний випас тварин.[123]

Капітальні витрати

Використання даного заходу не передбачає суттєвих капітальних витрат. У деяких випадках може бути необхідним використання техніки для обробітку ґрунту або посіву травосуміші

119 TNA. Короткий опис технології. Використання інформаційних та телекомунікаційних технологій для скорочення викидів парникових газів у сільському господарстві, https://drive.google.com/file/d/1Ghq6qA2Dg7YzeegtUK4aeOKUSJ55tvXK/view

120 Приклади консервації земель в Україні: практичний досвід / С.М. Панченко та ін. Грайфсвальд: Фонд Зуккова, 2024. 58 с.

121 Постанова Кабінету Міністрів України від 22 липня 2020 р. № 650, Про затвердження Правил утримання та збереження полезахисних лісових смуг, розташованих на землях сільськогосподарського призначення, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/650-2020-%D0%BF#Text

122 FAO. 2020. Практичне керівництво для впровадження моделей ефективного управління полезахисними лісовими смугами. Київ, https://openknowledge.fao.org/items/2703ec6d-3f4c-4ac8-b817-d3a3f9373177

123 WWF. Природоорієнтовані рішення. Відновлення степів, https://nbs.wwf.ua/methodology/vidnovlennia-stepiv/

чи покривних культур, але така техніка використовується і для основних технологічних операцій на полях, а роботи можуть бути виконані сільськогосподарськими підприємствами. Консервація може також покладатися на природне самовідтворення.

Капітальні витрати можуть бути пов'язані із викупом земельних ділянок для майбутньої консервації, для прикладу, для природоохоронних цілей. У цьому випадку капітальні витрати можуть сягати 1700 дол. / га і більше.[124]

Операційні витрати

Використання даного заходу не передбачає суттєвих операційних витрат у довгостроковій перспективі, однак безпосереднім впливом заходу є втрата прибутку від використання земельних ресурсів, що необхідно враховувати при аналізі економічної ефективності. Винятком є випадки, коли ділянки використовуються із порушенням природоохоронного законодавства – хоч виробники так само втрачатимуть прибуток, його недоречно враховувати при оцінці вартості скорочення викидів. Вартість скорочень викидів має вважатися рівною нулю для земель, які використовуються із порушенням вимог чинного природоохоронного законодавства.

Прибуток може варіюватися у дуже широких межах і залежати від економічних та кліматичних факторів, сівозміни, операційної ефективності та інших чинників. Він може суттєво коливатися з року в рік, а орієнтовний діапазон може складати від 100 до 500 доларів на гектар і більше, хоч в останні роки спостерігається загальна тенденція до зменшення прибутковості. Для цілей дослідження втрата прибутку від виведення земельних ділянок із сільськогосподарського використання оцінюється на рівні **500 доларів на гектар.**

Крім того, операційні витрати під час початкового періоду можуть бути пов'язані із закупівлею насіння, обробітком ґрунту, покосом та іншими операціями. Для поодинокого прикладу консервації ріллі у Донецькій області витрати були оцінені на рівні близько 180 дол. на гектар (частина витрат, проте, не була врахована).[125] Такі витрати необхідні лише на початковому етапі і, враховуючи тривалий життєвий цикл подібних проєктів, середні витрати протягом десятиліть існування законсервованих ділянок будуть незначними. Більше того, сіно може використовуватися для годівлі тварин, що компенсуватиме витрати на покіс трав.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Площа ріллі в Україні складає близько 32,5 млн га або 53,9% від загальної площі України і 78,4% від площі сільськогосподарських угідь. Досягнення цілей зі зменшення сільськогосподарської освоєності на 5% та розораності території на 10% вимагатиме виведення із сільськогосподарського використання понад 2 млн га земель і суттєве скорочення площі ріллі.

Для цілей дослідження, **потенціал виведення земельних ділянок із сільськогосподарського виробництва**, включаючи суттєво забруднені внаслідок військових дій ділянки, ділянки із порушенням природоохоронного законодавства та створення буферних зон, оцінено на рівні **1 млн га. або 3% від загальної площі ріллі.**

124 Станом на квітень 2025 року середня вартість земельних ділянок складала 71 275 грн / га, див. https://land.gov.ua/monitorynh-zemelnykh-vidnosyn/

125 Приклади консервації земель в Україні: практичний досвід / С.М. Панченко та ін. Грайфсвальд: Фонд Зукова, 2024. 58 с.

Збільшення поглинання вуглецю буде залежати від способу землекористування після виведення із сільськогосподарського обробітку. Поглинання вуглецю буде більшим у випадку появи деревних насаджень і меншим у випадку перетворення ділянок на пасовища та луги.

Викиди або поглинання вуглецю внаслідок зміни землекористування оцінюються на основі змін запасів вуглецю в екосистемі, включаючи поверхневу та підземну біомасу і органічну речовину ґрунту. Зменшення запасів відповідатимуть викидам CO_2, а збільшення – поглинанням CO_2 з атмосфери. При цьому поглинання вуглецю відбувається поступово і МГЕЗК оцінює такі зміни за період у 20 років.[126]

Для цілей дослідження прийнято припущення про перехід орних земель у пасовища. Накопичення вуглецю буде залежати від багатьох факторів, в тому числі характеристик ґрунту до його виведення із сільськогосподарського використання та способу використання пасовища. Для оцінки потенціалу скорочень викидів прийняте консервативне значення **збільшення поглинання на рівні 2,2 т CO_2 на гектар на рік**, [127] що відповідає накопиченню 0,6 т вуглецю на гектар на рік або збільшенню обсягів вуглецю на 12 т С на га протягом 20 річного періоду. **Загальний потенціал скорочення викидів складає 2,2 млн тонн CO_2 на рік.**

3.3.2 Відновлення осушених торфовищ

Опис технології

Торфовища та інші органічні ґрунти мають високий вміст органічного вуглецю, який поступово накопичувався протягом століть і може перевищувати 50%. Запаси вуглецю на торфовищах у тропічних регіонах можуть сягати тисячі тонн CO_2-екв. на гектар і більше, але є також дуже значними і на торфовищах у помірних широтах. Займаючи лише 3% поверхні суші торфовища зберігають 21% органічного вуглецю ґрунту на планеті.[128]

І торфові болота, і осушені, і відновлені торфовища є джерелом викидів парникових газів, зокрема двоокису вуглецю (CO_2), метану (CH_4) та закису азоту (N_2O). Однак, обсяги викидів залежать від стану торфовищ:

- на торфових болотах, як правило, спостерігається позитивний баланс, оскільки поглинання вуглецю за рахунок фотосинтезу та накопичення біомаси перевищує обсяги викидів в результаті газообміну авто- та гетеротрофними організмами;
- на осушених ділянках накопичений вуглець окислюється та потрапляє в атмосферу у вигляді CO_2, з осушувальних каналів виділяється метан, а додаткові викиди парникових газів відбуваються у випадку пожеж на торфовищах;
- на відновлених торфовищах викиди від окислення вуглецю і викиди N_2O скорочуються, і хоч утворюються додаткові викиди метану внаслідок діяльності анаеробних бактерій, загальний баланс, як правило, залишається позитивним.

126 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories

127 Нижня межа оцінок, наведених у Effective performance of tools for climate action policy - meta-review of Common Agricultural Policy (CAP) mainstreaming, https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/cap_mainstreaming_en.pdf; значення є також нижчим за оцінки інших досліджень – 0,87 т С на гектар на рік або 3,19 т CO_2 на гектар на рік; див. Conant, R T, Cerri, C E P, Osborne, B B and Paustian, K (2017) Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. Ecological Applications No 27 (2), 662- 668. https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/eap.1473

128 IPCC, Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change, Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 7. Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU), https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/

Підняття рівня води призводить до створення анаеробних умов, за яких відбувається накопичення вуглецю у вигляді торфу, але також збільшення активності метаногенних мікроорганізмів і викидів метану.[129] Водночас, відновлення торфовищ є складним і довготривалим процесом і повернути початкові природні умови не завжди можливо.

Відновлення осушених торфових боліт обов'язково має включати обводнення території, аби забезпечити повернення умов існування екосистеми, які існували до її порушення, включаючи гідрологічні та біогеохімічні процеси і рослинний покрив. Саме рівень води є ключовим фактором, який визначає біогеохімічні процеси та обсяги викидів парникових газів на торфовищах. Для перетворення торфовищ на джерело поглинання вуглецю необхідне також відновлення рослинного покриву, яке відбувається поступово після відновлення рівня води. Перші роки після відновлення торфовища все ще можуть залишатися джерелом викидів парникових газів, однак через роки за позитивного сценарію обсяги поглинання будуть поступово збільшуватися.[130]

Заходи, які можуть впроваджуватися для відновлення торфових боліт і рівня води, включають закриття дренажних каналів, розбирання елементів меліоративної системи та інші заходи із повернення гідрологічного режиму до природнього. Реалізація таких проєктів також потребує наявності природного джерела водопостачання для збільшення рівня води після перекриття каналів та інших заходів, що може тривати кілька років. У багатьох випадках, кліматичні зміни та зміни гідрологічного режиму зробили осушення торфовищ незворотним, оскільки немає джерела води для відновлення торфових боліт.

В Україні існують великі площі осушених торфовищ та ділянок видобутку торфу, які утворилися внаслідок господарської діяльності людини протягом багатьох десятиліть, включаючи видобування торфу та сільськогосподарську діяльність. Такі території зосереджені на Поліссі, в основному в басейнах Прип'яті та Десни, і також зустрічаються в Закарпатті.

За наявними даними, в Україні було осушено близько 3 мільйонів гектарів земель, включаючи і мінеральні ґрунти, і торфовища. **Площа осушених торфовищ оцінюється на рівні орієнтовно 1,5 мільйона гектарів.** Однак, наявні дані є обмеженими та застарілими, тому необхідна детальна інвентаризація осушених торфовищ та їх поточного стану.[131]

В Україні осушення боліт розпочалося ще наприкінці 19 століття, коли на території Волинської, Рівненської та Житомирської областей було побудовано перші осушувальні канали задля перетворення земель на пасовища та сіножаті. До початку 1917 року було осушено уже приблизно 430 000 га боліт, і хоч в наступні десятиліття темпи осушення зменшувалися, після другої світової війни відбулося чергове інтенсивне збільшення обсягів осушення болотних екосистем для потреб сільського господарства, лісівництва та для видобування торфу. До 1978 року було осушено 2,25 млн га водно-болотних угідь, включаючи 613 900 га колишніх боліт. Станом на середину минулого століття близько 70% торфових боліт мали товщину торфу більше 50 см і близько 50% - товщину торфу понад 70 см (за даними дослідження

129 Jarašius L. et al. 2022. Handbook for assessment of greenhouse gas emissions from peatlands. Applications of direct and indirect methods by LIFE Peat Restore. Lithuanian Fund for Nature, Vilnius, 201 p., https://globalpeatlands.org/node/16

130 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Chapter 3: Rewetted Organic Soils, https://www.ipcc.ch/publication/2013-supplement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories-wetlands/

131 ГО Екодія. Як і навіщо світ відновлює болота: уроки для України, https://lb.ua/blog/ecoaction/658004_yak_i_navishcho_svit_vidnovlyuie_bolota.html

торфових боліт 1959 року та 1969 року), а 95% площі цих територій було класифіковано як евтрофні торфовища. Більш пізні дані статистичної звітності не є надійними, оскільки не ведеться детальний облік площ природних торфових боліт або торфовищ і ці території можуть бути включені у різні категорії земель для цілей статистичної звітності.[132]

За оцінками експертів, наразі лише 102 тис. га торфових боліт України знаходяться у стані близькому до природного, але точна інформація відсутня. З огляду на це, громадські організації пропонують провести інвентаризацію торфовищ України до 2030 року і створити новий шар Державного Кадастру, а також **розробити систему класифікації торфовищ України і визначити можливі режими користування для кожного типу**.[133] Крім того, рекомендується удосконалити правове регулювання, яке стосується охорони, використання та відновлення боліт та торфовищ.[134]

Впровадження таких проєктів також вимагає значного часу на підготовку та залучення багатьох зацікавлених сторін (власників та користувачів земельних ділянок, державних органів, наукових установ, місцевих органів влади, бізнесу тощо).

Відновлення боліт має багато додаткових переваг, зокрема, для збереження біорізноманіття та відновлення оселищ, адаптації до наслідків зміни клімату (збільшення водоутримувальної здатності, регулювання водостоку, захист від затоплення), охорони повітря через зменшення ризиків забруднення внаслідок пожеж на осушених торфовищах, а також для соціально-економічного розвитку (розвиток палидикультури, туризму тощо). Відновлення осушених торфовищ можна здійснювати разом із включенням даних територій до складу природно-заповідного фонду.

Більше того, відновлені торфові болота на півночі можуть бути практично нездоланною перешкодою для військової техніки і слугувати «природними фортифікаційними спорудами».[135]

Капітальні витрати

Відновлення гідрологічного режиму осушених торфовищ є досить витратним заходом, вартість якого може залежати від багатьох факторів, в тому числі технічних рішень та розміру торфовища. У розрахунку на гектар вартість проєктів може складати від кількох тисяч до понад 10 тисяч доларів на гектар.[136] Для Литви, Латвії, Естонії та Польщі усереднені оцінки

132 Венделін Віхтманн, Ольга Денищик. Michael Succow Foundation for the Protection of Nature. Палюдикультура, досвід ЄС та перспективи впровадження в Україні, https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/palyudykultura-dosvid-yes-ta-perspektyvy-vprovadzhennya-v-ukrayini

133 Клопотання про необхідність розроблення та прийняття постанови Кабінету Міністрів України «Про особливості правового режиму використання земель під торфовищами та можливі види їх цільового призначення» (пункт 5 доручення Прем'єр-міністра України від 12.08.2020 No 31347/2/1-20 до Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель» від 17.06.2020 No 711–IX), https://drive.google.com/file/d/1EbgsQWKa1lZGBciCsHPdH53uwuMkpGWh/view

134 WWF Україна. Комплексний підхід до охорони боліт: аналіз чинного законодавства України та рекомендації щодо його вдосконалення, https://wwf.ua/en/?16692916%2FKompleksnyy-pidkhid-do-okhorony-bolit-analiz-chynnoho-zakonodavstva-Ukrayiny-ta-rekomendatsiyi-shchodo-yoho-vdoskonalennya

135 Природа на межі. Як болота допомагають боронити кордони України, https://www.pravda.com.ua/articles/2023/04/9/7397058/

136 В окремих випадках вартість може досягати 150 тис. Євро не гектар. Див. Financing mechanisms in Europe for restoring peatlands An overview of the different financing opportunities existing for peatland restoration, https://vb.nweurope.eu/media/19450/financing-mechanisms-for-rewetting-peatlands_vf.pdf

знаходяться в межах 500-1500 Євро на гектар.[137] Водночас, нещодавній аналіз 100 проєктів відновлення водно-болотних територій в європейських країнах протягом 1996-2019 років надав значно вищу оцінку середньої вартості – близько 6 тис. євро на гектар для відновлення торфовищ. Вартість проєктів суттєво залежить від типу водно-болотного угіддя, складності необхідних гідрологічних змін та земляних робіт, регіону та вартості робочої сили і інших факторів. Обсяг капітальних інвестицій також зростав з часом, оскільки збільшувалася складність проєктів.[138]

Великий вплив на питомі капітальні витрати мають масштаби проєктів, оскільки інколи капітальні витрати можуть бути співмірними для проєктів на кілька десятків гектар і на кілька сотень гектар, тоді як питомі витрати будуть відрізнятися на порядок.

Для цілей дослідження прийнято орієнтовну **вартість відновлення на рівні 3000 дол. на гектар**, враховуючи першочерговий пріоритет більш економічно-ефективних проєктів з менш складними технічними рішеннями.

Оцінка вартості скорочення викидів здійснюється із урахуванням життєвого циклу на рівні **20 років.**

З огляду на високу вартість, проєкти відновлення торфовищ часто впроваджуються завдяки коштам державних або європейських програм (LIFE program[139]) або через механізми добровільних вуглецевих ринків. При цьому, вартість вуглецевих одиниць від проєктів з відновлення боліт в рамках спеціалізованих стандартів (добровільні стандарти MoorFutures в Німеччині та MaxMoor у Швейцарії) може складати 40 – 110 Євро за тонну CO_2-екв., що суттєво вище за середню вартість вуглецевих одиниць.[140]

Зважаючи на високу вартість багатьох проєктів при обґрунтуванні їх доцільності часто враховують вартість екосистемних послуг відновлених боліт (доступ до водних ресурсів, зберігання вуглецю, захист від паводків, охорона біорізноманіття), яка може складати близько 4 тис. Євро на гектар на рік.[141] Однак, оцінки вартості екосистемних послуг водно-болотних угідь коливаються у дуже широких межах, інколи відрізняючись на кілька порядків, і залежать від обраних методологічних підходів та багатьох припущень. Незважаючи на високу невизначеність, вартість екосистемних послуг часто перевищує витрати на проєкти з відновлення боліт та торфовищ.

В окремих випадках додаткові капітальні видатки можуть бути пов'язані із викупом земельних ділянок, якщо вони знаходяться у приватній власності, однак існують і інші можливості отримання прав на користування земельними ділянками, які потребують аналізу у кожному окремому випадку.

137 Proposals for the Update of the Package "Agri-environment and Climate": Water retention in peaty soils and paludiculture initiatives, https://shorturl.at/GV7Oh

138 Karolina Strzęciwilk, Mateusz Grygoruk. Restoration is an investment. Comparing restoration costs and ecosystem services in selected European wetlands, Journal of Water and Land Development, https://journals.pan.pl/Content/134580/2025-01-JWLD-24.pdf?handler=pdf . Див. також додаткові матеріали для інформації про вартість кожного окремого проєкту: https://www.jwld.pl/files/Supplementary_material_Strzeciwilk.pdf

139 Див. https://life-peat-restore.eu/en/project/

140 Financing mechanisms in Europe for restoring peatlands An overview of the different financing opportunities existing for peatland restoration, https://vb.nweurope.eu/media/19450/financing-mechanisms-for-rewetting-peatlands_vf.pdf

141 Karolina Strzęciwilk, Mateusz Grygoruk. Restoration is an investment. Comparing restoration costs and ecosystem services in selected European wetlands, Journal of Water and Land Development, https://journals.pan.pl/Content/134580/2025-01-JWLD-24.pdf?handler=pdf

Операційні витрати

Дана технологія не пов'язана із суттєвими операційними витратами. Відновлення боліт відбуватиметься поступово, а заходи з їх дослідження можуть потребувати додаткових витрат, але такі витрати безпосередньо не пов'язані із процесом накопичення вуглецю.

Разом з тим, існують можливості для сільськогосподарського або лісогосподарського використання вологих і обводнених торфовищ, яке може приносити додаткові доходи. Таке продуктивне землекористування на обводнених торфовищах отримало назву палюдикультури і включає вирощування технічних, енергетичних, лікарських та інших рослин, а також розвиток тваринництва. Україна має великий потенціал в палюдикультурі за умов розвитку ринку на палюдикультурну біомасу і продукти.[142]

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Відновлення торфовищ може обмежуватися багатьма факторами, але передусім наявністю фізичної можливості відновлення гідрологічної системи та підняття рівня води, високими капітальними витратами для окремих проєктів, а також юридичними аспектами щодо прав користування відповідними земельними ділянками та здійснення заходів відновлення торфовищ. Суттєвими бар'єрами впровадження проєктів є розподіл території на велику кількість земельних ділянок із різними власниками та користувачами, а також складність адміністративних та регуляторних процедур, пов'язаних із правовим регулюванням знесення гідротехнічних споруд,[143] змінами меліоративних мереж та цільового призначення земельних ділянок.

Громадські організації пропонують першочергове відновлення усіх верхових і перехідних торфовищ, що складають не більше 5% від загальної площі торфовищ, та їх віднесення або до територій природно-заповідного фонду або до категорії земель водного фонду.[144]

У рамках проєкту "Сприяння сталому тваринництву та збереженню екосистем на півночі України" розглядалася можливість відновлення 10 об'єктів загальною площею 36 100 га, але через вплив війни сфера охоплення проєкту була скорочена до 7 об'єктів площею 32 417 га.[145] За результатами підготовки детальних техніко-економічних обґрунтувань дана площа може скоротитися через урахування доступності водних ресурсів та інших факторів.

Потенціал впровадження проєктів може також обмежуватися положеннями методологій або стандартів вуглецевих ринків. Для прикладу, методологія VM0036 стандарту VCS від Verra встановлює обмеження щодо способів використання земельних ділянок до відновлення і після відновлення.[146]

142 Венделін Віхтманн, Ольга Денищик. Michael Succow Foundation for the Protection of Nature. Палюдикультура, досвід ЄС та перспективи впровадження в Україні, https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/palyudykultura-dosvid-yes-ta-perspektyvy-vprovadzhennya-v-ukrayini

143 WWF, Правове регулювання знесення гідротехнічних споруд-дамб, https://nbs.wwf.ua/useful/pravove-rehuliuvannia-znesennia-hidrotekhnichnykh-sporud-damb/

144 Клопотання про необхідність розроблення та прийняття постанови Кабінету Міністрів України «Про особливості правового режиму використання земель під торфовищами та можливі види їх цільового призначення» (пункт 5 доручення Прем'єр-міністра України від 12.08.2020 No 31347/2/1-20 до Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель» від 17.06.2020 No 711–IX), https://drive.google.com/file/d/1EbgsQWKa1lZGBciCsHPdH53uwuMkpGWh/view

145 Проєкт "Сприяння сталому тваринництву та збереженню екосистем на півночі України"; див. детальну інформацію на https://www.thegef.org/projects-operations/projects/10264 та https://www.undp.org/uk/ukraine/projects/spryyannya-stalomu-tvarynnytstvu-ta-zberezhennyu-ekosystem-na-pivnochi-ukrayiny

146 VCS Methodology. VM0036, Methodology for Rewetting Drained Temperate Peatlands, https://verra.org/methodologies/vm0036-methodology-for-rewetting-drained-temperate-peatlands-v1-0/

З огляду на зазначені фактори, фактичний потенціал буде значно меншим за площу наявних осушених торфовищ і для цілей дослідження оцінюється на рівні до **100 тис. га.**

Викиди парникових газів від екосистем із торфовищами можуть оцінюватися на основі прямих вимірювань викидів парникових газів (CO_2, CH_4, N_2O), які є витратними та тривалими, або непрямих методів на зразок підходу із використанням типів місця викидів парникових газів (Greenhouse Gas Emission Site Type (GEST)), який використовує дані про рослинний покрив та рівень води як орієнтир для оцінки викидів парникових газів.[147] Непрямі методи на основі підходу GEST є досить надійними, оскільки комбінація даних про рослинність, довгострокові дані щодо коливання рівня води та інші характеристики (тип торфу, хімічні характеристики, pH) за результатами наукових досліджень дає гарну оцінку середніх викидів парникових газів протягом року.[148]

Порівнюючи коефіцієнти викидів для різних типів місць викидів парникових газів для торфовищ до (на основі дослідження рослинності та рівня води на різних ділянках) і після (на основі очікуваного підняття рівня води та прогнозу розвитку екосистеми та зміни рослинності і подальшого фактичного моніторингу) відновлення торфовища, можна оцінити скорочення викидів парникових газів. При цьому можуть відбуватися і зміна площ існуючих типів місць викидів парникових газів для торфовищ та боліт, і поява нових.

Для використання такого методу необхідні каталоги типів місць викидів парникових газів (GEST каталоги) для торфовищ та боліт України, які б враховували кліматичні умови та характеристики боліт і торфовищ, із визначеними коефіцієнтами викидів CO_2 та CH_4 (у тонах на гектар) та необхідною додатковою інформацією (опис рослинних асоціацій, характеристики рівня води, характеристик торфу тощо).[149]

Наразі такі каталоги для України не розроблені, тому можливе використання лише стандартних значень або оцінок з інших регіонів, що впливатиме на точність, але слугуватиме орієнтиром можливих скорочень викидів.

Зокрема, керівництво МГЕЗК[150] для підготовки національних кадастрів наводить стандартні коефіцієнти викидів для різних категорій земель із органічними ґрунтами (для різних кліматичних зон та характеристик торфовищ), в тому числі ділянок після відновлення. Використовуючи коефіцієнти для відповідних категорій до відновлення та після відновлення, можна оцінити орієнтовні скорочення викидів парникових газів. Для помірного клімату для сильно осушених органічних ґрунтів із високим вмістом поживних речовин (deep-drained nutrient rich) на пасовищах коефіцієнти викидів складають 6,1 т CO_2 / га на рік, для осушених сільськогосподарських земель – 7,9 т CO_2 / га на рік. Додатково необхідно враховувати викиди метану, особливо на пасовищах, та викиди N_2O, які можуть бути дуже суттєвими на осушених

147 Венделін Віхтманн, Ольга Денищик. Michael Succow Foundation for the Protection of Nature. Палюдикультура, досвід ЄС та перспективи впровадження в Україні, https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/palyudykultura-dosvid-yes-ta-perspektyvy-vprovadzhennya-v-ukrayini

148 Couwenberg, J., Thiele, A., Tanneberger, F., Augustin, J., Bärisch, S., Dubovik, D., Liashchynskaya, N., Michaelis, D., Minke, M., Skuratovich, A. & Joosten, H. (2011). Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. Hydrobiologia, 674, 67-89.

149 Jarašius L. et al. 2022. Handbook for assessment of greenhouse gas emissions from peatlands. Applications of direct and indirect methods by LIFE Peat Restore. Lithuanian Fund for Nature, Vilnius, 201 p., https://globalpeatlands.org/node/16

150 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Chapter 3: Rewetted Organic Soils, https://www.ipcc.ch/publication/2013-supplement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories-wetlands/

землях. Стандартні коефіцієнти викидів N_2O складають 8,2 кг N_2O-N на га на рік для пасовищ (deep-drained nutrient rich) та 13 кг N_2O-N на га на рік – для сільськогосподарських земель (2,2 – 3,5 т CO_2-екв. / га на рік).

Досвід європейських країн (Естонія, Латвія, Литва, Польща та Німеччина) свідчить, що середній потенціал скорочення може складати 4,4 т CO_2-екв. / га на рік, але в окремих випадках сягати 20 т CO_2-екв. / га на рік.[151]

Потенціал скорочення викидів буде варіюватися для кожного окремого проєкту і має бути оцінений відповідно до загальновизнаних методологій.[152] Потенційний орієнтовний діапазон можливих скорочень викидів складає від 5 до 30 т CO_2-екв. на гектар на рік. Навіть у рамках одного проєкту будуть ділянки із різним потенціалом скорочення викидів, що має враховуватися при підготовці проєктно-технічної документації. Варто також пам'ятати, що відновлення екосистем до природного стану буде відбуватися поступово і річні обсяги скорочення викидів / збільшення поглинання з часом будуть збільшуватися. Загальний потенціал скорочення викидів також обмежується наявними запасами вуглецю у торфі, і у випадках, коли більша частина торфу уже розклалася, скорочення викидів будуть мінімальними.

Для цілей дослідження прийнято індикативне консервативне значення на рівні 5 т CO_2-екв. на гектар на рік, а загальний потенціал скорочення оцінено на рівні 0,5 млн т CO_2-екв. на рік.

3.4 Збільшення обсягів внесення вуглецю

В Україні поширюються дискусії про **потенціал вуглецевого фермерства** для збільшення поглинання вуглецю ґрунтами, однак наразі фактично відбувається протилежний процес – **«видобування вуглецю» з ґрунту** під час вирощування сільськогосподарських культур.

Українські ґрунти поступово втрачають гумус, який є основою органічної речовини ґрунту (Soil Organic Matter / SOM) і складається переважно із органічного вуглецю (50-60%), кисню (30-35%), водню (3-6%), азоту (5-6%) та інших елементів в незначних обсягах.

За результатами XI туру (2016—2020 рр.) агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення середньозважений показник вмісту гумусу в ґрунтах України становив 3,07%. Протягом останніх чотирьох турів (2001—2020 рр.) середньозважений показник вмісту гумусу в ґрунтах України зменшився на 0,08 % (з 3,15% у VIII турі). У розрізі ґрунтово-кліматичних зон зниження вмісту гумусу відбулося в ґрунтах степової (на 0,15 %) та лісостепової зон (на 0,01 %), натомість в поліській зоні цей показник збільшився на 0,25%. ґрунти з дуже низьким (<1,1%) або низьким (1,1%-2%) умістом гумусу займають 18% від обстеженої площі, середнім (2,1%-3%) - 29%, підвищеним (3,1-4%) - 33%, а високим (4,1-5%) та дуже високим (>5%) - 20%. ґрунти з середнім та підвищеним вмістом гумусу мають

151 Jarašius L. et al. 2022. Handbook for assessment of greenhouse gas emissions from peatlands. Applications of direct and indirect methods by LIFE Peat Restore. Lithuanian Fund for Nature, Vilnius, 201 p., https://globalpeatlands.org/node/16

152 Для проєктів відновлення боліт існує низка методологій та стандартів, зокрема методологія VM0036 Methodology for Rewetting Drained Temperate Peatlands, Version 1.0 стандарту VCS від Verra, методичні підходи добровільного стандарту The Peatland Code від IUCN UK National Committee (Великобританія) чи регіонального добровільного стандарту MoorFutures (Німеччина). Див. також огляд та порівняння можливих підходів оцінки скорочення викидів в рамках Carbon Removals Certification Framework (CRCF), https://climate.ec.europa.eu/document/download/95f2f80b-2b7f-42e2-a627-9c070d8090c3_en

найбільшу частку у зоні Лісостепу.[153]

Оскільки ключову увагу приділяють азотному живленню, а внесення вуглецю у ґрунти різко скоротилося протягом останніх десятиліть в Україні, поступово відбуваються суттєві зміни у вмісті органічної речовини ґрунту. Вуглець, який виноситься з полів з урожаєм, за відсутності інших джерел фактично «видобувається» з вуглецю органічної речовини ґрунту.

Ключовими біологічними процесами, які визначають динаміку вмісту органічної речовини у ґрунтах та доступність поживних речовин для рослин та бактерій, є два протилежні, але взаємопов'язані процеси: іммобілізація (гуміфікація) та мінералізація. Іммобілізація – це використання неорганічних речовин (зокрема, NH_4^+ та NO_3^-) мікробіотою для нарощування власної біомаси (утворення білків та інших складних органічних сполук). Мінералізація, натомість, - це протилежний процес розкладу органічних сполук до неорганічних речовин, які можуть бути доступними для рослин та бактерій. Процес гуміфікації, який полягає у формуванні стійких органічних речовин, є основою «вуглецевого фермерства», однак при цьому необхідно також забезпечувати доступність поживних речовин для рослин для досягнення цільових показників урожайності.

Зменшення обсягів внесення вуглецю негативно впливає на мікробіологічну активність ґрунту, оскільки мікробіота потребує сполук вуглецю для енергетичного забезпечення та росту. Як наслідок, зменшується інтенсивність процесів іммобілізації, а дефіцит вуглецю компенсується мінералізацією органічної речовини ґрунту. Навіть зважаючи на доступність мінеральних сполук азоту через внесення добрив, його іммобілізація сповільнюється, а азот, який не використовується рослинами, призводить до збільшення викидів парникових газів. І навпаки, великі обсяги вуглецю у рослинних рештках при дефіциті азоту обмежують доступність сполук азоту для рослин, оскільки вони використовуються мікробіотою у процесі іммобілізації.

Одним із ключових факторів, який визначає змінний в часі баланс процесів іммобілізації та мінералізації є співвідношення вуглецю до азоту (C:N ratio). Вміст вуглецю у біомасі і ґрунтах завжди вищий за вміст азоту, проте саме співвідношення впливає на мікробіологічні процеси, які відбуваються у ґрунті. У ґрунті співвідношення складає близько 10-12 до 1. Мікрофлора ґрунту має співвідношення 8:1, але додатково потребує сполук вуглецю для забезпечення енергетичних потреб, тому оптимальним для мікроорганізмів ґрунту вважається співвідношення 24:1 (у ширших межах 20-30 до 1). При такому співвідношенні досягається певний баланс між процесами мінералізації та іммобілізації, який забезпечує достатню доступність вуглецю та азоту для росту бактерій та збільшення органічної речовини, але також забезпечується доступність поживних речовин для рослин.

Рослинні рештки, які залишаються на полях, мають високе співвідношення вуглецю до азоту (C:N ratio) – орієнтовно 60-80 до 1, тому для їх мінералізації часто додатково вноситься азот. Бобові мають значно нижче співвідношення – орієнтовно від 11 до 21. Використання покривних рослин, зокрема бобових, дозволяє суттєво зменшити усереднене співвідношення C:N біомаси, яка залишається на полях. Компост також має нижче співвідношення вуглецю до азоту – близько 15-25 до 1. Як наслідок, біомаса, яка залишається на полях, і речовини,

153 Збірник наукових праць «Охорона ґрунтів». Спеціальний випуск. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Моніторинг ґрунтів. Реалії, виклики, перспективи», В. С. Запасний, Н. В. Годинчук, ДУ «Держґрунтохорона». Динаміка вмісту гумусу в ґрунтах України, https://www.iogu.gov.ua/literature/11_10_2024.pdf

які додатково вносяться, одночасно із ґрунтово-кліматичними умовами визначають мікробіологічні процеси і баланс між процесами гуміфікації та мінералізації органічної речовини.

Внесення великих обсягів мінеральних азотних добрив зменшує співвідношення C:N та може пришвидшувати мінералізацію, в т.ч. спричиняти мінералізацію органічної речовини ґрунту (при C:N нижче за 20:1), оскільки маючи доступ до азоту, мікроорганізми потребують додаткових обсягів вуглецю. З іншого боку, співвідношення C:N вище за 30:1 призводить до повільного розкладання органічного матеріалу мікроорганізмами, оскільки їм потрібне буде додаткове джерело азоту.

З огляду на це, важливим є оптимізація співвідношення вуглецю та азоту, в тому числі за рахунок додаткових джерел вуглецю у формі органічних добрив, компосту, біомаси покривних культур тощо (добрив із низьким співвідношення C:N).

3.4.1 Використання покривних культур

Опис технології

Використання покривних культур збільшує період часу, коли поверхня поля покрита рослинами і збільшення утворення вегетативної маси, а відповідно і органічної речовини, яка може потрапляти у ґрунт.

У сільському господарстві використовуються різні практики, включаючи бінарний посів культур (кукурудза та боби, соняшник та соя, овес і горох, ріпак і конюшина, нут та льон тощо), підсів покривних культур у процесі вегетації широкорядних культур (соняшнику, сої, кукурудзи), посів багаторічних бобових культур під озимі зернові, посів післяжнивних покривних культур, сидеральні пари. Відповідно, посів здійснюється або спільно з товарною культурою, чи окремо під час вегетації основних культур або після збирання попередника, використовуючи звичайні або спеціалізовані сівалки. Залежно від сільськогосподарських практик та основної мети висіву додаткових культур вони можуть називатися покривними культурами або сидератами.

З точки зору поглинання вуглецю ґрунтами, найбільшої уваги заслуговує посів післяжнивних покривних культур після збирання озимих культур (пшениці, ячменю, жита, ріпаку) та ранніх культур (гороху, проса, ріпаку, гречки, ранньої сої), а також сидеральні пари.

Посів післяжнивних покривних культур необхідно здійснювати відразу після збору врожаю основної культури, щоб забезпечити достатній час для розвитку. При використанні технології сидеральних парів посів здійснюють ранньою весною переважно бобовими однорічними травами, а заорювання сформованої біомаси у ґрунт відбувається перед посівом озимих зернових культур.

Посів багаторічних бобових культур (люцерна, конюшина або еспарцет). з озимими зерновими культурами (пшениця, ячмінь, жито) здійснюється для потреб тваринництва і біомаса видаляється з поля для кормів. У цьому випадку коренева система озимих зернових і багаторічних бобових культур проникає в різні шари ґрунту, що дозволяє більш ефективно використовувати поживні речовини, однак вплив на накопичення вуглецю є обмеженим.

Зупинка росту покривних культур є важливим етапом їх використання, що впливає на подальший стан ґрунту та врожайність основних культур. Зупинка росту покривних культур (завершення вегетаційного циклу) може здійснюватися різними методами:

- механічні методи зупинки росту: скошування до початку утворення насіння (у цьому випадку біомаса може збиратися або залишатися на полі), дискування для подрібнення рослинної біомаси і її закладання у ґрунт, прикочування із використанням спеціальних котків (крімперів) для ламання стебла покривних культур (у цьому випадку біомаса залишається на поверхні у вигляді мульчі);
- хімічні методи зупинки росту: використання неселективних гербіцидів для зупинки росту покривних культур (метод вимагає дотримання вимог з охорони довкілля);
- природні методи завершення вегетаційного циклу: деякі покривні культури (наприклад, вика або овес) припиняють ріст природним чином після сильних морозів, утворюючи шар мульчі на полі.

При зупинці вегетаційного циклу покривних культур важливо правильно обирати час, аби уникнути конкуренції з основною культурою або перешкоджання висіву, враховувати особливості ґрунтів (у важких ґрунтах дискування може бути менш ефективним), а також екологічні та агрономічні цілі (наприклад, поліпшення структури ґрунту, збагачення органічною речовиною, захист від бур›янів тощо).

Оскільки сидерати та покривні культури сприяють накопиченню додаткових поживних речовин у ґрунті, вони можуть дозволяти зменшувати використання мінеральних азотних добрив. Для прикладу, у деяких випадках висів озимого гороху та інших бобових покривних культур після озимих зернових дозволяє висівати соняшник без внесення мінеральних азотних добрив.

Разом з тим, вирощування покривних культур потребує додаткових обсягів вологи і може обмежуватися кліматичним факторами. У регіонах із дефіцитом опадів та вологи у ґрунті, покривні культури можуть демонструвати погані сходи і не набирати достатнього обсягу біомаси, а також призводити до зменшення урожайності.

Крім того, можуть бути різні цілі використання покривних культур, від яких буде залежати вибір культур. Зокрема, бобові культури (конюшина, вика, люцерна та еспарцет) і фацелія сприяють фіксації азоту і підвищують родючість ґрунту. Крім того, вони підвищують доступність фосфору для рослин. Злакові культури (жито, овес, ячмінь, кукурудза, просо, сорго) можуть використовуватися для захисту ґрунту від ерозії і утримання вологи, а хрестоцвіті культури, гірчиця та ріпак - для боротьби з нематодами та деякими ґрунтовими шкідниками.

Найбільш ефективним є використання суміші покривних культур, які включають комбінацію злакових, бобових та інших культур і дозволяють досягати комплексних переваг у покращенні ґрунтових умов (наприклад, олександрійська конюшина (бобові), вика яра (бобові), фацелія (шерститоцвіті), льон (льонові), сорго трав'янисте (злакові). Такі комбінації дозволяють збільшувати накопичення азоту та органічного вуглецю. Крім того, частина рослин із стрижневою кореневою системою (олександрійська конюшина, вика яра, льон) краще впливають на зменшення ущільнення ґрунту, а льон збільшує утворення мікоризи та покращує мікробіологічну активність. Крім того, суміші мають підбиратися із урахуванням можливості одночасного висіву (однакові фракції насіння) та очікуваних умов зростання (потреба і доступність вологи, температурних умов тощо).[154]

154 Ґрунтовно. Сидерати: вибір культур, правильний посів і максимальний ефект, https://www.youtube.com/watch?v=g-zfMkU9fVE

Суміші сидератів можуть включати 4-5 а інколи 10 і більше культур і підбиратися під конкретні потреби полів, на яких будуть використовуватися.

Наразі відсутні надійні дані щодо поширення технології в Україні, однак за експертними оцінками посів післяжнивних покривних культур практикується на не більше ніж 10% від орних площ після озимих культур та культур, які рано збираються. Крім того, фермери та господарства, які займаються тваринництвом, на схожих за обсягом площах здійснюють посів багаторічних бобових культур під озимі зернові. У таких випадках надземна біомаса використовується для тваринництва, але також відбувається значне нарощення кореневої маси. Деякі господарства практикують бінарні посіви (вирощування двох різних культур на одному полі протягом одного сезону або навіть одночасно, наприклад, кукурудза та бобові) та практику сидерального пару (парове поле, на якому вирощується культура для використання в якості зеленого добрива, наприклад люпин). Однак, дані практики не є поширеними і використовуються, як правило, на малопродуктивних землях чи у регіонах зі складними кліматичними умовами. Підсів покривних культур в широкорядні культури також не є поширеним і обмежується окремими експериментами, оскільки технологія потребує спеціалізованої техніки.

Разом з тим, за останні 10 років відбувалося поступове поширення технології завдяки кращому розумінню переваг, появі спеціалізованого обладнання, а також демонстраційних заходів на полях. Технологію запроваджують як окремі фермерські господарства, так і великі агрохолдинги, що мають власні науково-дослідні центри та здійснюють експерименти щодо різних практик використання покривних культур.

Додаткові переваги запровадження технології включають потенційне зменшення витрат на мінеральні добрива за рахунок потрапляння у ґрунт додаткового обсягу азоту із рослинною біомасою та захист ґрунту від ерозії.

Капітальні витрати

Посів покривних культур після збирання озимих культур та ранніх культур може здійснюватися із використанням звичайних зернових сівалок або спеціалізованих сівалок для покривних культур і трав. При використанні звичайних сівалок додаткових капітальних витрат не передбачається. Спеціалізовані сівалки можуть бути необхідними при використанні покривних культур із дрібним насінням або сумішей із насінням різного розміру, аби забезпечити рівномірний висів.

Вартість спеціалізованих сівалок може залежати від багатьох факторів (типу, виробника, діапазону дальності розсіювання тощо) , однак прийнята орієнтовна вартість складає **5-10 тис. дол.** Продуктивність сівалок також залежить від багатьох чинників, зокрема, ширини захвату, швидкості посіву, типу культури, умов та тривалості роботи протягом періоду посіву. Орієнтовні капітальні витрати у випадку використання спеціалізованих сівалок складають близько 10 дол. на гектар. Термін експлуатації сівалки прийнято на рівні **10 років.**

Операційні витрати

Основні операційні витрати для запровадження технології полягають у витратах на закупівлю насіння покривних культур чи сидератів. Вартість буде залежати від типу культур та складу сумішей і орієнтовно складає 30-50 дол. на гектар. У випадку використання багаторічних культур (конюшина, люцерна) вартість може бути більшою і складати 80-120 дол. на гектар, однак існують також і більш бюджетні варіанти, де вартість насіння складатиме близько 10-20

дол. / га (ріпак, гірчиця, фацелія). Для цілей дослідження прийняте консервативне значення на рівні **70 дол. на гектар**.

Крім того, додаткові операційні витрати у випадку використання спеціалізованих сівалок включають витрати на обслуговування обладнання, які складають близько 5% від вартості обладнання. Такі витрати проте із урахуванням припущень, описаних вище, є незначними (менше 1 дол. / га).

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Позитивний вплив на накопичення вуглецю залежить від обсягу формування біомаси, способів поводження із додатковою рослинною масою, а також від ґрунтових та кліматичних характеристик. Якщо рослинна біомаса забирається з поля для виробництва кормів чи інших цілей, то вплив на поглинання вуглецю буде мінімальним (лише за рахунок підземної біомаси). Якщо ж рослинна біомаса залишається на полі, то вона сприяє накопиченню гумусу в ґрунтовому комплексі. У цьому випадку сидерати та покривні культури закладаються у ґрунт зазвичай шляхом дискування або оранки для розкладання і перетворення на органічне добриво. Покривні культури можуть також залишатися на поверхні ґрунту як мульча для запобігання ерозії та збереження вологи.

Обсяг утворення біомаси залежить від типу культур, ґрунтово-кліматичних умов та тривалості вегетаційного періоду. Орієнтовний діапазон складає 2-8 тонн біомаси на гектар у розрахунку на суху речовину. Для цілей дослідження прийнято консервативне значення на рівні **3 т біомаси у перерахунку на суху речовину на гектар**.

Потенціал поглинання вуглецю за рахунок використання покривних культур складає близько 1-2 т CO_2-екв. на гектар на рік і залежить від обсягу біомаси, базового рівня вмісту органічного вуглецю у ґрунті та інших факторів.

За даними наукових досліджень, потенціал поглинання вуглецю внаслідок використання покривних культур складає 0,2-0,5 т С на гектар на рік, а кожна тонна вуглецю, додана у ґрунт із біомасою покривних культур, може призводити до накопичення 0,28 т С на гектар на рік.[155] Враховуючи утворення 3 т біомаси на гектар та середній вміст вуглецю на рівні 47% від маси сухої речовини, потенціал поглинання вуглецю складатиме 0,4 т С на гектар на рік або **близько 1,5 т CO_2 на га на рік**.

Додатково, покривні культури зв'язують залишки азоту від мінеральних або органічних добрив, мінералізації рослинних решток попередника, інших ґрунтових процесів, підвищуючи ефективність використання азоту та зменшуючи викиди N_2O.

З огляду на важливість достатнього водозабезпечення, використання покривних культур найбільш перспективне в центральних та північних регіонах України, тоді як на півдні країни потенціал даної технології обмежений. Можна очікувати, що потенціал запровадження технологій складає принаймні **30% від площі сільськогосподарських угідь підприємств або 6 млн га.**

Загальний потенціал скорочення викидів складе **9 млн т CO_2 на рік**.

155 Carbon sequestration through agricultural practices A review of international literature. L.B. Martinez Garcia, Z.G.J. Herbert, D. Westerik, J.A.B. Schepens, https://slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2023-07/SL%20A7%20Onderbouwing%20C-vastlegging%20-%20eindrapportage.pdf

3.4.2 Використання гною тварин як органічного добрива

Опис технології

Використання органічних добрив пов'язане із розвитком тваринництва, і через стійкий спад поголів'я тварин потенціал застосування технології є обмеженим. Частка полів, на яких використовуються органічні добрива може бути більшою у компаній та фермерських господарств, які розвивають тваринництво, але у багатьох випадках складає менше 1%.

Дані щодо використання гною тварин та посліду птиці в якості органічних добрив збираються Державною службою статистики України, однак не відображають загальної картини. Зокрема, велика частка ВРХ вирощується домогосподарствами, а гній використовується на приватних ділянках. У статистичну звітність[156] потрапляє інформація лише від юридичних осіб та відокремлених підрозділів юридичних осіб, які здійснюють сільськогосподарську діяльність.

За даними статистичних спостережень обсяг унесених органічних добрив у формі гною сільськогосподарських тварин складає 7-8 млн тонн і додатково понад 1 млн т посліду птиці. Однак, враховуючи кількість тварин, які вирощуються лише підприємствами, та орієнтовні обсяги утворення гною (близько 20 т на рік для молочних порід ВРХ, близько 10 т на рік для м'ясних порід ВРХ, 1-1,5 т на рік для свиней), загальна кількість гною тварин, яка утворюється є принаймні удвічі більшою.

При цьому основна частина гною так чи інакше вноситься у ґрунт, тому офіційні дані свідчать про неповноту статистичного обліку.[157]

Для цілей підготовки національного кадастру викидів парникових газів, проте, використовуються розрахункові дані про доступні обсяги азоту у відходах тваринництва на основі поголів'я тварин.[158] Таким чином, забезпечується більш повний облік внесення органічних добрив і викидів від сільськогосподарських ґрунтів, але для оцінки втрати органічного вуглецю у ґрунті використовуються статистичні дані щодо обсягів використання органічних добрив. За даними національного кадастру, обсяг азоту, який був доданий у ґрунти із органічними добривами у 2022 році склав 115.39 тис. т N.[159]

Обсяги утворення гною також залежать від системи поводження з відходами, зокрема, використання підстилки та її обсягів, використання соломи в літніх таборах тощо.

Важливим є забезпечення правильного зберігання та підготовки гною задля мінералізації органічної речовини, знищення шкідливих мікроорганізмів та зменшення кількості насіння бур'янів. Невпорядковане зберігання гною призводить до збільшення викидів парникових газів, зменшує ефективність його подальшого використання, а також призводить до забруднення навколишнього природного середовища.

156 Наказ Державної служби статистики України від 04.04.2024 № 88 Про затвердження форми державного статистичного спостереження № 9-сг (річна) «Звіт про використання добрив і пестицидів», https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0088832-24#Text

157 Споживання органічних добрив в Україні, https://saf.org.ua/news/938/

158 Див. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: рівняння 10.34 Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf, та рівняння 11.4 Chapter 11: N_2O Emissions from Managed Soils, and CO2 Emissions from Lime and Urea Application, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf

159 Ukraine. 2024 Common Reporting Table (CRT), Table A3.2.5.1. Amount of N that was applied to managed soils, kt of N, https://unfccc.int/documents/645144

Від способу зберігання та підготовки гною залежать втрати азоту та органічної речовини під час зберігання.

Гній тварин може вноситися восени або ранньою весною (за 2-3 тижні до посіву), а норма внесення може складати близько 10-30 тонн на гектар для твердого добрива та 16-48 $м^3$ на гектар для рідкого добрива. Норми внесення можуть бути більшими на полях із низьким вмістом гумусу. В зонах недостатньої вологості оптимальні норми внесення є меншими. Загалом, норми можуть змінюватися залежно від аналізу ґрунту та рівня вмісту поживних речовин у органічних добривах.

Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів наводять максимальні норми внесення різних типів органічних добрив із урахуванням вмісту в добривах загального азоту, а також визначають максимальний загальний рівень внесення азоту у 170 кг нітрогену на гектар.[160] Чим меншим є вміст азоту у гної, тим вищою є визначена норма внесення. Для прикладу, для гною підстилкового із вмістом азоту 5 кг на т, норма внесення складає 34 т / га, тоді як для твердої фракції гною ВРХ та рідкого гною (безпідстилкового) ВРХ із вмістом азоту 3,7 кг на т, норма визначена на рівні 46 т / на. Курячий послід має значно вищий вміст азоту (13 кг / т), тому норма внесення визначена на рівні 13 т / га. На практиці, як правило, обсяги внесення є меншими, оскільки обмеженими є ресурси гною на підприємствах.

Тверді добрива вносяться шляхом розкидання із подальшим загортанням у ґрунт. При цьому важливим є якісне подрібнення добрив та рівномірне розкидання на полі. Рідкі органічні добрива (наприклад, гноївка свиней після відстоюванням у лагунах) можуть вноситися ін'єкційним способом. Для внесення рідких добрив також можуть використовуватися шлангові систем, які складаються із насосних станцій, магістральних трубопроводів, гнучких шлангів та навісної системи внесення (аплікаторів). В Україні технологію шлангового внесення гною впроваджують компанії, які не лише постачають обладнання, але й надають послуги з перекачування та внесення гною для господарств, що не мають власного обладнання.

Заорювання органічних добрив у ґрунт є важливим елементом технології, оскільки гній на поверхні втрачає азот та інші поживні речовини і зменшується ефективність використання. З огляду на це, використання технології при мінімальному обробітку ґрунту є обмеженим.

Для підвищення ефективності використання добрив та зниження негативного впливу на довкілля проводяться агрохімічні аналізи та розробляються оптимальні схеми внесення добрив.

Гній тварин може також спочатку використовуватися для виробництва біогазу, а надалі дигестат може використовуватися в якості органічних добрив.

Капітальні витрати

Для внесення твердих органічних добрив необхідне спеціалізоване обладнання – розкидачі твердих добрив, телескопічні навантажувачі, шнекові сепаратори для гною тощо. Основні компоненти розкидачів включають бункер для завантаження добрив, дозуючий механізм, який регулює подачу добрив відповідно до норм внесення, та розподільчі диски або лопаті, що рівномірно розкидають добрива на певну відстань. Розкидачі добрив поділяють на

160 Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24.11.2021 № 382 «Про затвердження Правил щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text

навісні, причіпні та самохідні розкидачі, оснащені гідравлічними або механічними системами регулювання подачі добрив.

Обсяг капітальних інвестицій для купівлі одного навантажувача та одного розкидача може складати від 100 до 200 тис. дол. у випадку використання іноземного обладнання та лише від 10 до 20 тис. дол. у випадку українського обладнання. Така суттєва різниця окрім країни походження пов'язана із різними характеристиками – вантажопідйомністю, продуктивністю, можливістю налаштування норм внесення тощо.

Для внесення рідких органічних добрив використовуються спеціалізовані цистерни з насосним обладнанням та дозаторами. Вартість такого обладнання складає орієнтовно від 40 до 100 тис. дол. залежно від виробника. Крім того, для роботи із рідкими органічним добривами може бути необхідне додаткове обладнання, включаючи міксери для перемішування органічних добрив в лагунах, насосно-дизельні станції для перекачування добрив, інжекторні аплікатори, шланги та транспортувальники шлангів тощо. Вартість такого додаткового обладнання залежно від комплектації та потужності може сягати 150 – 300 тис. дол.

Для умовного господарства із 1000 голів ВРХ, що дозволяє використовувати органічні добрива на площі близько 1500 га, капітальні інвестиції оцінюються в **діапазоні 70 – 150 тис. дол.**, а у випадку використання рідкого гною від свиней на аналогічній площі – орієнтовно **200-300 тис. дол.**

Операційні витрати

Операційні витрати при використанні органічних добрив в першу чергу пов'язані із операціями транспортування та внесення. Технологічні операції включають перевезення гною від ферми до полів самоскидами або тракторними причепами, укладання гною у бурти та внесення за допомогою розкидачів органічних добрив. Як наслідок, операційні витрати будуть залежати від відстані перевезення, норми внесення та техніки, яка використовується (вантажопідйомність, витрати палива тощо).

Орієнтовні операційні витрати на внесення органічних добрив оцінюються на рівні **1 дол. на гектар**.[161]

Хоч гній також можна придбати на ринку (орієнтовно 5-10 дол. за тонну) при масштабних обсягах внесення у першу чергу мова йде про використання власних ресурсів фермерських господарств, тому витрати на закупівлю гною не враховуються у дослідженні.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Потенціал збільшення поглинання вуглецю завдяки внесенню органічних добрив залежить від обсягів їх внесення.

За даними наукових досліджень потенціал збільшення поглинання вуглецю складає від 0,07 до 0,22 т С на кожну тону вуглецю, яка додається на поля (протягом кількох десятиліть до настання певного рівноважного рівня). Ці дані є усередненими, а фактичні обсяги поглинання

161 На основі прикладу оцінки економіки внесення органічних добрив та курсу долара на час здійснення оцінки у березні 2017 року. Див. Економіка внесення гною ВРХ, https://ag-bag.ua/advice/vidrodzhennja-organiki-chastina-2_-ekonomika-vnesennja

будуть вищими на початку і поступово скорочуватися.[162] При використанні середнього показника 0,145 т С на кожну тону вуглецю у гної, вмісту вуглецю на рівні 100 кг / т добрив та норми внесення на рівні 10 т / га, потенціал поглинання складе 0,145 т С / га на рік або **близько 0,5 т CO_2 / га на рік**.

Хоч на рівні окремих господарств запровадження технології може мати суттєвий позитивний вплив на поглинання вуглецю, оцінити потенціал скорочення викидів на національному рівні складно, оскільки більшість відходів тваринництва у той чи інший спосіб вноситься у ґрунти.

3.4.3 Використання біочару

Опис технології

Біочар – це речовина із високим вмістом вуглецю, що виробляється із різних типів відходів біомаси методом піролізу при високих температурах (400-1000 °C) і за відсутності доступу чи при обмеженому доступу кисню.

Процес виробництва біочару нагадує процеси, які відбуваються в земній корі протягом тисячоліть. Зокрема, у процесах діагенезу (відбувається аеробний та анаеробний біологічний розклад органічної речовини) та катагенезу (хімічне перетворення органічної речовини під дією високих температур та тиску, що розпочинається на глибинах понад 2 км з температурою 50°C–60°C) відбувається поступова «природня карбонізація» органічної речовини із втратою атомів водню та кисню, збільшенням молекулярної ароматизації та конденсації і збільшенням частки вуглецю. Як наслідок, багата на вміст вуглецю органічна речовина стає інертною до хімічних реакцій. Схожі, але значно швидші процеси відбуваються при природніх пожежах за низької доступності кисню і при виробництві біочару. Як наслідок, вуглець у біочарі є стійким до розкладу у природніх умовах. Біочар із високим рівнем інертності, як правило, виробляється при температурах понад 550°C, а інертність зростає при збільшенні температури.[163]

Як правило, біочар використовується у поєднанні із різного типу мікробіологічними препаратами, аби підвищити позитивний вплив на урожайність та стан ґрунту. Біочар може бути різної якості, одним з важливих характеристик якої є вміст вуглецю. Біочар високої якості має вміст вуглецю на рівні 92-94%, а його виробництво потребує температур понад 800°C, які можна досягнути у промислових установках. Деревне вугілля, яке виготовляється за менших температур, має вміст вуглецю близько 70%, і також може використовуватися як джерело вуглецю для ґрунту, хоч і з меншою ефективністю. Якість біочару також залежить від сировини, яка використовується.[164]

В Україні біочар для потреб сільського господарства виробляється наразі у невеликих обсягах на експериментальних установках або із використанням простих засобів для

162 Carbon sequestration through agricultural practices A review of international literature. L.B. Martinez Garcia, Z.G.J. Herbert, D. Westerik, J.A.B. Schepens, https://slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2023-07/SL%20A7%20Onderbouwing%20C-vastlegging%20-%20eindrapportage.pdf

163 Hamed Sanei, Arka Rudra, Zia Møller Moltesen Przyswitt, Sofie Kousted, Marco Benkhettab Sindlev, Xiaowei Zheng, Søren Bom Nielsen, Henrik Ingermann Petersen, Assessing biochar's permanence: An inertinite benchmark, International Journal of Coal Geology, Volume 281, 2024, 104409, ISSN 0166-5162, https://doi.org/10.1016/j.coal.2023.104409, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166516223002276

164 Зелені Агро Рішення (AgroCare). Використання біочару, досвід України, https://www.youtube.com/watch?v=yKTqDEe-zRQ

випалювання біомаси. Потужність таких установок складає від кількох тонн до кількох сотень тонн на рік. Окремі сільськогосподарські підприємства та фермери проводять експерименти із використання біочару при вирощуванні сільськогосподарських культур, але більш поширеним є його використання на ділянках малих розмірів у садівництві, теплицях чи присадибних ділянках.

Використання біочару суттєво підвищує водоутримувальну здатність ґрунту і сприяє збереженню вологи.

У Європі станом на кінець 2023 року працювало працювала 171 установка із виробництва біочару загальною потужністю 75 тис. тонн на рік. Сектор демонструє швидкі темпи зростання (понад 50% щороку в середньому з 2019 року), а лідерами за обсягами виробництва та використання біочару є Німеччина, Австрія, Швейцарія, Данія, Швеція та Фінляндія. Обсяг виробництва біочару оцінюється на рівні 49 тис. тонн у 2023 році. Більшість установок із виробництва біочару мають потужність від 200 до 5000 тонн на рік.[165]

Капітальні витрати

Обсяг необхідних капітальних інвестицій у виробництво біочару залежить від технології піролізу та масштабу виробництва. Капітальні інвестиції можуть складати 100-200 дол. на тонну виробничої потужності на рік для простіших установок малої продуктивності (до 100 т на рік) і зростати до 440-555 дол. для складніших установок більшої потужності (750-900 т на рік).[166] Сучасні підприємства більшої потужності, які одночасно забезпечують виробництво теплової та електричної енергії, можуть потребувати ще більших інвестицій – понад 4500 дол. на тонну виробничої потужності.[167]

Для цілей дослідження розглядається купівля біочару і окремо аналіз капітальних витрат не враховується.

Операційні витрати

Операційні витрати пов'язані із вартістю виробництва або купівлі біочару та вартістю його внесення. Оскільки ринок біочару в Україні знаходиться на стадії формування і обсяги виробництва невеликі, його продажі здійснюються вроздріб невеликими обсягами, а якість біочару та його ціна сильно варіюється.

У європейських країнах також спостерігається великий діапазон цін на біочар залежно від його якості. Вартість біочару може коливатися від 300 до 2000 Євро за тонну[168], а за деякими дослідженнями діапазон може бути навіть суттєво ширшим.[169]

165 European Biochar Industry. European Biochar Market Report 2023 | 2024, https://www.biochar-industry.com/market-overview/

166 Eileen Torres-Morales, Dilip Khatiwada, Maria Xylia, Francis X. Johnson, Investigating biochar as a net-negative emissions strategy in Colombia: Potentials, costs, and barriers, Current Research in Environmental Sustainability, Volume 6, 2023, 100229, ISSN 2666-0490, https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100229. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666049023000221)

167 Green district heating with biochar: Novocarbo and municipal utilities Bochum rely on PYREG's Net Zero technology, https://pyreg.com/green-district-heating-with-biochar-novocarbo-and-municipal-utilities-bochum-rely-on-pyregs-net-zero-technology/; https://www.novocarbo.com/

168 Biochar making €300 to €2,000 per tonne, https://www.farmersjournal.ie/biochar-making-300-to-2-000-per-tonne-763428

169 Biochar Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology (Pyrolysis, Gasification), By Application (Farming, Livestock, Power Generation) and By Region(North America, Europe, APAC, Middle East and Africa, LATAM) Forecasts, 2024-2032, https://straitsresearch.com/report/biochar-market

Основним фактором, який визначатиме вартість біочару буде вартість сировини. Для цілей дослідження прийнято показник на рівні **600 дол. за тонну біочару**.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

З огляду на обмежену пропозицію біочару, потенціал запровадження технології на даний час є обмеженим. Досвід інших європейських країн, проте, демонструє можливість швидкого зростання виробництво біочару і досягнення обсягів в десятки тисяч тонн на рік.

Одним із ключових питань в оцінці поглинання вуглецю ґрунтами внаслідок використання біочару є постійність такого поглинання або, іншими словами, стійкість до окиснення та мікробіологічного розкладу. Приклади сформованих внаслідок випалювання лісів ґрунтів на зразок terra preta в центральній Амазонії вказують на можливість збереження вуглецю в ґрунті протягом тисячоліть, але через відсутність розуміння початкового вмісту вуглецю у таких ґрунтах і особливостей різних ґрунтово-кліматичних умов процеси довгострокового збереження вуглецю біочару все ще характеризуються високою непевністю. Лабораторні експерименти та оцінки на основі співвідношення водню та вуглецю не дозволяють урахувати особливості ґрунтів (кислотність, вологість, вміст органічної речовини тощо) та хіміко-біологічних процесів із біочаром у ґрунті і можуть недооцінювати позитивний вплив на поглинання вуглецю.[170]

Стійкість поглинання вуглецю залежить від характеристик біочару, які визначаються технологією виробництва та типом біомаси, а також ґрунтово-кліматичних умов. Оскільки різними можуть бути характеристики біочару, різним буде і потенціал постійного поглинання вуглецю. Тим не менш, значна частина вуглецю залишається зв'язаною в ґрунті і через 100 років – за оцінками від 60% до 90% (при співвідношенні H/C до 0,7). [171]

У лабораторних умовах фіксується біологічний розклад найслабкіших зв'язків органічних сполук і не враховується належними чином більш інертні складові органічної речовини. Нові дослідження пропонують оцінювати сталість поглинання вуглецю у біочарі на основі порівняння його характеристик, зокрема довільного коефіцієнта відбиття (random reflectance Ro), із характеристиками інертиніту, який є найбільш стійким матеріалом органічного походження у земній корі. Відповідно до досліджень 76% комерційних зразків біочару мали показник Ro вище за 2%, що дозволяє вважати його близьким до інертиніту за стійкістю (саме такий показник має стабільна органічна речовина після завершення процесу катагенезу). Таким чином, при виробництві біочару біомаса перетворюється у дуже стабільну форму органічної речовини, яка ідентична за характеристиками до органічної речовини осадових порід, що утворювалася у природніх умовах протягом тисячоліть. Чим вищою буде схожість із інертинітом, тим більш постійним буде поглинання вуглецю завдяки використанню біочару.[172]

170 Do oversimplified durability metrics undervalue biochar carbon dioxide removal? A J Ringsby, K Maher Published, Environmental Research Letters, Volume 20, Number 3, DOI 10.1088/1748-9326/adac7b, https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/adac7b

171 Elias S. Azzi, Haichao Li, Harald Cederlund, Erik Karltun, Cecilia Sundberg, Modelling biochar long-term carbon storage in soil with harmonized analysis of decomposition data, Geoderma, Volume 441, 2024, 116761, ISSN 0016-7061, https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116761, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001670612300438X

172 Hamed Sanei, Arka Rudra, Zia Møller Moltesen Przyswitt, Sofie Kousted, Marco Benkhettab Sindlev, Xiaowei Zheng, Søren Bom Nielsen, Henrik Ingermann Petersen, Assessing biochar's permanence: An inertinite benchmark, International Journal of Coal Geology, Volume 281, 2024, 104409, ISSN 0166-5162, https://doi.org/10.1016/j.coal.2023.104409, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166516223002276

На основі наявних наукових досліджень залежно від припущення про стійкість вуглецю у біочарі потенціал поглинання може бути оцінений на рівні 2 – 3 т CO_2 на т біочару. Для цілей дослідження використовується середнє значення на рівні **2.5 т CO_2 на тонну використаного біочару** (відповідає вмісту вуглецю на рівні 90% та показнику постійного збереження після 100 років на рівні 76%).

Загальний потенціал оцінюється на рівні щонайменше **100 тис. т CO_2 на рік,** що потребуватиме використання **40 тис. тонн біочару.**

3.4.4 Використання компосту

Опис технології

Використання компосту дозволяє збільшити внесення і азоту, і вуглецю у ґрунт. При компостуванні відбувається окислення вуглецю і скорочується співвідношення вуглецю до азоту (C:N ratio), що підвищує ефективність використання поживних речовин при внесенні у ґрунт. Початкове співвідношення залежить від суміші матеріалів: наприклад, зелені паркові відходи і відходи деревини мають високе співвідношення – більше 40:1, тоді як харчові відходи мають співвідношення близько 15:1. Для ефективного компостування початкове співвідношення повинно складати близько 25:1 – 35:1, а у готовому компості складає вже близько 15:1 – 20:1.

Компост вноситься восени або ранньою весною (за 3-4 тижні до посіву). Твердий компост вноситься шляхом рівномірного розкидання із подальшим загортанням у ґрунт.

Обсяги внесення компосту можуть залежати від доступності компосту та культур, які вирощуються, і складати від 3 до 10 тонн на гектар. При осінньому внесенні на полях із низьким вмістом органічної речовини норми внесення можуть бути більшими і складати 15-30 т на гектар.

Потенціал запровадження технології пов'язаний із доступністю компосту, який може вироблятися сільськогосподарськими підприємствами або постачатися з міських або регіональних станцій компостування органічних відходів. У другому випадку важливе налагоджування партнерства між фермерськими господарствами та містами, які модернізують системи поводження з відходами та будують станції компостування. Органіка може складати близько половини обсягу твердих побутових відходів.

Для прикладу, у Львові працює станція компостування, на яку потрапляють органічні відходи від населення та бізнесу, а також зелені відходи від обрізки дерев, скошування газонів та опале листя. Після отримання органічних відходів вони направляються на майданчики тимчасового зберігання, де відбувається подрібнення садово-паркових відходів і додаткове сортування побутових органічних відходів, а надалі підготовлені відходи направляються на виробництво компосту. Для дотримання оптимального співвідношення азоту та вуглецю використовується приблизно 60% органічної фракції твердих побутових відходів та 40% зелених садово-паркових відходів. Відходи складаються у бурти довжиною 100 м, які кожні чотири дні перемішуються та насичуються киснем за допомогою аератора, а влітку додатково зволожуються. Таким чином відбувається аеробне компостування – процес триває від двох до чотирьох місяців залежно від сезону. Потужність станції компостування на початку складала 30 тисяч тонн органічних та садово-паркових відходів на рік. За допомогою лабораторних

досліджень контролюється якість компосту та вміст основних речовин.[173] Фактичні обсяги переробки відходів та виробництва компосту можуть бути суттєво меншими за максимальну потужність станції компостування. У 2021 році львівська станція компостування прийняла 7464 тонн органічних відходів. Після завершення процесу компостування компост додатково просівають, аби очистити від будь-яких домішок, які не були відібрані на попередніх етапах. Із 1000 кг підготовлених відходів (подрібнених та очищених від неорганічних домішок) можна виготовити близько 300 кг компосту.[174]

Навіть при використанні компосту із великих станцій компостування потенціал використання технології у сільському господарстві є обмеженим, оскільки обсяг виробленого компосту при використанні 10 тонн на гектар може забезпечити потреби відносно невеликих площ.

Сільськогосподарські підприємства, які поєднують рослинництво та тваринництво, також запроваджують практику компостування, зокрема, компостування курячого посліду та гною ВРХ. До гною також можуть додаватися інші органічні відходи та мінеральні елементи. Завдяки керованому процесу компостування органічні відходи проходять стабілізацію, знижується рівень патогенів, а також зменшуються екологічні ризики. Крім того, технологія дозволяє створювати органо-мінеральні суміші для одночасного внесення різних типів добрив. Аналіз якості отриманого добрива дозволяє оптимізувати його використання та підвищити ефективність.

Дана технологія може також активно використовуватися домогосподарствами, підвищуючи ефективність вирощування різних культур. У такому малому масштабі компостування можна здійснювати без значних інвестицій, використовуючи компостні ями, накриті плівкою, та поливаючи відходи для забезпечення достатньої зволоженості або додаючи спеціальні біопрепарати для пришвидшення розкладу органіки.

Капітальні витрати

Капітальні витрати пов'язані із витратами на закупівлю техніки для внесення компосту, а також із будівництвом станції чи ділянки компостування у разі власного виробництва компосту. У разі купівлі компосту на ринку та наявності техніки для внесення твердих органічних добрив запровадження технології не пов'язане із додатковими капітальними витратами.

У випадку львівської станції компостування початкові витрати на запуск станції компостування склали 26,8 млн грн (близько 1,1 млн доларів), однак протягом наступних років після запуску здійснювалися додаткові суттєві інвестиції.[175]

173 Екодія. Як львів'яни з проблеми відходів створюють стале рішення із вигодами не тільки для міста, а й для фермерів, https://www.seeds.org.ua/yak-lvivyani-z-problemi-vidxodiv-stvoryuyut-stale-rishennya-iz-vigodami-ne-tilki-dlya-mista-a-j-dlya-fermeriv/

174 Zero Waste Lviv. Звіт за результатами дослідження «Компостування у містах як шлях до скорочення викидів парникових газів», https://zerowastelviv.org.ua/zvit-za-rezultatamy-doslidzhennya-kompostuvannya-u-mistah-yak-shlyah-do-skorochennya-vykydiv-parnykovyh-gaziv/

175 Zero Waste Lviv. Звіт за результатами дослідження «Компостування у містах як шлях до скорочення викидів парникових газів», https://zerowastelviv.org.ua/zvit-za-rezultatamy-doslidzhennya-kompostuvannya-u-mistah-yak-shlyah-do-skorochennya-vykydiv-parnykovyh-gaziv/

Операційні витрати

Вартість компосту на львівській станції компостування восени 2024 року складала 309 гривень за тонну [176] або близько 8 дол. / т. При цьому, через відсутність великого ринку та уставлених цін вартість компосту може варіювати і відрізнятися у кілька разів.[177] Вартість виробництва компосту із курячого посліду може сягати 15 дол. за тонну.[178]

Додаткові операційні витрати пов'язані із операціями транспортування та внесення компосту і прийняті аналогічними до витрат із внесення гною тварин – орієнтовно 1 дол. на гектар.

Для цілей дослідження прийняті операційні витрати на рівні **15 дол. на тонну внесеного компосту.**

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Хоч при виробництві компосту утворюються викиди парникових газів (CH_4, N_2O та CO_2), дана технологія дозволяє суттєво скоротити викиди парникових газів і у випадку компостування відходів тваринництва, і у випадку компостування органічної фракції твердих побутових відходів. Найактуальнішим для сільського господарства є скорочення викидів через збільшення вмісту вуглецю у ґрунтах.

Потенціал скорочення викидів за рахунок збільшення поглинання вуглецю у ґрунтах залежить, перш за все, від обсягів внесення компосту. Поглинання буде більшим при вищих в нормах, однак, залежно від характеристик ґрунту при досягненні нової рівноваги ефективність внесення компосту буде зменшуватися з часом.

Хоч у процесі компостування значна частина вуглецю виділяється у вигляді двоокису вуглецю і, частково, метану, у порівнянні із органічними добривами на основі гною тварин, потенціал поглинання вуглецю при використанні компосту є вищим. Компост має більший вміст вуглецю на одиницю маси через меншу вологість і вуглець перебуває у більш стабільній формі. При цьому через різну сировину та різні процеси компостування, характеристики компосту, зокрема, вміст вуглецю може сильно варіювати.

При використанні компосту на рівні 10 т / га, потенціал поглинання за консервативними оцінками може скласти принаймні **1 т CO_2 / га на рік.**

Додаткові скорочення викидів будуть досягнені у випадку компостування органічної фракції твердих побутових відходів, оскільки компостування дозволяє суттєво скоротити викиди парникових газів за рахунок зменшення кількості органічних відходів, які потрапляють на полігони твердих побутових відходів та розкладаються там із утворенням метану. Кожна тонна органічних відходів, яка направляється на станцію компостування, дозволяє скоротити викиди парникових газів на майже 300 кг CO_2-екв. протягом 20 річного періоду.[179]

176 Екодія. Як львів'яни з проблеми відходів створюють стале рішення із вигодами не тільки для міста, а й для фермерів, https://www.seeds.org.ua/yak-lvivyani-z-problemi-vidxodiv-stvoryuyut-stale-rishennya-iz-vigodami-ne-tilki-dlya-mista-a-j-dlya-fermeriv/

177 Zero Waste Lviv. Звіт за результатами дослідження «Компостування у містах як шлях до скорочення викидів парникових газів», https://zerowastelviv.org.ua/zvit-za-rezultatamy-doslidzhennya-kompostuvannya-u-mistah-yak-shlyah-do-skorochennya-vykydiv-parnykovyh-gaziv/

178 На основі курсу долара станом на 2021 рік та вартості виробництва до 400 грн за тонну. Див. Компост як альтернатива мінеральним добривам: кейс від «Урожаю» Групи МХП, https://superagronom.com/blog/858-kompost-yak-alternativa-mineralnim-dobrivam-keys-vid-urojayu-grupi-mhp

179 Zero Waste Lviv. Звіт за результатами дослідження «Компостування у містах як шлях до скорочення викидів парникових газів», https://zerowastelviv.org.ua/zvit-za-rezultatamy-doslidzhennya-kompostuvannya-u-mistah-yak-shlyah-do-skorochennya-vykydiv-parnykovyh-gaziv/

Потенціал запровадження технології є відносно незначним, через обмеження обсягів виробництва компосту і з органічної фракції твердих побутових відходів, і з відходів тваринництва. За даними дослідження проєкту «Оцінка технологічних потреб», до 2050 року механіко-біологічна технологія переробки може бути запроваджена для 2 млн тонн твердих побутових відходів (близько 20%).[180] За консервативними оцінками, потенціал виробництва компосту складе близько 300 тис т, що може забезпечити його використання на площі біля 30 тис. га. Більші обсяги виробництва компосту можливі при використанні відходів тваринництва.

Для цілей дослідження потенціал прийнято на рівні **1 млн т компосту на рік**, що достатньо для використання **на площі близько 0,1 млн га**. Загальний потенціал скорочення викидів при цьому складе **0,1 млн т CO_2**.

На рівні проєктів необхідно здійснювати більш детальну оцінку потенціалу скорочень викидів із урахуванням міжнародних методологій, які враховують як потенціал поглинання вуглецю, так і викиди під час компостування.[181]

3.4.5 Органічне землеробство

Опис технології

Відповідно до НПЕК, розвиток органічного сільського господарства є одним з пріоритетних напрямків середньострокової "зеленої трансформації" сільського господарства. Органічне виробництво може відіграти важливу роль в адаптації до зміни клімату і пом'якшенні її наслідків, а також у збереженні біорізноманіття.

Органічне землеробство – це система сільськогосподарського виробництва, при якій уникають використання синтетичних добрив, пестицидів, регуляторів росту, а натомість активно використовують сівозміну, сидерати, компост, біологічні методи контролю шкідників і механічну обробку для контролю за бур'янами. Різноманіття культур також є притаманною характеристикою органічного землеробства. Органічне землеробство сприяє поглинанню вуглецю та скороченню викидів парникових газів. Найбільш ефективними практиками, що використовуються в органічному землеробстві, є використання відходів тваринництва та компостованих відходів рослинництва в якості органічних добрив, а також бобових культур для збільшення вмісту азоту в ґрунті. Включення у сівозміну трав та конюшини, більш різноманітна сівозміна, а також зменшення глибини і частоти оранки збільшують родючість ґрунту. Усі ці практики збільшують поглинання вуглецю на полях, де використовується органічне землеробство, тоді як на полях із традиційними практиками обробітку вміст вуглецю зменшується через мінералізацію.[182]

Органічне землеробство передбачає поєднання різних технологій описаних вище, включаючи використання покривних культур, компосту, органічних добрив тощо. Ключовою характеристикою органічного землеробства є дотримання вимог визначених стандартів, які можуть визначатися державними органами або приватними організаціями. Такі стандарти

180 Technology Needs Assessment. Technology Action Plan. Mitigation, https://tech-action.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/2/2021/09/tap-mitigation-report-ukraine-2021-08-31-1.pdf

181 Див. для прикладу: Verra Releases Clarifications to CDM Composting Methodologies, https://verra.org/program-notice/verra-releases-clarifications-to-cdm-composting-methodologies/

182 TNA. Інформаційна картка технології. Органічне землеробство, https://drive.google.com/file/d/1xOZC0usbz37NRyc2Z3-ll9slcmip_Ra9/view

передбачають суворе дотримання вимог і заборону використання мінеральних азотних добрив та багатьох традиційних хімічних засобів. Існують чіткі переліки дозволених до використання речовин, включаючи органічні добрива та біологічні засоби захисту рослин, а контроль за дотриманням правил здійснюється уповноваженими сертифікаційними органами на щорічній основі.[183]

Багато операцій є аналогічними до традиційного вирощування культур. Разом з тим, технологія органічного землеробства передбачає більшу кількість технологічних операцій, зокрема, багаторазове культивування перед посівом та під час росту рослин. Для деяких культур чи окремих ділянок також передбачається використання ручної праці (зокрема, у ягідництві).

Особливістю органічного землеробства також є створення буферних зон між органічними полями та сусідніми ділянками. Такі буферні зони можуть мати ширину від 7 до 30 м або більше за наявності схилів і облаштовуватися вздовж доріг та сусідніх полів. Однак ці буферні зони, як правило, також використовуються для вирощування сільськогосподарських культур, але без органічного статусу.[184] З огляду на це, їх не варто плутати із буферними зонами із природною рослинністю, які сприяють збільшенню поглинання вуглецю.

При органічному землеробстві можуть спостерігатися нижчі показники урожайності, які компенсуються вищою вартістю, однак різниця залежить від багатьох факторів. У багатьох випадках органічні виробники можуть досягати урожайності, яка є близькою до традиційного виробництва.

В Україні станом на 2023 рік площа земель під органічними землеробством складала 471176 га або 1,1% від загальної площі сільськогосподарських земель (включаючи ділянки у перехідному періоді). Для порівняння, у ЄС площа органічних земель складала 17,7 млн га (включає орні землі та пасовища) або 10,9% від загальної площі сільськогосподарських земель. В Україні працювало 383 органічних виробника, а експорт органічної продукції до ЄС та США складав 183 327 тон (передусім пшениця, соя та кукурудза).[185] Разом з тим, офіційні статистичні дані базуються на інформації різних українських та міжнародних сертифікаційних органів, тому необхідні додаткові зусилля для перевірки узгодженості та точності інформації про площі земель під органічним землеробством.

Капітальні витрати

Запровадження технології не передбачає значних капітальних витрат, хоч в окремих випадках може бути необхідним додаткове обладнання для механічної боротьби із бур›янами. Витрати на сертифікацію є відносно низькими.

Операційні витрати

Додаткові операційні витрати можуть бути пов’язані із додатковими витратами палива (7-8 літрів пального додатково на гектар) через необхідність більшої кількості операцій з

183 Зелені Агро Рішення (AgroCare). Органічне землеробство - основні принципи, підходи та практичні кроки впровадження, https://www.youtube.com/watch?v=b1W5EN-66W0

184 Зелені Агро Рішення (AgroCare). Органічне землеробство - практичні кроки впровадження на прикладі ТОВ «Дедденс Агро», https://youtu.be/BZTtC-jXEfU?si=n2eEgqyrFX31xrpF

185 FIBL. The World of Organic Agriculture 2025, https://www.fibl.org/en/shop-en/1797-organic-world-2025

культивування, а також додатковими витратами на оплату праці.[186] У цьому випадку додаткові операційні витрати складуть **близько 10 дол. / га.** Хоча існують і протилежні оцінки, відповідно до яких при вирощуванні культур органічними методами необхідно менші витрати людської праці на гектар у порівнянні із традиційними методами.[187]

Загалом, існує багато досліджень, які порівнюють операційні витрати для органічного та традиційного землеробства. У літературі можна знайти приклади і вищих, і нижчих витрат для органічного землеробства. У цілому ж, для органічного землеробства характерний схожий рівень операційних витрат, що й для традиційного землеробства.[188]

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Національна економічна стратегія України на період до 2030 року[189] визначає ціль на рівні не менше 3% від загальної площі сільськогосподарських угідь під органічним сільським господарством до 2030 року та збільшення експорту органічної продукції до 1 млрд дол. США до 2030 року.

За оцінками експертів, частка сільськогосподарських земель може зрости до 10% у середньостроковій перспективі. У рамках проєкту «Оцінка технологічних потреб» на основі експертних оцінок був визначений потенціал на рівні **4 млн га** сільськогосподарських земель (близько **10% від загальної площі сільськогосподарських земель**).[190] Разом з тим, досягнення такого рівня до 2050 року від базового показника близько 0,5 млн га вимагатиме щорічного зростання площ на 8%, що у свою чергу потребуватиме запровадження інструментів державної підтримки, в тому числі стимулювання внутрішнього попиту на органічні продукти.

Органічне землеробство має потенціал для поглинання вуглецю у ґрунт на рівні 200 кг С на гектар на рік. Поєднання органічного землеробства із мінімальним обробітком землі може збільшити обсяги поглинання до 500 кг С на гектар на рік у порівняні із традиційними способами обробки землі, однак з часом обсяги поглинання зменшуються через досягнення нової рівноваги вмісту вуглецю.[191] Інші дослідження демонструють схожі середні показники потенціалу поглинання на рівні близько 200 - 400 кг С на гектар на рік.[192] Це відповідає поглинанню 0,7- 1,4 тонни CO2-екв. на га на рік.

Відповідно до дослідження Thünen Institute, порівняння викидів парникових газів при органічному та традиційному землеробстві у помірному кліматі на основі емпіричних вимірювань показує позитивний вплив органічних практик, а скорочення викидів складає

186 Зелені Агро Рішення (AgroCare). Органічне землеробство - практичні кроки впровадження на прикладі ТОВ «Дедденс Агро», https://youtu.be/BZTtC-jXEfU?si=n2eEgqyrFX31xrpF

187 FIBL (2018): Соціально-економічне дослідження розвитку органічного ринку та сектору в Україні, http://orgprints.org/35335/1/Socio-economic-study_UA_Dec2018_published.pdf

188 TNA. Інформаційна картка технології. Органічне землеробство, https://drive.google.com/file/d/1xOZC0usbz37NRyc2Z3-ll9slcmip_Ra9/view

189 Постанова Кабінету Міністрів України від 3 березня 2021 р. № 179 «Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text

190 TNA. Короткий опис технології. Органічне землеробство, https://drive.google.com/file/d/1qol1ernScdk27oA2LWuzleCSU2lwpsoo/view

191 ClimateTech Wiki, http://www.climatetechwiki.org/technology/organic-agriculture

192 Müller-Lindenlauf, M. (2009): Organic Agriculture and Carbon Sequestration. Possibilities and constrains for the consideration of organic agriculture within carbon accounting systems, http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rome2007/docs/Organic_Agriculture_and_Carbon_Sequestration.pdf

1,082 кг CO2-екв. на га на рік.[193]

Диверсифікована ротація рослин і використання органічних добрив покращує структуру ґрунту та зменшує викиди N_2O через відмову від використання мінеральних азотних добрив, хоч азот із органічних добрив також спричиняє викиди N_2O. При органічному землеробстві ґрунт містить більше повітря і має значно менші концентрації вільного азоту, що зменшує викиди N_2O.[194]

Консервативна оцінка потенціалу скорочень викидів парникових газів внаслідок органічного землеробства складає **0,7 тонну CO_2-екв. на га на рік**. Загальний потенціал скорочень викидів парникових газів складає **2,8 млн тонн CO_2-екв. на рік**.

3.5 Енергетичне використання рослинних решток та іншої агросировини

Рослинні рештки у сільськогосподарському виробництві включають післяжнивні рештки, які залишаються в результаті зрізання рослин комбайном (коренева система та стерня), та побічну продукцію у вигляді соломи та полови. Надземні і підземні рослинні рештки слугують джерелом вуглецю та азоту для ґрунту, а частина надземних решток (соломи, стебел, лушпиння, стрижнів від кукурудзи та полови) може також вивозитися з полів і використовуватися з енергетичною метою або в якості кормів. Рослинні сільськогосподарські рештки також поділяють на первинні (утворені на полі в процесі збирання врожаю - солома зернових, ріпаку, стебла/стрижні кукурудзи, стебла/кошики соняшника) та вторинні (утворені на підприємствах при переробці врожаю - побічні продукти харчової та переробної промисловості).

Рослинні рештки є цінним ресурсом, що потребує сталих та виважених підходів до управління задля найбільш ефективного використання, враховуючи особливості та потреби окремого господарства та навіть поля. Можливості використання побічної продукції за межами поля залежать від низки факторів, включаючи характеристики ґрунту та обсяги внесення мінеральних і органічних добрив, урожайність, потреби господарства у побічних продуктах або можливості їх продажу, системи обробітку ґрунту тощо.

З одного боку, використання рослинних решток на полях дозволяє уникнути втрати органічного вуглецю ґрунту та сприяє поліпшенню родючості ґрунту і його захисту від ерозії. Поліпшення родючості ґрунту відбувається завдяки покращенню його структури та водоутримуючих властивостей, сприянню розвитку корисних мікроорганізмів та збагаченню ґрунту органічною речовиною та поживними елементами (азот, фосфор, калій, мікроелементи тощо). Рослинні рештки також створюють механічний бар›єр, який знижує швидкість стоку води та зменшує вимивання та видування частинок ґрунту, зменшуючи ризик ерозії.

З іншого боку, видалення частини рослинних решток з полів дозволяє їх спалювання для виробництва теплової та / або електричної енергії, використання для виробництва твердого біопалива (пеллети або брикети) або біогазу та / або біометану, а також використання у тваринництві в якості кормів або підстилки. Основні сільськогосподарські рослинні рештки,

193 Thünen Report 65 (2019): Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaf, https://www.boelw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Pflanze/190121_Th%C3%BCnen-Report_65_final.pdf

194 TNA. Інформаційна картка технології. Органічне землеробство, https://drive.google.com/file/d/1xOZC0usbz37NRyc2Z3-ll9slcmip_Ra9/view

які можуть бути використані для виробництва енергії, включають солому, лушпиння насіння соняшника, а також стебла та інші залишки від вирощування кукурудзи та соняшника. Певні обсяги побічної продукції також можуть використовуватися для мульчування в овочівництві та ягідництві і для виробництва компосту, оскільки при змішуванні з відходами тваринництва забезпечується формування оптимального співвідношення вуглецю та азоту.

Таким чином, існує суттєва конкуренція між потребою у рослинних рештках на полях для уникнення втрати органічного вуглецю ґрунту та сприяння його накопиченню і їх використанням для енергетичних та інших цілей.

Спосіб поводження із рослинними рештками також визначає необхідні агротехнологічні операції (дискування, заорювання, весняне боронування, культивація, подрібнення, рівномірний розподіл тощо). Як наслідок, окремі особливості поводження із рослинними рештками також залежать від наявного парку сільськогосподарської техніки та обладнання, наприклад, наявності подрібнювачів соломи і стебел, соломо- та полово-розкидачів, штригельних і дискових борон, стерньових культиваторів, мульчерів тощо.

Традиційним підходом до управління рослинними рештками є їх перемішування з ґрунтом методом переорювання, дискування, фрезерування чи іншими операціями. В умовах обмеженого внесення органічних добрив та значній поширеності ерозійних процесів, виробники у більшості випадків надають перевагу збереженню побічної продукції на полях для поліпшення родючості ґрунту. Ключовим пріоритетом у визначенні способу поводження з рослинними рештками є підготовка ґрунту до посіву та створення умов для отримання високого урожаю наступної культури. Крім того, використання окремих технологій обробітку ґрунту (Mini-till, Strip-till, No-till) також вимагає збереження на поверхні полів понад половини побічної продукції. Залежно від системи обробітку побічна продукція буде розміщена в різних горизонтах ґрунту. При нульовому обробітку (No-till) побічна продукція залишається на поверхні ґрунту без обробітку, утворюючи мульчу, яка повільно розкладається і допомагає зберегти структуру ґрунту.

У випадку збереження побічної продукції на полі, біомаса розкладається під впливом ґрунтових мікроорганізмів та забезпечує повернення макро- та мікроелементів у біологічний кругообіг у ґрунтах, а також слугує джерелом накопичення органічного вуглецю. Сільськогосподарські підприємства також додатково використовують внесення азоту перед обробітком рослинних решток та спеціальні біологічні препарати – деструктори, які сприяють розвитку мікроорганізмів та розкладанню рослинних решток. Ефективність використання таких препаратів, проте, суттєво залежить від зовнішніх факторів, включаючи оптимальність температури повітря, достатньої кількості вологості та своєчасного зароблення рослинних решток у ґрунт. Додаткове внесення азоту пов’язане із необхідністю забезпечення оптимального співвідношення азоту та вуглецю (C:N) для розкладання рослинних решток мікроорганізмами.

Видалення значних обсягів побічної продукції з полів є значно менш поширеним і характерне для господарств, які мають такі потреби:

- використання біомаси для виробництва теплової та / або електричної енергії (наприклад, котли з використанням тюкованої соломи, сушарки на соломі тощо);
- додавання соломи при виробництві біогазу / біометану шляхом анаеробного зброджування;

- використання на тваринницьких фермах в якості підстилки (для корів, овець, кіз тощо)[195] або для виробництва кормів (багаторічні трави, однорічні трави, кукурудза кормова);
- додавання соломи при компостуванні відходів птахівництва, ВРХ, свиней;
- використання соломи пшениці для мульчування полів суниці, малини, помідорів.

Поточне споживання сільськогосподарських рослинних решток для енергетичних цілей є доволі невисоким. Ґрунтуючись на результатах розрахунків для попередніх років[196], [197] та поточних експертних оцінках БАУ, наявний потенціал сільськогосподарських рослинних решток використовується в середньому приблизно на 5%. Зокрема, для енергетичних цілей використовується орієнтовно 5% соломи зернових та ріпаку, 1% стебел / стрижнів кукурудзи, 0,1% стебел / кошиків соняшнику, 10% жому цукрового буряку та 0,5% силосу кукурудзи. Окремим випадком є лушпиння соняшника, оскільки рівень його споживання складає близько 80%, адже значні обсяги лушпиння використовуються у котлах і ТЕЦ на ОЕЗ, окремих ТЕЦ/ТЕС та для виробництва гранул і брикетів.

При цьому, саме енергетичне використання побічної продукції (зернові культури, кукурудза, зернобобові, ріпак тощо) дозволяє скорочувати викиди в секторі виробництва енергії.

Найбільш детальні оцінки енергетичного потенціалу біомаси України і напрямків його використання проводилися фахівцями Біоенергетичної асоціації України (БАУ). За даними 2021 року, економічний[198] потенціал сільськогосподарської біомаси в Україні оцінюється у 17,2 млн т н.е./рік. Ця оцінка включає тверду біомасу у вигляді сільськогосподарських залишків (передбачене використання – виробництво теплової енергії, електроенергії, твердих біопалив) – всього 10,8 млн т н.е./рік, а також різні види сільськогосподарської біомаси, перераховані на потенційно вироблені з них рідкі біопалива (1,4 млн т н.е./рік) і біогаз (майже 5 млн т н.е./рік). Потенціал оцінюється на основі офіційних статистичних даних: валовий збір за певний рік (млн т) для зернових колосових культур, ріпаку, кукурудзи, соняшнику помножується на відповідний коефіцієнт утворення побічних продуктів[199] для

195 Обсяги споживання соломи для підстилки залежать від типу підстилки, яка використовується (солома на землі, солома на дерев›яних дошках, солома на бетонній плиті чи солома на гумових матах), і можуть коливатися від 0,5 до 5 кг на голову на добу для дійних корів і від 5 до 10 кг на голову на добу для сухостійних корів.

196 Желєзна Т.А.. Агробіомаса як найбільша складова енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Презентація на вебінарі «Відновлювані джерела енергії для декарбонізації: біоенергетика», 26.02.2021. https://rea.org.ua/news/599

197 Желєзна Т.А. Вплив на ґрунт від вилучення з поля побічної продукції сільськогосподарських культур. Доповідь на вебінарі «Створення та функціонування ефективних ланцюжків вартості у біоенергетиці, включаючи питання логістики біомаси», 4-8.12.2023. https://uabio.org/news/15539/

198 Економічний потенціал – частка технічного потенціалу, що задовольняє критеріям економічної доцільності за даних умов. Технічний потенціал – частка теоретичного потенціалу, доступна за певних технічно-структурних умов та поточних технологічних можливостях. Теоретичний потенціал – загальний максимальний обсяг наземної біомаси, теоретично доступної для виробництва енергії у фундаментальних біофізичних межах. У випадку відходів та залишків різного виду теоретичний потенціал дорівнює максимально утвореному обсягу цих відходів та залишків. Див. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Жовмір М.М., Матвєєв Ю.Б., Дроздова О.І. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса // Промислова теплотехніка. – 2010, т. 32, № 6, с.58-65.

199 Показує кількість побічних продуктів, яка утворюється на одиницю основної продукції (зерно, насіння) і є індивідуальним для кожної сільськогосподарської культури.

оцінки теоретичного потенціалу і на коефіцієнт енергетичного використання[200] для оцінки економічного потенціалу. Схожий підхід із використанням коефіцієнтів виходу біопалива для кожного виду сировини використовується для оцінки потенціалу рідкого біопалива і біогазу. Результати оцінки БАУ в енергетичних одиницях представлені у таблиці 3.

Інститут відновлюваної енергетики НАН України[201] наводить співставні дані, але лише для технічно-досяжного (теоретичного) потенціалу. Для прикладу, для твердої біомаси (солома пшениці, ячменю, сої, ріпаку, стебла/стрижні кукурудзи, стебла соняшнику, лушпиння соняшнику) потенціал оцінено 34,4 млн т н.е./рік, тоді як оцінка теоретичного потенціалу від БАУ складає 32,4 млн т н.е./рік.

Таблиця 3. Оцінка енергетичного потенціалу сільськогосподарської біомаси в Україні (2021 р.) і прогноз потенціалу на 2050 р.

Вид біомаси / біопалива	2021 р. (оцінка)			2050 р. (прогноз)
Вид біомаси / біопалива	Теоретичний потенціал (ТП) виробництва, млн т / рік	Потенціал для енергетики (економічний)		Потенціал для енергетики (економічний)
		Частка ТП, %	млн т н.е./рік	млн т н.е./рік
ТВЕРДА БІОМАСА	**млн т/рік**			
солома зернових колосових	42,01	20	2,87	3,55
солома ріпаку	5,88	40	0,80	0,80
побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	54,74	40	4,18	3,92
побічні продукти виробництва соняшника (стебла, корзинки)	31,15	40	1,79	1,79
лушпиння соняшника	2,78	100	1,16	1,16
Тверда біомаса, всього	136,56		10,80	11,22
РІДКЕ БІОПАЛИВО:	**млн л/рік**			
Біодизель з насіння ріпаку	1052	70	0,58	0,58
Біоетанол з зерна кукурудзи	16844	10	0,86	0,53
Біоетанол (передовий) з побічних продуктів кукурудзи	-	-	-	0,76
Рідке біопаливо, всього	17896		1,44	1,87
БІОГАЗ:	**млрд м³ CH_4/рік**			
Біогаз з відходів тваринництва, у т. ч.:	1,04	80	0,71	0,75

200 Відображає частку певного виду побічного продукту, яка може бути використана для потреб енергетики з урахуванням інших напрямків споживання, і є індивідуальним для кожної сільськогосподарської культури.

201 Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2024 https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas_2024_publication.pdf

Вид біомаси / біопалива	2021 р. (оцінка)			2050 р. (прогноз)
Вид біомаси / біопалива	Теоретичний потенціал (ТП) виробництва, млн т / рік	Потенціал для енергетики (економічний)		Потенціал для енергетики (економічний)
		Частка ТП, %	млн т н.е./рік	млн т н.е./рік
з гною ВРХ	0,29	49	0,12	0,12
з гною свиней	0,27	93	0,22	0,22
з посліду птахів	0,47	93	0,38	0,41
з гною малої рогатої худоби	0,010	25	0,002	0,002
Біогаз з пожнивних решток с/г культур, у т.ч.:	16,79	26	3,80	4,47
з соломи зернових колосових	7,05	20	1,21	1,45
зі стебел кукурудзи	6,67	30	1,72	2,15
зі стебел та кошиків соняшнику	1,44	27	0,33	0,33
з соломи сої	0,60	30	0,15	0,15
з соломи ріпаку	0,78	30	0,20	0,20
з ботвини цукрових буряків	0,24	90	0,18	0,18
Біогаз з побічних продуктів харчової переробної промисловості, у т.ч.:	1,50		0,47	0,47
з побічних продуктів олійної промисловості	1,13	28	0,27	0,27
з побічних продуктів цукрової промисловості	0,37	62	0,20	0,20
Біогаз з проміжних культур	-	-	-	8,36
Біогаз, всього	2,54		4,98	14,05
ЗАГАЛОМ			**17,22**	**27,14**

Примітки: 1) Енергетичний потенціал виражений у мільйонах тон нафтового еквіваленту - теплотворна здатність нафтового еквівалента складає 41,9 МДж/кг н.е. 2) Дані для 2021 року - без урахування тимчасово окупованих територій України станом на 2021 р. 3) Для 2050 р. приймається, що 10% теоретичного потенціалу побічних продуктів виробництва кукурудзи на зерно використовується для отримання передового біоетанолу і 5% зерна кукурудзи використовується для виробництва біоетанолу.

Джерело: Дані членів БАУ – ІТТФ НАН України[202] та ТОВ Біомаса - Карбон[203]

202 Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Кучерук П.П., Драгнєв С.В. (ІТТФ НАН України). Аналіз перспективних напрямків використання енергетичного потенціалу біомаси України // Теплофізика та теплоенергетика. – 2023, т. 45, № 2, с. 77-86. https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.9

203 Оцінка потреб споживання та можливостей виробництва моторних біопалив в Україні. Звіт ТОВ «Біомаса-Карбон» в рамках Спільного проєкту агенцій ООН Програми ООН із відновлення та розбудови миру, 2023.

Прогнози теоретичного потенціалу є відносно надійними, оскільки базуються на даних про урожайність і коефіцієнтах утворення різних типів рослинних решток. Тим не менш, навіть вони характеризуються значною непевністю через коливання показників урожайності і різні показники утворення рослинних решток для різних культур, сортів та гібридів культур.

Національні дані надають такі оцінки обсягів утворення соломи: 1 тонна соломи на тонну урожаю зерна для пшениці, 0,8 тонн для ячменю, 1,3 тонн для жита та 1 тонна для вівса.[204] Окрім певних сталих коефіцієнтів, також існують визначені регресійні рівняння, які дозволяють визначити усереднений доступний обсяг побічної продукції на основі урожайності, однак дані показники можуть варіювати залежно від сорту. Брак вологи чи інші фактори, які призводять до зменшення урожайності основних культур, будуть також впливати на зменшення обсягів побічної продукції. Залежно від прийнятих коефіцієнтів та підходів теоретичний потенціал може суттєво відрізнятися.

Оцінки економічного потенціалу, у свою чергу, характеризуються дуже високим рівнем невизначеності, оскільки є дуже чутливими до припущень про частку сільськогосподарських залишків, яка може використовуватися для енергетичних цілей. Для прикладу, наведені вище оцінки БАУ передбачають використання для енергетичних цілей (і у вигляді твердої біомаси, і для виробництва біогазу) близько 80 млн т сільськогосподарської біомаси або близько 60% від загального обсягу утворення. Ця частка варіює від 40% для соломи зернових до 70% для побічних продуктів виробництва кукурудзи. Більш ранні оцінки також рекомендували для України використання для енергетичних потреб близько 30%-40% соломи зернових.[205], [206]

За оцінками НТЦ «Біомаса»[207], частка вилучення рослинних решток може суттєво зростати (із 20-40% до 40-90% залежно від виду біомаси) при їх частковому використанні для виробництва біогазу шляхом анаеробного зброджування, оскільки значна частина поживних речовин може повертатися на поле у вигляді дигестату. **Внесення дигестату забезпечує повернення у ґрунт вуглецю та інших елементів** - із дигестатом повертається близько 45-50% вмісту органічного вуглецю та фактично весь обсяг азоту (N), фосфору (P) та калію (K).

Доступний обсяг сільськогосподарської біомаси може дещо зрости через загальний тренд зростання урожайності. Основні фактори, які сприятимуть росту енергетичного потенціалу сільськогосподарської біомаси і враховані у прогнозі БАУ для 2050 року, включають такі:[208]

- підвищення урожайності сільськогосподарських культур, в першу чергу, зернових - урожайність пшениці в Україні до 2050 року може зрости у 1,2 рази, а кукурудзи – у 1,25 разів; приймається, що врожайність ріпаку та соняшнику залишиться на поточному рівні;

204 Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси. –. К.: ТОВ «Віол-принт», 2013.

205 Науково-технічний центр «Біомаса», http://biomass.kiev.ua/useful-info/background-materials/1202-praktichnij- posibnik-dlya-predstavnikiv-derzhavnikh-ta-komunalnikh-ustanov-z-vikoristannya-biomasi-v-yakosti-paliva-u- munitsipalnomu-sektori-ukrajini

206 International Finance Corporation, 2013. Producing Cellulose from Straw: Opportunities in Ukraine, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20175

207 Желєзна Т.А. Вплив на ґрунт від вилучення з поля побічної продукції сільськогосподарських культур. Доповідь на вебінарі «Створення та функціонування ефективних ланцюжків вартості у біоенергетиці, включаючи питання логістики біомаси», 4-8.12.2023. https://uabio.org/news/15539/

208 Кучерук П.П. (експерт Біоенергетичної асоціації України). Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Звіт в рамках виконання проєкту міжнародної технічної допомоги «Економічна підтримка Східної України» (USAID), 2023.

- використання 20% ріллі під вирощування проміжних/покривних культур для виробництва біогазу/біометану із подальшим поверненням дигестату на поля у якості органічних добрив;
- залучення нових видів рослинної сировини для виробництва моторних біопалив - виробництво передового біоетанолу (II покоління) з лігноцелюлозної сировини (стебел/стрижнів кукурудзи на зерно (10% загального обсягу)); при цьому, потенціал сировини для виробництва біоетанолу I покоління у 2050 році обмежений 5% врожаю зерна кукурудзи (проти 10% в оцінці потенціалу 2021 р.) із урахуванням європейського законодавства щодо обмеження споживання рідких біопалив з харчових/кормових культур і заохочення виробництва передових моторних біопалив.[209]

Варто відзначити низку факторів, які впливатимуть на реалістичність досягнення оціненого економічного потенціалу енергетичного використання сільськогосподарської біомаси:

- ризик негативного впливу на вміст органічного вуглецю ґрунту та родючість - довготривале видалення побічної продукції з полів за відсутності внесення органічних добрив може привести до формування від'ємного балансу поживних речовин та погіршення родючості ґрунту; особливо вагомим вплив даного фактору може бути на ґрунтах із низьким вмістом макро- та мікроелементів, що містяться в рослинних рештках (вуглець, азот, калій, кальцій, фосфор);
- динаміка зміни технологій обробітку ґрунту - при використанні смугового (Strip-till) або нульового обробітку (No-till) більша частина або весь обсяг побічної продукції залишається на полях і здійснюються операції подрібнення і рівномірного розподілу рослинних решток;
- необхідність створення ланцюгів постачання, включаючи обладнання для тюкування, збору, транспортування, завантаження та розвантаження біомаси, інфраструктури для зберігання біомаси і обладнання для виробництва біопалив;
- розвиток технологій виробництва твердого біопалива із рослинних решток кукурудзи на зерно (майже 40% оціненого потенціалу твердого біопалива), які експертами вважаються перспективними через кращі паливні характеристики[210], але їх поточне використання для енергетичних цілей є дуже низьким;
- розвиток та поширення технологій виробництва біогазу з рослинних решток та практик внесення дигестату на полях для збільшення вмісту органічного вуглецю та інших поживних речовин.

Отже, способи поводження із рослинними рештками будуть залежати і від факторів, які сприяють збільшенню їх доступності, і від факторів, які обмежують їх використання.

Загалом, визначення потенціалу використання рослинних решток для енергетичних цілей має відбуватися на рівні окремих господарств, беручи до уваги характеристики ґрунтів (вміст гумусу), наявність ознак ерозії, існуючий/можливий обсяг внесення органічних і мінеральних добрив, потреби та поєднання із використанням інших технологій. Рекомендується проводити

209 Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/2024-07-16

210 Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 23, 2020. https://uabio.org/materials/analytics/6925/

збирання побічної продукції лише на частині площ земельного банку, чергуючи поля у різні роки, і уникати збирання побічної продукції на полях із низьким вмістом гумусу. Використання покривних культур може зменшити негативний вплив винесення поживних речовин з полів і дозволити більші обсяги використання побічної продукції. Культури, які можуть формувати значну кількість побічної продукції, що може видалятися та використовуватися на інші цілі, включають усі типи зернових, кукурудзу, ріпак, соняшник, сою, гречку.

Для цілей дослідження базовим варіантом приймається переважне продовження існуючої практики збереження побічної продукції на полях, в тому числі через розвиток технологій мінімального обробітку ґрунту. Разом з тим, буде відбуватися і певне збільшенням обсягів вилучення побічної продукції для використання в енергетичних та інших цілях. Подальші оцінки потенціалу скорочення викидів базуються на більш консервативних значеннях потенціалу енергетичного використання рослинних решток у порівнянні із оціненим економічним потенціалом. Приймається **припущення про збір побічної продукції на площах не більше 25% від технічного потенціалу**.

3.5.1 Виробництво теплової енергії з рослинних решток

Опис технології

Виробництво теплової енергії із рослинних решток уже активно використовується в Україні і має значний потенціал для зростання та внеску у досягнення цілей із використання відновлюваних джерел енергії у теплопостачанні. Концепція реалізації державної політики у сфері теплопостачання передбачає досягнення частки 40% відновлюваних джерел у виробництві теплової енергії до 2035 року.[211]

Технологія прямого спалювання біомаси для виробництва теплової енергії – це найпростіша технологія енергетичного використання рослинних решток. Зазвичай ефективність перетворення енергії палива в корисну теплову енергію становить 80-88%, а в окремих випадках може досягати 95-110% при використанні установок конденсації для уловлювання теплоти фазового переходу (на основі нижчої теплоти згорання палива). Цей метод є одним з найдавніших, добре відпрацьованих і водночас найбільш розповсюджених способів виробництва теплової енергії. Сучасне вдосконалення цих технологій іде шляхом вирішення проблем забруднення навколишнього середовища, пристосування до використання різних видів палива та підвищення ефективності спалювання.

З метою покращення якісних характеристик палива для його використання в енергетичних установках можуть застосовуватися технології попередньої підготовки сировини – подрібнення, гранулювання або брикетування. Рослинні рештки подрібнюються та пресуються під високим тиском, утворюючи гранули діаметром 6-15 мм та довжиною близько 50 мм або брикети довжиною до 500 мм і діаметром до 100-150 мм. Такі види біопалива мають високу теплотворну здатність, зручні для транспортування та зберігання і широко можуть застосовуватися як в індивідуальних так і автономних, централізованих системах теплопостачання.

211 Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 569-р «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері теплопостачання», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2017-%D1%80#Text

Технологія передбачає спалювання біомаси у спеціальній камері згоряння котла і передачу виділеного тепла до теплоносія, яким найчастіше виступає вода або повітря, що циркулює через теплообмінники, розташовані в котлі. Нагріта вода або повітря використовується для опалення приміщень (у тому числі із використанням додаткових баків-акумуляторів теплової енергії), для технологічних процесів у промисловості або для виробництва пари. Ефективність процесу значною мірою залежить від вологості та однорідності біомаси, а також від технологічного рівня обладнання.

Таблиця 4. Технологічні рішення при виробництві теплової енергії з біомаси

Тип	Типовий інтервал потужності, кВт	Види палива	Вміст золи, %	Вологість палива, %
Котли для періодичного спалювання тюків соломи	150 –3 000	тюки соломи	-	-
Топки з рухомими гратами (перештовхувальні, вібраційні)	150 – 15 000	більшість видів біомаси	<50%	5%-60%
Сигарне спалювання	3 000 – 5 000	тюки соломи	<5%	20%
Топки для спалювання цілих тюків	3 000 – 5 000	тюки соломи	<5%	20%
Топки для соломи	100 – 5 000	тюки соломи з подрібненням	<5%	20%
Стаціонарний киплячий шар	5 000 – 15 000	різні види біомаси	<50%	5%-60%
Циркулюючий киплячий шар	15 000 – 100 000	різні види біомаси	<50%	5%-60%
Спалювання у пилоподібному вигляді	5 000 – 10 000	різні види біомаси	<5%	<20%

Інші технології виробництва теплової енергії з біомаси включають газифікацію та піроліз.

Технологія газифікації передбачає перетворення рослинних решток на синтез-газ (суміш CO і H_2) шляхом термічної обробки при температурі 800-1200°C з обмеженим доступом кисню. Отриманий горючий газ очищується та спалюється в енергетичних установках. Значною перевагою є можливість використання отриманого синтетичного газу спільно з іншими видами палива, у т.ч. з природним газом, в існуючих газових котлах чи когенераційних установках. Ця технологія забезпечує вищий ККД та менші викиди забруднюючих речовин порівняно з прямим спалюванням. У той же час дана технологія є вибагливою до якості сировини та потребує значних інвестиційних і операційних витрат на очистку отриманого горючого газу. Дана технологія не набула широкого розповсюдження для малих енергетичних установок, проте успішно застосовується на великих промислових енергетичних об'єктах, зокрема при комбінованому виробництві теплової і електричної енергії.

Технологія піролізу – це термічне розкладання біомаси без доступу кисню при температурі 400-700°C, в результаті чого утворюються рідина, тверді залишки (біовугілля, біочар) та горючий газ. Піролізний газ може бути використаний для генерації електроенергії та тепла, тоді як біовугілля може слугувати як паливо або ґрунтовий покращувач. Ця технологія дозволяє отримувати додаткові рідкі продукти на заміну традиційним рідким паливам, таким як мазут. Значною перевагою такого продукту є підвищена енергетична щільність, що зменшує витрати на транспортування і складування в порівнянні з транспортуванням біомаси.

Зазвичай вибір технологічного рішення використання рослинних решток для виробництва теплової енергії залежить від типу решток, їх фізичних і енергетичних характеристик, а також сфери застосування і потреб у тепловій енергії.

Солома і стебла зернових культур (пшениці, ячменю, жита, ріпаку, стебел соняшника або кукурудзи) як паливо використовується в котлах або теплогенераторах для періодичного спалювання цілих тюків або спалювання з попереднім подрібненням тюків в січку з подальшою подачею палива в топку котла. Котли періодичного спалювання цілих тюків соломи, як правило, мають велику камеру згоряння необхідну для розміщення 1-3 великих тюків, систему примусової подачі повітря для ефективного спалювання, потужність 50-2000 кВт, **ефективність до 86%,** і дозволяють нагрівати воду до 90°C. Такі котли часто називають «фермерськими», оскільки вони широко застосовуються саме на сільськогосподарських підприємствах, де існує доступ до рослинних залишків, наявна техніка для тюкування та завантаження/розвантаження тюків. Тюки соломи розміщуються на спеціальних колосникових решітках, які забезпечують доступ повітря знизу та видалення золи. В автоматизованих котлах можуть використовуватися стаціонарні або рухомі колосникові решітки, що покращують спалювання та перешкоджають шлакуванню золи. Тюки можуть мати різну форму та розміри і зазвичай зберігаються у сухих, провітрюваних місцях для запобігання гниттю та пліснявіння. Оптимальна вологість для спалювання зазвичай становить 15-25%. Підвищений рівень вологості знижує ефективність згоряння і роботи обладнання та збільшує викиди забруднюючих речовин в атмосферу. Тюки соломи можуть подаватися в котел вручну (потужність до 500 кВт) або за допомогою механізованих систем (наприклад, транспортерів, кранів-маніпуляторів), особливо у великих установках. У котлах потужністю понад 1 МВт для спалювання тюків соломи додатково можуть використовуватися лінії подачі тюків соломи і автоматизовані склади тюків з крановим обладнанням та обладнанням для подрібнення тюків. Зокрема, технологія «сигарного» спалювання передбачає подачу цілих тюків палива в топку котла по мірі їх вигорання. Додаткове подрібнення тюків дозволяє не лише автоматизувати процес подачі палива в топку, але й забезпечити рівномірне і ефективне спалювання.

Поміж тим, найбільш зручним є спалювання соломи у вигляді гранул та брикетів у пальниках ретортного типу або на колосникових решітках.

Сільськогосподарські рослинні рештки можуть також використовуватися на підприємствах переробної промисловості, зокрема, для виробництва палива (гранул, брикетів) або теплової енергії.

При спалюванні твердих біопалив із різним фракційним складом, підвищеним вмістом золи, сумішей різних видів палив використовують котли з киплячим шаром (при тепловій потужності понад 5 МВт) або циркулюючим киплячим шаром (більше 20 МВт).

Установки, що використовують біопаливо для виробництва енергії, є джерелом викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Окрім того, на об'єкті, де встановлені такі установки, можуть знаходитися й інші джерела забруднення: ланки подрібнення біомаси, склади золи та палива, ланки перевантаження, системи аспірації, газифікатори, котли, турбіни та ін. Оцінка екологічних наслідків від діяльності об'єкта та заходи по забезпеченню екологічних вимог розробляються в обсязі проєктної документації на об'єкт будівництва у розділі «Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС)» згідно ДБН А.2.2-1:2021[212]. ТЕС, ТЕЦ та інші потужності для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю від 50 МВт підлягають оцінці впливу на довкілля відповідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля». Граничнодопустимі викиди забруднюючих речовин, що обмежують масову концентрацію забруднюючих речовин в організованих викидах стаціонарних джерел, встановлені Міндовкіллям.[213] У ЄС загальні вимоги встановлюються Директивою ЄС 2010/75/ЄС[214] про промислові викиди та Директивою ЄС 2015/2193[215] про обмеження викидів у повітря певних забруднюючих речовин від середніх спалювальних установок.

Для забезпечення екологічних вимог котли оснащуються системами газоочищення з використанням різного типу інерційних уловлювачів (циклонів, мультициклонів) та рукавних або електричних фільтрів.

Конденсатори димових газів дозволяють підвищити ефективність обладнання, знизити споживання палива та покращити екологічні показники роботи обладнання.

Капітальні витрати

Капітальні витрати на реалізацію проєктів виробництва теплової енергії з використанням рослинних решток можуть суттєво відрізнятися в залежності від обраної технології, виду палива, потужності, комплекту поставки, виробника і країни походження обладнання, місцевих умов реалізації проєкту, зокрема, обсягів будівельно-монтажних робіт. Для установок малої потужності обсяг будівельних робіт може в декілька разів перевищувати вартість основного обладнання, а при зростанні встановленої потужності – знижуватися до 30-50% від вартості обладнання.

Обсяг будівельних робіт визначається потребою в реконструкції або новому будівництві будівель, споруд та інженерних мереж (тепло-, водо-, електропостачання). Для прикладу, вартість «фермерських» котлів для періодичного спалювання тюків соломи може складати 100-180 дол./кВт, а додаткових витрат на будівництво – 10-20 дол./кВт, оскільки немає потреби у капітальній будівлі для розміщення. Вартість котлів з автоматичною подачею

212 А.2.2-1:2021 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС)» https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3048772709296113122?doc_type=2

213 Наказ № 309 від 27.06.2006, Нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06#Text

214 Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control), https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj/eng ; див. також переклад Директиви ЄС 2010/75/ЄС на українську мову: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf

215 Directive (EU) 2015/2193 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants, https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2015/2193/oj/eng ; див. також переклад на українську мову: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/direktiva-es-20152193.pdf

тюків соломи – 150-250 дол./кВт, а додаткових витрат на будівництво – 50-200 дол./кВт, що пов'язано з будівництвом складів палива і будівлі котельні. При використанні котлів у системах централізованого теплопостачання потужністю 1-2 МВт додаткові витрати на прокладання теплових мереж можуть становити 100 дол./м, а для потужностей біля 10 МВт – близько 500 дол./м.

Таблиця 5. Капітальні витрати для будівництва котелень на біомасі

Найменування	Вартість обладнання, дол./кВт без ПДВ	Вартість проєкту «під ключ», дол./кВт без ПДВ
Котельня з котлом для періодичного спалювання тюків соломи	100-180	120-200
Котельня з котлом для спалювання тюків соломи та системою автоматичної подачі тюків соломи	150-200	200-400
Котельня з водогрійним котлом з автоматичною подачею палива, топкою, паливним складом, паливоподачею, газоочисткою (потужність до 1 МВт)	60-120	180-350
1-3 МВт	50-100	150-250
> 3 МВт	60-150	130-300
Блочно-модульна твердопаливна (гранули) котельня з комплектом необхідного обладнання + димова труба (потужність до 1 МВт)	150-200	200-300
1-5 МВт	120-180	180-220
> 5 МВт	90-150	150-250

З метою зниження капітальних витрат на реалізацію проєктів широко застосовується практика використання блочно-модульних котельних повного заводського виготовлення, що передбачає поставку обладнання в транспортабельних блоках. Такий підхід збільшує вартість самого обладнання, проте скорочує терміни будівництва і вартість будівельних робіт. За умови готовності майданчика та інженерних мереж запуск у роботу обладнання може бути виконано протягом 1-2 днів. Основним обмеженням у поставці блочно-модульних котельних є одинична потужність, що не перевищує 2-3 МВт.

Для довгострокового планування на національному рівні використовуються спрощені підходи із усередненими оцінками капітальних витрат. Для прикладу, для цілей НПЕК капітальні витрати будівництва котельних на біомасі прийняті на рівні 135-250 євро/кВт (150-275 дол./кВт) з ефективністю на рівні 80-85%. При цьому, для розрахунків прийнято, що коефіцієнт річного використання встановленої потужності складає 50%, що передбачає їх використання виключно в опалювальний період. За даними проєкту «Оцінка технологічних

потреб», середні капітальні витрати на будівництво котелень на біомасі були визначені у діапазоні 150-250 Євро /кВт встановленої потужності.[216]

Для оцінки вартості скорочення викидів парникових газів використана усереднена оцінка на рівні **220 дол. / кВт.**

Операційні витрати

Основні операційні витрати пов'язані із вартістю біомаси (ринковою ціною біопалива або вартістю збору та логістики). Через відсутність розвинутого ринку, ціни на біопаливо із сільськогосподарських рослинних решток характеризуються високими рівнями коливань протягом коротких періодів часу і можуть суттєво відрізнятися для різних видів палива.[217] Питомі витрати палива на одиницю виробленої енергії також можуть відрізнятися в декілька разів, що суттєво впливає на величину операційних витрат.

Таблиця 6. Порівняння витрати (кг/год) різних видів біопалив (із зазначеною калорійністю)

Потужність котла, кВт	лушпиння, Q 15,4 МДж/кг	гранули (лушпиння, деревні), Q 17,5 МДж/кг	солома, Q 13,5 МДж/кг	деревні відходи, Q 8 МДж/кг	стебла кукурудзи/ соняшника, Q 14 МДж/кг
100	27	24	31	52	30
250	68	60	78	131	75
500	136	120	155	262	150
1000	272	239	310	523	299
1500	408	359	465	785	449
2500	680	598	775	1308	748

Відсутність розвинутого ринку твердого біопалива також створює значні загрози для реалізації масштабних проєктів та призводить до широкої варіації характеристик палива. З іншої сторони, існують значні економічні обмеження щодо використання якісного, проте дорогого біопалива, такого як гранули.

216 TNA. Інформаційна картка технології. Виробництво і використання твердого біопалива з відходів сільського господарства, https://drive.google.com/file/d/1QDatPWT3yVxesC4Fqpy_QLKQHebxDbOc/view

217 TNA. Інформаційна картка технології. Виробництво і використання твердого біопалива з відходів сільського господарства, https://drive.google.com/file/d/1QDatPWT3yVxesC4Fqpy_QLKQHebxDbOc/view

Інформація про індикативну вартість палива:

- гранули - 6500-8500 грн/т з ПДВ і доставкою;
- тюкована солома – 1800-3500 грн/т з ПДВ,[218]
- негранульоване лушпиння - 350-800 грн/т без доставки (обмежена доступність).

Паливні характеристики різних видів твердого біопалива є відмінними і в значній мірі залежать від вологості паливної сировини та елементного складу. Різниця у нижчій теплоті згорання палива може складати 2-2,5 рази, що суттєво впливає на обсяг споживання натурального палива, організацію логістики транспортування і складування.

Економічна привабливість проєктів з використання біомаси суттєво залежить від вартості природного газу, в т.ч. державної політики щодо субсидування ціни природного газу для різних категорій споживачів.

Паливна складова в структурі операційних витрат може складати 65% при використанні соломи і 86% – при використанні дорогих гранул. Витрати на оплату праці є на другому місці за величиною і складають 5-15%. Вони відносяться до умовно-постійних витрат і, як правило, не залежать від обсягів виробництва теплової енергії. Як результат, в залежності від ціни палива, річні операційні витрати можуть становити 70-300% капітальних витрат, а без врахування витрат на паливо – 15-40%.

Для цілей дослідження вартість витрат на паливо прийнята на рівні близько **21 дол. за МВт·год** енергетичної цінності палива (усереднена оцінка для переважного (до 80%) використання соломи у різній формі та менших обсягів (до 20%) використання гранул). Додаткові операційні витрати прийняті на рівні **20% від капітальних витрат** або **44 дол. на кВт встановленої потужності на рік.**

Доходи операційної діяльності пов'язані з реалізацією теплової енергії згідно цін або тарифів, що складаються на ринку, або економією витрат на природний газ для цілей опалення. Тариф на теплову енергію не перевищує 90% середньозваженого тарифу на теплову енергію з газу для відповідної категорії споживачів (населення, бюджетні установи і організації тощо).

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Використання рослинних решток для виробництва теплової енергії дозволяє скоротити викиди парникових газів внаслідок заміщення викопного палива. Для цілей дослідження прийнято потенціал заміщення природного газу із ефективністю виробництва теплової енергії газовими котлами на рівні 90% і проєктними викидами на рівні 20%.

Враховуючи консервативні оцінки використання 3,8 млн т.н.е. твердої біомаси для виробництва теплової енергії, потенціал **скорочення викидів парникових газів складе 6,7 млн т CO_2-екв. на рік**.

218 Згідно оцінок експертів БАУ, при розвитку ринку споживання соломи для енергетичних потреб ціна мала б складати близько 2000 грн/т з ПДВ.

3.5.2 Комбіноване виробництво електричної та теплової енергії з рослинних решток

Опис технології

Комбіноване виробництво електричної та теплової енергії з рослинних решток, відоме як когенерація, є ефективним способом для одночасного отримання двох видів енергії – теплової та електричної. Цей підхід дозволяє підвищити загальний ККД енергетичних систем та зменшити питоме споживання палива і собівартість отриманої енергії з використанням рослинних решток.

Зазвичай когенерація відбувається на об›єкті кінцевого споживача теплової енергії або поблизу нього, що зменшує витрати на передачу теплової енергії. Вироблена електрична енергія може бути використана для забезпечення власних потреб або передана в об'єднану електричну мережу. Оскільки рослинні рештки мають низьку енергетичну щільність, такі електростанції будуються максимально наближено до джерела утворення біомаси. Однак, д**ля масштабних проєктів, що потребують значних обсягів палива, необхідне збільшення відстані транспортування та побудова ланцюгів постачання біомаси**, що є одним з ключових обмежуючих факторів впливу на розвиток таких проєктів. Промислове застосування, особливо в галузях промисловості з безперервним виробничим процесом і високими потребами в парі та з власними ресурсами біомаси, є економічно привабливим рішенням і становить велику частку існуючих сьогодні потужностей ТЕЦ на біомасі в Україні.

Традиційною є технологія, що передбачає **пряме спалювання рослинних решток** у котлах для отримання пари, яка використовується надалі для генерації електричної та теплової енергії. Цей метод є поширеним завдяки простоті та надійності і дозволяє використовувати різні види рослинних решток, але вимагає якісної підготовки палива та ефективних систем очищення димових газів. Дана технологія дозволяє паралельне спалювання різного біопалива з традиційними паливами, зокрема з вугіллям, в існуючих котлах ТЕС і ТЕЦ. Завдяки такому підходу досягається висока енергетична ефективність при мінімальних капітальних витратах.

Крім того, можливе також використання **технологій газифікації біомаси та піролізу** біомаси із подальшим використання синтез-газу (суміш CO і H_2) чи газу після піролізу в енергетичних установка (газових турбінах когенераційних установках, а у випадку піролізу також в енергетичних парових та/або термомасляних котлах).

Когенераційні установки складаються з низки окремих компонентів – основного двигуна, генератора, рекуператора тепла та електричного з›єднання, об›єднаних в єдине ціле. Обладнання, яке приводить в дію всю систему, зазвичай ідентифікує когенераційну установку за своїм типом, зокрема:

- парові турбіни;
- газові турбіни;
- двигуни внутрішнього згорання.

Основним енергетичним циклом у **ТЕЦ з паровою турбіною** є паросиловий цикл Ренкіна. Теплова енергія від спалювання палива передається воді у паровому котлі, утворюючи насичену або перегріту пару підвищеного тиску. Отримана пара подається на парову турбіну, де її теплова енергія перетворюється на механічну роботу обертання ротора.

Турбіна з'єднана з електричним генератором, у якому механічна енергія трансформується в електричну. Утилізація теплоти здійснюється за рахунок використання залишкового теплового потенціалу пари після турбіни, що значно підвищує загальний коефіцієнт корисної дії установки (**до 80-90%**). Парові турбіни для когенераційних установок на біопаливі зазвичай мають нижчу потужність (від 100 кВт до 100 МВт) порівняно з великими вугільними/газовими ТЕС. Парові турбіни класифікуються за кількома критеріями залежно від їх конструкції, умов експлуатації, характеру енергетичного навантаження та способу відведення пари. Основні різновиди – протитискові турбіни, коли основним пріоритетом є виробництво теплової енергії у вигляді пари, або турбіни з регульованим відбором теплової енергії, коли пріоритетом є виробництво електричної енергії та змінна потреба в тепловій енергії.

Альтернативою є термодинамічний цикл, у якому в якості робочого тіла використовується не пара, а органічна рідина з низькою температурою кипіння (наприклад, фторвуглеці, силоксани, спирти, кетони) – це органічний цикл Ренкіна (ORC). Цей цикл спеціально розроблений для ефективного перетворення низькотемпературної теплоти (до 350 °C) у механічну або електричну енергію, коли класичний паровий цикл є неефективним або неможливим. У такому випадку замість парової турбіни використовується спеціальна турбіна на органічному теплоносії, яка дозволяє будувати малі і середні когенераційні установки, у т.ч. із використанням рослинних решток в якості палива. Технологія забезпечує відносно високу ефективність виробництва електричної енергії (до 25%) при низькій потужності та одночасне виробництво теплової енергії. На даний час в Україні вже реалізовано декілька проєктів за даною технологією і існують значні перспективи для масштабування даного досвіду.

Газотурбінні ТЕЦ – це когенераційні установки, в яких використовується газотурбінний термодинамічний цикл Брайтона завдяки застосуванню газової турбіни з подальшою утилізацією теплоти відпрацьованих газів. Різновидністю газотурбінних когенераційних установок є комбінований газотурбінний цикл, який одночасно поєднує використання газової та парової турбін, що забезпечує максимальний електричний ККД. Основною перевагою такої технології є висока маневреність, компактність та можливість ефективного використання біогазу / біометану та твердої біомаси разом з природним газом. Зазвичай потужність таких газотурбінних ТЕЦ є відносно високою – понад 50 МВт, що створює значні ризики щодо забезпечення їх рослинними рештками. В Україні відсутні приклади газотурбінних або комбінованих газотурбінних ТЕЦ.

Когенераційні установки **на базі двигунів внутрішнього згоряння** використовують хімічну енергію біопалива (біогаз, синтез-газ, біодизель тощо) і потребують впровадження технологій перетворення твердих рослинних відходів в горючі гази шляхом їх газифікації. Ця технологія є особливо ефективною для малих та середніх потужностей (50 кВт - 5 МВт). Когенераційні установки на базі двигунів внутрішнього згорання є поширеним технологічним рішенням на ринку, але лише технологія анаеробного зброджування рослинних решток для виробництва горючих газів (біогазу, біометану) досягнула широкого комерційного розвитку. Технологія газифікації твердих рослинних решток з подальшим використанням генераторного газу в двигунах внутрішнього згорання не набула широкого комерційного розвитку і застосовується для установок до 50 кВт одиничної потужності. Основні технологічні труднощі пов'язані з організацією стійкого протікання процесу газифікації в більш потужних установках та складністю забезпечення необхідної якості отриманого газу. Порушення технологічних

процесів викликає зменшення потужності установок та їх ресурсу, а висока вартість призводить до низької економічної ефективності. Важливою передумовою надійної роботи такої когенераційної установки є використання якісної паливної сировини, що важко забезпечити при використанні рослинних решток.

Таблиця 7. Технічні характеристики когенераційних технологій

Характеристики	Газифікація + поршневий двигун	Парова турбіна	ORC турбіна	Газифікація + газова турбіна, комбінований газотурбінний цикл
Електричний ККД	25-42%	15-35 %	10-25%	24-45%
Загальний ККД ТЕЦ	65-80%	70- 85%	65-80 %	66-85%
Типова потужність, МВтел.	0,1-5	0,5-100+	0,1-5	1-50
Часткове навантаження	добре	добре	добре	погано
Години роботи до капітальних ремонтів	30 000-60 000	> 50 000	> 50 000	25 000-50 000
Час запуску	від 2 хв	години-дні	30-60 хв	10-180 хв

Співвідношення виробництва електричної і теплової енергії у когенераційних установках залежить від типу установки, виробника, потужності та інших факторів і визначаються на основі паспортних характеристик конкретного обладнання та фактичних режимів його експлуатації. Чим вищим є рівень корисного використання теплової енергії, тим вищим є загальна ефективність когенерації. Для парових турбін з протитиском та конденсаційних турбін з відбором пари типовим співвідношенням електричної та теплової енергії є 0,45.

Таким чином, ТЕЦ на основі парової турбіни – найпростіша та найнадійніша, але менш ефективна технологія. Для проєктів малої і середньої потужності можуть бути економічно ефективними когенераційні установки з ORC турбінами або двигунами внутрішнього згорання і газифікацією. Для масштабних проєктів доцільно розглядати газотурбінні установки та комбінований газотурбінний цикл, які мають високу енергетичну ефективність. У той же час ці технології потребують значних інвестицій, перевіреного обладнання та встановлюють жорсткі вимоги до систем очищення горючих газів.

Можливим є також виробництво **електричної енергії** без виробництва корисної теплової енергії (моногенерація), коли уся енергія палива відноситься на виробництво електричної енергії, що призводить до меншої загальної ефективності використання енергії палива.

Проєкти моногенерації можуть мати економічну доцільність за наявності дешевої сировини та високих цін на електроенергію. В Україні розглядався проєкт будівництва ТЕС на соломі потужністю близько 50 МВт зі споживанням соломи у великих тюках Хестона обсягом близько 270 тис. тонн на рік, проте його реалізація була ускладненою через труднощі забезпечення сировиною. Залучення до консорціуму великого місцевого агрохолдингу з достатнім потенціалом сировини знизило ризики проєкту, але технічно це не вирішило

питання організації заготівлі, що потребувало великої кількості техніки та додаткових інвестицій. З логістичної точки зору, проєкти, що пов'язані з використанням рослинних решток, є ризикованими і складними в організації. З огляду на це, потужності таких проєктів можуть бути обмежені 10 МВтел.

Капітальні витрати

Капітальні витрати на реалізацію проєктів виробництва теплової і електричної енергії з використанням рослинних решток можуть суттєво відрізнятися в залежності від обраної технології, виду палива, потужності, комплекту поставки, виробника і країни походження.

Відповідно до дослідження IRENA, середні інвестиції для електростанцій, що спалюють тверду біомасу, складають 3487,5 Євро на кВт.[219] Обсяги капітальних витрат можуть бути зменшені за рахунок локалізації обладнання та матеріалів. За даними проєкту «Оцінка технологічних потреб», капітальні витрати для когенераційних установок на біомасі складають 2,5 – 3,5 млн Євро на МВт встановленої потужності.[220]

Для моновиробництва електричної енергії можуть застосовуватися усі згадані вище технології і типи обладнання. Основною відмінністю є відсутність у складі комплекту обладнання для утилізації, виробництва і відпуску корисної теплової енергії. Це призводить до зниження капітальних витрат на будівництво ТЕС, але одночасно збільшуються окремі статті витрат на технологічне обладнання для забезпечення виробництва електричної енергії. У такому випадку електрична ефективність різних типів обладнання може складати 15-25%, а загальні капітальні витрати можуть бути знижені на 10-15%.

Згідно затвердженого в Україні «Національного плану з енергетики та клімату на період до 20230 року», капітальні витрати будівництва ТЕЦ на біомасі з відходів і енергетичних рослин прийняті на рівні 2600-3400 євро/кВт (2800-3740 дол./кВт), а електрична ефективність – на рівні 20%. При цьому, для розрахунків прийнято, що коефіцієнт річного використання встановленої потужності складає 50%, а розрахунковий термін експлуатації – 35 років. Капітальні витрати на ТЕС прийняті на рівні 2200-3200 євро/кВт (2750-3520 дол./кВт), а електрична ефективність – на рівні 24%.

Для цілей дослідження прийняте значення капітальних витрат на рівні **3500 дол. / кВт.**

219 International Renewable Energy Agency (2017): Cost-competitive renewable power generation: Potential across South East Europe, https://www.irena.org/publications/2017/Jan/Cost-competitive-renewable-power-generation- Potential-across-South-East-Europe

220 TNA. Інформаційна картка технології. Виробництво і використання твердого біопалива з відходів сільського господарства, https://drive.google.com/file/d/1QDatPWT3yVxesC4Fqpy_QLKQHebxDbOc/view

Таблиця 8. Структура капітальних витрат когенераційних технологій з використанням біомаси як палива

Технологія	Загальні капітальні витрати (дол./кВтел.)	Структура витрат (діапазон, дол./кВтел.)
Газифікація + Поршневий двигун	3000 – 7000	· Газифікаційна система та обладнання: 1000 – 2500 · Поршневий двигун та генератор: 800 – 1500 · Система очищення синтез-газу: 400 – 1000 · Система охолодження: 200 – 500 · Будівельні та інженерні роботи: 300 – 700 · Непередбачені витрати: 150 – 350
Парова турбіна (біопаливо / відходи)	2000 – 6000	· Котел та допоміжне обладнання: 800 – 2400 · Турбіна та генератор: 600 – 1800 · Система конденсації: 200 – 600 · Будівельні, інженерні та проєктні роботи: 500 – 1200 · Непередбачені витрати: 100 – 300
ORC (Органічний цикл Ренкіна)	3500 – 8000	· Модуль ORC (турбіна, випарник, конденсатор): 1200 – 3000 · Система подачі біопалива/відходів (джерело тепла): 800 – 2000 · Система охолодження: 300 – 700 · Система робочої рідини та насосне обладнання: 200 – 500 · Будівельні та інженерні роботи: 400 – 900 · Непередбачені витрати: 100 – 300
Газифікація + Газова турбіна	4000 – 8000	· Газифікаційна система та обладнання: 1200 – 3000 · Газова турбіна та генератор: 1500 – 3500 · Система очищення синтез-газу: 500 – 1200 · Система охолодження: 300 – 700 · Будівельні та інженерні роботи: 400 – 900 · Непередбачені витрати: 200 – 400
Комбінований газотурбінний цикл	4000 – 9000	· Газифікаційна система та допоміжне обладнання: 1300 – 3200 · Газова турбіна та генератор: 1600 – 3800 · Система відновлення тепла (котел, конденсатор, система охолодження): 800 – 1800 · Будівельні, інженерні та проєктні роботи: 500 – 1000 · Непередбачені витрати: 200 – 400

Операційні витрати

Рівень постійних та змінних витрат для різних технологій когенерації на біомасі залежить від типу технології, потужності, режиму експлуатації, виду палива та ефективності процесу. Постійні витрати включають технічне обслуговування та експлуатаційні витрати на персонал і не залежать від рівня виробництва. Індикативний рівень постійних операційних витрат може складати 2,5-4% від загальних капітальних витрат.

Змінні витрати включають витрати на паливо, витратні матеріали (вода, мастильні матеріали та каталізатори) тощо і, зазвичай, виражаються в дол. / МВт-год. Витрати на паливо складають основну частку змінних витрат. Застосування більш складних технологій і обладнання дозволяє підвищити енергетичну ефективність комбінованого виробництва проте призводить до зростання витрат на підготовку/виробництво палива та обслуговування обладнання.

Річні операційні витрати ТЕС/ТЕЦ **можуть складати 5-10% капітальних витрат** без врахування витрат на паливо.

Таблиця 9. Структура операційних витрат когенераційних технологій з використанням біомаси як палива

Технологія	Постійні витрати (дол. / МВт·год)	Змінні витрати (дол. / МВт·год)
Парова турбіна (біопаливо/ відходи)	40-100	20-50 Основні витрати: паливо (50-70% витрат), обслуговування котлів
Газифікація + Поршневий двигун	80-220	30-60 Основні витрати: очищення газу, паливо, моторне масло
Газифікація + Газова турбіна	100-180	40-70 Основні витрати: очищення газу, каталізатори
ORC (Органічний цикл Ренкіна)	90-160	30-50
Комбінований газотурбінний цикл	120-200	50-80 Основні витрати: обслуговування газової та парової турбін

При комбінованому виробництві додатково до доходів від продажу теплової енергії отримують доходи від продажу електричної енергії або економію на закупівлі електричної енергії. Електрична енергія може продаватися на різних ринках електричної енергії – від ринку прямих договорів до балансуючого ринку або ринку додаткових послуг. На ринку на добу наперед (РДН) ціна електроенергії залежить від часу доби та сезону і може коливатися в широкому діапазоні.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Використання залишків сільськогосподарської біомаси для виробництва енергії дозволяє скоротити викиди парникових газів внаслідок заміщення викопного палива. Для цілей дослідження прийнято потенціал заміщення природного газу із ефективністю виробництва теплової енергії газовими котлами на рівні 90% і заміщення електроенергії із національної мережі; проєктні викиди прийняті на рівні 20%.

Враховуючи консервативні оцінки використання 2,5 млн т.н.е. твердої біомаси для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії потенціал **скорочення викидів парникових газів складе 4,5 млн т CO_2-екв. на рік**.

3.5.3 Виробництво біогазу та біометану

Опис технології

Біогаз – це газ, отриманий з біомаси, що використовується як паливо.[221] При цьому, до біогазів прийнято відносити також горючий газ, отриманий з біомаси шляхом термічної газифікації, а також біоводень. У більш вузькому розумінні біогазом називають суміш газів, що утворилася внаслідок анаеробного метанового бродіння субстрату і складається з метану (55-75%), діоксиду вуглецю (25-45%), сірководню та домішок водню, аміаку, оксидів азоту й інших газів.[222]

Сировиною для виробництва біогазу шляхом метанового бродіння може бути будь-яка біомаса, що містить достатню частку органічної речовини, яка піддається біологічному розпаду. Зокрема, для виробництва біогазу можуть використовуватися пожнивні рештки (солома, кукурудзиння, тощо), відходи тваринництва (послід, гноївка, гній), спеціально вирощені енергетичні рослини (як правило, силос кукурудзи) або проміжні/покривні культури (жито, тритикале, амарант тощо). На практиці, зазвичай, використовуються суміші різних видів сировини і досить рідко застосовується моно-зброджування одного виду сировини. Це обумовлено тим, що практично жоден з видів сировини не містить достатньої кількості необхідних для біологічного процесу макро- та мікроелементів або їх співвідношення не є оптимальним. До агросировини можуть також додаватися побічні продукти харчової промисловості, як то жом цукрових буряків, меляса, барда спиртових заводів, вичавки фруктові та овочеві тощо.

Одним із основних показників для ефективного процесу бродіння є співвідношення C:N, яке рекомендується в межах 15-30. Співвідношення C:N в гнойових відходах, як правило, нижче рекомендованого діапазону (на рівні 4-15), і навпаки – в рослинних видах сировини, зазвичай, вище (на рівні 30-100). Поєднання різних видів сировини дозволяє збалансовувати склад суміші.

Важливою також є наявність у сировині комплексу інших макро- та мікроелементів (S, P, Ca, Mg, Co, Mo, Zn, Se, та ряд інших), необхідних для метаболізму бактерій та протікання ферментативних реакцій процесу метанового бродіння. Якщо поєднання різних видів сировини не дозволяє забезпечити достатній рівень цих елементів, тоді їх додатково додають до процесу.

Питомий вихід метану (CH_4) може суттєво відрізнятись як між окремими видами сировини, так і для одного і того ж виду сировини. Головним чином це пояснюється різницею у хімічному складі сировини (вмістом білків, жирів та вуглеводів).

Потужність біогазових проєктів коливається в досить широкому діапазоні – від 100 000 до 40 000 000 м^3 CH_4/рік та більше, що еквівалентно встановленій електричній потужності когенераційної установки на біогазі від 50 кВтел. до 20 МВтел.. З точки зору економічної доцільності, будівництво проєктів більшої потужності є більш раціональним. Разом з тим, будівництво надто потужних проєктів обмежується наявністю та доцільністю логістики достатньої кількості сировини. В Україні останнім часом найбільш типовим для біогазових та біометанових проєктів є діапазон потужностей від 1 до 10 млн м^3 CH_4/рік, що є еквівалентом близько 0,5-5,0 МВтел.. встановленої електричної потужності.

221 Закон України «Про альтернативні види палива», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-я14#Text

222 ДСТУ 7721:2015 Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги та методи контролювання. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=62188

Таблиця 10. Вихід біогазу з рослинної агросировини

Субстрат	Вміст сухої речовини (СР), %	Вміст сухої органічної речовини, % СР	Вихід біогазу		Вміст CH_4, об. %	Джерело
			м³/т	м³/т СОР		
Силос кукурудзи	20-35	85-95	170-200	450-700	50-55	FNR
Силос жита озимого	27-36	90-95	125-180	480-530	63-66	НТЦБ
Силос тритикале озимого	18-21	90-91	90-110	530-570	60-66	НТЦБ
Солома пшениці	85	90-92	365-385	430-490	55-58	НТЦБ
Кукурудзиння	75	90-92	340-375	450-500	55-58	НТЦБ

Для забезпечення виробництва 1 млн м³ CH_4/рік при використанні силосу чи покривних культур необхідна площа вирощування близько 250 га, тоді як при використанні рослинних решток – близько 1350 га (стебла кукурудзи) або 1700 га (солома пшениці).

Під час бродіння в анаеробних умовах у результаті метаболізму бактерій відбувається розпад складних органічних сполук до метану (CH_4). Процес протікає у 4 основні етапи: 1) гідроліз, 2) кислотогенез, 3) ацетогенез та 4) метаногенез. Протікання кожного етапу є результатом метаболізму різних груп бактерій, для яких характерні різні оптимальні умови росту. Усі 4 етапи процесу можуть протікати в біореакторі одночасно (одностадійний процес), а можуть бути розділені в просторі, з протіканням окремих етапів в окремих біореакторах (двостадіний процес: гідроліз та кислотогенез реалізуються в біореакторі 1-ї стадії, а ацетогенез та метаногенез – в реакторі 2-ї стадії). Перший підхід найчастіше реалізують для тих видів сировини, що легко піддаються біологічному розпаду (наприклад, гній, силос кукурудзи, силос покривних культур). Другий підхід часто використовується при зброджуванні більш складних видів сировини (наприклад, пожнивних решток, сировини з високим вмістом целюлози) та при застосуванні технологій з високими органічними навантаженнями на біореактори.

Двох-стадійні схеми зброджування є більш складними, потребують будівництва додаткового реактора гідролізу, що відповідно збільшує їх вартість. Наявність доброджувача в технологічній схемі дозволяє додатково зібрати до 10-15% біогазу та у більшій мірі стабілізувати утворений дигестат перед направленням в накопичувачі.

Серед біогазових установок, що працюють на агросировині, найбільшого поширення отримали технологічні режими проточного або квазі-проточного типу в біореакторах повного змішування.

Фактичний склад та розмір основних споруд біогазового комплексу визначається типами сировини та необхідним часом зброджування для досягнення планової ефективності біоконверсії органічної речовини в біогаз - .як правило, 90-95%. Різні види сировини, в залежності від способу їх попередньої підготовки, потребують різного часу утримання в біореакторах. Так, наприклад, силос кукурудзи потребує 40-45 діб зброджування, а механічно подрібнена солома – 50-60 діб. При змішуванні різних видів сировини, за одного часу утримання, для кожного виду сировини буде досягатись свій ступінь біоконверсії. Збільшення часу утримання сировини потребуватиме збільшення об'єму усіх технологічних споруд, потужності технологічного обладнання і, відповідно, споживання енергії і витратних матеріалів.

У виробництві біогазу не існує типових технологічних рішень, оскільки це залежить від виду, складу та обсягів сировини.

Наразі у країнах ЄС стимулюється виробництво біогазу та біометану з відходів, віднесених до частини А Додатку IX Директиви RED[223], у тому числі соломи та кукурудзиння. Покривні та проміжні культури вважаються також сталою сировиною, втім мають практично ту ж карбонову інтенсивність, що й силос кукурудзи, а тому при орієнтуванні проєкту на експорт біометану на ринок відновлюваних біопалив європейських країн, використання такої сировини потребує обґрунтування.

При комбінованому виробництві електричної та теплової енергії з біогазу в склад проєкту входить блок логістики та підготовки сировини, блок подачі сировини, блок технологічних ємностей та біореакторів, блок відведення та попередньої очистки біогазу від сірководню та вологи, енергетичний блок (когенераційна установка, резервна котельня, підключення до електромережі), блок розділення дигестату на рідку та тверду фракції, а також блок зберігання та логістики дигестату. Потреба в електричній енергії при виробництві 1 м^3 CH_4 складає 0,2-0,3 кВт·год, в тепловій енергії – 1,0-1,2 кВт·год.

Очистка біогазу до біометану передбачає видалення небажаних компонентів в сирому біогазі, таких як сірководень, аміак, силоксани, ще до подачі біогазу на збагачення (видалення CO_2). Попередня очистка біогазу від сірководню та парів води, як правило, реалізується в межах самої біогазової станції. При виробництві біометану з біогазу до складу типової біогазової станції додається блок очистки та збагачення біогазу, блок моніторингу якості виробленого біометану, блок подачі біометану в мережу.

При виробництві біометану можуть застосовуватись 2 основні концепції проєкту. Перша концепція передбачає автономне забезпечення всього комплексу власних потреб в тепловій та електричній енергії за рахунок частини виробленого біогазу. При цьому в складі проєкту присутні ті ж блоки, що й у випадку когенерації на біогазі; втім потужність когенераційної установки на біогазі складає орієнтовно лише 20% енергії виробленого біогазу і біометану. Решта біогазу направляється на збагачення в окремій очисній установці і потім вироблений біометан подається або в газові мережі, або може бути компримований або зріджений для подальшого транспортування та використання. Для забезпечення власних потреб в електричній та тепловій енергії всього біометанового комплексу необхідно виробити додатково 20-25% біогазу до того обсягу, що буде збагачено до біометану. Друга концепція передбачає, що забезпечення власних потреб в електричній енергії всього комплексу буде здійснюватись з електромережі, а теплової – від котельні на твердій біомасі. Обидві концепції виробництва біометану можуть також включати в себе блок доочистки та зрідження CO_2, якщо це економічно обґрунтовано. При необхідності подачі біометану в мережу ГРМ чи ГТС, де тиск вищий, ніж тиск на виході з установки збагачення біогазу, виникає потреба в компримуванні (стисненні) біометану. При подачі в кінцеві газорозподільчі мережі з тиском 3-6 бар, потреба в дотисканні біометану після збагачення практично не виникатиме, оскільки тиск біометану на виході з установок збагачення складає, як правило, не менше 4 бар і доходить до 10. Потреба в додатковому компримуванні буде залежати від технології збагачення та від тиску на вході в мережу.

Існує 6 комерційно доступних технологій **збагачення біогазу до біометану** (див. табл. 11).

223 Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast), https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/2024-07-16

Таблиця 11. Основні технологічні параметри технологій збагачення біогазу до біометану.

Параметр	Водяний скрубер	Органічний фізичний скрубер	Амінний скрубер	Адсорбція при змінному тиску (АЗТ)	Мембранна сепарація	Кріогенна сепарація
Діапазон продуктивності технології, м³/год	200-1200	300-1500	400-2000	300-800	50-500	н/д
Масштаби підприємств	середні, великі	середні, великі	середні, великі	малі, середні	малі, середні	великі
Виробнича площа, м²	80-250	100-550	100-230	200-300	100-170	н/д
Питома потреба в площі та висота обладнання, м²/м³ біогазу х м (висоти)	0,15 х 12	н/д	0,17 х 12	0,18 х 4	0,1 х 2,5	0,12 х 3
Типовий вміст метану в біометані, % об.	95,0-99,0	95,0-99,0	>99,0	95,0-99,0	95,0-99,0	99,0
Частка вловленого метану, %	98,0	96,0	99,96	98,0	80-99,5	98-99,9
Типовий надлишковий тиск в процесі, бар	4-10	4-8	0,05-4	1-10	7-20	10-80
Тиск газу на виході, бар	7-10	1,3-7,5	4-5	4-5	4-6	8-10
Споживання електроенергії, кВт·год/м³ біометану	0,3-0,9	0,49-0,67	0,05-0,27	0,29-1,0	0,14-0,26	н/д
Те ж, кВт·год/м³ біогазу	0,25-0,3	0,2-0,3	0,05-0,15	0,23-0,3	0,18-0,2	0,18-0,25
Потреба в тепловій енергії та температурний рівень	–	<0,2 кВт·год/м3 біогазу, 70-80°С	0,5-0,75 кВт·год/м³ біогазу, 120-160°С	–	–	–
Необхідність попереднього очищення біогазу	реком,	реком,	так	так	реком,	так
Одночасне вловлювання H2S	так	можливе	ні, забруднювач	можливе	можливе	так
Одночасне вловлювання N2 та O2	ні	ні	ні	можливе	частково	так
Необхідність обробки відхідних газів	так	так	ні	так	так	так
Необхідність у воді	так	ні	так	ні	ні	ні
Потреба у витратних матеріалах	Засоби для усунення відкладень, осушувачі	Органічний розчинник (безпечний)	Розчин амінів (небезпечний, корозійний)	Активоване вугілля (безпечне)	–	
Можливість роботи на часткових навантаженнях, %	50-100	50-100	50-100	85-115	50-105	

Капітальні витрати

Капітальні витрати для проєктів з виробництва біогазу включають витрати на обладнання для виробництва біогазу та додаткові витрати залежно від кінцевого продукту - на блок когенерації у випадку комбінованого виробництво електричної та теплової енергії з біогазу або на обладнання для очищення біогазу до біометану.

Таблиця 12. Резюме типових витрат на виробництво електричної енергії з біогазу

Потужність установки	Капітальні витрати, млн дол.
Малі (< 50 кВт)	0,5-1,5
Середні (50 кВт-1 МВт)	1,5-4
Великі (1 МВт-5 МВт)	4-15
Дуже великі (>5 МВт)	15-30

Таблиця 13. Орієнтовна структура капітальних витрат типового біогазового проєкту

Стаття витрат	% від загальних CAPEX
Комплект технологічного обладнання	25-30
Будівництво та монтаж	30-35
Блок когенерації	25-30
Машини та обладнання для логістики дигестату	5-10
Інжиніринг та проєктування	4-6
Інші витрати	2-3

Для цілей дослідження прийняті усереднені показники для середніх та великих установок на рівні 3500 дол. / кВт електричної потужності.

Додаткові капітальні інвестиції будуть необхідні при виробництві біометану. Капітальні витрати на станцію збагачення залежать від технології та від масштабу проєкту. Разом з тим, починаючи від масштабу проєкту 400-500 м^3 CH_4/год, різниця у вартості проєкту в залежності від технології практично нівелюється. При цьому питомий CAPEX середньої за потужністю станції збагачення біогазу 500 м^3 CH_4/год складе 3450-3775 дол. / [м^3CH_4/год] (для цілей дослідження прийнято середній показник **3600 дол. / [м^3 CH_4/год]**).

За експертними даними Біоенергетичної асоціації України, питомі капітальні витрати на установки зі зрідження можуть складати досить широкий діапазон значень, від 388 до 1962 дол./[тLNG/рік]. За середнім показником питомих CAPEX, найбільш дешевою є технологія охолодження рідким азотом (459 дол./[т LNG/рік]), найбільш дорогою – технологія на основі

циклу Лінде (1488 дол./[т LNG/рік]). За іншими даними[224], середні питомі капітальні витрати становлять 474-1509 дол./[тLNG/рік] для установок зрідження, які постачають менше 15 т/добу bio-LNG. Системи випаровування рідкого азоту та системи з одним змішаним холодоагентом (SMR) знаходяться в нижній частині цінового діапазону, тоді як цикл Лінде ближче до верхньої межі цінового діапазону. Середні питомі витрати на технології на основі азотних детандерів і системи змішаних холодоагентів із попереднім охолодженням складають 819-1067 дол./[т LNG/рік].

Вартість станції трансферу біометану в газову мережу зі встановленим вузлом обліку та обладнанням для одоризації складе орієнтовно 75-86 тис. дол. для проєктів середнього масштабу. Середні витрати на прокладання газопроводу складуть 130 дол./п.м (погонний метр).

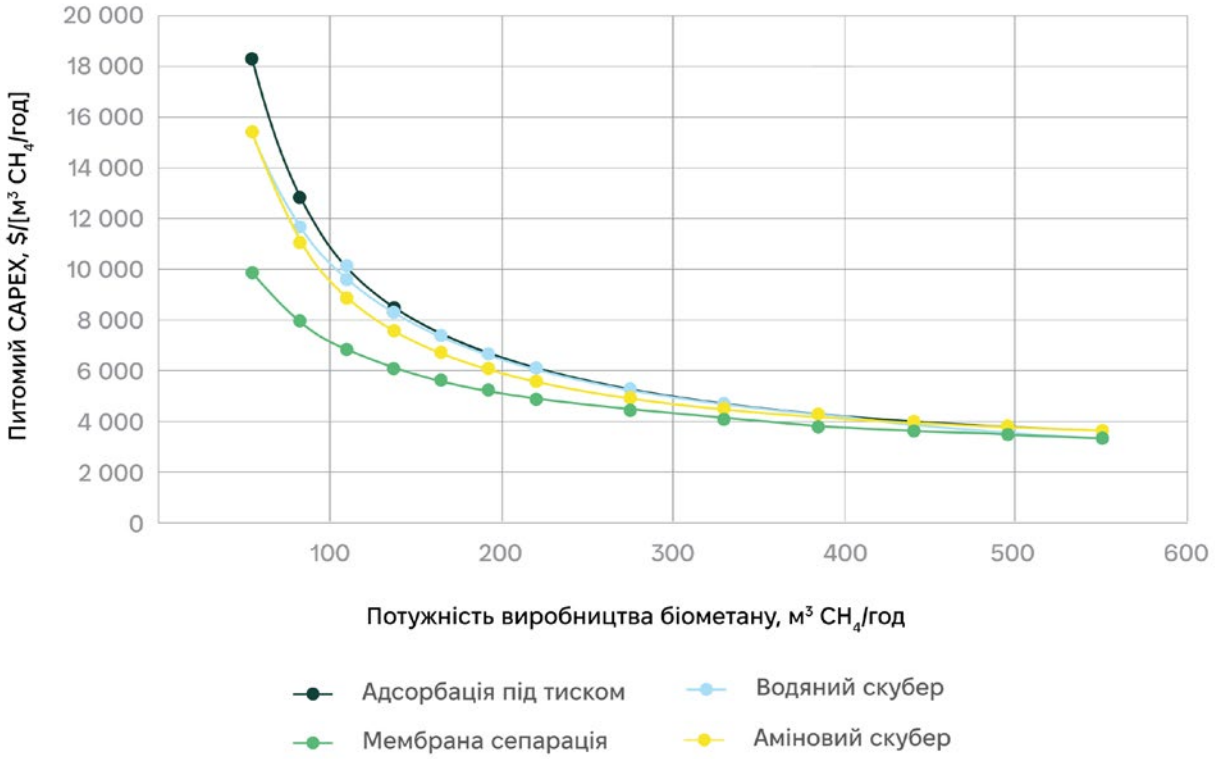


Рисунок 22. Питомі капітальні витрати (CAPEX) на станції очистки та збагачення біогазу

Операційні витрати

Операційні витрати включають витрати на закупівлю сировини, логістичні та інші витрати. У вартість логістики сировини в залежності від виду сировини може входити вартість заготівлі, перевезення до біогазової станції та зберігання.

224 Spoof-Tuomi K., 2020. Techno-economic analysis of biomethane liquefaction processes - Biogas Utilization Opportunities in Ostrobothnia Region. University of Vaasa.

Таблиця 14. Сировинна складова собівартості 1 м³ CH_4 з окремих видів сировини

Вид сировини	Питомий вихід CH_4, м³ CH_4/т	Вартість сировини (конкурентна), дол./т	Сировинна складова собівартості CH4, дол. / 1000 м³ CH_4
Жом (СР 25%)	83	1,5-5	18-60
Солома пшениці (СР 85%)	220	30-50	136-227
Силос кукурудзи (СР 30-35%)	107	27-37	252-346
Меляса	224	116-143	518-638

Таблиця 15. Складові вартості логістики окремих видів сировини для біогазу

Складова вартості	Питома вартість логістичних складових для сировини:		
	Солома (85% СР)	Кукурудзиння (70-75% СР)	Силос кукурудзи, силос жита озимого (30-35% СР)
Вартість заготівлі (дол./т)	19-24	22-27	15-17 (включає також вартість вирощування)
Вартість перевезення (дол./ткм)	0,15-0,17	0,13-0,15	0,10-0,12
Вартість зберігання (дол./т)	4,3-5,4	4,3-5,4	5,4-6,5

Попередньої обробки можуть потребувати такі види сировини як солома чи кукурудзиння. Для цього в технологічній схемі біогазової станції передбачаються додаткові вузли з відповідним обладнанням, які, як правило, споживають електричну енергію на подрібнення різання, тощо. Витрати електричної енергії можуть суттєво відрізнятись в залежності від вхідної сировини, що обробляється, та від технології обробки.[225]

Інші експлуатаційні витрати біогазової станції включають вартість споживання електричної енергії на привід помп, міксерів, вартість теплової енергії для підтримання температурного режиму процесу бродіння, вартість витратних матеріалів та робіт. При комбінованому виробництві електричної та теплової енергії з біогазу, власні потреби біогазової станції в електричній та тепловій енергії, як правило, покриваються за рахунок частини виробленого біогазу. При цьому, витрати біогазу на забезпечення власних потреб в електричній та тепловій енергії складуть орієнтовно 10-15% обсягу його загального виробництва. Вартість річного обслуговування біогазової станції, що включає також і попередню підготовку біогазу, може складати 2-3% від суми інвестицій.

225 Наприклад, при продуктивності біоекструдера компанії Lehmann по соломі (85% СР) 1,0-1,8 т/год витрати електричної енергії складуть 55-75 кВт·год/т, а при переробці кукурудзиння (70% СР) 1,6-4,0 т/год – 30-45 кВт·год/т.

Таблиця 16. Резюме типових витрат на виробництво електричної енергії з біогазу

Потужність установки	Операційні витрати, дол. / МВт·год
Малі (< 50 кВт)	50-150
Середні (50 кВт-1 МВт)	40-100
Великі (1 МВт-5 МВт)	30-80
Дуже великі (>5 МВт)	25-70

Таблиця 17. Орієнтовна структура операційних витрат типового біогазового проєкту

Стаття витрат	% від загальних OPEX
Витрати на персонал	2-5
Витрати на сировину	30-50
Витрати на обслуговування	10-15
Енергетичні витрати	5-10
Хімічні речовини та добавки	2-5
Утилізація відходів (дигестат)	5-10
Страхування та ліцензії	2-5
Адміністративні витрати та накладні витрати	5-10

При виробництві біометану річні операційні витрати станцій збагачення при потужності виробництва 500 м^3 CH_4 /год. складатимуть орієнтовно 84-115 дол. / 1000 м^3 CH_4 (для цілей дослідження прийнятий середній показник на рівні **100 дол. / 1000 м^3 CH_4**). Технології водяного скрубера, адсорбції при змінному тиску та мембранної сепарації є співмірними за величиною питомих операційних витрат. Технологія амінового скрубера помітно дорожча при експлуатації.

Залежно від обраної технології та потужності станції збагачення собівартість збагачення біогазу до біометану, що враховує річні операційні витрати і амортизацію вартості обладнання протягом 15 років (без дисконтування), може складати від 108 до 323 дол./1000 м^3 CH_4. При вищих потужностях (4,8 млн м^3 CH_4/рік) і використанні менш витратних технологій (за виключенням амінного скрубера) середня повна собівартість збагачення біогазу 113 дол. / 1000 м^3 CH_4.

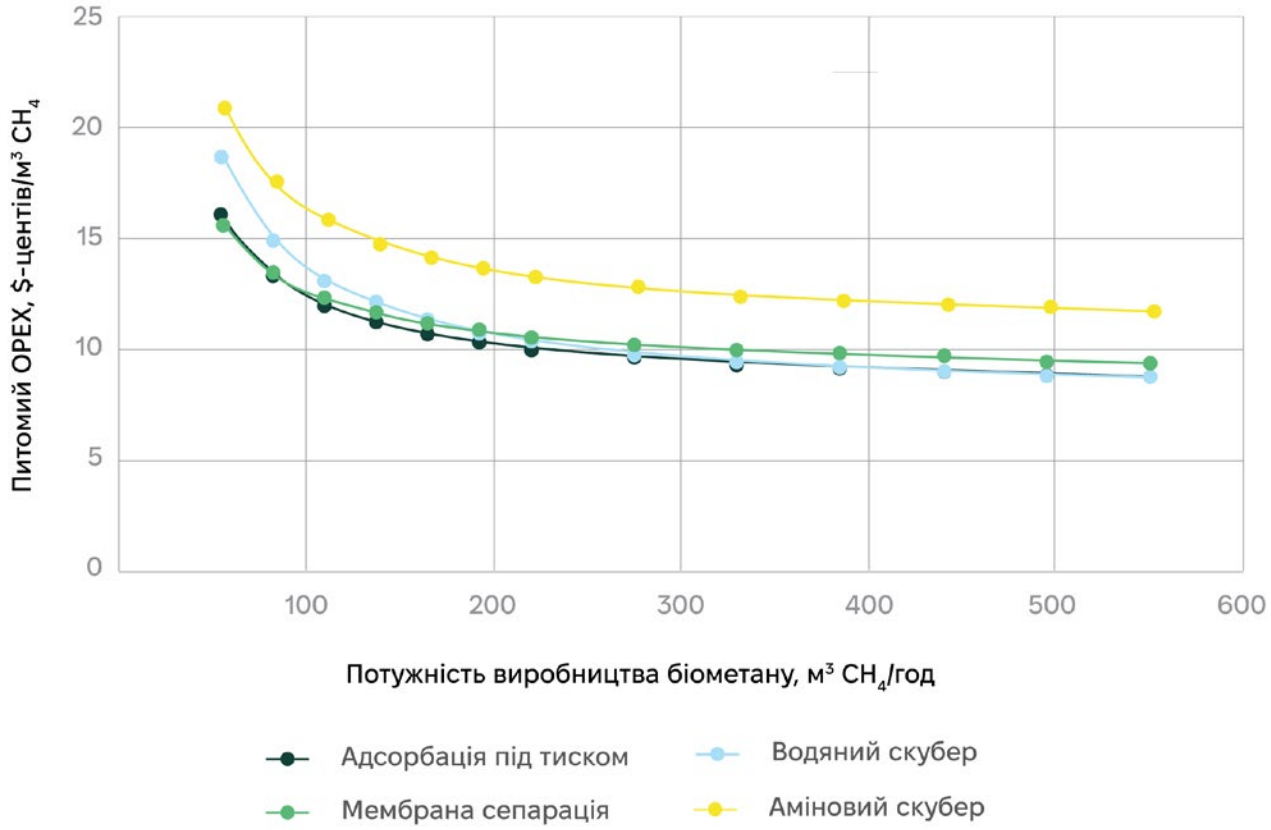


Рисунок 23. Питомі річні операційні витрати (OPEX) на очистку та збагачення біогазу

Річні експлуатаційні витрати на обслуговування установок зрідження біометану можуть складати 2,5-3,0% від їх вартості.[226] Приведена собівартість зрідження біометану при потужності установки 5 т LNG/добу складе орієнтовно 108 дол. /1000 м³ CH_4 для систем зі змішаним циклом (SMR) та 270 дол. / 1000 м³ CH_4 для систем з випаровуванням азоту. Системи з охолодженням рідким азотом є простішими в експлуатації, дешевшими по вартості, втім потребують значних витрат на рідкий азот. Споживання азоту складає близько 1,8 кг на 1 м³ зрідженого біометану.

Споживання електричної енергії при компримуванні біометану до 5-60 бар складатимуть від 0,055 до 0,2 кВт·год / м³ біометану залежно від кінцевого тиску (до 2,0% енергії біометану).[227]

При необхідності транспортування біометану газотранспортною системою України виникатимуть транспортні витрати. Тарифи на транспортування природного газу ГТС визначаються Оператором ГТС. Так, на період 2025-2029 рр. на послуги транспортування природного газу для точок входу і точок виходу в/з газотранспортну(ої) систему(и) на міждержавних з›єднаннях тарифи встановлено на рівні 11,44 дол. за 1000 м³/добу без ПДВ для точок входу, і 2,78-17,34 дол. за 1000 м³/добу без ПДВ для точок виходу (в залежності

226 Börjesson P., Lantz M., Andersson J., Björnsson L. et al., 2016. Methane As Vehicle Fuel–A Well-To-Wheel Analysis.

227 Theißing, M. et al. 2006. Biogas. Einspeisung und Systemintegration in bestehende Gasnetze. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Wien: BMVIT.

від точки входу/виходу).[228] Оператором ГТС встановлено також тарифи на транспортування газу в межах України.[229] Так, на вході в ГТС газовидобувному підприємству потрібно буде сплатити 464,37 грн (11,22 дол.) за 1000 м^3/добу (без ПДВ), а в точках відбору газу – 501,97 грн (12,13 дол.) за 1000 м^3/добу (без ПДВ). При зберіганні біометану в підземних сховищах газу буде застосовуватись тариф на зберігання, закачування в ПСГ та на відбір з ПСГ, відповідно 0,4 грн (0,0097 дол.) за 1000 м^3/добу (без ПДВ), 243,52 грн (5,89 дол.) за 1000 м^3/добу (без ПДВ), та 253,03 грн (6,12 дол.) за 1000 м^3/добу (без ПДВ). На всі послуги транспортування та зберігання встановлено також підвищувальні та понижувальні, залежно від строку, на який відбувається замовлення потужності, коефіцієнти.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Для цілей дослідження використані консервативні оцінки, за яких лише 5% рослинних решток використовуються для виробництва біогазу, оскільки загальне використання рослинних решток обмежено 25%, а більша їх частина використовується для виробництва теплової та електричної енергії. Для цілей дослідження прийнято потенціал заміщення природного газу із ефективністю виробництва теплової енергії газовими котлами на рівні 90% і проєктні викиди на рівні 20%.

Враховуючи консервативні оцінки, **потенціал скорочення викидів парникових газів складе 1,2 млн т CO_2-екв. на рік**.

3.5.4 Виробництво біодизелю

Опис технології

Біодизельне паливо (біодизель) – це моноалкільні естери вищих органічних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент.[230] Біодизель також називають FAME (метилові естери жирних кислот).

Рослинні олії – найбільш популярна сировина для виробництва біодизелю у світі та в ЄС. Крім якісних рослинних олій для виробництва біодизелю використовують тваринні жири, використану харчову олію та різноманітні відходи олій і жирів, вказані у частині Б додатку IX Директиви ЄС RED III.[231] У такому випадку це біопаливо вважається більш сталим і забезпечує більше скорочення викидів парникових газів порівняно із біодизелем з олій, які отримують із спеціально вирощених для цього олійних культур. При цьому треба зазначити, що процес переробки некондиційних жирів і олій у біодизель складніший і потребує додаткових технологічних операцій.

Практично у всіх двигунах із запаленням від стискування без будь-якої значної переробки можна використовувати для живлення як чистий біодизель, так і його суміш з традиційним

228 https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/prirodnij-gaz/tarifi-dlya-pidpriyemstv-naftogazovoyi-sferi/tarifi-na-poslugi-transportuvannya-prirodnogo-gazu-dlya-transkordonnih-tochok-vhodu-i-tochok-vihodu-vz-gazotransportnuoyi-sistemui-dlya-tov-operator-gts-ukrayini

229 https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/prirodnij-gaz/tarifi-dlya-pidpriyemstv-naftogazovoyi-sferi/tarifi-na-poslugi-transportuvannya-prirodnogo-gazu-dlya-vnutrishnih-tochok-vhodu-i-tochok-vihodu-vz-gazotransportnuoyi-sistemui-dlya-tov-operator-gts-ukrayini

230 Закон України «Про альтернативні види палива» (№ 1391-XIV від 14.01.2000, із змінами) https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Tex

231 Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/2024-07-16

дизельним паливом у різних пропорціях. Зазвичай використовуються суміші із вмістом біодизелю до 20%, які забезпечують гарний баланс між сумісністю із матеріалами, низькотемпературними властивостями, експлуатаційними характеристиками та вигодами від скорочення викидів.

Виробництво біодизелю з олійної сировини складається з трьох основних етапів:

- вирощування, збір та транспортування сировини на олійноекстраційні заводи;
- переробка олійного насіння у рослинну олію;
- переестерифікація рослинної олії та отримання біодизелю.

Головна задача першого та другого етапів виробництва біодизелю – одержання з мінімальними витратами очищеної олії, яка складається із суміші тригліцеридів вищих жирних кислот з незначним вмістом вологи, вільних жирних кислот та інших компонентів. Дані етапи відповідають традиційним технологіям виробництва рослинних олій для харчових потреб. Потрібно лише враховувати, що від якості вихідного продукту попереднього етапу залежить технологія наступного.

Рослинні олії головним чином виробляють з ядра або насіння ріпаку, соняшнику, рижію, сої, тощо, а також з плодів або насіння олійних пальм та оливок. Для видалення олії з цієї агросировини використовують механічний відтиск та/або процес екстракції, в якому застосовується екстрактивний агент, що вилучає олію при контакті із біомасою. Після цього для забезпечення заданої якості олії необхідно провести декілька процесів очищення.

У процесі виробництва біодизелю ключовим хімічним перетворенням є переестерифікація – реакція тригліцеридів із спиртом у присутності каталізатора. Рослинні олії змішують з метанолом у присутності каталізатора при помірному тиску і температурі для отримання біодизелю та гліцерину. З огляду на те, що метанол не розчинний у олії, переестерифікація буде відбуватися повільно або не буде проходити взагалі, тому у цій реакції використовують нагрівання та каталізатор (кислотний та/або лужний). Для виробництва біодизелю з очищеної рослинної олії переважно використовується лужний каталізатор, тому що це найбільш економічний процес, для якого потрібно забезпечити невисокі температури та тиск. Такий підхід дає рівень конверсії понад 98%, але у вхідній олії необхідно забезпечити низький вміст вологи та вільних жирних кислот. Після взаємодії рослинної олії та метанолу у присутності каталізатору продукти реакції проходять декілька процесів розділення та очищення для відновлення надлишку метанолу для повторного використання, виділення гліцерину для можливого подальшого підвищення його якості та забезпечення відповідності якості метилових естерів вимогам діючих стандартів.[232] Заводи з виробництва FAME використовують періодичний або безперервний технологічний процес. Великі заводи переважно працюють у безперервному процесі.

Для виробництва одного літра FAME потрібно 0,893 кг рослинної олії.[233]

232 AGQM – The Association Quality Management Biodiesel e.V. https://www.agqm-biodiesel.de/en/downloads/approvals

233 Technology Data – Renewable fuels. Technology descriptions and projections for long-term energy system planning. Danish Energy Agency. http://www.ens.dk/teknologikatalog

Таблиця 18. Масовий баланс виробництва біодизелю (FAME) з рослинної олії

Речовина	Вхід	Вихід
Рослинна олія	0,893 кг	
Метанол	0,086 кг	
FAME (один літр)		0,88 кг
Гліцерин		0,09 кг
Електрика	0,036 кВт-год	
Природний газ	0,93 МДж	

Виробництво біодизелю в Україні практично відсутнє вже протягом близько 10 років.[234]

Капітальні витрати

Виробництво біодизелю (FAME) – відносно простий процес, що довів комерційну доцільність, а капітальні витрати – відносно низькі. Капітальні витрати проєкту з виробництва біодизелю визначаються, насамперед, розміром заводу, що забезпечує ефект економії на масштабі, а також типом та якістю сировини, технологічним процесом, конфігурацією обладнання й рівнем наявної інфраструктури.

Таблиця 19. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) будівництва заводу з виробництва біодизелю (FAME) з насіння ріпаку

Категорія витрат	Частка від загального CAPEX: 0,32-0,35* дол./л FAME
Приймання, очищення та зберігання	5-10%
Пресування насіння та виробництво шроту	15-20%
Очищення сирої олії	5-10%
Основне технологічне обладнання (виробництво FAME)	30-35%
Система очищення гліцерину	~5%
Зберігання та логістика (олія, шрот, біодизель, гліцерин)	8-10%
Інфраструктура (електроенергія, вода, дороги)	5-10%
Система автоматизації, безпеки та дозвільна документація	~5%
Пусконалагоджувальні роботи	~5%
Непередбачені витрати та капітальний резерв	5-10%

*Нижча частина діапазону відповідає випадку реалізації проєкту за наявної інфраструктури, а вища – випадок будівництва необхідної інфраструктури.

234 Оцінка потреб споживання та можливостей виробництва моторних біопалив в Україні. Звіт ТОВ «Біомаса-Карбон» в рамках Спільного проєкту агенцій ООН Програми ООН із відновлення та розбудови миру, 2023.

Таблиця 20. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) будівництва заводу з виробництва біодизелю (FAME) з ріпакової олії

Категорія витрат	Частка від загального CAPEX: 0,22-0,24 дол./л FAME
Приймання, зберігання та фільтрація ріпакової олії	5-10%
Основне технологічне обладнання (виробництво FAME)	40-50%
Система очищення гліцерину	5-10%
Зберігання біодизелю та гліцерину	5-10%
Інфраструктура (електроенергія, вода, дороги)	5-10%
Система автоматизації, безпеки та дозвільна документація	5-10%
Пусконалагоджувальні роботи	~5%
Непередбачені витрати та капітальний резерв	5-10%

Операційні витрати

Основними операційними витратами, які визначають економічну ефективність проєктів виробництва біодизелю, є витрати на сировину. Насіння ріпаку та ріпакова олія є досить дорогими, що впливає на доцільність проєктів з виробництва біодизелю в Україні. Використана харчова олія і тваринні жири є значно дешевшою сировиною, але їх переробка пов'язана із технологічними труднощами через високий вміст вільних жирних кислот та необхідність додаткового процесу естерифікації із метанолом та кислотним каталізатором. Вартість сировини також коливається на міжнародних ринках, що створює фінансові ризики для ефективності проєктів.

Таблиця 21. Структура операційних витрат (OPEX) при виробництві біодизелю (FAME)

Основна сировина	Насіння ріпаку	Ріпакова олія
Загальні операційні витрати	OPEX: 1,40 дол./л FAME	OPEX: 1,18 дол./л FAME
Побічні продукти	шрот та гліцерин	гліцерин
Складові витрат	Частка,%	Частка,%
Частка основної сировини	74,7	82,8
Інша сировина (метанол, каталізатор, ін.)	8,2	8,3
Оплата праці	0,9	0,5
Витрати на електрику	3,1	0,5
Витрати на природний газ	3,0	1,0
Витрати на ремонт і технічне обслуговування	7,7	4,5
Інші витрати	2,4	2,4
Всього	100	100

При потужності 50 тис. т біодизелю на рік загальні операційні витрати складуть 1,18 – 1,40 дол. на л (при вартості насіння ріпаку на рівні 467 дол. / т та вартості ріпакової олії на рівні 1091 дол. / т). На операційну ефективність також впливатиме дохід від продажу побічної продукції: 0,46 дол. / л виробленого біодизелю від продажу шроту та гліцерину та 0,07 дол. / л від продажу лише гліцерину.[235]

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Виробництво біодизелю із сільськогосподарської сировини дозволяє скоротити викиди парникових газів внаслідок заміщення традиційного дизельного палива. Проєктні викиди, пов'язані із виробництвом біодизелю, прийнято на рівні 35% із урахуванням вимог директиви ЄС щодо відновлюваних джерел енергії щодо сталості біопалива для транспортного сектору.

Для цілей дослідження прийнято консервативне припущення про потенціал виробництва біодизелю на рівні половини від оціненого економічного потенціалу або 368 млн л на рік.

Потенціал скорочення викидів парникових газів складе 0,6 млн т CO_2-екв. на рік.

3.5.5 Виробництво біоетанолу

Опис технології

Біоетанол – це спирт етиловий зневоджений, виготовлений з біомаси або спирту етилового-сирцю, отриманого з біомаси, що використовується як біопаливо або біокомпонент.[236] Іншими словами можна сказати, що біоетанол – це обезводнений етиловий спирт з супутніми домішками, вироблений з біомаси та/або біологічно розкладних компонентів. Він використовується в якості кисневмісної присадки до бензину, дизеля або як біологічно відновлюваний альтернативний замінник бензину.[237]

На сьогодні, в основному, застосовується мікробіологічний спосіб отримання біоетанолу (спиртове бродіння). Сировиною для виробництва біоетанолу є цукро-, крохмале- та целюлозовмісна біомаса. Прикладами цукровмісної сировини є цукровий буряк та тростина, патока, меляса, вичавки плодів та ягід. Крохмалевмісною сировиною є зернові та деякі зернобобові культури, амарант, картопля, батат, топінамбур тощо. До целюлозовмісної сировини відносяться побічні продукти та відходи сільськогосподарського виробництва (солома зернових культур, стебла/стрижні кукурудзи, лушпиння соняшника тощо), відходи лісового господарства та деревообробної промисловості (порубкові залишки, гілки, тирса, кора дерев тощо). З целюлозовмісної сировини отримують передовий (II покоління) біоетанол згідно визначення, наведеного у Директиві ЄС RED III.[238]

235 Technology Data – Renewable fuels. Technology descriptions and projections for long-term energy system planning. Danish Energy Agency. http://www.ens.dk/teknologikatalog

236 Закон України «Про альтернативні види палива» (№ 1391-XIV від 14.01.2000, із змінами) https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text

237 https://utc.bio/bioetanolnyj-zavod-ukraine/#

238 Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/2024-07-16

Технологічний процес виробництва біоетанолу залежить від вибраної сировини, однак всі варіанти, зазвичай, включають такі етапи:

- Підготовка сировини та екстракція цукру (для цукровмісної сировини) або гідроліз (оцукрювання) крохмале-/целюлозовмісної сировини.
- Ферментація (зброджування) оцукреної маси.
- Отримання етанолу шляхом дистиляції (перегонки) браги.
- Очищення (ректифікація) спирту.

Технологія виробництва біоетанолу із крохмалевмісної сировини включає основні етапи виробництва етилового спирту і з інших видів сировини.

Підготовка крохмалевмісної сировини (наприклад, зерна кукурудзи, пшениці) до переробки полягає у відділенні домішок органічного і мінерального походження, видаленні квіткових, плодових і частково насінних оболонок шляхом лущення зерна та помелі зерна. З крохмалю безпосередньо біоетанол отримати неможливо. Для цього його необхідно розчепити до простих цукрів. Це здійснюється шляхом гідролізу крохмалю – хімічної реакції з водою, в результаті якої крохмаль розщеплюється до мальтози з наступним її розкладанням до глюкози. Процес гідролізу (оцукрювання) крохмалю складається із трьох взаємопов'язаних операцій: приготування ферментовмісного середовища; теплової обробки крохмалевмісної сировини; змішування розвареної сировини і ферментів та проходження гідролізу. В результаті розварювання і зцукрювання крохмалевмісної сировини отримується водний розчин цукрів, який називається суслом.

Етанол із цукрів утворюється в результаті спиртового бродіння (ферментації) – це біохімічний процес, що здійснюється дріжджами, в результаті якого одна молекула глюкози перетворюється в дві молекули етанолу і дві молекули вуглекислого газу. В результаті спиртового бродіння із сусла утворюється спиртовмісний розчин, який називається брагою. Утворення етанолу дріжджами – це анаеробний процес, але для їх розмноження потрібен кисень. Процес бродіння характеризується підвищенням температури.

Стигла брага з бродильного апарата подається в брагоректифікаційний відділ для вилучення з неї етанолу шляхом дистиляції (перегонки), в результаті чого отримують спирт-сирець. Залишок (брага без етанолу) називається бардою. Основу брагоперегінних апаратів становлять ректифікаційні колони – вертикальні циліндри з контактними пристроями всередині. У ректифікаційних колонах здійснюється багатократний контакт між потоками пари і рідини. При цьому парорідинна суміш намагається досягти рівноважного стану, в результаті чого пари при контакті з рідиною збагачуються легколетючими (низькокиплячими) компонентами, а рідина - важколетючими (висококиплячими) компонентами.

Спирт-сирець містить численні домішки, різноманітні за їх хімічною природою. Зазвичай вміст домішок при роботі на зерні не перевищує 0,5% за вагою етанолу. Домішки із спирту-сирцю видаляються шляхом ректифікації в результаті багатократного випарювання етанолу і конденсації парів. Процес ректифікації етанолу можна здійснювати на періодичних або безперервно діючих апаратах. Останні є більш ефективними та економічними. На спиртових заводах спирт-ректифікат здебільшого отримують не зі спирту-сирцю, а безпосередньо з бражки. Для цього використовуються триколонні брагоректифікаційні апарати.

При виробництві біоетанолу з цукровмісної сировини (наприклад, меляси) мелясу

розводять водою для можливості реалізації бродіння. Потім дріжджі і основне сусло надходять у бродильні апарати на бродіння. Оскільки процес бродіння має відбуватись у кислому середовищі, а також з метою запобігання розвитку сторонніх кислототворних бактерій, частину меляси, призначеної для розмноження дріжджів, підкислюють технічною сірчаною кислотою.

Порівняння технологічних процесів отримання біоетанолу з меляси (цукровмісна сировина) і зерна (крохмалевмісна сировина) показує, що виробництво біоетанолу з зерна є більш енергоємним, але питомий вихід біопалива при цьому вищий – майже 47 м^3 / 100 т сировини, тоді як для меляси – 29 м^3 / 100 т сировини. Побічними продуктами виробництва біоетанолу можуть бути DDGS (високобілкова кормова добавка), біогаз та зріджений вуглекислий газ CO_2, якщо сировина – зерно; біогаз та CO_2, якщо сировина – меляса.

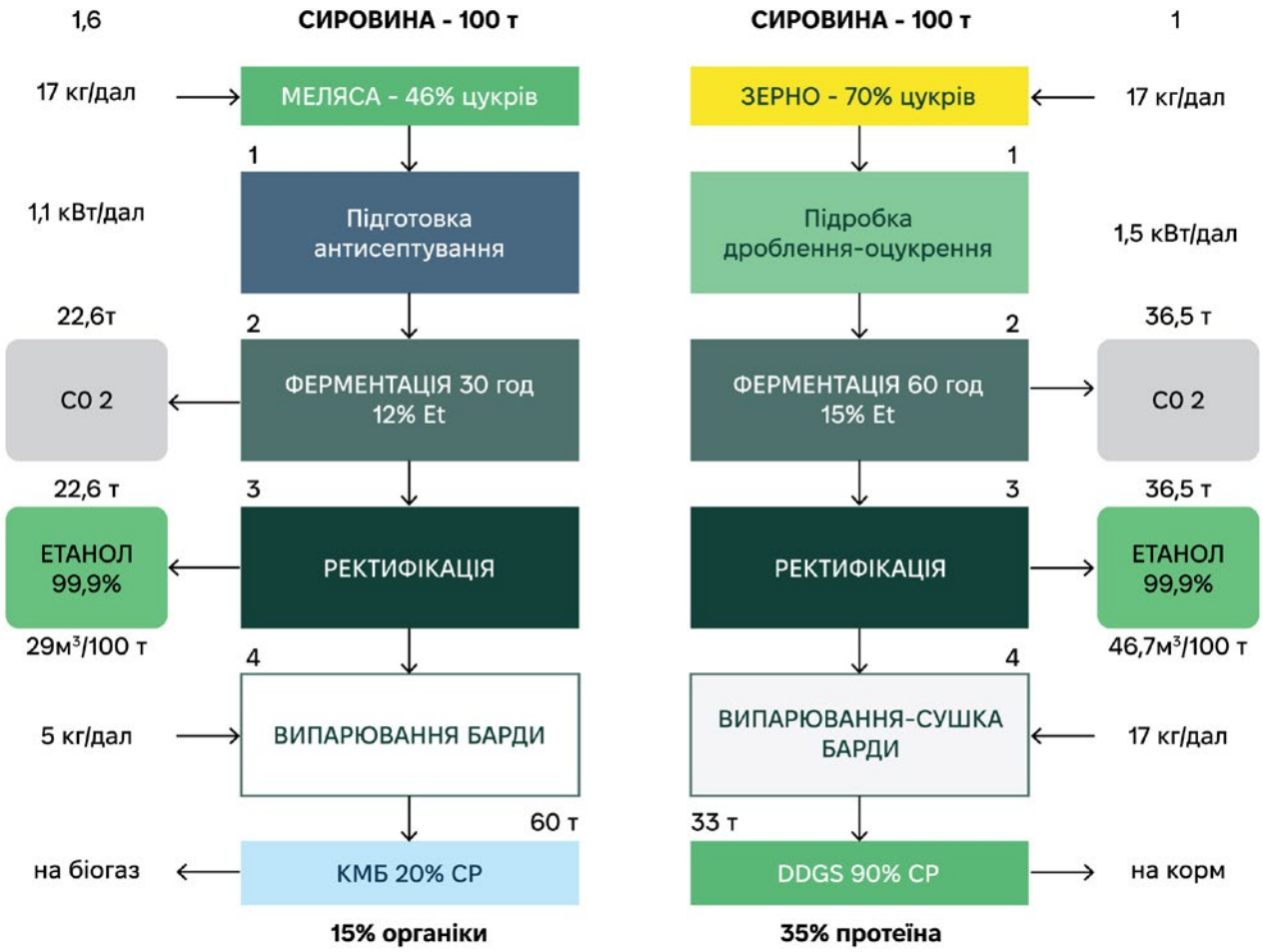


Рисунок 24. Порівняльна схема переробки меляси і зерна на біоетанол

Джерело: UTC[239]

239 Біоетанол – практика та застосування. Презентація Лукашевича Є.А. (UTC), 2019 https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/10/bioethanol_utc_experience-1.pdf

Особливості виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини полягають в тому, що лігноцелюлозна біомаса перед зброджуванням вимагає попереднього оброблення для полегшення доступу ферментів до целюлозних волокон. Ферментація лігноцелюлози здійснюється у кілька етапів: попередня обробка разом з делігніфікацією (відокремлення лігніну), гідроліз та спиртове бродіння (алкогольна ферментація). Для попередньої обробки лігноцелюлозної сировини застосовуються різні види механічної, хімічної і теплової дії. Гідроліз целюлози та геміцелюлоз до моносахаридів відбувається за участю кислот або ферментів. Кислотний гідроліз здійснюють розведеною сірчаною кислотою або ж концентрованими сірчаною чи соляною кислотами. Гідроліз розведеною кислотою є класичним і найдешевшим методом, проте він має певні недоліки. Зокрема, це утворення великих кількостей токсичних побічних продуктів, які гальмують ріст і ферментацію мікроорганізмів, а їх детоксикація досить дорога. Під час гідролізу концентрованими кислотами утворюється менше побічних токсичних продуктів, однак цей процес дорожчий і породжує серйозні екологічні проблеми.

Найефективнішим і найперспективнішим методом гідролізу попередньо обробленої лігноцелюлози є ферментативний, який, загалом, не дає жодних токсичних побічних продуктів. Упровадженню ферментативного гідролізу в практику заважає кілька чинників, одним з яких є висока ціна. Інший негативний фактор – сильне гальмування ферментативного гідролізу моно- та олігосахаридами, що звільняються під час дії целюлаз і геміцелюлаз, тобто гальмування кінцевим продуктом.

Через зазначені проблеми, підприємства з виробництва біоетанолу з лігноцелюлозної сировини часто є нерентабельними. Підтвердженням цього є факт, що із усіх встановлених у світі відповідних потужностей (~600 тис. т біоетанолу / рік) близько половини простоюють.[240] З усіх робочих установок, принаймні п'ять заводів загальною потужністю більше 160 тис. т біоетанолу / рік функціонують в Європейському Союзі: в Італії, Австрії, Фінляндії – на деревній біомасі, в Румунії – на соломі, у Швеції – на відходах та залишках харчової промисловості.[241, 242, 243]

Виділяють три підходи до організації технологічного процесу виробництва біоетанолу з зерна кукурудзи[244]:

- Класичний. Основний продукт – біоетанол; побічні продукти – сухі корма (DDGS) і кукурудзяна олія. За такою схемою працюють існуючі «старі» заводи в ЄС і в США. Енергетичні потреби виробничого процесу зазвичай забезпечуються традиційною енергією.

240 Monitoring RESfuels. D1.4 Monitoring framework and the KPIs for advanced renewable liquid fuels (RESfuels), 2019. https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5c2d32ab1&appId=PPGMS

241 Біоенергетика і промислові біотехнології. Презентація Олександра Малицького, 2023 https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/01/Bioenergetyka-i-promyslovi-biotehnologiyi.pdf

242 Глобальна база даних біоенергетичних установок IEA Bioenergy https://www.ieabioenergy.com/installations/

243 Advanced Biofuels in the European Union. JRS, 2022. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130727

244 Техніко-економічна модель біоетанольного заводу 200 м³/добу з річною переробкою 200 тис. т/рік зерна. Презентація Української технологічної компанії UTC. https://proagro.com.ua/wp-content/uploads/2022/07/lukashevych-yevgen.pdf

- Сучасний («Біоенергетичний»). Основний продукт – біоетанол; побічні продукти – біогаз/біометан (з зернової барди), органічні добрива (дигестат). За рахунок виробленого біогазу можна повністю забезпечити енергетичні потреби технологічного процесу і ще мати надлишок. На сьогодні цей підхід вважається найбільш сучасним при проєктуванні біоетанольного заводу.
- Комбінований. Основний продукт – біоетанол; побічні продукти – біогаз/біометан (з 50% обсягу барди), сухі корма (DDGS). Такий підхід використовується при реконструкції існуючих виробництв.

Виробництво біоетанолу з меляси (побічного продукту цукрового виробництва) можна організовувати на базі існуючих цукрових заводів. Така модель має низку переваг. Цукрові заводи вже мають необхідні потужності для прийому, переробки та зберігання сировини (цукрових буряків, меляси). Використання дифузійного соку для ферментації та зброджування може збільшити вихід біоетанолу без додаткових витрат на зберігання та логістику сировини. Енергетичні потужності та комунікації можуть бути адаптовані для виробництва біоетанолу, що значно зменшує капітальні витрати. Біоетанольне виробництво може інтегруватися з енергетичною системою заводу, використовуючи надлишкову пару та електроенергію. Крім біоетанолу, підприємство може виробляти вуглекислий газ (для харчової промисловості) та мелясну барду. Із барди можна виготовити корм для тварин (на продаж) або біогаз (для забезпечення власних енергопотреб). Диверсифікація кінцевих продуктів підвищує економічну ефективність функціонування всього підприємства.

У випадку спиртових заводів, за оцінкою експертів[245] (Українська технологічна компанія), при запровадженні виробництва біоетанолу з зерна більш перспективно будувати біоетанольні заводи з нуля, ніж виконувати реконструкцію існуючих спиртових заводів, де необхідно додати 3-4 нові цехи. Будівництво нового заводу дає можливість правильно спроєктувати енергетичні витрати підприємства і забезпечити високу енергоефективність.

Окремо треба виділити виробництво біоетанолу з лігноцелюлозної сировини (соломи на інших рослинних решток: основний продукт – передовий біоетанол (II покоління)). Найбільшою складовою витрат при організації такого виробництва є капітальні витрати, які є значно більшими порівняно з виробництвом біоетанолу першого покоління.[246] На сьогодні біоетанол з лігноцелюлозної сировини вважається одним з найдорожчих видів передових біопалив, оскільки його собівартість може сягати майже 160 євро/МВт·год (еквівалент 1,01 дол./л). Найбільший вплив на собівартість лігноцелюлозного біоетанолу мають ціна сировини, ефективність технології конверсії, а також організація виробничого процесу (окрема установка чи інтегрована). Наприклад, якщо отримання біоетанолу зі стебел кукурудзи впроваджено на підприємстві, яке вже виробляє біоетанол з зерна кукурудзи, і технології певним чином інтегровані, а лігноцелюлозна сировина є безкоштовною, то собівартість біоетанолу може зменшитися майже втричі.[247]

245 Переробка агросировини в енергію: біоетанол. Які потрібні інвестиції та які перспективи?, https://elevatorist.com/spetsproekt/175-pererobka-agrosirovini-v-energiyu-bioetanol-yaki-potibni-investitsiyi-ta-yaki-perspektivi

246 Advanced Biofuels in the European Union. JRS, 2023. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC135082

247 Желєзна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз напрямків підвищення конкурентоспроможності рідких біопалив другого покоління // Теплофізика та теплоенергетика. – 2023, т. 45, № 3, с. 78-87. https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2023.9

Треба зазначити, що станом на 2023 р. в Україні стабільно функціонували на повну потужність лише декілька біоетанольних заводів із 22 існуючих. Основними видами сировини є зерно кукурудзи і меляса.[248]

З 1 травня 2025 року в усіх обсягах автомобільних бензинів, що реалізуються в місцях оптової та роздрібної торгівлі пальним, була встановлена обов'язкова частка вмісту рідкого біопалива (біокомпонентів) - не менше 5% об'ємних.[249]

Капітальні витрати

Капітальні витрати проєкту по виробництву біоетанолу суттєво залежать від потужності підприємства, обраної технології, типу сировини, рівня інтеграції з іншими виробництвами та інших факторів. Капітальні витрати розглядаються для таких модельних технологічних рішень організації біоетанольного виробництва:

- Виробництво біоетанолу з зерна кукурудзи, побічний продукт – DDGS;
- Виробництво біоетанолу з зерна кукурудзи, побічний продукт – біогаз;
- Виробництво біоетанолу з меляси на існуючому цукровому заводі, без побічних продуктів;
- Виробництво біоетанолу з меляси на існуючому цукровому заводі, побічний продукт – біогаз;
- Виробництво біоетанолу з соломи (новий завод), без побічних продуктів.

248 Оцінка потреб споживання та можливостей виробництва моторних біопалив в Україні. Звіт ТОВ «Біома-са-Карбон» в рамках Спільного проєкту агенцій ООН Програми ООН із відновлення та розбудови миру, 2023.

249 Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо обов'язковості використання рідкого біопалива (біокомпонентів) у галузі транспорту», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3769-20#Text

Таблиця 22. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) будівництва заводу з виробництва біоетанолу з зерна кукурудзи

Категорія витрат	Частка від загального CAPEX: 0,46-0,58 дол./л
Система зберігання та обробки сировини	10-15%
Основне технологічне обладнання (виробництво біоетанолу)	40-50%
Обладнання для виробництва DDGS / біогазу з зернової барди	~20% / ~15%
Система зберігання та транспортування біоетанолу (резервуари, насоси); інше допоміжне обладнання	5-10%
Інженерні системи та комунікації (електроенергія, вода, пара)	5-10%
Інженерні, будівельні роботи та монтаж	10-15%
Земля та підготовка майданчика	5-10%
Непередбачені витрати та капітальний резерв	5-10%

Нижча частина діапазону відповідає випадку виробництва побічного продукту біогазу з зернової барди, а вища – випадок виробництва побічного продукту DDGS з барди.

Таблиця 23. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) виробництва біоетанолу з меляси на існуючому цукровому заводі

Продукт	біоетанол	біоетанол і біогаз з барди
Загальний CAPEX	0,37 дол./л	0,56 дол./л
Категорія витрат	Частка,%	Частка,%
Основне технологічне обладнання (виробництво біоетанолу)	60-65	45-50
Інженерні системи та комунікації (електроенергія, вода, пара)	5-10	5-10
Система зберігання та транспортування біоетанолу (резервуари, насоси); інше допоміжне обладнання	10-15	5-10
Будівництво та модифікація існуючих приміщень	5-10	5-10
Непередбачені витрати та капітальний резерв	5-10	5-10
Обладнання для виробництва біогазу	-	15-20

Таблиця 24. Типова структура капітальних витрат (CAPEX) будівництва заводу з виробництва передового біоетанолу з соломи

Категорія витрат	Частка від загального CAPEX: 2,4 дол./л
Система зберігання, транспортування сировини (силоси, транспортери)	5-10%
Попередня обробка сировини	10-15%
Основне технологічне обладнання (виробництво біоетанолу)	50-55%
Інженерні системи та комунікації (електроенергія, вода, пара)	5-10%
Система зберігання та транспортування біоетанолу (резервуари, насоси); інше допоміжне обладнання	5-10%
Інженерні, будівельні роботи та монтаж	10-15%
Земля та підготовка майданчика	5-10%
Непередбачені витрати та капітальний резерв	5-10%

Операційні витрати

Ключову частку в операційних витратах займає вартість сировини.

Таблиця 25. Структура операційних витрат при виробництві біоетанолу з зерна кукурудзи

Побічний продукт	DDGS	біогаз
Загальні OPEX:	0,70-0,75 дол./л	0,60-0,65 дол./л
Складові витрат	Частка,%	Частка,%
Сировина для біоетанолу (зерно)	66	77
Сировина для DDGS (барда)	2	2,4
Електроенергія (біоетанол)	4,4	5,1
Електроенергія (DDGS)	3,4	0,8
Теплова енергія (пара, біоетанол)	13	15,1
Теплова енергія (пара, DDGS)	3,2	
Теплова енергія (DDGS)	8	
Всього	**100**	**100**

Таблиця 26. Структура операційних витрат (OPEX) при виробництві біоетанолу з меляси на існуючому цукровому заводі

Побічний продукт	**-**	**біогаз**
Загальні OPEX:	0,35 дол./л	0,36 дол./л
Складові витрат	Частка,%	Частка,%
Сировина для біоетанолу (меляса)	71	68
Електроенергія	5	5
Хімічні добавки	7	6,7
Теплова енергія (пара)	17	16,1
Сировина для біогазу (барда)	-	2,2
Електроенергія (біогаз)	-	2
Всього	100	100

Таблиця 27. Структура операційних витрат при виробництві передового біоетанолу з соломи

Загальні OPEX:	**1,05-1,09 дол./л**
Складові витрат	Частка,%
Сировина для біоетанолу (солома)	50
Ензими та інші хімікати	25
Споживання енергії	25
Всього	100

Таблиця 28. Зведені величини питомих капітальних та операційних витрат різних моделей організації виробництва біоетанолу

Показники (без ПДВ)	Модельні технологічні рішення				
	Класична модель: біоетанол та DDGS	Сучасна модель: біоетанол та біогаз	Виробництво біоетанолу на цукровому заводі	Виробництво біоетанолу та біогазу на цукровому заводі	Передовий біоетанол (II покоління)
Типова потужність, млн л /рік	30-70	70	20-35	20-35	60
Сировина	зерно кукурудзи	зерно кукурудзи	меляса	меляса	солома
Вартість сировини, дол./т	190-210	190-210	64	64	36-48
Капітальні витрати, дол./л	0,46-0,58	0,46	0,37	0,56	2,40
Операційні витрати, дол./л	0,70-0,75	0,60-0,65	0,35	0,36	1,05-1,09

* Для класичної моделі при виробничій потужності <30 млн л біоетанолу /рік капітальні витрати можуть сягати 0,82 дол./л, а операційні витрати сягати 0,90 дол./л. Для сучасної моделі при виробничій потужності <70 млн л біоетанолу /рік капітальні витрати можуть сягати 0,65 дол./л, а операційні витрати - 0,78 дол./л.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Виробництво біоетанолу із сільськогосподарської сировини дозволяє скоротити викиди парникових газів внаслідок заміщення традиційного бензину. Проєктні викиди, пов'язані із виробництвом боетанолу, прийнято на рівні 35% із урахуванням вимог директиви ЄС щодо відновлюваних джерел енергії щодо сталості біопалива для транспортного сектору.

Для цілей дослідження прийнято консервативне припущення про потенціал виробництва біоетанолу на рівні половини від оціненого економічного потенціалу або 1263 млн л на рік, враховуючи потенціал виробництва передового біоетанолу до 2050 року.

Потенціал скорочення викидів парникових газів складе 1,3 млн т CO_2-екв. на рік.

3.6 Скорочення викидів у тваринництві

Викиди парникових газів у тваринництві залежать безпосередньо від розмірів та структури поголів'я, а технології скорочення викидів є обмеженими. В останні десятиліття спостерігалися стійкі тенденції до скорочення поголів'я великої рогатої худоби та свиней, що спричиняло скорочення викидів.

Разом з тим, збільшення інвестицій у сектор та орієнтація на вирощування великої рогатої

худоби потенційно може суттєво збільшити обсяги викидів парникових газів. Тваринництво відноситься до секторів, в яких важко досягати значних скорочень викидів, тому для досягнення цілей із кліматичної нейтральності, значні залишкові викиди у даному секторі необхідно буде компенсувати поглинанням вуглецю.

Одним із ключових показників для обліку викидів від тваринництва є кількість та якість кормів, що споживаються. Така інформація може базуватися на фактичних даних про споживання кормів в енергетичних одиницях (в МДж або кг сухої речовини), або визначатися розрахунковим чином, враховуючи енергетичні потреби на підтримку життєдіяльності, ріст, лактацію, вагітність, тощо. Розрахунки базуються на інформації про середню живу вагу тварин, вагу дорослої особини, середні показники приросту ваги, показники виробництва молока та його жирності тощо. Загалом, корми кращої якості із вищими показниками засвоюваності та нищим вмістом нейтрально-детергентної клітковини (нерозчинні волокна, геміцелюлоза, целюлоза, лігнін та деякі білкові фракції) спричиняють менші обсяги викидів. Характеристики кормів впливають і на обсяги утворення метану під час кишкової ферментації, і на викиди парникових газів з відходів тваринництва (зокрема, на вміст летких твердих речовин у відходах, який визначає викиди метану, та вміст азоту у відходах (N excretion), який визначає викиди N_2O).

Для належного обліку викидів парникових газів від тваринництва важливим є детальне розуміння структури поголів'я у розрізі типів тварин та статево-вікових груп, основних характеристик для кожної групи тварин, а також дані щодо раціону та системи поводження з відходами. Розподіл за статево-віковими групами дозволяє врахувати різні обсяги утворення відходів, споживання кормів, умови утримання та інші характеристики, які враховуються при обрахунку викидів парникових газів.

3.6.1 Використання кормових добавок

Опис технології

Кишкова ферментація, особливо для великої рогатої худоби, є значним джерелом викидів парникових газів, оскільки близько 6-6,5% енергетичної цінності усіх кормів, які споживають тварини, перетворюється на метан, який виділяється з диханням. Як результат, дослідники розробили низку кормових добавок, які можуть зменшувати викиди метану за рахунок пригнічення процесу метагенезу.

Технології використання кормових добавок для зменшення викидів метану є комерційно доступними, однак потребують додаткових досліджень щодо впливу на продуктивність тварин і є досить дорогими.

Добавки, які використовуються для зменшення викидів метану, включають добавки на основі червоних макроводоростей Asparagopsis, синтетичної сполуки 3-нітрооксипропанол (3-NOP) та інші. Не для усіх добавок проте існують надійні дані щодо ефективності скорочення викидів, зокрема, у довгостроковій перспективі.

При використанні кормових добавок важливим є підбір дозування, яке б ураховувало якість кормів та сприяло оптимальному скороченню викидів без негативного впливу на кількість та якість молока.

В Україні технологія наразі активно не використовуються, хоч на ринку присутні компанії, серед продуктів яких є такі кормові добавки.

Кормові добавки мають надаватися тваринам на регулярній основі разом з кормами, тому використання даної технології є практичним на фермерських господарствах, де тварини більшість часу проводять у стійлі, а не на пасовищі, але має низький потенціал серед домогосподарств.

Кормові добавки повинні відповідати усім законодавчим та регуляторним вимогам. Використання харчових добавок у багатьох країнах законодавчо регулюється задля здоров'я тварин, людей та охорони довкілля, а також для підтвердження їх ефективності щодо скорочення викидів метану від кишкової ферментації. Нормативні документи охоплюють питання безпеки компонентів добавок, практик виробництва, маркування продуктів, визначення допустимих доз окремих речовин тощо. У ЄС відповідальним органом є Європейське агентство з безпеки харчових продуктів (European Food Safety Authority (EFSA)), яке оцінює безпеку та ефективність кормових добавок для зменшення викидів метану.[250] Ключовим законодавчим документом у цій сфері є Регламент (ЄС) № 1831/2003[251], який застосовується до усіх кормових добавок та сумішей, але окремо визначає функцію сприятливого впливу тваринництва на довкілля ("favourably affecting the environmental consequences of animal production"). Регламент (ЄС) № 767/2009[252], натомість, регулює використання кормів.

Запровадження технології пов'язано із загальними заходами із підвищення ефективності формування раціону тварин та управління годівлею. Власне, підвищення якості кормів, зокрема збільшення частки концентрованих кормів чи загальне підвищення засвоюваності, також є ефективним інструментом скорочення викидів, але його потенціал залежить від поточного раціону тварин.

Капітальні витрати

Запровадження технології не потребує додаткових капітальних витрат.

Операційні витрати

Додаткові операційні витрати пов'язані, перш за все, із вартістю кормових добавок, яка може бути досить суттєвою. Індикативна вартість кормових добавок складає 0,1-0,4 дол. США на тварину на добу.[253] Кормові добавки, дозволені для використання на ринку ЄС мають орієнтовну вартість 130 дол. США на тварину на рік (0,36 дол. США на тварину на добу), що

250 Juan M. Tricarico, Florencia Garcia, André Bannink, Sang-Suk Lee, Michelle A. Miguel, John R. Newbold, Peri K. Rosenstein, Matthew R. Van der Saag, David R. Yáñez-Ruiz, Feed additives for methane mitigation: Regulatory frameworks and scientific evidence requirements for the authorization of feed additives to mitigate ruminant methane emissions, Journal of Dairy Science, Volume 108, Issue 1, 2025, Pages 395-410, ISSN 0022-0302, https://doi.org/10.3168/jds.2024-25051. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030224014048)

251 Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on additives for use in animal nutrition (Text with EEA relevance), https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2003/1831/oj/eng

252 Regulation (EC) No 767/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on the placing on the market and use of feed, amending European Parliament and Council Regulation (EC) No 1831/2003 and repealing Council Directive 79/373/EEC, Commission Directive 80/511/EEC, Council Directives 82/471/EEC, 83/228/EEC, 93/74/EEC, 93/113/EC and 96/25/EC and Commission Decision 2004/217/EC (Text with EEA relevance), https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/767/oj/eng

253 Jaime R. Luke, Glynn T. Tonsor, The enteric methane emission conundrum: U.S. beef cattle producer adoption of climate-focused technology, Sustainable Production and Consumption, Volume 50, 2024, Pages 364-375, ISSN 2352-5509, https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.08.011. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550924002379)

досить суттєво на рівні окремої ферми але може лише в незначній мірі впливати на вартість продукції тваринництва – близько 1% потенційного збільшення ціни молока у випадку перенесення витрат на споживачів.[254] Для цілей дослідження використано показник 0,4 дол. США на тварину на добу.

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Оцінки щодо потенціалу скорочення викидів метану внаслідок використання кормових добавок сильно варіюються і можуть складати від 10% до 90%. Це пов'язано із наявністю різних технологій, різними результатами досліджень та ранніми етапами розвитку окремих технологій.

Потенціал скорочення викидів парникових газів також обмежується можливістю практичного застосування кормових добавок: складністю чи неможливістю їх використання на пасовищах та у великій кількості дрібних господарств. Для сільськогосподарських підприємств, де тварини більшість часу перебувають у стійлі, потенціал технології обмежується передусім економічними факторами.

3-нітрооксипропанол (3-NOP) є найбільш дослідженим інгібітором утворення метану із підтвердженою ефективністю, яка складає близько 20-30% зменшення викидів метану, не впливаючи при цьому негативно на обсяги виробництва молока чи його жирність. Ефективність впливу буде залежати від дозування, раціону тварин (вищий вміст нейтрально-детергентної клітковини та жирів знижує ефективність інгібітору) та періоду розвитку тварини.[255]

При використанні консервативної оцінки на рівні **20% скорочення викидів** від кишкової ферментації і урахуванні лише ВРХ підприємств **загальний потенціал складе близько 0,6 млн тонн CO^2-екв. на рік.**

Для більш точної оцінки скорочень викидів у рамках стандартів добровільних вуглецевих ринків розроблені спеціальні методології, які передбачають або прямі вимірювання викидів метану тваринами, або оцінки на основі детальної інформації про раціон та ефективність кормових добавок.[256]

3.6.2 Виробництво біогазу з відходів тваринництва

Опис технології

Біогаз виробляється у результаті біохімічного розкладу макросполук відходів тваринництва за анаеробних умов на метан (CH_4), двоокис вуглецю (CO_2), та аміак (NH_4) та інші сполуки у незначних обсягах.

254 Swedish Climate Policy Council. 2025 Climate Policy Council report, https://www.klimatpolitiskaradet.se/wp-content/uploads/2025/04/swedishclimatepolicycouncilclimatepolicycouncilreport2025.pdf

255 A.N. Hristov, Invited review: Advances in nutrition and feed additives to mitigate enteric methane emissions, Journal of Dairy Science, Volume 107, Issue 7, 2024, Pages 4129-4146, ISSN 0022-0302, https://doi.org/10.3168/jds.2023-24440. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203022400910X)

256 Див. VM0041 Methodology for the Reduction of Enteric Methane Emissions from Ruminants through the Use of Feed Ingredients, v2.0, https://verra.org/methodologies/revision-to-vm0041-methodology-for-the-reduction-of-enteric-methane-emissions-from-ruminants-through-the-use-of-100-natural-feed-supplement-v1/ та Gold Standard Methodology. Reducing Methane Emissions from Enteric Fermentation in Dairy Cows Through Application of Feed Supplements (на разі заходиться на перегляді), https://globalgoals.goldstandard.org/404-luf-agr-livestock-enteric-fermentation-in-dairy-cows-through-application-of-feed-supplements/

Відходи тваринництва можуть використовуватися у комбінації з рослинною сировиною. Крім того, залишки з кормового столу також можуть додаватися в якості сировини для виробництва біогазу.

Вироблений біогаз використовується для виробництва теплової та / або електричної енергії, а технологія є однаковою із технологією виробництва біогазу з рослинних решток. Основним технологічним обладнанням, що використовується, є реактори для анаеробного зброджування із пристроями для перемішування субстрату та газгольдерами, а також когенераційні установки. Вироблений біогаз також може очищатися до біометану і використовуватися в якості палива для транспорту або постачатися до газової мережі. Додаткові продукти виробництва біогазу (зброджений субстрат) використовують в якості біодобрив.

В Україні є ціла низка біогазових електростанцій, що працюють на відходах тваринництва або на комбінації рослинної сировини і відходів тваринництва. Частина з них під'єднана до загальної електромережі, а частина використовує вироблену енергію для власних потреб.

Таблиця 29. Вихід біогазу з відходів тваринництва

Субстрат	Вміст сухої речовини (СР), %	Вміст сухої органічної речовини (СОР), % СР	Вихід біогазу		Вміст CH_4, об. %	Джерело
			$м^3/т$	$м^3/т$ СОР		
Гноївка ВРХ (рідка)	8-11	75-82	20-30	200-500	60	FNR[257]
Гній ВРХ (підстилковий)	≈ 25	68-76	40-50	210-300	60	FNR
	22-24	86-91	62-64	310-320	60-65	НТЦБ
Гноївка свиней (рідка)	≈ 7	75-86	20-35	300-700	60-70	FNR
	1,5-3,6	71-74	7-15	350-380	62-67	НТЦБ[258]
Гній свиней (підстилковий)	20-25	75-80	55-65	270-450	60	FNR
Послід курячий	≈ 32	63-80	70-90	250-450	60	FNR
	25-28	71-74	80-90	430-460	66	НТЦБ

Пошкодження енергосистеми внаслідок російських атак під час війни та перебої із енергопостачанням збільшили інтерес до проєктів з виробництва біогазу та його подальшого використання для виробництва електроенергії.

Технологія може бути запроваджена в усіх регіонах України біля тваринницьких ферм для забезпечення стабільного джерела поставки відходів тваринництва, оскільки

257 Biogasgewinnung und Nutzung. Handreichung. – Institut für Energetik und Umwelt gGmbH. 3., überarbeitete Auflage, Gulzow, 2006.

258 Власні лабораторні дані НТЦ «Біомаса».

їх транспортування на великі відстані є економічно недоцільним. При виборі місця розташування біогазової електростанції необхідно також враховувати екологічні обмеження щодо санітарно-захисної зони, водоохоронних зон тощо.

Запровадження технології відповідає пріоритетам національної екологічної політики через скорочення забруднення, пов'язаного із поводженням з відходами тваринництва, оскільки утилізація відходів тваринництва анаеробним способом при виробництві біогазу зменшує забруднення поверхневих та підземних вод нітратами, органічними речовинами та біологічними забрудниками.

Ґрунтуючись на результатах розрахунків для попередніх років та поточних експертних оцінках експертів БАУ для енергетичних цілей використовується лише близько 2% відходів тваринництва (гній худоби, послід птахів), тому існує значний потенціал для розвитку технології.

Для забезпечення виробництва 1 млн м^3 CH_4/рік з гною ВРХ (без підстилки) необхідна ферма із близько 3600 голів ВРХ, при використанні гною свиней – ферма із близько 13500 голів, а при використанні посліду птахів – ферма із близько 250 000 голів.

Капітальні витрати

Капітальні інвестиції в біогазові електростанції оцінюються на рівні 2-5 млн Євро на МВт встановленої електричної потужності із більшою частиною оцінок у діапазоні 3-4 млн Євро на МВт встановленої електричної потужності. Рівень капітальних витрат залежить від технології та обраного обладнання.[259]

Детальний аналіз факторів, які визначають обсяг капітальних інвестицій, та прийняті усереднені значення наведено у розділі про виробництво біогазу та біометану з рослинних решток.

Операційні витрати

Щорічні операційні витрати для біогазових електростанцій оцінюються на рівні 120,000 – 400,000 Євро на МВт встановленої електричної потужності та, зазвичай, є меншими за операційні витрати для біогазових електростанцій, що використовують рослинну сировину, через меншу вартість або наявність безкоштовних відходів тваринництва. [260]

Загалом, існує 2 основних підходи до формування вартості сировини в проєктах виробництва біогазу. За першим підходом, в проєкті закладається конкурентна вартість сировини, яку власник цієї сировини може отримати від її реалізації на ринкових умовах для інших сегментів споживачів. Наприклад, гній ВРХ може продаватись на ринку як органічне добриво, особливо якщо компанія, у власності якої знаходиться ферма, не має власних полів поруч. У такому разі ціна гною ВРХ може складати 300-1000 грн/т (орієнтовно 7-24 дол. / т), іноді і більше. Ціна посліду на ринку органічних добрив коливається від 150 до 400 грн/т (4-10 дол. / т), в залежності від постачальника та обсягів. За іншим підходом, власник сировини закладає її ціну на вході в біогазову станцію на рівні «нульової», за умови, що така сировина вносилась раніше на поля компанії і вироблений дигестат з такої сировини також буде внесено на ці

259 TNA. Інформаційна картка технології. Виробництво біогазу з відходів тваринництва, https://drive.google.com/file/d/1FVHXg6UjvymnNQ8tCi2MwLI5fG2PQ4hY/view

260 TNA. Інформаційна картка технології. Виробництво біогазу з відходів тваринництва, https://drive.google.com/file/d/1FVHXg6UjvymnNQ8tCi2MwLI5fG2PQ4hY/view

поля. У випадку закупівлі сировини за ринковими цінами, передбачається, що утворений дигестат буде мати свою ринкову вартість. Принцип розрахунку вартості дигестату полягає в оцінюванні еквівалентної вартості поживних елементів NPK, що містяться в вихідній сировині, за цінами цих елементів в мінеральних добривах. Вартість транспортування органічних добрив складає орієнтовно 0,11 – 0,13 дол. / ткм.

Таблиця 30. Сировинна складова собівартості 1 м^3 CH_4 з окремих видів сировини

Вид сировини	Питомий вихід CH_4, м^3 CH_4/т	Вартість сировини (конкурентна), дол./т	Сировинна складова собівартості CH_4, дол./1000 м^3 CH_4
Послід курячий (СР 40%)	90	3,6-10	40-111
Гній ВРХ (СР 25%)	44	7-24	159-545

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Відповідно до оцінок Біоенергетичної Асоціації України, загальний потенціал виробництва біогазу з відходів тваринництва складає близько 1 млрд м^3 CH_4 на рік. При цьому значна частина теоретичного потенціалу є доступними для використання з енергетичними потребами. Економічний потенціал оцінюється на рівні 0,71 млн т н е на рік або близько 832 млн м^3 CH^4.

Для цілей дослідження прийнято консервативне припущення про потенціал виробництва біогазу з відходів тваринництва на рівні половини від економічного потенціалу або близько 0,4 млрд м^3 CH_4. Така оцінка передбачає використання для виробництва біогазу близько чверті відходів ВРХ та трохи менше половини відходів свинарства та птахівництва.

Запровадження технології дозволить скоротити викиди парникових газів завдяки заміщенню викопного палива відновлюваним джерелом енергії, а також через зменшення викидів від поводження з відходами.

Заміщення природного газу біогазом дозволить скоротити викиди на 0,7 млн т CO_2-екв. Реальні скорочення викидів будуть більшими, оскільки частина біогазу буде заміщувати електроенергію, що виробляється вугільними тепловими електростанціями, однак для цілей дослідження застосовувалися консервативні оцінки.

Оскільки відходи тваринництва, як правило, переробляються на місці утворення, викиди парникових газів, пов'язані зі збором, транспортуванням та підготовкою біомаси, не враховуються і вважаються рівними нулю.

Додаткові скорочення викидів парникових газів досягаються завдяки уникненню викидів метану від розкладу відходів тваринництва в лагунах чи інших місцях зберігання. Хоч певні викиди (близько 1%) відбуваються і від сучасних анаеробних реакторів, більшість метану, яка б потрапляла у повітря, збирається у вигляді біогазу і використовується для виробництва енергії. Потенціал скорочення викидів парникових газів з даного джерела оцінено на рівні 0,6 млн тонн CO^2-екв. (орієнтовно 25% від викидів парникових газів у категорії Поводження з відходами тваринництва для ВРХ та 50% для свиней та птахів).

Загальний потенціал скорочення викидів парникових газів для даної технології складає 1,3 млн тонн CO^2-екв. на рік.

У рамках проєктних механізмів скорочень викидів існує детальна методологія для оцінки потенційних та фактичних скорочень викидів парникових газів для проєктів удосконалення систем поводження з відходами тваринництва.[261]

3.6.3 Покращення систем поводження з відходами тваринництва

Опис технології

Системи поводження з відходами залежать від типу господарств, які займаються вирощуванням тварин.

У домогосподарствах, які самостійно утримують тварин, включаючи велику рогату худобу (ВРХ), свиней та птахів, переважно для власного споживання або часткового продажу продукції, гній накопичується в окремих відведених місцях поблизу господарських будівель без дотримання санітарних норм. До гною додаються харчові відходи, трава, бур'яни та інші органічні матеріали, а внесення на городи здійснюється через 6-18 місяців року після злежування. Домогосподарства також практикують випас худоби на пасовищах у теплу пору року.

Сільськогосподарські підприємства, які займаються тваринництвом, використовують спеціалізоване обладнання для збирання та транспортування відходів. Зберігання відходів здійснюється в окремих відведених місцях на безпечній відстані від житлових приміщень та водних джерел у гноєсховищах, лагунах або на краю полів. Гній на підприємствах після сепарації також може використовуватися для виробництва компосту або після просушування в якості відновлюваної підстилки.

Ефективність систем поводження з відходами залежить від розміру підприємств та їх фінансових можливостей – на менших фермерських господарствах, як правило, використовуються найпростіші способи поводження з відходами із їх вивезенням без обробки та складуванням на полі з метою подальшого внесення у ґрунт, тоді як більші господарства запроваджують сепарацію відходів, компостування, виробництво біогазу та інші технології.

Загальні вимоги щодо поводження з відходами тваринництва визначаються Законом України «Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною»[262], який відносить гній (будь-які екскременти та/або сеча сільськогосподарських тварин з підстилкою або без неї) до побічних продуктів тваринного походження категорії II. Закон, зокрема, визначає допустимі способи поводження з такими побічними продуктами тваринного походження, які включають виробництво органічних добрив або покращувачів ґрунту, компостування та перетворення на біогаз. У випадку розміщення органічних добрив на ринку необхідно здійснювати оброблення шляхом стерилізації під тиском[263], тоді як для внесення у ґрунт, компостування чи виробництва біогазу таке попереднє оброблення гною можна не здійснювати.

261 ACM0010: GHG emission reductions from manure management systems --- Version 8.0, https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/99QRTE6N5QJEBOV2XP374B25SSIXBB

262 Закон України «Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/287-19#Text

263 Детальні вимоги визначені у Порядку поводження з побічними продуктами тваринного походження, що належать до категорій I-III, затвердженому Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 13 грудня 2023 року № 2159, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0202-24#Text

Загалом, виокремлюють такі технології обробки відходів тваринництва[264]:

- технології сепарації – розділення рідкої та твердої фракції для полегшення подальших операцій поводження з відходами, зокрема, транспортування для внесення поживних речовин на поля або інші додаткові операції; існують різні технології сепарації, які відрізняються ефективністю, споживанням енергії та вартістю;
- технології переробки для отримання продуктів із більшою доданою вартістю – виробництво компосту або біогазу із відходів тваринництва;
- технології виділення або концентрації поживних речовин – виділення частини азоту з рідкої фракції гною за допомогою хімічних реакцій і утворення газоподібного азоту (N_2), який виділяється в атмосферу, для зменшення навантаження сполук азоту при використанні гною або концентрація сполук азоту рідкої фракції гною для утворення добрив вищої якості.

Однак, навіть у європейських країнах зазначені технології застосуються до невеликої частки відходів, а більшість відходів після зберігання (орієнтовно 6 місяців) використовується в якості органічних добрив.

Станом на 2020 рік, більшість сільськогосподарських підприємств в ЄС, які мали об'єкти для поводження з відходами тваринництва, мали майданчики для зберігання твердих відходів (57%), на 16% були накриті місця зберігання рідких відходів, 10% - системи глибокої підстилки (deep litter systems), 6% - ями під приміщеннями для тварин, 5% - відкриті лагуни для зберігання рідких відходів та 6% - інші об'єкти.[265]

Найпростішим методом поводження з твердими відходами є їх тимчасове зберігання на спеціально відведеній ділянці (сховищах секційного типу) на краю поля чи на території ферми без додаткових заходів для прискорення або поліпшення ферментації. Такий метод злежування має суттєві недоліки, оскільки розкладання органічних речовин відбувається повільно і може тривати кілька років і при цьому відбуваються втрати азоту та інших поживних речовин через випаровування або вимивання.

Спеціалізовані майданчики для зберігання твердих органічних добрив можуть мати ущільнене ґрунтове або бетонне покриття і повинні мати облаштовані системи дренажу для запобігання забрудненню ґрунту та водних ресурсів і захисту від атмосферних опадів. Відповідно до Правил щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів, для зберігання підстилкового гною і твердої фракції на прилеглій до ферми території слід передбачити незаглиблені водонепроникні майданчики (обнесені канавами) або сховища глибиною до 2 м. З метою поєднання процесів карантинування і зберігання гною, кількість секцій сховищ повинна бути не менше двох. Залежно від структури, вологості і технології зберігання гною строки його зберігання становлять 4-8 місяців (для гною великої рогатої худоби), 8-12 місяців (для гною свиней), від 6 місяців (для гною овець та кіз), 6-12 місяців (для посліду птиці). Втрати сполук нітрогену залежать від обраного методу зберігання. При зберіганні протягом 6 місяців втрати становлять: при зберіганні у рідкому стані - сухої речовини 15 %, нітрогену - 20 %; при зберіганні у твердому стані - сухої речовини

264 LIFE + MANEV LIFE09 ENV/ES/000453, Evaluation of manure management systems in Europe, https://core.ac.uk/download/pdf/46606176.pdf

265 Agriculture - manure storage statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agriculture_-_manure_storage_statistics

25%, нітрогену - 30 %; при зберіганні нерозділеного рідкого гною - сухої речовини 35%, нітрогену – 40%.[266]

Рідкі органічні добрива зберігаються у резервуарах чи лагунах, які повинні мати належну ізоляцію від ґрунту для запобігання забрудненню підземних вод, накриття або спеціальні конструкції для запобігання надмірному розведенню добрив і системи аварійного відведення рідини. Глибина лагун може складати від 2 до 5 м, а площа 1500-3000 м^2. Розмір лагун та майданчиків визначається, враховуючи поголів'я та очікувані терміни зберігання відходів. Днище та нахили гноєсховищ повинні мати тверде, водонепроникне покриття. Також рекомендується облаштування захисних бар›єрів навколо резервуарів для запобігання розливу. Лагуни та резервуари можуть облаштовуватися із різних матеріалів, зокрема бетону, металевих конструкцій, мембранних матеріалів, та мати різні форми та розмір. Для аерації може встановлюватися спеціалізоване насосне обладнання та міксери. Рідкі добрива вносяться у ґрунт із використанням цистерн або системи шлангів.

За офіційними даними, які використовуються для підготови національного кадастру викидів парникових газів, в Україні на сільськогосподарських підприємствах більшість відходів ВРХ зберігаються у твердій формі (46% - Solid storage) або залишаються на пасовищах чи місцях вигулу (47% - Pasture, range, and paddock). Лише невелика кількість відходів зберігаються у рідкій формі (5% - Liquid system with natural crust cover) або використовуються для виробництва компосту (1% - Composting). Відходи свиней у більшості випадків зберігаються у рідкій формі (55% - Liquid system with natural crust cover) та твердій формі (39% - Solid storage), тоді як лише невеликі обсяги зберігаються у глибоких лагунах без накриття (5% - Uncovered anaerobic lagoon) та використовуються для виробництва компосту (1% - Composting). У домогосподарствах відповідно до припущень національної системи обліку викидів відходи ВРХ порівно розподіляються між зберіганням у твердій формі та пасовищами, а усі відходи свиней – у твердій формі (Solid storage).[267]

Дані, які використовуються для національного обліку викидів, проте, потребують покращення, зокрема, в частині урахування використання відходів тваринництва для виробництва біогазу, відповідності обраних категорій їх визначенням (для прикладу, щодо систем рідкого зберігання відходів із природною кіркою[268]), способів поводження з відходами на різних підприємствах, способу утримання тварин (приміщення закритого типу та вигульні майданчики) і розподіл між ними (за часом перебування та статево-віковими групами), а також припущень щодо термінів зберігання відходів і розподілу за категоріями (для прикладу, щодо рівного розподілу відходів ВРХ за двома категоріями у домогосподарствах).

Поводження із відходами тваринництва часто пов'язане із порушенням природоохоронного законодавства, зокрема, відсутністю належної інфраструктури для зберігання органічних відходів (гною, гноївки) та потрапляння забруднюючих речовин у поверхневі та підземні води та ґрунти, забруднення атмосферного повітря та неприємні запахи.

266 Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24.11.2021 № 382 «Про затвердження Правил щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text

267 Ukraine. 2024 National Inventory Document (NID), Table A3.2.3.8. Mass balance of manure that handled in each MMS, kt of dry matter, https://unfccc.int/documents/645143

268 Відповідно до 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use), Покриття природною кіркою передбачає присутність товстої сухої кірки, які утворюється в системах, де застосовується підстилка, що змивається у резервуари зберігання відходів, а тверда частина не відокремлюються від потоку гною.

Відповідно до державних будівельних норм, для запобігання забрудненню навколишнього природного середовища при проєктуванні будівель та споруд для тварин, в тому числі споруд для накопичення, зберігання та оброблення гною, пташиного посліду та сечі, необхідно передбачати заходи щодо очищення, нейтралізації та утилізації відходів виробництва. У випадках, встановлених законом, необхідно проходити процедуру оцінку впливу на довкілля.[269] Детальніші вимоги до проєктування систем поводження з відходами визначені у відомчих нормах технологічного проєктування.[270]

Капітальні витрати

Масштаби проєктів будівництва місць зберігання відходів і відповідно проєктів покращення системи поводження з відходами залежать від поголів'я тварин на фермі і терміни зберігання відходів перед їх подальшим використанням. Для прикладу, при поголів'ї 1000 голів ВРХ та терміні зберігання 180 днів, необхідний орієнтовний обсяг зберігання складатиме близько 10 тис. м^3.[271]

Обсяг капітальних витрат для покращення систем управління відходами залежить від технологій та масштабу проєктів і може варіювати у широких межах.

Вартість будівництва нових гноєсховищ для великих тваринницьких ферм може перевищувати 1 млн доларів (1-3 млн дол. залежно від масштабу проєкту).[272] Облаштування окремих гноєсховищ лагунного типу (відкриті земляні резервуари з гідроізоляцією) потребуватиме значно менших обсягів інвестицій – орієнтовно від 50 до 150 тис. дол. залежно від розмірів, обсягів необхідних робіт (земляні роботи, монтаж геотекстилю та укладання геомембрани) та матеріалів (наприклад, товщини геомембрани). Вартість накриття існуючих лагун може складати 30-90 тис. дол. і більше залежно від матеріалу та розмірів. Вартість встановлення обладнання для підкислення гноївки оцінюється на рівні трохи більше 100 тис. дол. [273]

Операційні витрати

Використання технології не передбачає значних додаткових операційних витрат. Як правило, будь-яке додаткове споживання електроенергії або матеріалів (наприклад, сірчаної кислоти для підкислення) є незначним та не пов'язано із суттєвими операційними витратами.

269 ДБН В.2.2-1:2024 «Будівлі і споруди для тваринництва. Основні положення», https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3530811256246110088?doc_type=2

270 ВНТП АПК-09.06 Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною

271 Детальна інформація про вартість може бути надана відповідними постачальниками для кожного окремого об'єкта. Див. сайти постачальників для інформацію про орієнтовну вартість та фактори, які її визначають: https://kiev-bereg.com/ua/budivnictvo-lagun-dlya-gnoyu/, https://agrotex.com.ua/product-category/gnoyesxovishha-ta-rezervuari/plivkovi-gnoyesxovishha/, https://geostandart.com.ua/services/budivnictvo-plivkovix-gnoyesxovishh/

272 Див. приклад масштабного проєкту із трьома лагунами для рідкої фракції гною об'ємом 30300 м^3 кожна, площадкою для твердої фракції гною та додатковими об'єктами: https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=329080498541926912 3/optype=6 та https://eco.cg.gov.ua/web_docs/2145/2019/02/docs/%D0%97%D0%92%D0%86%D0%A2_compressed_compressed.pdf

273 LIFE + MANEV LIFE09 ENV/ES/000453, Evaluation of manure management systems in Europe, https://core.ac.uk/download/pdf/46606176.pdf

Потенціал скорочення викидів парникових газів

Рівень запровадження технологій покращення поводження з відходами тваринництва, які мають потенціал скорочення викидів, буде залежати від посилення екологічних вимог та відповідного контролю за їх дотриманням.

Загалом, технології покращення систем поводження з відходами можуть мати негативну вартість за рахунок додаткових надходжень від використання метану як палива або використання компосту. За деякими оцінками, гранична вартість скорочення викидів, за оцінками, складає мінус 8 дол. США за тонну CO_2-екв. для компостування відходів,[274] а для виробництва біогазу може бути суттєво більшою і залежатиме від цін на енергетичні ресурси. Технології виробництва біогазу, проте, розглядаються окремо, а у випадку компостування основні скорочення відбуваються за рахунок внесення в ґрунт – у процесі компостування скорочуються викиди метану у порівнянні із твердим зберіганням, але збільшуються викиди N_2O.

У випадку рідких відходів викиди метану передусім залежать від тривалості зберігання і коефіцієнти викидів є близькими або однаковими для різних систем поводження з відходами. Скорочення викидів, однак, буде відбуватися при відмові від непокритих лагун (5% від відходів свиней), а також за рахунок скорочення викидів N_2O для різних систем поводження з відходами. Для прикладу, викиди для лагун із накриттям можуть бути у 3-6 разів меншими, ніж для інших типових способів поводження з рідкими відходами.[275] Зокрема, накриття лагун може суттєво зменшити викиди N_2O у порівнянні із місцями зберігання відходів у рідкому стані із природною кіркою або без неї.

У випадку твердого зберігання відходів скорочення викидів метану може бути досягнуто із використання різних додатків, які пригнічують метаногенез або покращують аерацію для зменшення утворення метану. При використанні добавок можливі викиди інших забруднюючих речовин, які необхідно враховувати при прийнятті рішень.

Оцінка потенціалу скорочення викидів від покращення систем поводження відходів залежить від специфіки об'єктів та впроваджених заходів. **Загальний потенціал таких додаткових заходів оцінюється на рівні 0,2 млн CO_2-екв. на рік** (близько 10% від викидів в категорії поводження з відходами тваринництва) головним чином за рахунок суттєвого потенційного скорочення викидів N_2O, а також часткового скорочення викидів метану. Дана оцінка потребуватиме подальшого уточнення у розрізі існуючих систем управління відходами тваринництва та потенціалу скорочення викидів від окремих типів проєктів.

274 Climate Change Authority. Sectoral Pathways Review. Agriculture and Land, https://www.climatechangeauthority.gov.au/sites/default/files/documents/2024-09/2024SectorPathwaysReviewAgricultureandLand.pdf (вартість конвертована із австралійських доларів).

275 Відповідно до стандартних коефіцієнтів втрати азоту внаслідок випаровування частки NH_3+NO_x від загального виділеного азоту, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

4. Декарбонізація сільського господарства та пріоритети національної політики

4.1 Стратегічні документи у сфері кліматичної політики

У липні 2021 року Україна подала до Секретаріату РКЗК оновлений перший національно-визначений внесок відповідно до зобов'язань за Паризькою угодою. Відповідно до оновленого НВВ[276], Україна встановила ціль скорочення викидів парникових газів на 65% до 2030 року у порівнянні із 1990 роком. Дана ціль охоплює усю економіку України, включаючи сектор енергетики; промислових процесів та використання продуктів; сільського господарства; землекористування, зміни землекористування та лісового господарства; та відходів. Станом на травень 2025 року ведеться робота над підготовкою другого національно-визначеного внеску на період до 2035 року.

У травні 2024 року Уряд України схвалив Стратегію формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року.[277] Метою Стратегії є створення організаційних і 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, продовольчої та екологічної безпеки, підвищення рівня добробуту громадян, зменшення впливів та наслідків зміни клімату та для врахування цілей державної кліматичної політики під час повоєнної відбудови України. Серед показників досягнення стратегічної цілі 2 (Стратегічна ціль 2. Пом'якшення зміни клімату та забезпечення соціально справедливого та економічно ефективного переходу до низьковуглецевого розвитку держави) є збільшення площ сільськогосподарських угідь з органічним статусом та вуглецевим землеробством.

4.2 Національний план з енергетики та клімату

Національний план з енергетики та клімату (НПЕК) на період до 2030 року містить огляд ключових стратегічних документів та політик, а також наводить додаткові заходи та політики, які необхідні для скорочення викидів парникових газів.

Для прикладу, Національна економічна стратегія (НЕС) визначає стратегічний курс політики у сфері розвитку агропромислового сектору і містить низку положень, релевантних цілям НПЕК. Зокрема, передбачається, що державна політика в агропромисловому секторі щодо захисту довкілля та управління природними ресурсами у сільському господарстві буде спрямована на такі цілі:

- наближення національного законодавства, стандартів та практик до загальноєвропейських принципів ведення політики сталого сільського господарства та належних сільськогосподарських практик;

276 Updated Nationally Determined Contribution of Ukraine to the Paris Agreement, https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Ukraine%20NDC_July%2031.pdf

277 Стратегія формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2024 р. № 483-р, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-%D1%80#Text

- поступове узгодження державної аграрної політики із Зеленим курсом ЄС (EU Green Deal) у сільському господарстві;
- розроблення та моніторинг запровадження національного звіту про рівень викидів парникових газів під час виробництва та обігу сільськогосподарських культур;
- запровадження економічного стимулювання заходів щодо використання та охорони земель і підвищення родючості ґрунтів, зменшення рівня забруднення вод та інших компонентів навколишнього природного середовища з сільськогосподарських джерел, вдосконалення структури земель та угідь країни, відновлення антропогенно змінених екосистем, впровадження сталого землекористування та досягнення нейтрального рівня деградації земель.

Збільшення технологічності щодо спостереження за якістю земельних ресурсів має бути досягнуто за рахунок проведення систематичного спостереження за показниками родючості ґрунтів та їх якістю, розширення проведення актуальних для сільськогосподарських виробників наукових досліджень та інших заходів.

Стратегічна ціль "Збалансування виробництва високо- та низькомаржинальних продуктів для збільшення прибутковості [аграрного] сектору" передбачає заохочення сталого сільськогосподарського виробництва, захисту навколишнього природного середовища і тварин, поширення застосування методів органічного виробництва і використання біотехнологій, "кліматично розумного" сільського та лісового господарства із скороченням викидів парникових газів та адаптацією до зміни клімату, сталого управління природними ресурсами та збереження і примноження біорізноманіття.

НПЕК містить низку додаткових політик та заходів, які стосуються або можуть стосуватися скорочення викидів від сільськогосподарської діяльності, а саме:

- План заходів з реалізації кліматичної політики України в рамках участі в глобальній ініціативі із скорочення викидів метану "Global Methane Pledge";
- Сприяння розвитку органічного рослинництва;
- Поширення використання інформаційних та електронних комунікаційних технологій у рослинництві;
- Загальнодержавна цільова програма використання та охорони земель.
- Розвиток сфери вирощування енергетичних рослин.

З огляду на високий рівень невизначеності та оцінок НПЕК в частині сільського господарства та відсутність оцінок для сектору землекористування, важливо передбачити механізм регулярного перегляду та оновлення змодельованих сценаріїв, враховуючи нові умови та джерела інформації. Наявні та оновлені **оцінки щодо потенціалу скорочення викидів парникових газів та збільшення поглинань мають бути підкріплені додатковими інструментами кліматичної політики.**

4.3 Стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій

Зменшення негативного впливу на довкілля та клімат відображено серед державних пріоритетів розвитку сільського господарства та сільських територій України з огляду на необхідність інтеграції України до ЄС та посилення ролі кліматичної політики. У листопаді 2024 року було затверджено Стратегію розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні до 2030 року.[278]

Таблиця 31. Стратегічні цілі розвитку агросектору та зв'язок із зеленим переходом

Стратегічні цілі	Пріоритет та зв'язок із зеленим переходом
Стратегічна ціль 1. Формування державної політики розвитку сільського господарства та сільських територій (інституційна спроможність)	Удосконалення механізму ведення обліку, оброблення та систематизація інформації про виробників сільськогосподарської продукції, зокрема, через функціонування Державного аграрного реєстру, в тому числі створення системи ідентифікації земельних ділянок та удосконалена інформаційна взаємодія із фінансовими установами. Підвищення ефективності програм державної підтримки (пряма грошова допомога та непряма державна підтримка через програми часткової компенсації) та інтегрована система адміністрування та контролю (IACS).
Стратегічна ціль 2. Задоволення суспільних потреб у високоякісних, поживних і безпечних харчових продуктах та забезпечення продовольчої безпеки	Забезпечення реагування виробників сільськогосподарської продукції на суспільні потреби у харчових продуктах та системі охорони здоров'я, включаючи високоякісні, безпечні та поживні харчові продукти, вироблені з урахуванням принципу сталого використання природних ресурсів, а також покращення благополуччя тварин. Забезпечення позитивного впливу на навколишнє природне середовище продовольчої системи, в тому числі сприяння пом'якшенню наслідків змін клімату та адаптації до його наслідків.
Стратегічна ціль 3. Забезпечення стійкості сільськогосподарського сектору, підтримка справедливого доходу виробників та підвищення їх конкурентоспроможності	Підтримка відновлення та стійкості сільськогосподарського сектору, в т.ч. за такими основними напрямами: обстеження, очищення та розмінування земель сільськогосподарського призначення та надання рекомендацій щодо оптимальних шляхів відновлення земель (рекультивація, консервація); забезпечення ефективного функціонування автоматизованої системи проведення моніторингу земель і ґрунтів;. відновлення меліоративної мережі з гідротехнічними спорудами і дренажної інфраструктури, а також залучення інвестицій у її розвиток, зокрема на півдні України для зменшення негативних наслідків військових дій та зміни клімату; здійснення інвестицій у виробництво біогазу на основі біомаси, відходів та залишків сільськогосподарської продукції та переробної промисловості; розроблення стратегії "зеленого зростання", узгодженої з ЄС.

278 Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 листопада 2024 р. № 1163-р «Про схвалення Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1163-2024-%D1%80#Text

Стратегічні цілі	Пріоритет та зв'язок із зеленим переходом
Стратегічна ціль 4. Ефективне використання земель, їх розмінування, проведення земельної реформи	Сприяння сталому розвитку та ефективному використанню ґрунту, повітря та води, зокрема шляхом зниження залежності від хімікатів. Визначення мінімальних вимог для підтримування виробниками належних сільськогосподарських та екологічних умов (GAEC) з урахуванням конкретних характеристик відповідних районів, включно із ґрунтово-кліматичними умовами, існуючими системами ведення сільського господарства, землекористуванням, сівозмінами, методами ведення сільського господарства та структурами фермерських господарств.
Стратегічна ціль 5. Кліматично орієнтоване сільське господарство: пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптація до них	Сприяння пом'якшенню наслідків зміни клімату та адаптації до них, в тому числі розвиток водопостачання для зрошення земель, кліматично орієнтоване сільське господарство, органічне виробництво, циркулярна біоекономіка, біоенергетика, запобігання утворенню відходів. Державна допомога впровадженню ресурсоефективних, "зелених" виробництв, екологічно безпечних технологій, стимулювання переробки відходів.
Стратегічна ціль 6. Модернізація аграрного сектору: розвиток переробки, інновації, цифровізація та обмін знаннями	Сприяння розвитку переробних підприємств та збільшення доданої вартості готової продукції. Створення ефективної системи поширення сільськогосподарських знань та інновацій, в тому числі, покращення доступу до досліджень та інновацій і посилення інноваційної спроможності Національної академії аграрних наук, розвиток системи сільськогосподарських знань та інновацій (AKIS).
Стратегічна ціль 7. Створення умов для розвитку сільських територій	Сприяння сільського розвитку, підтримка молодих фермерів та гендерна рівність

Загальною метою розроблення та реалізації Стратегії є підготовка аграрного сектору до вступу України в ЄС, забезпечення сталого розвитку сільського господарства і сільських територій та створення сприятливих умов для досягнення стратегічних цілей щодо формування конкурентоспроможного, стійкого та диверсифікованого аграрного сектору (сільське господарство, харчова і переробна промисловість), що забезпечує довгострокову продовольчу безпеку, посилення захисту навколишнього середовища, включаючи біорізноманіття, пом'якшення наслідків зміни клімату, зміцнення соціально-економічної структури сільських територій.

Серед пріоритетів реалізації стратегії, визначених в операційному плані, є удосконалення обліку сільськогосподарських підприємств шляхом внесення їх до модернізованого Державного аграрного реєстру[279] та впровадження нової системи надання державної підтримки, створення систему обліку даних сільськогосподарських підприємств за принципом Farm Sustainability Data Network (FSDN) і підвищення якості та ефективності надання консультаційних послуг через створення спільної мережі на основі Системи сільськогосподарських знань та інновацій (AKIS).

279 Див. Закон України про «Про інформаційно-комунікаційну систему «Державний аграрний реєстр»», https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3980-20#Text та https://www.dar.gov.ua/

4.4 Напрями підтримки скорочення викидів парникових газів та збільшення поглинання вуглецю в агросекторі

Даний розділ містить окремі узагальнені рекомендації щодо заходів державної політики для підтримки декарбонізації агросектору, однак перелік не є повним і вичерпним та потребує подальшого обговорення із зацікавленими сторонами.

Загальні:

- Використання економічних механізмів (пільгове кредитування, механізми державної підтримки), для підтримки у придбанні нового обладнання (для обробітку ґрунту, якісного внесення добрив тощо) особливо для малих та середніх господарств, які часто використовують застарілу техніку та для яких відсутній ефект масштабу.
- Підтримка господарств у використанні механізмів вуглецевих ринків і забезпечення підтримки у використанні методологій та методів вимірювання для оцінки потенціалу поглинання вуглецю / скорочення викидів та фактичних обсягів поглинання / скорочення викидів відповідно до кращих міжнародних практик та стандартів.
- Включення підтримки кліматичних технологій у сільському господарстві у діяльність дорадчих служб, залучення приватних надавачів дорадчих послуг, та програми розбудови спроможності для фахівців дорадчих служб відповідно до положень Закону України «Про сільськогосподарську дорадчу діяльність». Дорадча підтримка господарств, особливо малих та середніх, для оцінки доцільності використання кліматичних технологій за наявних ґрунтово-кліматичних умов, розробки заходів оптимізації технології, адаптації сівозміни, підбору обладнання, оптимізації водного та поживного режимів.
- Підтримка створення кооперативів, виробничих кластерів та регіональних об'єднань фермерів для досягнення ефекту масштабу та можливості спільного використання техніки та іншого обладнання.
- Включення у форми статистичної звітності чи інші способу збору інформації показників щодо запровадження різних кліматичних технологій та їх особливостей, а також показників важливих для обліку викидів задля відстежування динаміки поширення технологій, їх особливостей, а також відстежування ефективності потенційних інструментів державної політики для підтримки кліматичних технологій у сільському господарстві; зокрема, збір інформації про:
- площі, на якій було здійснено впровадження кліматичних технології, і додаткові показники (середня глибина обробітку, наявність ерозії на полях, типи покривних культур та обсяг утворення біомаси, використання добрив із сповільненим виділенням азоту та інгібіторів тощо);
- обсягів утворення та методів поводження з відходами тваринництва, а також використання різних типів органічних добрив.
- Проведення наукових досліджень щодо фактичного скорочення викидів парникових газів та збільшення поглинання за рахунок використання кліматичних технологій за різних ґрунтово-кліматичних умов та при вирощуванні різних культур та використанні різних сівозмін (потенціал поглинання вуглецю, ефективність використання добрив, в т.ч. добрив із сповільненим виділенням азоту та інгібіторів).

- Включення кліматичних технологій у навчальні програми закладів вищої та професійно-технічної освіти, а також підтримка курсів підвищення кваліфікації працівників з акцентом на малі та середні господарства, оскільки використання технології пов'язане із високими вимогами до компетенції працівників.
- Заходи із підвищення обізнаності щодо ефективності використання кліматичних технологій, включаючи демонстраційні заходи на полях та поширення інформації про успішні проєкти.

Підвищення ефективності використання азотних добрив:

- Затвердження регуляторних актів щодо обов'язкових планів дій для сільськогосподарських виробників у вразливих зонах, визначених відповідно до «Методики визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів».
- Затвердження кодексу кращих сільськогосподарських практик для надання додаткових стимулів для підвищення ефективності використання азотних добрив.
- Розробка та впровадження програми підтримки використання кодексу кращих сільськогосподарських практик, включаючи проведення навчання та забезпечення інформацією фермерів для поширення кращих практик підвищення ефективності використання азотних добрив.
- Дорадча підтримка фермерських господарств щодо визначення оптимальних обсягів та часу внесення мінеральних азотних добрив, ефективного управління поживними речовинами та впливу використання мінеральних добрив на викиди парникових газів.
- Розробка керівництв щодо управління поживними речовинами при вирощуванні різних культур із урахуванням регіональних особливостей та формування технологічних рекомендацій для основних культур.[280]
- Розробка національних методологічних підходів та коефіцієнтів викидів для обліку викидів парникових газів при використанні добрив.

Збільшення поглинання вуглецю через зміни у землекористуванні:

- Удосконалення процедур розробки землевпорядної документації із контролем за дотриманням вимог щодо визначення природоохоронних обмежень, посилення спроможності розробників землевпорядної документації та відповідальності за внесення недостовірних даних.
- Фінансування розробки землевпорядної документації для об'єктів ПЗФ та прибережних захисних смуг.
- Удосконалення системи обліку викидів парникових газів із осушених торфовищ, в тому числі розробка системи вимірювання, верифікації та звітності для оцінки потоків парникових газів на торфовищах (включно з обліком впливу пожеж на торфовищах) та підготовка належної звітності відповідно до зобов'язань за Рамковою конвенцією Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату.
- Розвиток наукової бази з болотознавства та посилення спроможності з питань дослідження боліт, в тому числі проведення польових досліджень, визначення та

280 Див. приклад https://ahdb.org.uk/nutrient-management-guide-rb209

картування типів ділянок за викидами парникових газів та складання відповідних каталогів, підходів до відновлення торфовищ, обліку викидів парникових газів.

Збільшення поглинання вуглецю у рослинництві:

- Запровадження програм фінансової, підтримки використання покривних культур та сидератів, наприклад, через компенсацію вартості насіннєвого матеріалу або часткового відшкодування придбання спеціалізованих сівалок.
- Державна підтримка органічного виробництва шляхом надання бюджетних субсидій на одиницю оброблюваних угідь, бюджетних дотацій за утримання великої рогатої худоби та часткового відшкодування вартості витрат на проведення сертифікації продукції органічного виробництва.

Енергетичне використання рослинних решток

- Інструменти підтримки (пільгове кредитування, пряма державна підтримка) для придбання додаткової техніки та обладнання для збору, транспортування та зберігання біомаси або створення інших механізмів забезпечення доступу до обладнання (наприклад, розвиток ринку оренди спеціалізованого обладнання, кооперативи тощо).
- Сприяння розбудові сталих ланцюгів постачання та ринку побічної продукції.
- Посилення спроможності в частині дослідження якості ґрунтів та визначення обсягів побічної продукції, що може видалятися без погіршення якості ґрунтів, динаміку основних характеристик ґрунту, розрахункові обсяги винесення та внесення поживних речовин.

5. Доступ до фінансування та пріоритети бізнесу

Український бізнес зацікавлений у розвитку кліматичних технологій, оскільки вони дозволяють підвищити операційну ефективність і адаптуватися до нових кліматичних умов, а урахування потенціалу скорочення викидів парникових газів може підвищити економічну привабливість та відкрити доступ до нових джерел фінансування.

5.1 Підтримка України міжнародними партнерами

Цілі, які пов'язані із декарбонізацією сільського господарства включені до міжнародних документів, що визначають фінансову підтримку України під час війни та післявоєнної відбудови. Для прикладу, матриця реформ в Україні[281], яка об'єднує положення Плану України та інших міжнародних документів, містить цілу низку індикаторів, що прямо або опосередковано пов'язані із декарбонізацією сільського господарства, зокрема:

- Продовження узгодження законодавства з acquis ЄС у сфері сільського господарства та розвитку сільських територій і посилення адміністративної спроможності для розробки політики, що ґрунтується на фактичних даних;
- Ініціювання розроблення довгострокової стратегії низьковуглецевого розвитку відповідно до рамкової програми ЄС на період до 2030 року, в т.ч. забезпечення проведення моделювання сценаріїв економічного відновлення та розвитку країни;
- Забезпечення міжсекторальної інтеграції екологічних та кліматичних заходів у плани відбудови країни, визначення стратегії "зеленої" відбудови для ключових секторів, а також пріоритизація відповідного законодавства та стандартів ЄС у Національній програмі адаптації законодавства України до права ЄС;
- Розроблення, подання на розгляд та супроводження розгляду інших законодавчих документів, зокрема, законопроєкту про внесення змін до Закону України "Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції", законопроєктів щодо розвитку електронної торгівлі альтернативними видами палива (реєстраційний номер 8052), щодо встановлення ставки нуль гривень екологічного податку за викиди двоокису вуглецю від спалювання біопалива (реєстраційний номер 9596) та інші нормативні документи для розвитку ринку біометану, стимулювання виробництва теплової енергії, виробленої з альтернативних видів палива, та розвитку розподіленої генерації електричної енергії з відновлюваних джерел енергії.

Прийняття відповідних стратегічних, рамкових та секторальних документів забезпечуватиме дотримання умов надання підтримки і створюватиме умови для залучення фінансування у розвиток кліматичних технологій, пов'язаних із діяльністю у сільському господарстві.

281 Матриця реформ в Україні, https://reformmatrix.mof.gov.ua/

5.2 Міжнародні фінансові установи

Міжнародні фінансові організації є важливим джерелом фінансування для аграрного сектору України, надаючи кредити безпосередньо агрохолдингам та великим компаніям або кредитуючи малі і середні підприємства через фінансових посередників – українські банки.

Одночасно, міжнародні фінансові організації відіграють одну із ключових ролей в мобілізації кліматичного фінансування для скорочення викидів парникових газів та посилення адаптації до наслідків зміни клімату. З огляду на це, вони розробляють спільні підходи до оцінки викидів парникових газів, спільні принципи для відстежування обсягів кліматичного фінансування, а також встановлюють цілі із мобілізації фінансових ресурсів на кліматичні проєкти. Багатосторонні банки розвитку затвердили спільні методологічні принципи для визначення відповідності цілям Паризької угоди для різних типів проєктів[282], на основі яких кожна МФО розробляє власні підходи і практики.

Для прикладу, усі проєкти ЄБРР, починаючи із 1 січня 2023 року мають відповідати цілям Паризької кліматичної угоди в частині запобігання зміні клімату та адаптації до наслідків зміни клімату. Була розроблена спеціальна методика, яка використовується для оцінки відповідності цілям Паризької угоди.[283] У новій секторальній стратегії «Продукти харчування та агробізнес», екологічна сталість є одним із трьох ключових пріоритетів, який включає підтримку практик скорочення викидів парникових газів, захисту екосистем та природних ресурсів. Хоч ЄБРР визнає, що, незважаючи на потребу значних трансформацій, різкі зміни у секторі є недосяжними, але стратегія банку передбачає постійну підтримку поступових змін і запровадження сталих практик компаніями та підтримку урядів у запровадженні відповідних політик.[284]

На рівні отримувачів коштів такі пріоритети міжнародних фінансових організацій можуть відображатися в доступності фінансування саме на запровадження кліматичних технологій, необхідності включення кліматичних аспектів у будь-які інші проєкти або допомоги на розбудову системи корпоративного кліматичного урядування.

5.3 Вуглецеве фермерство

Вуглецеве фермерство – це сільськогосподарські практики і в рослинництві, і у тваринництві, що спрямовані на управління накопиченням вуглецю, а також викидами інших парникових газів (CO_2, CH_4, N_2O) з метою запобігання зміні клімату. У більш вузькому значенні термін «вуглецеве фермерство» вживається для опису лише сільськогосподарських практик, які сприяють поглинанню вуглецю з атмосфери і його накопиченню у ґрунтах або рослинній біомасі.[285]

Оскільки запровадження нових технологій, як правило, пов'язано із додатковими витратами або іншими бар'єрами, вуглецеве фермерство часто розглядають у поєднанні із

282 MDBs announce common principles for Paris alignment, https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2023/mdbs-announce-common-principles-for-paris-alignment.html#

283 EBRD, Methodology to determine the Paris Agreement alignment of EBRD investments, https://www.ebrd.com/ebrd-activities-paris-alignment

284 EBRD approves new food and agribusiness strategy, https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2025/EBRD-approves-new-food-and-agribusiness-strategy.html

285 Природоорієнтовані рішення. Що таке вуглецеве фермерство?, https://nbs.wwf.ua/shcho-take-vuhletseve-fermerstvo/

інструментами кліматичної політики або вуглецевими ринками, які дозволяють фермерам та підприємствам отримувати додаткову вигоду від запровадження кліматичних технологій. Це можуть бути платежі із державних бюджетів або фондів в рамках механізмів державної підтримки або приватні кошти за рахунок продажу належним чином сертифікованих вуглецевих одиниць. У першому випадку додаткові платежі можуть сплачуватися як за досягнення певних результатів (наприклад, поглинання певної кількості вуглецю ґрунтами), так і за сам факт запровадження певних сталих сільськогосподарських практик. У другому випадку кошти можуть надходити, як правило, лише за досягнення певних результатів та їх підтвердження відповідно до визначених правил.

Вуглецеві кредити ("carbon credits") – це узагальнений термін, що означає електронний актив, який надає дозвіл на викиди або підтверджує скорочення викидів певного обсягу парникових газів (як правило, один вуглецевий кредит відповідає 1 тонні викидів у CO_2 еквіваленті). Вуглецеві кредити утворюються відповідно до визначених правил та процедур і фіксуються та обліковуються у спеціальних електронних реєстрах. Існують різні типи вуглецевих одиниць і відповідно різні механізми їх утворення.[286]

Для України потенційно можливим є запровадження таких механізмів вуглецевого фермерства[287]:

- доступ до існуючих міжнародних механізмів добровільних проєктів скорочення викидів парникових газів (Gold Standard for Global Goals, Verra Verified Carbon Standard та інші);
- міжнародна співпраця відповідно до механізмів статті 6 Паризької угоди (у рамках співпраці між окремими країнами за статтею 6.2 Паризької угоди та нового проєктного механізму сталого розвитку за статтею 6.4 Паризької угоди);
- розробка національного механізму підтримки вуглецевого фермерства (наприклад, в рамках системи державної підтримки для сільського господарства або діяльності спеціального кліматичного фонду) та майбутня участь у відповідних механізмах ЄС.

5.4 Пріоритети бізнесу

Українські компанії реагують на нові можливості щодо залучення фінансування і майбутні регуляторні вимоги та використовують підтримку міжнародних фінансових організацій для пошуку оптимальних інструментів отримання додаткових переваг або зменшення ризиків.

Провідні українські аграрні компанії працюють над проєктами та технологіями, які скорочують викиди парникових газів, а деякі з них також розвивають системи корпоративного кліматичного урядування. Стимулом для компаній є, з одного боку, додаткові переваги кліматичних технологій, в тому числі збереження вологи і зменшення операційних витрат, і, з іншого боку, - вимоги міжнародних фінансових організацій та інших зацікавлених сторін (інвесторів, клієнтів тощо). Окремі великі компанії також можуть розглядати майбутні регуляторні вимоги, зокрема застосування Директиви ЄС щодо корпоративної звітності

286 Микола Шлапак. Перспективи використання механізмів вуглецевого фермерства для підтримки розвитку природоорієнтованих рішень у сільському господарстві, https://nbs.wwf.ua/wp-content/uploads/2022/10/shlapak_stattia_perspektyvy-vykorystannia-mekhanizmiv-vuhletsevoho-fermerstva_compressed.pdf

287 Що таке вуглецеві кредити та як вони утворюються?, https://nbs.wwf.ua/shcho-take-vuhletsevi-kredyty-ta-iak-vony-utvoriuiutsia/

про сталий розвиток (CSRD)[288], як стимул для підготовки звітності відповідно до вимог європейський стандартів.

Деякі компанії здійснюють щорічний облік викидів парникових газів відповідно до положень GHG Protocol, а також формують плани скорочення викидів парникових газів і планують встановлення цілей зі скорочення викидів або навіть закладають скорочення викидів парникових газів до пріоритетних напрямів стратегії розвитку. Примітно, що повнота та деталізація обліку викидів парникових газів суттєво відрізняється у різних компаній: деякі компанії обмежуються викидами Обсягу 1 (Scope 1) (в т.ч. із неповним обліком усіх джерел викидів) та Обсягу 2 (Scope 2), тоді як інші проводять детальний облік прямих викидів і оцінюють непрямі викиди Обсягу 3 (Scope 3)). Повнота та деталізація звітів про викиди парникових газів покращується з року в рік, в тому числі завдяки технічній допомозі в рамках проєктів міжнародних фінансових організацій. Кілька компаній також подають звіти до CDP (наприклад, Kernel, Астарта), а для окремих активів навіть встановлюють науково-обґрунтовані цілі (Kernel для одного із олійно-екстракційних заводів). З'являються також приклади кількісних цілей щодо скорочення викидів або цільових показників запровадження окремих кліматичних технологій (наприклад, ІМС).

Аналіз корпоративних звітів зі сталого розвитку основних компаній[289], дозволяє виділити такі пріоритети лідерів сектору в частині кліматичного урядування та запровадження кліматичних технологій:

- дослідження ефективності різних технологій, які дозволяють покращувати вміст органічного вуглецю ґрунту, шляхом їх використання на невеликих площах та експериментів із різними підходами та практиками (покривні культури, мінімальний обробіток ґрунту, різні підходи до управління рослинними рештками);
- використання технологій точного землеробства, зокрема, систем автопілотів для сільськогосподарської техніки та диференційованого внесення добрив, а також розбудова власних інформаційних продуктів та систем, в тому числі накопичення великих масивів інформації про стан полів, культур та використання техніки, і їх опрацювання за допомогою штучного інтелекту;
- використання власних ресурсів (лушпиння насіння соняшника, відходи тваринництва тощо) для виробництва теплової та електричної енергії з відновлюваних джерел;
- вивчення можливостей використання вуглецевого фермерства для залучення додаткового фінансування для впровадження кліматичних технологій, у тому числу дослідження підходів до оцінки зміни вмісту органічного вуглецю в ґрунті;
- розбудова власної інфраструктури для здійснення аналізів ґрунтів та контролю різноманітних показників із використанням польових досліджень та дистанційних

288 Офіс зеленого переходу. Практичне застосування Директиви ЄС щодо корпоративної звітності про сталий розвиток (CSRD), https://gto.dixigroup.org/assets/images/files/1-gto-csrd.pdf

289 Ознайомитися зі звітами та іншою інформацією можна за посиланнями: Кернел - https://www.kernel.ua/sustainable-development/, Астарта - https://astartaholding.com/en/reports/, МХП - https://mhp.com.ua/en/mhp-se/nefinansovi-zviti, Нібулон - https://www.nibulon.com/en/sustainable-development/, ІМК - https://imcagro.com.ua/ua/dlya-investorov/financial-reports , UkrLandFarming - https://www.ulf.com.ua/en/sustainability/care-about-nature/, Контінентал Фармерз Груп - https://cfg.com.ua/en/csr/annual-csr-report/, Harveast - https://www.harveast.com/en/page/corporate-social-responsibility, Нібулон - https://www.nibulon.com/en/sustainable-development.

методів моніторингу;

- розуміння важливості адаптації до наслідків зміни клімату, які уже проявляються у формі вищих середніх річних температур повітря та менших обсягів опадів протягом окремих сезонів, що відображається у поступовому коригуванні структури сівозміни зі збільшенням частки озимих культур та вибором більш стійких до посух сортів, а також вивченням можливості збільшення площ під зрошенням.

Більшість компаній, навіть серед великих агрохолдингів, проте, запроваджують лише окремі технології та ініціативи і не обов'язково пов'язують їх із зменшенням кліматичного впливу, а також не мають обліку викидів парникових газів та цілей із їх скорочення.

Для **доступу до багатьох джерел фінансування** та ринків українським компаніям важливо зменшувати вплив сільськогосподарської діяльності на довкілля та демонструвати лідерство у запровадженні кліматичних технологій. Як згадувалося вище, міжнародні фінансові організації встановлюють власні цільові показники щодо відповідності фінансування цілям Паризької кліматичної угоди та їх внеску у підтримку переходу до зеленої економіки. Задля досягнення таких цільових показників, позичальники мають інтегрувати у проєкти та програми, які фінансуються, компоненти та заходи, які дозволять класифікувати проєкти як такі, що відповідають цілям Паризької угоди або підтримують перехід до зеленої економіки.

Українські компанії активно вивчають, а деякі навіть беруть **участь у проєктах добровільного ринку скорочень викидів парникових газів** для залучення додаткових фінансових ресурсів від продажу вуглецевих одиниць. Зокрема, аграрні компанії наразі аналізують можливості доступу до існуючих міжнародних механізмів добровільних проєктів скорочення викидів парникових газів (Gold Standard for Global Goals, Verra Verified Carbon Standard[290] та інші). Однак, потенційно можуть з'являтися і нові можливості в рамках міжнародної співпраці відповідно до механізмів статті 6 Паризької угоди (співпраця між окремими країнами за статтею 6.2 Паризької угоди та нового проєктного механізму сталого розвитку за статтею 6.4 Паризької угоди).

Іншим фінансовим стимулом для підприємств можуть бути **програми скорочення викидів в межах ланцюгів постачання** (Within Value Chain Mitigation (WVCM))[291] великих клієнтів українських компаній. Глобальні компанії, які купують продукцію з України, встановлюють науково-обґрунтовані цілі зі скорочення викидів в рамках Science-Based Targets initiative (SBTi), які охоплюють викиди та поглинання вуглецю від сільськогосподарської діяльності (відповідно до керівництв для сектору Forest, Land, and Agriculture (FLAG)). Для скорочення непрямих викидів Обсягу 3 (Scope 3), пов'язаних зі використанням сільськогосподарських продуктів, вони розробляють програми скорочення викидів в межах ланцюгів постачання. Для розробників таких програм важливо надавати підтримку фермерам та сільськогосподарським виробникам для запровадження сталих сільськогосподарських практик, в т.ч. навчання, допомогу із моніторингом та звітністю і фінансові стимули. Моніторинг досягнутих кліматичних переваг має бути гнучким, оскільки практики та інструменти моніторингу у секторі сільського

290 Див. приклади проєктів, які охоплюють українські компанії: The regenerative and eco-oriented agriculture project in Ukraine, https://registry.verra.org/app/projectDetail/VCS/5392; The Seeds of Recovery: The Ukrainian Regenerative Agriculture & Carbon Removal Program, https://registry.verra.org/app/projectDetail/VCS/5376; The Carbon Credit Ukraine Initiative, https://registry.verra.org/app/projectDetail/VCS/5278; The Regenerative Agriculture Project for Eastern European Soils, https://registry.verra.org/app/projectDetail/VCS/4951; The AgreenaCarbon Project, https://registry.verra.org/app/projectDetail/VCS/4022.

291 Використовується також загальний термін інсеттінг (insetting), однак він, як правило, також охоплює скорочення викидів за межами ланцюгів постачання Beyond Value Chain Mitigation (BVCM).

господарства постійно розвиваються, але разом із тим і надійним, аби підтвердити постійні скорочення викидів або поглинання і узгодженість із методиками, що використовуються для обліку корпоративних викидів парникових газів. При цьому у програмах скорочення викидів в межах ланцюгів постачання окрім скорочення викидів та збільшення поглинання вуглецю враховуються і додаткові переваги.[292]

Варто пам'ятати, що наразі існує багато інструментів та надавачів послуг із моніторингу та звітності скорочень викидів парникових газів, однак загальні вимоги для агросектору все ще перебувають на етапі формування та змін.[293] Зокрема, GHG Protocol з 2020 року веде розробку спеціального керівництва The Land Sector and Removals Guidance, яке враховуватиме положення стандартів GHG Protocol та пояснюватиме підходи до обліку та звітності викидів парникових газів та поглинання вуглецю у процесі управління земельними ресурсами, змін землекористування, використання технологій поглинання вуглецю тощо. Очікується, що відповідний стандарт (The Land Sector and Removals Standard) та керівництво до нього буде опубліковане до кінця 2025 року, а одним із проблемних питань залишається оцінка так званих «витоків»[294] при обліку викидів у сільському господарстві.[295]

Усі описані вище механізми дозволяють українським виробникам отримати додаткові фінансові вигоди від запровадження кліматичних технологій. Разом з тим, важливим є розробка узгоджених підходів до обліку викидів і моніторингу, звітності та верифікації скорочень викидів або збільшення поглинання, аби забезпечити прозорість та уникнути подвійного обліку.

292 3Keel. Addressing agricultural scope 3 emissions: Best-practice principles for Within Value Chain Mitigation, https://www.3keel.com/wp-content/uploads/2025/01/WVCM_Report.pdf

293 Див. List of Land Sector Calculation Resources - Version 1.2, https://ghgprotocol.org/land-sector-and-removals-guidance

294 Негативний вплив (збільшення викидів чи зменшення поглинання) поза встановленими межами обліку викидів компанією, який спричинений діяльністю компанії. Наприклад, у випадках, коли кліматичні технології одночасно із поглинанням вуглецю зменшують продуктивність сільськогосподарського виробництва, що може призвести до розорювання додаткових земельних ділянок в інших регіонах для компенсації втрати урожаю.

295 GHG Protocol. Land Sector and Removals Guidance, https://ghgprotocol.org/land-sector-and-removals-guidance

6. Зелений перехід у сільському господарстві та вступ до ЄС

Питання зеленого переходу у сільському господарстві будуть вкрай важливими під час процесу вступу до ЄС та адаптації національного законодавства до вимог ЄС, в тому числі реформування системи державної підтримки та майбутнього доступу до інструментів спільної аграрної політики, яка також зазнаватиме суттєвих змін у процесі підготовки до вступу України в ЄС.

6.1 Стратегічні документи та ініціативи ЄС для агросектору та збереження ґрунтів

Кліматичні аспекти враховані у багатьох стратегічних документах ЄС щодо розвитку агросектору та збереження якості ґрунтів.

Стратегія «Від ферми до виделки» (Farm to Fork Strategy)[296] є одним із ключових стратегічних документів Європейського зеленого курсу і визначає цілі з підвищення ефективності використання добрив, скорочення використання пестицидів, сприяння органічному землеробству та інші сталі практики ведення сільського господарства. Серед цілей стратегії – зменшення довкіллєвого та кліматичного відбитку систем виробництва продуктів харчування в ЄС, а також підвищення їх стійкості і продовольча безпека в умовах зміни клімату.

Стратегія щодо ґрунтів до 2030 року (Soil Strategy for 2030)[297] ставить цілі забезпечення здоров'я та стійкості ґрунтових екосистем, зменшення забруднення ґрунтів, а також захист ґрунтів і запровадження сталих практик управління ґрунтами та відновлення деградованих ґрунтів. Заходи стратегії, зокрема, включають відновлення осушених торфовищ та покращення моніторингу ґрунтів.

Крім того, ґрунтова угода для Європи (EU Mission: A Soil Deal for Europe) – це одна із місій Європейської Комісії, яка спрямована на підтримку цілей Зеленого Курсу. Ця місія ЄС щодо збереження ґрунтів Європи покликана забезпечити фінансування досліджень та інноваційних програм та створити до 2030 року 100 «живих» лабораторій та центрів демонстрації кращих практик (lighthouses), які будуть використані для досліджень та тестування методів моніторингу якості ґрунтів. Цілі місії включають збереження вмісту органічного вуглецю в ґрунтах.[298]

Одним із заходів, передбачених Стратегією щодо ґрунтів до 2030 року, є розробка законодавчого документу щодо здоров'я ґрунтів. Зокрема, ведеться робота над розробкою і затвердженням директиви про моніторинг та стійкість ґрунтів (Soil monitoring and resilience directive).[299]

296 Farm to Fork strategy, https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en ; https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0381

297 Soil Strategy for 2030, https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-health/soil-strategy-2030_en ; https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699

298 EU Mission: A Soil Deal for Europe, https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/soil-deal-europe_en ; https://mission-soil-platform.ec.europa.eu/

299 Vivienne Halleux. EU Legislation in Progress. European Parliamentary Research Service, November 2024. Soil monitoring and resilience directive, https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2024/757627/EPRS_BRI(2024)757627_EN.pdf ; https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0416

6.2 Регламент про розподіл зусиль

Регламент про розподіл зусиль (Effort Sharing Regulation (ESR)) встановлює загальну ціль зі скорочення викидів для секторів, які не охоплені системою торгівлі викидами ЄС (будівлі, транспорт, відходи, сільське господарство, мала промисловість), на рівні 40% у порівнянні із 2005 роком, а також обов'язкові до виконання цілі для кожної країни ЄС. Таким чином, зобов'язання не встановлюють окремих цілей для сільського господарства, але охоплюють відповідні джерела викидів – викиди CH_4 та N_2O у категорії «Сільське господарство» та викиди CO_2 від спалювання палива для потреб сільського господарства.

Цілі для кожної країни і річні обмеження щодо викидів (Annual Emission Allocations (AEAs)) для 2021-2030 років встановлюються із урахуванням ВВП на одиницю населення та фінансової ефективності досягнення цілей у різних країнах.

Регламент також передбачає низку інструментів гнучкості для досягнення цілей, що включає перенесення обсягів дозволених викидів між періодами, між країнами та між різними інструментами кліматичної політики (наприклад, досягнення цілей регламенту про розподіл зусиль за рахунок вищих результатів у збільшенні поглинань вуглецю у секторі землекористування). Рівень гнучкості вищий для країн, в яких висока частка викидів від сільського господарства.

Нещодавні оцінки[300] свідчать, що прогнозовані викиди в секторах, які підпадають під дію регламенту, будуть вищими за встановлену ціль, тому країни-члени ЄС мають запровадити додаткові заходи та політики задля скорочення викидів. Зокрема, звертається увага на дуже обмежене історичне та очікуване скорочення викидів у сільському господарстві, що також вимагає додаткових дій від країн ЄС. Із суттєвими скороченнями викидів в інших секторах, частка сільського господарства в загальному обсягу викидів парникових газів тільки зростатиме.

6.3 Регламент щодо сектору землекористування

Регламент ЄС щодо землекористування, зміни землекористування та лісового господарства (LULUCF Regulation)[301] регулює викиди CO_2 внаслідок змін в управлінні земельними ресурсами, де у контексті агросектору найважливіше значення мають зміни в управлінні орними землями та пасовищами. Даний регламент містить положення щодо викидів та поглинання вуглецю від ґрунтів, рослин та інших джерел біомаси.

Загальна ціль, закладена у регламенті, полягає у збільшенні обсягів поглинання вуглецю на додаткові 42 мільйони тонн CO_2-екв. до 2030 року у порівнянні із середніми значеннями 2016-2018 років, що відповідає загальному обсягу поглинань на рівні 310 мільйонів тонн CO_2-екв. Як і у випадку із Регламентом про розподіл зусиль, загальна ціль була трансформована в окремі цілі для кожної країни, враховуючи національні обставини. Регламент також передбачає декілька механізмів гнучкості та умови їх використання.

300 Report from the Commission to the European Parliament and Council on the operation of the European Climate Law and of the Effort Sharing Regulation, and on the Emissions Trading System Directive in the context of the global stocktake (May, 2024), https://climate.ec.europa.eu/document/download/4256fbc6-1467-4430-aa04-0c856810c4a7_en?filename=COM_2024_196_1_EN_ACT_part1_v3.pdf

301 Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework, and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU, OJ L 156, 19.6.2018

Хоч в цілому сектор землекористування забезпечує поглинання на рівні ЄС, в останні десятиліття обсяги поглинання зменшуються, оскільки збільшується заготівля деревини та зменшується приріст лісів з різних причин, і, відповідно, скорочуються обсяги поглинань лісами, а викиди від землекористування в категорії орних земель залишаються високими.

Відповідно до нещодавніх оцінок[302], очікуваний обсяг поглинань на рівні ЄС у 2030 році складе 239-260 мільйонів тонн CO_2-екв., що на 50-70 мільйонів тонн CO_2-екв. менше за встановлену ціль. Таким чином, необхідне суттєве підвищення обсягів поглинань вуглецю і ЄС працює над відповідними механізмами сертифікації, в тому числі сертифікації поглинання за рахунок так званого вуглецевого фермерства.

Регламент також покладає на країни-члени ЄС зобов'язання щодо покращення обліку викидів та поглинань вуглецю у секторі землекористування.

6.4 Спільна аграрна політика

Спільна аграрна політика (САП) – це система державної підтримки агросектору у ЄС, яка була запроваджена ще у 1962 році з метою підтримки продуктивності сектору, гідного рівня доходу для фермерів, стабільного постачання доступних харчових продуктів, а також сталого управління природними ресурсами і розвитку сільських територій. Інструменти політики змінюються з часом і базуються на загальних вимогах, які визначаються на 5-річний період, а також на Стратегічних планах[303], які затверджуються Європейською Комісією для кожної країни-члена.

Спільна аграрна політика на поточний період (CAP 2023-27) розпочала діяти на початку 2023 року і покликана сприяти досягненню цілей Європейського Зеленого Курсу (European Green Deal), Стратегії від ферми до виделки (Farm to Fork Strategy) та Стратегії із біорізноманіття (Biodiversity Strategy). Таким чином, питання зміни клімату і сталих практик сільського господарства є невід'ємною частиною системи державної підтримки агросектора в ЄС.

Спільна аграрна політика на 2023-2027 регулюється трьома регламентами:

- Регламент щодо фінансування, управління та моніторингу САП (Regulation (EU) 2021/2116)[304];
- Регламент щодо запровадження правил підтримки національних стратегічних планів в рамках САП (Regulation (EU) 2021/2115)[305];
- Регламент щодо змін різних регламентів щодо аграрних ринків, схем якості сільськогосподарських продуктів та інших питань (Regulation (EU) 2021/2117)[306].

302 Report from the Commission to the European Parliament and Council on the operation of Regulation (EU) 2018/841 ("LULUCF Regulation") pursuant to Article 17(2) as amended by Regulation (EU) 2023/839, https://climate.ec.europa.eu/document/download/d4e254cf-ae7f-4d78-bfbb-979ae34a23dd_en?filename=COM_2024_195_1_EN_ACT_part1_v3.pdf

303 CAP Strategic Plans, https://agriculture.ec.europa.eu/cap-my-country/cap-strategic-plans_en

304 Regulation (EU) 2021/2116, repealing Regulation (EU) 1306/2013 on the financing, management and monitoring of the CAP

305 Regulation (EU) 2021/2115, establishing rules on support for national CAP strategic plans, and repealing Regulations (EU) 1305/2013 and 1307/2013

306 Regulation (EU) 2021/2117, amending Regulation (EU) 1308/2013 on the common organisation of the agricultural markets; Regulation (EU) No 1151/2012 on quality schemes for agricultural products; Regulation (EU) No 251/2014 on geographical indications for aromatised wine products; and Regulation (EU) No 228/2013 laying down measures for agriculture in the outermost regions of the EU

Серед ключових цілей САП – внесок у запобігання зміні клімату та адаптацію до наслідків зміни клімату, включаючи скорочення викидів парникових газів та посилення поглинання вуглецю, а також поширення сталих джерел енергії.

Спільна аграрна політика використовує такі основні інструменти:

- підтримка дохідності через прямі платежі, які, зокрема, винагороджують фермерів за екологічно-дружні практики ведення сільського господарства;
- ринкові заходи, які спрямовані на коригування складних ринкових умов на зразок різкого падіння попиту або цін;
- розвиток сільських територій через національні та регіональні програми.

Спільна аграрна політика фінансується з бюджету ЄС через два фонди:

- Європейський фонд аграрних гарантій (European agricultural guarantee fund (EAGF)), який надає пряму підтримку та фінансує ринкові заходи;
- Європейський аграрний фонд розвитку сільських територій (European agricultural fund for rural development (EAFRD)), який фінансує заходи із розвитку сільських територій.

Відстеження результативності САП здійснюється через набір індикаторів різних типів, в тому числі 44 індикатори результатів досягнення визначених цілей політики.[307] Досягнення визначеної цілі, пов'язаної із кліматичною політикою, відстежується за допомоги низки індикаторів:

- Адаптація до зміни клімату (R.12): частка сільськогосподарських земель із зобов'язаннями щодо покращення адаптації до зміни клімату в рамках програми підтримки;
- Скорочення викидів від тваринництва (R.13): частка тваринницьких ферм із зобов'язаннями щодо скорочення викидів парникових газів, в тому числі від поводження з відходами, в рамках програми підтримки;
- Зберігання вуглецю у ґрунті та біомасі (R.14): частка сільськогосподарських земель із зобов'язаннями щодо скорочення викидів або збереження чи збільшення обсягів поглинання вуглецю;
- Відновлювана енергія із сільськогосподарської та лісогосподарської сировини або джерела відновлюваної енергії (R.15): підтримка інвестицій у збільшення потужностей, в тому числі із використанням біомаси;
- Кліматичні інвестиції (R.16): частка ферм, для яких надається інвестиційна підтримка в рамках САП, що сприяє запобіганню зміні клімату і адаптації, а також виробництву відновлюваної енергії або біоматеріалів;
- Заліснення територій (R.17): площа ділянок, для заліснення яких надана підтримка, в тому числі агролісівництво.

307 Results indicators dashboard, https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DashboardCapPlan/result_indicators.html

6.5 Система торгівлі викидами

Наразі система торгівлі викидами (СТВ) ЄС та заплановані зміни щодо СТВ 2 не охоплюють сільське господарство.

В рамках існуючої системи торгівлі викидами (СТВ 1) можуть бути лише окремі потенційні випадки наявності великих енергетичних установок (більше 20 МВт) на сільськогосподарських підприємствах, які будуть охоплені системою торгівлі викидами.

СТВ 2 – це нова система торгівлі викидами, яка охоплюватиме споживання палива у транспорті, секторі будівель та інших секторах, де використовуються установки, що генерують викиди, однак не підпадають під дію наявної системи торгівлі викидами.[308] Планується, що СТВ 2 розпочне роботу у 2027 році (якщо не буде активоване положення про відтермінування до 2028 року, що можливо у випадку зростання цін на нафту та природний газ). Відмінністю нової системи торгівлі викидами від існуючої є те, що основні зобов'язання накладаються на організації, які постачають паливо, а не операторів установок, які власне спалюють це паливо.

Споживання палива сільськогосподарськими підприємствами не входить до сфери охоплення майбутньої системи торгівлі викидами. Зокрема, виключаються викиди від споживання будь-якого типу палива сільськогосподарськими підприємствами, які обліковуються у категорії CRF 1A4c національного кадастру, викиди від споживання палива сільськогосподарською технікою (категорія CRF 1A4c або CRF 1.A.3.e.ii. національного кадастру), в тому числі під час переміщення звичайними дорогами.

Разом з тим, Європейська Комісія розглядає можливість запровадження окремої системи торгівлі викидами для сільського господарства (СТВ 3). Такі обговорення знаходяться на ранніх етапах і передбачається здійснення додаткових досліджень із потенційною підготовкою законодавчих пропозицій у 2026 році.[309]

6.6 Поглинання вуглецю та вуглецеве фермерство

Регламент щодо поглинання вуглецю та сертифікації вуглецевого фермерства (EU Carbon Removals and Carbon Farming Certification (CRCF) Regulation)[310] розробляється для створення добровільної системи сертифікації поглинання вуглецю, в тому числі завдяки сталим практикам сільського господарства та вуглецевому фермерству.

Вуглецеве фермерство охоплює практики, які підвищують обсяги поглинання вуглецю лісами та ґрунтами або скорочують викиди парникових газів від ґрунтів. Приклади таких практик включають:

- Відновлення торфовищ та водно-болотних угідь для скорочення окиснення вуглецю та підвищення поглинання вуглецю;

308 ETS2: buildings, road transport and additional sectors, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en

309 EU Commission announces new impact studies on Agriculture-Food ETS carbon pricing, https://www.tappcoalition.eu/nieuws/22222/eu-commission-announces-new-impact-studies-on-agriculture-food-ets-carbon-pricing

310 Carbon Removals and Carbon Farming, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en

- Агролісівництво та інтеграція дерев та кущів на ділянки вирощування сільськогосподарських культур та тварин;
- Впровадження заходів із захисту ґрунтів, таких як проміжні культури, покривні культури, ґрунтозахисний обробіток ґрунту та живоплоти;
- Підвищення ефективності використання добрив з метою скорочення викидів закису азоту.

Залежно від типів проєктів, можуть утворюватися вуглецеві одиниці поглинання (Carbon farming sequestration unit) або скорочення викидів (Soil emission reduction unit). Такі вуглецеві одиниці можуть використовуватися для цілей корпоративної звітності, залучення фінансування або для інших цілей.[311]

Для запровадження механізму сертифікації ще необхідне затвердження методологій обрахунку обсягів скорочення викидів та поглинання вуглецю, правил незалежної верифікації та інших процедурних документів.

6.7 Закон про відновлення природи

Закон про відновлення природи (Nature Restoration Law)[312] був остаточно прийнятий у червні і набув чинності у серпні 2024 року. Метою документу є відновлення екосистем, оселищ та видів на території ЄС задля довгострокового відновлення біорізноманіття, а також для підтримки досягнення цілей із запобігання зміні клімату та адаптації до її наслідків.[313]

Країни-члени ЄС мають запровадити заходити з відновлення для посилення біорізноманіття в аграрних екосистемах, враховуючи питання зміни клімату, соціальні та економічні потреби сільських територій, а також потребу сталого сільськогосподарського виробництва.

Цілі, пов'язані із агроекосистемами, зокрема, включають збільшення запасів органічного вуглецю у мінеральних ґрунтах на орних землях, а також відновлення осушених торфовищ, які використовуються у сільськогосподарських цілях. Для прикладу, індикатор «Запас органічного вуглецю у мінеральних ґрунтах на орних землях» описує вміст органічного вуглецю у шарі від 0 до 30 см у тоннах органічного вуглецю не гектар.[314]

Регламент передбачає, що при розробленні національних планів відновлення необхідно взаємоузгодити та посилити заходи з відновлення екосистем з уже існуючими в державах стратегічними документами в інших секторах економіки, в тому числі в аграрній політиці, а тому запровадження положень регламенту потребувати координації різних органів влади та відповідних змін до національного законодавства.[315]

311 Q&A on the provisional agreement on the CRCF Regulation, https://climate.ec.europa.eu/document/download/a8abe1c4-a3c6-4c94-be0e-4b76f7fd0308_en?filename=policy_carbon_faq_crcf_regulation_en.pdf

312 Nature Restoration Law text, https://www.consilium.europa.eu/en/meetings/env/2024/06/17/

313 Nature Restoration Law, https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law_en

314 Вимірювання мають здійснюватися відповідно до методології, описаній у Додатку V до Регламенту (ЄС) 2018/1999 відповідно до 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, а також із використанням Land Use and Coverage Area frame Survey (LUCAS) Soil, Jones A. et al., LUCAS Soil 2022, JRC technical report, Publications Office of the European Union, 2021.

315 РАЦ Суспільство і довкілля. Регламент ЄС про відновлення природи та шляхи впровадження в Україні, https://rac.org.ua/vstup-do-yes-uk/acquis-yes/reglament-yes-pro-vidnovlennya-pryrody-ta-shlyahy-vprovadzhennya-v-ukrayini/

6.8 Директива щодо моніторингу ґрунтів та стійкості

Директива щодо моніторингу ґрунтів та стійкості (Soil Monitoring Law)[316] наразі лише розглядається для затвердження в ЄС. У випадку затвердження, директива встановлюватиме вимоги щодо моніторингу та оцінки здоров'я ґрунтів, сталого управління ґрунтами та поводження із забрудненими земельними ділянками.

До показників, які підлягатимуть моніторингу, включено концентрацію органічного вуглецю в ґрунті (г / кг), для контролю втрати органічного вуглецю ґрунтами. Відповідні вимірювання мають відбутися протягом 4 років із дня затвердження директиви і надалі повторюватися кожні 5 років.

Директива також встановлюватиме вимоги визначити переліки негативних та позитивних практик управління ґрунтами, які мають бути враховані при підготовці та впровадженні різних політик та заходів.

6.9 Директива про викиди від промисловості і тваринництва

У серпні 2024 року була введена в дію нова Директива 2024/1785[317] про викиди від промисловості та тваринництва (Industrial and Livestock Rearing Emissions Directive (IED 2.0)).[318] Дана директива змінює Директиву 2010/75/ЄС та виступатиме основним інструментом для зменшення викидів в атмосферне повітря, забруднення водних та земельних ресурсів, а також уникнення утворення відходів від великих промислових підприємств та тваринницьких господарств (комплексів із вирощування свиней та птахів). Нова директива розширює охоплення тваринницьких господарства, для яких поширюються вимоги щодо промислових викидів. Директива, проте, не поширюється на малі й середні підприємства, а також на господарства із сертифікацією виробника органічної продукції.

Директива передбачає використання збірників кращих доступних технологій для різних галузей при встановленні вимог екологічних дозволів. Крім того, дозволи мають включати кількісні вимоги щодо ефективності використання ресурсів, в тому числі енергетичних ресурсів.

Підприємства також повинні будуть розробляти плани трансформації, які описуватимуть, як відбуватиметься прогрес в частині декарбонізації, нульових викидів та кругової економіки.

Нові правила для підприємств галузі сільського господарства будуть запроваджуватися поступово, аби дати можливість фермерам адаптуватися до нових вимог. Разом з тим, планується і розширення вимог, зокрема, плануються дослідження щодо включення додаткових вимог для підприємств із вирощування великої рогатої худоби, в тому числі заходів для урахування екологічного впливу при імпорті продукції тваринництва.

316 Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law) COM/2023/416 final, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0416

317 Directive (EU) 2024/1785 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 amending Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) and Council Directive 1999/31/EC on the landfill of waste, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AL_202401785

318 Industrial and Livestock Rearing Emissions Directive (IED 2.0), https://environment.ec.europa.eu/topics/industrial-emissions-and-safety/industrial-and-livestock-rearing-emissions-directive-ied-20_en

6.10 Регламент ЄС щодо знеліснення та деградації лісів (EUDR)

Регламент ЄС щодо знеліснення та деградації лісів (EUDR)[319] визначає правила розміщення на європейському ринку визначеного переліку продуктів, виробництво яких може бути пов'язано із вирубкою та деградацією лісів. Зокрема, до переліку входять продукти з сої (соєві боби, соєві борошно та шрот, соєва олія та макуха) та окремі продукти тваринництва (жива велика рогата худоба та м'ясо, субпродукти і шкіра ВРХ). Метою регламенту є мінімізація впливу ЄС на знеліснення та деградацію лісів в усьому світі, а також на викиди парникових газів та втрату біорізноманіття, які пов'язані із знелісненням.

Регламент встановлює вимоги щодо простежуваності товарів та надання інформації про координати полів, на яких вирощувалася рослинна продукція, для підтвердження відсутності знеліснення та деградації лісів, підтвердження дотримання вимог відповідного національного законодавства, а також незалежного аудиту.

Рівень контролю за дотриманням вимог регламенту буде залежати від категорії ризику країни походження (високого, середнього чи низького).[320] Україна, як і більшість країн, віднесена до категорії країн із низьким рівнем ризику.[321] Європейська Комісія розробляє підходи до визначення ризиків та запровадження низку спрощень для зменшення адміністративного навантаження.[322]

Хоч для України не характерні значні вирубки лісів для ведення сільського господарства, положення регламенту стосуються і відповідних товарів, які імпортуються до ЄС з України. Відповідно, виробники мають надавати інформацію про місця вирощування та підтверджувати відсутність знеліснення на цих територіях після 31 грудня 2020 року, в тому числі вирубки лісосмуг та самосійних лісів.[323] Більшість вимог щодо звітності будуть запроваджені з 30 грудня 2025 року.

319 Regulation (EU) 2023/1115 of the European Parliament and of the Council of 31 May 2023 on the making available on the Union market and the export from the Union of certain commodities and products associated with deforestation and forest degradation and repealing Regulation (EU) No 995/2010, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1115&qid=1687867231461

320 Country Benchmarking, https://green-forum.ec.europa.eu/deforestation-regulation-implementation/eudr-cooperation-and-partnerships_en

321 ЕС, https://green-forum.ec.europa.eu/deforestation-regulation-implementation/eudr-cooperation-and-partnerships/country-classification-list_en

322 Commission takes action to simplify the implementation of the EU Deforestation Regulation, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_1063

323 Регламент визначає знеліснення (deforestation) як перехід лісів у сільськогосподарське використання, а ліс як територію понад 0,5 га з деревами вище 5 м та кроновим покриттям понад 10 %, або такі, що здатні досягти цих величин на місці зростання (in situ), за винятком земель, що переважно використовуються для сільського господарства або в межах міської забудови. Див. також додаткові пояснення: https://environment.ec.europa.eu/document/download/5dc7aa19-e58f-42a3-bbbe-f0eb2e5a1d3a_en

dixigroup ANALYTICS ON DUTY

Офіс Зеленого Переходу

UK International Development
Partnership | Progress | Prosperity

Офіс зеленого переходу є незалежним консультативно-дорадчим органом при Міністерстві економіки України, який допомагає впроваджувати реформи у сфері зеленого переходу, енергетичної та кліматичної політики України. Офіс зеленого переходу здійснює свою діяльність за фінансової підтримки Агенції Великої Британії з міжнародного розвитку та імплементується ГО «ДІКСІ ГРУП».

Позиції, представлені у дослідженні, відображають лише позиції ГО «ДІКСІ ГРУП» (Офісу зеленого переходу).