

Виробництво передового біометану з проміжних і покривних культур

АНАЛІТИЧНА
ЗАПИСКА № 1

Георгій Гелетука
Тетяна Железна
Семен Драгнев
Петро Кучерук
Володимир Крамар



Замовник:
The Energy Community

Виконавець:
ГС "БІОЕНЕРГЕТИЧНА
АСОЦІАЦІЯ УКРАЇНИ" (UABIO)

Контракт:
PN01-2025_Ukrainian Biomethane
Sector Development

05/2025

 UK International
Development
Partnership | Progress | Prosperity

UABIO





ОБ'ЄДНУЄМО ЕНЕРГЕТИКУ ЄВРОПИ СЬОГОДНІ

energy-community.org

ВІДМОВА ВІД ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ

Цей матеріал було профінансовано завдяки допомозі уряду Сполученого Королівства; проте висловлені думки не обов'язково відображають офіційну позицію уряду Сполученого Королівства.

05/2025

Зміст

Зміст	3	6. Можливості для вирощування проміжних і покривних культур для виробництва передового біометану в Україні з урахуванням регіональних аспектів	32
Перелік скорочень	4		
Вступ	5		
1. Основні визначення і терміни	6	<i>Агрокліматичні умови України для вирощування проміжних і покривних культур</i>	32
<i>Вітчизняна література</i>	6	<i>Вітчизняний досвід вирощування проміжних культур для кормовиробництва</i>	36
<i>Директива RED III та інше законодавство ЄС</i>	7	<i>Впровадження проміжних і покривних культур для виробництва біогазу у сівозміну</i>	39
2. Загальні підходи до вирощування проміжних та покривних культур для виробництва біогазу	8	7. ТЕО вирощування і збирання проміжних і покривних культур в Україні	44
<i>Фактори росту сільськогосподарських культур</i>	8	<i>Вихідні дані</i>	44
<i>Особливості вирощування проміжних та покривних культур</i>	12	<i>Оцінка витрат на вирощування та збирання жита як озимої проміжної культури</i>	45
<i>Проміжні та покривні культури як сировина для виробництва біогазу/біометану</i>	14	<i>Оцінка витрат на вирощування та збирання вико-вівсяної суміші як післяжнивної культури</i>	46
3. Вплив на ґрунт від використання біомаси з проміжних і покривних культур для виробництва біометану	17	8. ТЕО виробництва біометану з проміжних і покривних культур в Україні	49
4. Міжнародний досвід вирощування проміжних і покривних культур	20	9. Оцінка потенціалу виробництва біометану в Україні з урахуванням проміжних і покривних культур	56
<i>Дослідження JRC досвіду Іспанії, Франції, Нідерландів, Румунії</i>	20	Висновки та рекомендації	60
<i>Приклад фермерського господарства в Італії (концепція Biogasdoneright™)</i>	20	Додаток 1.	62
<i>США</i>	23	<i>Перелік типових культур які вирощуються як проміжні та покривні у різних частинах світу та напрямки їх додаткового використання</i>	
5. Енергетичний потенціал проміжних і покривних культур в Європі і США	25		
<i>Європа</i>	25		
<i>США</i>	32		

Перелік скорочень

АЗ

аналітична записка

АПК

агропромисловий комплекс

БАУ

Біоенергетична асоціація України

БГУ

біогазова установка

ВДЕ

відновлювані джерела енергії

ДП

дизельне паливо

ЗЗР

засоби захисту рослин

ККД

коефіцієнт корисної дії

ЛТР

леткі тверді речовини

МПК

міжпосівні і покривні культури

ОВБСН

обрізка та викорчовування багаторічних
сільськогосподарських насаджень

ПГ

парникові гази

ППМ

паливно-мастильні матеріали

ППК

проміжні/покривні культури

РНД

ринок на добу вперед

САП

стале авіаційне паливо

ТО

технічне обслуговування

ТПВ

тверді побутові відходи

Н.д.

немає даних

н.е.

нафтовий еквівалент

с/г

сільське господарство

с.р.

суха речовина

с.м.

суха маса

ФАР

фотосинтетично-активна радіація

Corg

органічний вуглець

ЕДж

10¹⁸ Дж

BDR™

Biogasdoneright™

EBA

Європейська біогазова асоціація
(European Biogas Association)

FAO

Продовольча та сільськогосподарська
організація ООН (Food and Agriculture Organiza-
tion of the United Nations)

USDA

Департамент сільського господарства США (U.S.
Department of Agriculture)

SAF

сталі авіаційні палива

Вступ

Метою Аналітичної записки є оцінка потенційних можливостей вирощування проміжних/покривних культур, збору врожаю, логістики та попередньої обробки біомаси для отримання сировини для виробництва передового біометану в Україні.

Біоенергетика відіграє значну роль у глобальному енергопостачанні. Із врахуванням традиційного застосування біомаси¹, яке наразі становить 54% від загального обсягу споживання біомаси для енергетичних потреб, біоенергетика забезпечує сьогодні **2/3** від використання всіх ВДЕ у світі, а її внесок у глобальне кінцеве споживання енергії становить **12%**². Поширення використання технологій *сучасної* біоенергетики матиме вирішальне значення для глобального енергетичного переходу із досягненням «нульових» викидів діоксиду вуглецю. Відповідно до сценарію 1,5°C Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), виробництво енергії з біомаси до 2050 року має збільшитися майже **втричі**, сягаючи 153 Едж/рік³.

Основним викликом цього росту буде забезпечення **сталості**. Потенційні ризики сталого розвитку ланцюга постачання енергії з біомаси пов'язані із землекористуванням, конкуренцією з постачанням продовольства, забрудненням повітря, впливом на якість води і ґрунту, впливом на біорізноманіття та іншими факторами. Тому забезпечення сталості

виробництва енергії з біомаси вздовж всього ланцюга її постачання, починаючи з отримання сталої біомасової сировини, є важливим елементом формування політики в галузі біоенергетики. Вирощені в проміжки часу, вільні від вирощування основних культур у сівозміні, **проміжні/покривні культури** є цінним додатковим джерелом сталої біомаси.

Наразі у ЄС спостерігається бум розвитку сектору **біометану** – біогазу, доведеного до якості природного газу, який можна подавати в газопроводи, транспортувати, зберігати і використовувати на рівні з природним газом. Зокрема, ЄС планує збільшити виробництво біометану з 3,5 млрд м³/рік у 2021 р. до 35 млрд м³/рік у 2030 р.⁴ Здійснюється пріоритетна підтримка виробництва біометану з відходів та залишків, які не конкурують з продуктами харчування і кормами.

Згідно директиви ЄС з відновлюваної енергетики (Директива (ЄС) 2018/2001, або **RED III**)⁵, внесок рідких біопалив і біогазу до виконання цілі ЄС із споживання відновлюваної енергії на транспорті зараховується **подвійно**, згідно енергетичному вмісту, якщо ці рідкі біопалива/біогаз вироблені з видів сировини, перелічених у Додатку IX (ст. 27). Важливо, що проміжні (міжпосівні, покривні) культури, що використовується для виробництва біогазу/біометану, відносяться до сировини з **частини Б Додатку IX RED III**.

1 Використання твердої біомаси (дрова, деревне вугілля та ін.) на відкритому вогні для приготування їжі та опалення.

2 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Aug/IRENA_Bioenergy_for_the_transition_2022.pdf?rev=875a997481f04168b17499f1e5dc1473

3 Едж означає 10¹⁸ Дж.

4 REPowerEU Plan, 2022. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF

5 Directive (EU) 2018/2001. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018L2001-20240716>

Традиційно, в Україні проміжні і покривні культури вирощуються для подальшого використання як зеленого добрива (сидерати) та для виробництва кормів. Розширення площ під такими культурами та їх залучення у ланцюги виробництва біометану, з поверненням поживних речовин у ґрунт із дигестатом, створює нові можливості для розвитку сталої біоенергетики та сільського господарства. Використання проміжних і покривних культур для виробництва біометану – це новий напрямок, що потребує комплексного аналізу можливостей та передумов для його успішного розвитку в умовах України. Отриманий біометан можна використовувати всередині країни як заміну природного газу та традиційних моторних палив, а також експортувати.

Україна потенційно може зайняти до 20% європейського ринку біометану, виробляти понад **20** млрд м³ біометану на рік і залучити до 40 млрд євро інвестицій у цю галузь⁶. Біометан з проміжних і покривних культур, що є предметом даної Аналітичної записки, може зробити внесок у цей загальний обсяг на рівні близько **46%** (**9,2** млрд м³/рік). Для розвитку вітчизняного виробництва біометану важливо створити передумови для раціонального використання наявних та перспективних ресурсів **сталості** біомасової сировини.

⁶ <https://www.epravda.com.ua/columns/2024/01/5/708445/>

Основні визначення і терміни

Вітчизняна література

Культури, які займають поле протягом більшої частини вегетаційного періоду, називаються **основними**. Після збирання багатьох з них та за наявності вологи в ґрунті можна вирощувати рослини для одержання додаткової продукції⁷.

Проміжними називають культури, які вирощуються в інтервалі часу, вільного від вирощування основних культур сівозміни. За рахунок таких посівів з однієї площі протягом року можна мати два, а на зрошуваних землях – і три врожаї, що підвищує коефіцієнт використання сонячної радіації, внаслідок чого продуктивність гектара ріллі зростає в півтора-два рази. При цьому ґрунт значно довше перебуває під покривом рослин, які синтезують органічну масу. Більше половини її залишається в ґрунті у вигляді післяжнивних кореневих решток, що активізують мікрофлору, розкладаються на легкодоступні поживні речовини, поліпшують агрофізичні властивості,

РОЗДІЛ 1

відновлюють родючість ґрунту та підвищують урожайність сільськогосподарських культур.

При вирощуванні двох урожаїв поле зайняте рослинами з ранньої весни до пізньої осені, а при вирощуванні озимих проміжних – ще й узимку. Постійна наявність рослинного покриву позитивно впливає на фізичні властивості ґрунту, міграцію солей у ньому та мікроклімат приземного шару.

За ДСТУ 4691:2006 «Землеробство. Терміни та визначення понять», «проміжна культура – це сільськогосподарська культура, яку вирощують на полі сівозміни, коли воно вільне від основної культури». Як проміжні можна вирощувати різні сільськогосподарські культури з метою отримання додаткового врожаю зерна, зеленої маси, сіна, сінажу. Також їх вегетативна маса може бути використана як органічне добриво⁸.

Залежно від біологічних особливостей та технології вирощування **проміжні культури** поділяють на **післяукісні, післяжнивні, озимі, підсівні**⁷.

⁷ В.П. Гудзь, І.Д. Примак, Ю.В. Будьонний, С.П. Танчик «Землеробство», 2010. https://textbook.com.ua/geografiya/1473445276_ (розділ 3.2.13. Проміжні культури в сівозмінах)

⁸ М.П. Косолап, О.П. Кротінов. Система землеробства No-Till: Навч. посібник. – К.: «Логос», 2011. – 352 с.

Післяукісні – це культури, які вирощують після зібраної на зелений корм, силос або сіно культури в поточному році й використовують меншу частину періоду можливої вегетації.

Післяжнивні культури вирощують після збирання основних культур у поточному році. Якщо вегетаційний період післяукісних культур становить до 140–150 днів, то у післяжнивних він набагато коротший (70–100 днів), а умови забезпечення вологою і теплом гірші. У зв'язку з цим післяжнивні культури повинні швидко рости, бути мало вибагливими до тепла, світла, вологи, мати короткий вегетаційний період, бути стійкими до осінніх приморозків, придатними для використання в різні фази розвитку.



Рис. 1.1. Вирощування суміші післяжнивних культур після кукурудзи у США (фото авторів АЗ).

Озимі проміжні культури висівають у рік збирання основної культури, а урожай збирають навесні наступного року. Такі озимі є проміжними, тому що ростуть і розвиваються в проміжний літньо-осінній та ранньовесняний періоди і займають проміжне місце між двома основними культурами сівозміни. Основний урожай зеленої маси озимі проміжні формують за рахунок вологи і тепла ранньовесняного періоду, а багато з них швидко нарощують вегетативну масу і восени.

Підсівні – це культури, які підсівають навесні під покрив зернових та інших культур і збирають восени того самого року (після збирання основних культур) чи наступної весни. Підсів можна проводити по сходах ярих і озимих культур. Підсівні культури цінні тим, що, на відміну від інших проміжних, не потребують окремого обробітку ґрунту, оскільки їх

підсівають в основні озимі або ярі культури. Біологічним вимогам підсівних культур найкраще відповідають основні культури, які рано звільнюють поле. До них належать кормові, які вирощують для одержання ранніх зелених кормів, а також ранні озимі та ярі зернові культури. Разом з цим підсівна культура на початку вегетації, тобто в період росту під покривом, повинна бути тіневитривалою, повільно рости, використовувати мало вологи і поживних речовин з ґрунту, щоб не пригнічувати основну.

В агрономічній літературі України використовується термін **«проміжна культура»**, тоді як в англомовній літературі більш поширеним є термін **«покривна культура»**⁹. Останній застосовують відносно культур, які вирощують, насамперед, для створення рослинного покриву, незалежно від того чи буде рослинна маса в майбутньому зароблятися в ґрунт як органічне зелене добриво, чи залишатиметься на поверхні ґрунту у вигляді рослинних решток. Доцільність застосування покривних культур залежить від правильно визначеного основного завдання, яке потрібно вирішити за рахунок вирощування покривних культур та обґрунтованого з цією метою їх підбору. Проміжні культури, які вирощують спеціально для заробляння в ґрунт у вигляді зеленого добрива, називають **сидератами**.

Директива RED III та інше законодавство ЄС

У законодавстві ЄС⁹ зазначено, що якщо протягом одного врожайного року на одній площі послідовно вирощують кілька культур, **основною культурою (main crop)** є культура, яка має **найвищу** вартість продукції. Якщо вартість продукції цього не визначає, то основною вважається та культура, яка займає землю **найдовше**.

Регламент Єврокомісії № 2021/2286 від 16.12.2021¹⁰ визначає використання **покривних культур або проміжних культур** як метод

⁹ https://knowledge4policy.ec.europa.eu/glossary-item/main-crop_en#:~:text=Where%20during%20one%20harvest%20year,ground%20for%20the%20longest%20time

¹⁰ COMMISSION REGULATION (EU) 2021/2286 of 16 December 2021 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32021R2286>

збереження ґрунтів. Зазначено, що ці рослини висівають спеціально для зменшення втрат ґрунту, поживних речовин і засобів захисту рослин протягом зими або в інші періоди, коли в іншому випадку земля була б непокритою та вразливою до втрат. Економічна цінність цих культур низька, а головною метою є захист ґрунту та поживних речовин. Зазвичай такі культури заорюють навесні перед посівом іншої культури, не збирають і не використовують для пасовища.

У Директиві RED III⁵ проміжні культури фактично **виключені** з поняття «харчових/кормових» (п. 40 Статті 2 «Визначення»):

«харчові та кормові культури» означає багаті крохмалем культури, цукрові або олійні культури, вирощені на сільськогосподарських угіддях як основна культура, **за винятком** залишків, відходів або лігноцелюлозного матеріалу та **проміжних культур**, таких як **міжпосівні та покривні культури**, за умови, що використання таких проміжних культур не викликає попиту на додаткові землі».

Проміжні культури як біомасова сировина включені у частини А і Б Додатку IX Директиви RED III. Різниця полягає у напрямку їх використання – для виробництва рідкого біопалива для **сектора авіації** (Частина А) або **не** для сектора авіації (Частина В).

Частина А Додатку IX містить перелік видів сировини для виробництва біогазу для транспорту і **передових** рідких біопалив, зокрема:

«(t) **проміжні культури**, такі як міжпосівні та покривні, що вирощуються на території, де через короткий вегетаційний період виробництво продовольчих і кормових культур обмежується одним урожаєм, і за умови, що їх використання не викликає попиту на додаткові землі, а також за умови збереження вмісту органічної речовини в ґрунті, і якщо вони **використовуються** для виробництва **рідкого біопалива для авіаційного сектора**».

Частина Б Додатку IX включає перелік видів сировини для виробництва рідких біопалив та біогазу для транспорту¹¹:

«(f) **Проміжні культури**, такі як міжпосівні та покривні культури, за винятком видів сировини, перелічених у Частині А цього Додатку, які вирощуються на територіях, де через короткий вегетаційний період виробництво продовольчих та кормових культур обмежується одним урожаєм, і за умови, що їх використання не викликає попиту на додаткові землі, а також за умови збереження вмісту органічної речовини у ґрунті, і якщо вони **не використовуються** для виробництва **рідкого біопалива для авіаційного сектора**».

За міжнародною схемою сертифікації сталого розвитку та викидів парникових газів ISCC EU¹², що включає вимоги Директиви RED III, **проміжні культури** можуть бути охоплені сертифікацією ISCC, якщо їх вирощування відповідає вимогам сталості:

Принцип 1: Захист земель з високим рівнем біорізноманіття або з високим вмістом вуглецю.

Принцип 2: Екологічно відповідальне виробництво для захисту ґрунту, води та повітря.

Принцип 3: Безпечні умови праці.

Принцип 4: Дотримання прав людини і праці та відповідальні стосунки з місцевою громадою.

Принцип 5: Дотримання прав на землю, законів і міжнародних угод.

Принцип 6: Належна практика управління та її постійне вдосконалення.

Проміжні культури можуть включати **міжпосівні (catch crops)**, **покривні (cover crops)** або **лейні культури (ley crops)**. Вони є швидкорослими і висіваються поза періодом вирощування основних культур. Проміжні культури висівають або для продажу (наприклад, як корм для худоби), або для покращення родючості ґрунту ріллі для основних культур. Крім відповідності вимогам сталості, також необхідно перевірити, що культури вирощуються поза періодом вирощування основних культур і вирощування є частиною схеми сівозміни (тобто відсутність постійного/багаторічного вирощування).

¹¹ Частка рідких біопалив та біогазу, вироблених з видів сировини із частини Б Додатку IX, не повинна перевищувати 1,7% у енергетичному вмісті палив та електроенергії у транспортному секторі, за винятком Кіпра і Мальти (Стаття 27 Директиви RED III).

¹² https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2024/01/ISCC_EU_201_System_Basics_4.1_January2024.pdf

За певних умов проміжні культури можуть бути сертифіковані аналогічно сільськогосподарським відходам (тобто не потрібен розрахунок викидів парникових газів для вирощування сировини, але необхідне дотримання вимог щодо якості ґрунту та захисту вмісту вуглецю). Втім, такий підхід можна застосувати, якщо вирощування проміжної культури спрямоване на **покращення якості ґрунту, а не на виробництво біомаси**, і якщо азотні добрива не застосовуються з метою збільшення врожайності біомаси. У випадку ж виробництва біомаси, зокрема на біогаз, при сертифікації покривних культур потрібно буде

оцінювати викиди парникових газів при їх вирощуванні.

У даній Аналітичній записці терміни **«проміжні культури» та «покривні культури»** будуть вживатися як **близькі поняття** щодо сільськогосподарських культур, які вирощуються в інтервалі часу, вільного від вирощування основних культур сівозміни, для **різних** цілей, включаючи, захист поверхні ґрунту від ерозії та поглинання надлишків мінеральних добрив, а урожай їх біомаси може бути зібраний для подальшого використання як сировини для виробництва **біогазу і біометану**.

Загальні підходи до вирощування проміжних та покривних культур для виробництва біогазу

Фактори росту сільськогосподарських культур

Ефективність формування врожаю сільськогосподарських культур визначається взаємодією факторів росту, необхідних для метаболічних процесів рослин. До них належать сонячна радіація, температура (тепловий режим), характеристики ґрунту та наявність води, а також контрольоване надходження макро- та мікроелементів. Знання цих взаємодій має важливе значення для вибору відповідних культур і проектування систем вирощування¹³.

Зелені рослини в процесі фотосинтезу з неорганічних речовин (вуглекислого газу і води) утворюють органічні речовини, які накопичуються у біомасі. На **рис. 2.1** зображено схематичний процес перетворення енергії у системі «фотосинтез – анаеробна ферментація – окислення» на прикладі глюкози без урахування втрат при конверсії. У

РОЗДІЛ 2

результаті анаеробної ферментації ця біомаса розкладається і перетворюється у біогаз, основу якого складає метан (55–75%), вуглекислий газ (25–45%) та дигестат (зброджена маса). При окисленні отриманого метану виділяється теплова енергія. Таким чином, біогаз є відновлюваним джерелом енергії, що містить накопичену у біомасі енергію сонця.

Біометан – це газоподібне паливо, отримане з біогазу після відділення вуглекислого газу; концентрація метану в ньому складає 95–98%. Біометан є близьким аналогом природного газу, а тому його можна транспортувати існуючими газовими мережами та використовувати в тих же приладах і промислових процесах без їх модифікацій. **В українському законодавстві біометан визначається як біогаз, що за своїми фізико-хімічними характеристиками відповідає вимогам нормативно-правових актів до природного газу для подачі до газотранспортної або газорозподільної системи**¹⁴.

13 Energy from Organic Materials (Biomass). A Volume in the Encyclopaedia of Sustainability Science and Technology, Second Edition. Martin Kaltschmitt (Editor) <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7813-7>

14 Кодекс газотранспортної системи
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15#Text>

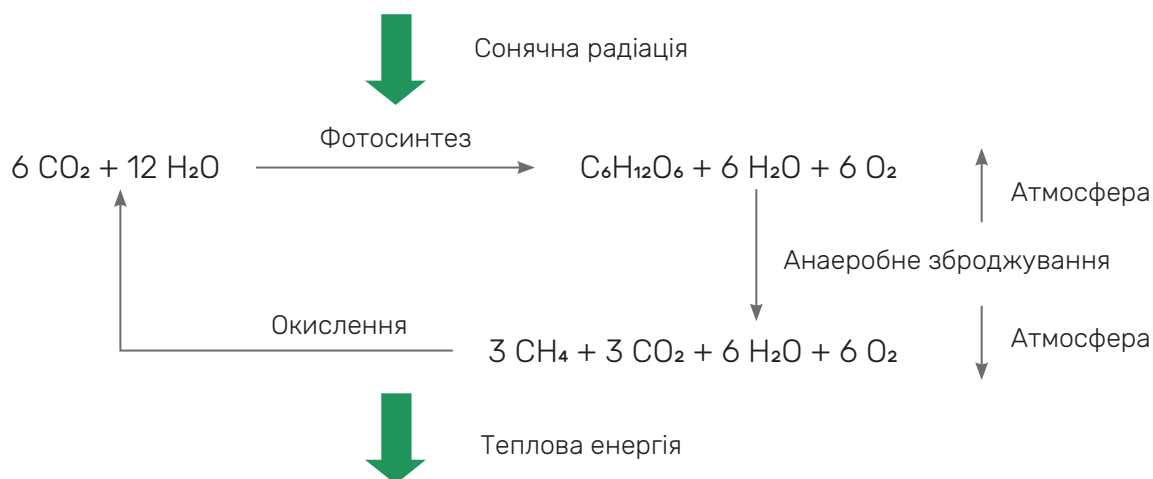


Рис. 2.1. Схема процесу перетворення енергії у системі
«фотосинтез – анаеробна ферментація – окислення»

Завдяки цій сумісності та відновлюваному походженню, біометан має значний потенціал для скорочення викидів парникових газів (ПГ) протягом усього свого життєвого циклу, що робить його ключовим компонентом у декарбонізації енергетичних систем, особливо у важкодоступних для скорочення викидів секторах, таких як транспорт, опалення та балансуючому виробництві електроенергії. Важливо підкреслити, що, як і природний газ, біометан при спалюванні виробляє CO_2 . Однак, на відміну від викопного палива, цей CO_2 є частиною короткого біологічного циклу, оскільки нещодавно був поглинений з атмосфери рослинами. Таким чином, справжня кліматична вигода біометану полягає в усьому його ланцюжку створення вартості, від отримання сировини до кінцевого використання.

Фотосинтез – основний фізіологічний процес, у результаті якого утворюється 90–95% сухої речовини рослин, а отже, врожай і його якість. Потенційну урожайність сільськогосподарських культур визначають за надходженням **фотосинтетично-активної радіації (ФАР)**, під дією якої відбувається фотосинтез. Зеленою поверхнею листя і всією рослиною промениста енергія поглинається далеко не повністю. Теоретично можна підвищити ККД ФАР до 5–6%, але в польових умовах ККД ФАР не сягає навіть 2%. Зокрема, у виробничих умовах коефіцієнт використання рослинами ФАР становить: для озимої пшениці – 0,74–1,12, для кукурудзи на зерно – 0,69–1,63, для цукрових буряків – 1,34–1,84%¹⁵.

Особливо непродуктивно втрачається потенційно активна енергія сонячної радіації через те, що фактичний період вегетації рослин виявляється більш коротким, ніж потенційно можливий, маючи на увазі, наприклад, довжину періоду із середньодобовими температурами вище 5°C . Особливо недостатнє використання енергії сонячної радіації має місце у весняні місяці (березень, квітень і, частково, травень), коли освітленість буває хорошою для активної фотосинтетичної діяльності, але температури ще низькі; також непродуктивно використовується сонячна енергія наприкінці літа і восени, особливо після збирання врожаю зернових колосових культур (озимої пшениці, ячменю, озимого жита та інших)¹⁶.

Отже, з агрономічної точки зору важливо, щоб протягом вегетаційного періоду умови вирощування культури забезпечували наближення до фотосинтетично встановлених меж росту (рис. 2.2). У помірному кліматі збирання врожаю та відтворення достатнього індексу площі листя за послідовного вирощування культур обмежують часовий проміжок для оптимізованого використання сонячної радіації. Екологічні групи рослин добре адаптовані до світлового режиму місць проживання. Вирощування проміжних культур можна розглядати як один із прийомів покращення використання ФАР.

16 Кірілеско О.Л. Фотосинтетична діяльність та продуктивність кормових культур у проміжних посівах (2015)
<https://fri-journal.com/index.php/journal/article/download/381/301/>

15 Добрива та їх використання: Довідник. – К. : Арістей, 2010. – 254 с.

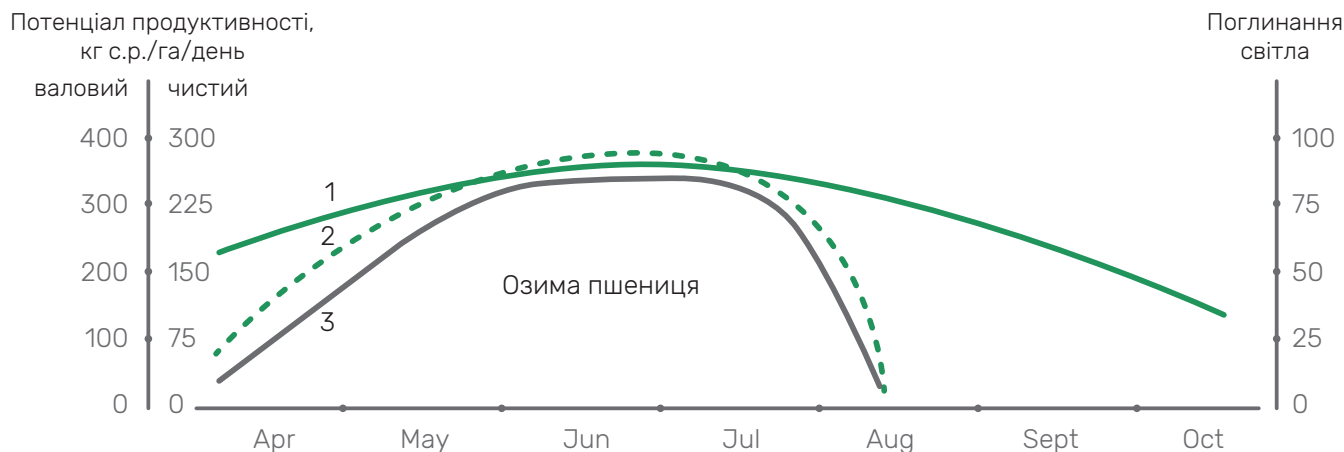


Рис. 2.2. Потенціал урожаю озимої пшениці, визначений за наявними рівнями радіації (1), кг с.р./га/день, ліва вісь; відсоток доступного випромінювання, використаного рослиною (2), права вісь; розрахунок добового приросту (3)

На процес фотосинтезу також впливає **температура**. **Мінімум** характеризується тією температурою, при якій фотосинтез починається. У більшості рослин помірної зони фотосинтез припиняється приблизно при 0°C. **Оптимум** – це та температура, при якій фотосинтез найстійкіший і має найвищу швидкість. У сільськогосподарських C_3 -рослин¹⁷ оптимальні температури лежать у діапазоні 20-30°C, а у C_4 -рослин¹⁸ спекотних областей – 30-45°C. Температурний оптимум фотосинтезу суворо не фіксований і залежить від стадії розвитку рослин та комплексу зовнішніх факторів. **Максимум** – це та температура, після досягнення якої фотосинтез припиняється. Максимуми знаходяться в широкому діапазоні температур між 35°C і 50°C. У більшості C_3 -рослин при 35°C відзначається пригнічення фотосинтезу. У польових умовах продуктивність фотосинтезу у температурному діапазоні від 16 до 29°C майже не змінюється. При високих температурах загальна інтенсивність фотосинтезу C_4 -рослин вища, ніж у C_3 -рослин¹⁹.

17 C_3 -рослини використовують C_3 шляхом фотосинтезу з фіксацією CO_2 у циклі Кальвіна, першим продуктом якого є трьохвуглецева молекула. Ці рослини поширені в географічних зонах з помірним кліматом. До C_3 рослин відносяться пшениця, жито, овес, ячмінь, рис, цукровий буряк, тютюн, картопля, бобові.

18 C_4 -рослини здійснюють C_4 -фотосинтез з утворенням першого продукту з чотирьохвуглецевою молекулою. Вони поширені в зоні посушливого тропічного клімату, але можуть рости й у зонах з помірним кліматом. До C_4 рослин відносяться кукурудза, цукрова тростина, різні види проса. У C_4 -рослин висока інтенсивність фотосинтезу та більша урожайність в умовах посушливої тропічної зони. Вони ефективніше використовують високу температуру, високу інтенсивність освітлення, краще переносять посуху, ніж C_3 -рослини.

19 Макрушин М.М., Макрушина Є.М., Петерсон Н.В., Мельников М.М. Фізіологія рослин. /За редакцією професора М.М. Макрушина. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2006. – 416 с.
https://snv.kat.ua/_ld/0/2_Fiziologi_m.pdf

Вплив **водного режиму** на фотосинтез обумовлений його впливом на весь комплекс життєдіяльності рослини. Рослини C_3 - і C_4 -груп розрізняються за ефективністю використання транспірованої²⁰ води на утворення сухої речовини. C_4 -рослини ощадливіше витрачають воду: на утворення 1 кг сухої речовини вони витрачають 250-350 л води, а C_3 -рослини – 600-800 л¹⁹. Якщо нестача води приводить до в'янення листя, а потім рослина знову одержує воду, то нормальний фотосинтез відновлюється не раніше ніж через 2-7 днів¹⁹.

Для ефективного перебігу фотосинтезу та формування високих врожаїв необхідно забезпечити **збалансоване живлення** сільськогосподарських культур. Якщо вуглець рослини засвоюють здебільшого з атмосфери, водень та кисень отримують із води, то азот і поживні речовини, що входять до складу зольного залишку, надходять у рослину з ґрунту¹⁵. Хімічний склад у різних видів рослин різний і залежить від кількості, форм і способів внесення мінеральних і органічних добрив, доступності елементів живлення ґрунту. Азоту більше знаходиться в зерні, ніж у соломі, а в коренеплодах його менше, ніж у листках. Кожна культура по-різному поглинає елементи живлення, але в перший період росту, коли розвивається листовий апарат, вона спочатку використовує більше азоту, а потім – фосфору і калію. Вносячи добрива, можна керувати процесами живлення рослин, змінювати якість урожаю та впливати на родючість, фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунту. З точки

20 Транспірація – це фізіологічний процес випаровування рослиною води. <https://dovidka.biz.ua/transpiratsiya-roslin>

зору рослинництва, планування повернення поживних решток у поля є частиною стратегії живлення рослин¹³. Головними завданнями цього планування є оптимізація живлення для рослин, а також підтримка та покращення функцій ґрунту. Основний принцип полягає в тому, що поживні речовини, вилучені з ґрунту, повинні бути повернуті.

Послідовне вирощування сільськогосподарських культур на полях застосовується із певними особливостями у різних країнах світу. Наприклад, у Південній Америці системи послідовного вирощування здатні виробляти **дві основні культури**. В Європі кліматичні умови зазвичай **не дозволяють** вирощувати дві основні культури²¹. Однак, можна вирощувати **другу культуру на силос** як проміжну культуру з метою використання як сировини для отримання біометану. Така культура (наприклад, кукурудза або тритикале) збирається рано, до досягнення повної зрілості, а отже має відносно короткий період вирощування.

Особливості вирощування проміжних та покривних культур

Проміжні культури та суміші проміжних культур дозволяють доповнити існуючі сівоزمіни та зробити їх більш гнучкими і багато в чому сприяють покращенню системи вирощування. Проміжні культури вирощуються між основними культурами, як правило, після попереднього врожаю зернових. Основні культури – кукурудза, цукровий буряк, пшениця, жито, ячмінь, ріпак, овес та бобові. В свою чергу, проміжні культури, такі як олійна редька, гірчиця або польові трави, використовуються переважно як сидерати²² (поживні речовини накопичуються, а потім знову вивільняються) або як корм для худоби²³.

21 Sequential silage crops as advanced feedstock under the EU RED II. A Gas for Climate Paper, October 2021. <https://gasforclimate2050.eu/news-item/gas-for-climate-study-recommends-sequential-crops-be-included-in-redii-annex-ix/>

22 Сидерати – це спеціальні культури, які садять з метою відновлення стану ґрунту або надання йому конкретних властивостей. Вони грають свою роль в двох актах. Спочатку сидерати рослинною масою захищають від бур'янів, вітрів і насичують ґрунт мікроелементами в процесі вегетації. Потім їх зрізають і використовують насичені мінералами стебла в якості добрива. Їх закладають в землю або залишають на поверхні у вигляді мульчі. <https://alfagro.com.ua/uk/siderati-vidi-koli-siyati/>

23 <https://www.kws.com.ua/uk/agroservis/sivozmina/promizhni-kul-tury/>

Позитивний вплив проміжних посівів полягає в тому, що вони при оптимальних фонах живлення і зволоження ґрунту забезпечують високі врожаї сільськогосподарських культур. Важливо і те, що при внесенні добрив з розрахунку на винесення поживних речовин двома-трьома врожаєми, урожайність наступних культур не тільки не знижується, а, навпаки, значно підвищується²⁴.

Післяукісну проміжну культуру вирощують у поточному році після збирання основної культури на **зелену масу**. Післяукісними можуть бути горох, ріпак, кормова капуста, однорічні злако-бобові сумішки та багато інших культур, здатних вегетувати та інтенсивно продукувати органічну речовину вже у відносно прохолодний осінній період. У південних районах післяукісно можуть вирощуватись культури і з метою одержання **основної продукції**. Це просо, гречка і скоростиглі сорти картоплі. Найпоширенішими попередниками для післяукісних проміжних є кукурудза на зелену масу і злако-бобові сумішки, зібрані на початку або в середині літа.

Післяжнивну проміжну культуру вирощують у поточному році після збирання попередника на **основну продукцію** у вигляді зерна, насіння, коренеплодів чи бульбоплодів. Розміщують післяжнивні проміжні культури переважно після озимих і ярих колосових, рідше – після зернобобових, ранньої картоплі та інших культур, строк збирання яких припадає приблизно на середину літа. З метою одержання **зеленої маси** з проміжних посівів післяжнивно у Поліссі вирощують овес і люпин; у Лісостепу – горох, овес, ріпак; у Степу – кукурудзу, соняшник, суданську траву, сорго. Проте вдалим післяжнивні посіви у лісостеповій і степовій зонах бувають лише в роки з достатньою кількістю опадів за літньо-осінній період та на зрошуваних землях.

Озиму проміжну культуру висівають на початку осені після основної культури, а збирають на **зелену масу** навесні наступного року до сівби пізніх ярих культур. Такими проміжними культурами здебільшого є жито і пшениця або їх сумішки з викою мохнатою, ріпак і перко²⁵. Розміщують озимі проміжні після тих самих попередників, що й основні посіви озимих

24 Технологія вирощування двох-трьох урожаїв за рік. <https://buklib.net/books/34388/>

25 Перко – гібрид суріпиці і капусти китайської.

культур, а після озимих проміжних вирощують переважно ярі культури пізнього строку сівби.

Підсівні проміжні культури половину або більше вегетаційного періоду розвиваються під покривом основних, після збирання яких інтенсивно ростуть і в цей же рік формують урожай. Прикладом підсівної проміжної культури може бути ріпак або буркун, підсіяні під ячмінь. Після збирання останнього рослини підсівних культур починають інтенсивно рости і до настання холодів встигають сформувати непоганий врожай зеленої маси. Вдалими є такі проміжні посіви в районах достатнього зволоження і на поливних землях інших природних зон. На бідних землях Полісся практикують вирощування у підсівних проміжних посівах сераделі або люпину на зелене добриво, яке підсівають навесні здебільшого під травостій озимого жита, інколи – під посів ярих колосових культур²⁶.

Основні **вимоги** інтенсивних технологій вирощування культур у **проміжних посівах** наступні²⁴:

- своєчасне збирання попередника, мінімальний інтервал між збиранням основної і сівбою проміжної культури;
- підбір найбільш продуктивних сортів і гібридів та розміщення їх у спеціалізованих сівозмінах з урахуванням біологічних особливостей культури;
- забезпечення оптимальної густоти рослин у посівах;
- створення оптимального рівня мінерального живлення рослин, який не повинен обмежувати їх реальну продуктивність;
- оптимальна вологозабезпеченість посівів, що дає можливість найбільш повно реалізувати позитивну дію всіх інших факторів життя рослин на величину врожаю;
- своєчасне і високоякісне збирання врожаю проміжної культури.

Покривна культура – це будь-яка рослина, що висівається й захищає ґрунт від ерозії, покриваючи його своєю біомасою. Покривні культури можна висівати разом із основною

культурою на полі або після неї та підсушувати гербіцидом перед висівом наступної культури або загортати у ґрунт (**рис. 2.3**)²⁷. Їх сіють у різний час (навесні, пізнім літом чи восени), на всій площі поля або в міжряддях. Одні покривні рослини взимку гинуть і не потребують закладення (загортання) поживних залишків, а в інших випадках рослинні рештки необхідно прибирати. Типовими ґрунтопокривними культурами є однорічні трави (сорго, суданська трава), овочеві (ріпа, редька) та дрібні зернові (бобові, жито)²⁸.



Рис. 2.3. Зупинка вегетації покривних культур механізовано котками восени (фото авторів АЗ).

На одному полі можуть бути рослини одного або декількох видів. Як показує практика, результати другого варіанту більш плідні²⁹. Щоб максимально використати властивості кожної культури у **суміші**, потрібно поєднувати різні види кореневих систем і довжину коренів (наприклад, фацелія + кінські боби + китайська редька). У такому разі між рослинами не буде конкуренції за ті ж самі поживні речовини. Також варто змішувати культури різного росту: високі рослини можуть бути підтримкою для повзучих і низьких рослин³⁰.

Озимі покривні культури висіваються пізно літом або восени для забезпечення покриву ґрунту у осінній та зимовий періоди. Культуру для посіву потрібно добирати відповідно до кліматичних умов зони. Для фіксації атмосферного азоту і збагачення ним ґрунту

27 <https://propozitsiya.com.ua/pokryvni-kultury-perevagy-ta-osoblyvo-sti-efektyvnogo-vykorystannya>

28 <https://superagronom.com/slovník-agronoma/pokryvni-kultury-id20111>

29 Покривні культури: значення для сільського господарства. bit.ly/44PBuWU

30 Покривні культури. Довідник (Soufflet Agro Ukraine). https://www.soufflet-agro.com.ua/media/filer_public/30/ad/30ad6456-a305-4547-83e2-572c68a68a90/sa_cover_crop_guide_ua_web.pdf

26 <http://www.tsatu.edu.ua/rosi/wp-content/uploads/sites/20/lekcija-8-klasifikacija-i-orhanizacija-sivozmin.pdf>

часто використовують бобові культури. Найбільш придатною бобовою культурою є вика, а із злакових – жито; їх можна висівати як окремо, так і в суміші. Зміни кліматичних умов в Україні, що відбуваються у зв'язку з глобальним потеплінням, є сприятливими для озимих культур (подовжується вегетаційний період, пом'якшуються зими та зменшується інтенсивність наростання температур у весняний період). В цих умовах для зменшення виробничих витрат доцільним буде використання посіву дрібнонасієних озимих культур розкидним способом.

Ярі покривні культури вирощують протягом певної частини одного вегетаційного сезону. В цю групу в рівній мірі входять як теплолюбні, так і холодостійкі культури, які можна висівати після різних зернових колосових. До них належать: з групи бобових – горох, соя, буркун, а з не бобових – суданська трава, сорго, гречка.

Вибір виду покривних рослин залежить від мети їх використання та специфіки конкретного поля. Найчастіше такий рослинний покрив виконує кілька функцій одночасно²⁹. Якщо використання покривних культур передбачає забезпечення готовим біологічно зв'язаним азотом наступні культури сівозміни, тоді варто вибирати вид з родини бобових, наприклад, вігню (вона зв'язує азот і має вузьке співвідношення C:N в рослинних рештках). Якщо покривні культури повинні виконувати роль мульчуючого шару і служити засобом пригнічення бур'янів, тоді варто вибирати вид з широким співвідношення C:N, тобто покривні культури повинні нарощувати велику біомасу та відповідати характеристикам, що забезпечують пригнічення росту бур'янів (суданська трава або сорго). У **додатку 1** міститься перелік типових проміжних та покривних культур, які вирощуються у різних частинах світу.

Проміжні та покривні культури як сировина для виробництва біогазу/біометану

Покривні та проміжні культури мають великий потенціал як сировина для виробництва енергії³¹. Швидкий ріст, зазвичай низькі вимоги до ґрунту, відсутність конкуренції з

основними культурами, що використовуються для виробництва продуктів харчування, і висока сприйнятливості до силосування, що робить можливим їх тривале зберігання, є особливостями, які сприяють використанню цієї біомаси в енергетичному секторі. Крім того, можливе зменшення вуглецевого сліду енергетичної промисловості в результаті застосування відновлюваних джерел є значною перевагою використання проміжних і покривних культур для виробництва біогазу. Цей ефект помітно проявляється, коли залишки після ферментації, багаті органічними речовинами та більш стабільні, ніж необроблена надземна біомаса, повертаються в ґрунт як джерело поживних речовин і вихідних компонентів для утворення гумусу.

Веgetаційний період сільськогосподарських культур триває від проростання насіння, появи сходів до дозрівання урожаю, і при цьому рослини проходять різні стадії розвитку, що обумовлюють як обсяги так і хімічний склад біомаси. Основні речовини, що утворюються в процесі фотосинтезу, та високомолекулярні вуглеводи, ліпіди і білки, що утворюються в наступних метаболічних процесах, служать для утворення речовини рослинних клітин, яка в основному складається з макромолекул¹³. При вирощуванні рослин для енергетики важливо отримати біомасу з високим вмістом цільових речовин, які будуть у подальшому перероблятися у біопалива та біогаз. На **рис. 2.4** показана зміна складу різних груп речовин протягом генеративної фази на прикладі кукурудзи. За рахунок збільшення запасів крохмалю суттєво змінюється маса качана по відношенню до маси решти рослини. Завдяки транспортуванню та трансформації цукрів, а також лігніфікації клітинної стінки (що характеризується як сира клітковина), перетравність кукурудзиння одночасно знижується.

Швидкість та повнота розпаду різних складових органічної речовини в процесі метанового бродіння суттєво відрізняються. Біомаса із високим вмістом цукру чи крохмалю швидше зброджується, ніж сировина, яка містить більше целюлози та геміцелюлози (**рис. 2.5**). Для біогазу фактор стиглості зерна не має вирішального значення, окрім як буде дещо вищою або нижчою величина питомого виходу біогазу, на відміну від випадку біодизелю і біоетанолу. При цьому, для виробництва

31 Słomka, A.; Pawłowska, M. Catch and Cover Crops' Use in the Energy Sector via Conversion into Biogas – Potential Benefits and Disadvantages. *Energies* 2024, 17, 600. <https://doi.org/10.3390/en17030600>

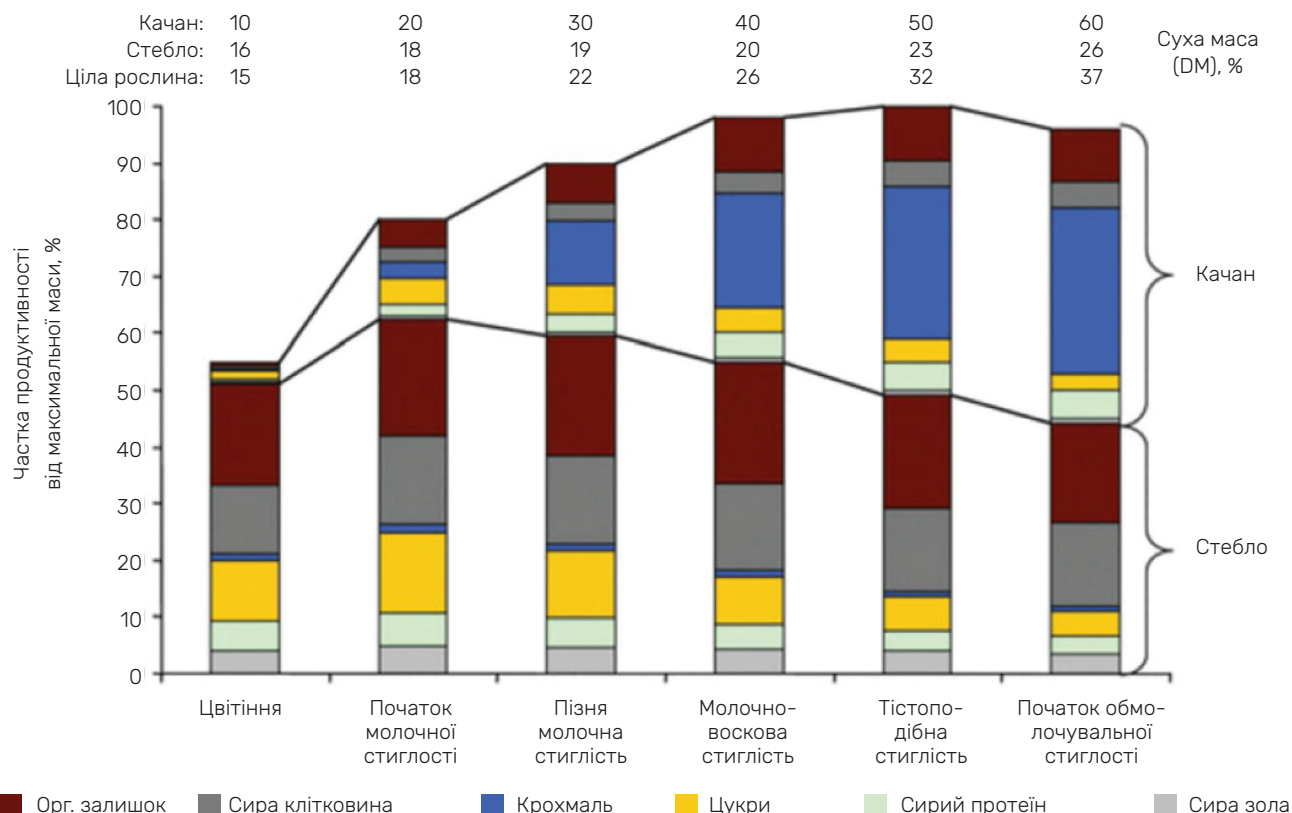


Рис. 2.4. Зміна вмісту сухої речовини (%) і її складу у кукурудзі від цвітіння до стиглості для обмолоту (поділяється на качани і кукурудзиння)¹³

біодизелю необхідно, щоб у насінні був високий вміст олії, а для виробництва біоетанолу – високий вміст крохмалю у зерні, що відбувається при повній стиглості. Тому вирощування проміжних і покривних культур для виробництва біогазу/біометану дозволяє більш гнучко пристосуватися до обмеженого періоду вегетації між основними культурами.

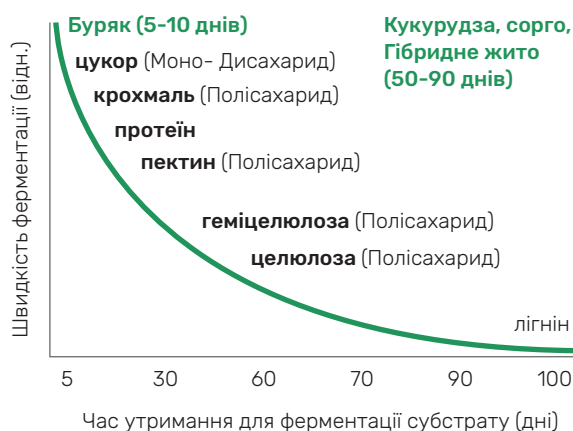


Рис. 2.5. Відносні характеристики метанового бродіння різних с/г культур (швидкість ферментації, дні, залежно від часу утримання субстрату, дні)³²

Результати досліджень³³ анаеробного зброджування біомаси окремих покривних культур наведено у **табл. 2.1**. Вихід CH_4 з покривних культур можна порівняти з виходом CH_4 з кукурудзиння, що зазвичай знаходиться в діапазоні 250–350 л CH_4 /кг летких твердих речовин, залежно від умов попередньої обробки та експлуатації. Попередня обробка та постійне перемішування дозволяють збільшувати вихід метану. Складність анаеробного зброджування покривних культур пов'язана із стійкістю лігніну, спливанням біомаси, варіюванням співвідношення C/N, особливостями збору урожаю та його зберігання, а також відносно низьким виходом метану. Три методи, які використовуються для підвищення виходу біогазу та стабільності роботи метантенку: сумісне зброджування, попередня обробка та силосування.

32 Biogas in practice. KWS http://www.aylshamgrowersrenewables.co.uk/media/SlideShow/Biogas%20in%20Practice_Guide.pdf

33 Yang, L.; Lamont, L.D.; Liu, S.; Guo, C.; Stoner, S. A Review on Potential Biofuel Yields from Cover Crops. Fermentation 2023, 9, 912. <https://doi.org/10.3390/fermentation9100912>

Таблиця 2.1. Питомий вихід метану з біомаси обраних проміжних і покривних культур³⁴

Культура	Частина рослини	Вихід метану, м ³ /т СОР
Біла гірчиця (<i>Sinapis alba</i>)	Верхівки	352
Ріпак олійний (<i>Brassica napus</i> spp. <i>oleifera</i>)	Солома	420
Редька (<i>Raphanus sativus</i>)	Пагони	293–304
Ріпак (<i>Brassica napus arvensis</i>)	Верхівки	334
Ріпак (<i>Brassica napus</i>)	Не повідомляється	340
Озиме жито (<i>Secale cereale montanum</i>)	Солома	360
Жито (<i>Secale cereale</i>)	Цілі рослини	140–275
Тритикале (<i>Triticale</i>)	Цілі рослини	212–286
Тритикале (<i>Triticale</i>)	Цілі рослини	396
Боби кормові (<i>Vicia faba</i>)	Солома	440
Боби кормові (<i>Vicia faba</i>)	Цілі рослини	387
Райграс (<i>Lolium</i> sp.)	-	410
Райграс (<i>Lolium</i> sp.)	-	490
Конюшина (<i>Trifolium</i> sp.)	Вегетативна стадія	210
Конюшина (<i>Trifolium</i> sp.)	Стадія цвітіння	140
Сіно трав'яне	-	350
Овес	-	260
Люпин (<i>Lupinus polyphyllus</i>)	Цілі рослини	310–360
Вика овес (50% <i>Vicia sativa</i>)	Цілі рослини	400–410
Конюшина червона (<i>Trifolium pratense</i>)	Цілі рослини	310–320
Конюшина червона (<i>Trifolium pratense</i>)	Цілі рослини	238–293
Червона/біла конюшина – райграс (<i>Trifolium pratense</i> , <i>Trifolium repens</i> L, <i>Lolium perenne</i> L.)	Цілі рослини	281–315
Кукурудза	Кукурудзиння	256 ± 15

³⁴ <https://encyclopedia.pub/entry/54759>

Крім цього, покривні культури можна використовувати як і іншу лігноцелюлозну біомасу для виробництва біодизелю, біоетанолу та сталих авіаційних палив. У проаналізованих дослідженнях вихід рідких біопалив і біогазу із покривних культур суттєво різниться через різноманітність видів/сортів, кліматичних умов/регіонів, стану ґрунту, підходів до ведення сільського господарства та способів переробки. Випробувані наступні

методи збільшення врожайності культур і виходу біопалив/біогазу: (1) селекція або генетична модифікація покривних культур для збільшення вмісту олії, зменшення вмісту лігніну та покращення перетравності біомаси; (2) управління практиками використання ґрунту і вологи та агрономічними методами для збільшення врожайності зерна/насіння і біомаси; (3) удосконалення технологій конверсії для виробництва більшої кількості

енергії з покривних культур; (4) оптимізація ланцюжка постачання (тобто збирання, сушіння, зберігання, транспортування та попередня обробка) для збереження речовин у складі біомаси та зниження витрат³⁵.

Для більш ефективного використання потенціалу покривних культур для потреб

35 Yang, L.; Lamont, L.D.; Liu, S.; Guo, C.; Stoner, S. A Review on Potential Biofuel Yields from Cover Crops. *Fermentation* 2023, 9, 912. <https://doi.org/10.3390/fermentation9100912>

біоенергетики необхідні подальші дослідження. Інструменти генетичної інженерії можуть стати революційними для галузі, особливо їх застосування для покращення перетравності біомаси покривних культур і підвищення вмісту крохмалю у ній. Оптимізація ланцюжка постачання біомаси є критичною для масштабування виробничої системи. Підвищення ефективності перетворення біомаси у біогаз та рідкі біопалива потребує удосконалення та створення нових технологій.

Вплив на ґрунт від використання біомаси з проміжних і покривних культур для виробництва біометану

Одним з найважливіших аспектів сталості біомаси як сировини для отримання біопалив є відсутність конкуренції з виробництвом продуктів харчування і кормів. У випадку енергетичного використання проміжних і покривних культур важливим питанням також є наскільки змінюється виконання цими культурами їх традиційних агротехнічних функцій (захист ґрунту від ерозії, покращення якості ґрунту та ін.).

Результати теоретичних досліджень європейських фахівців³⁶ (2022 р.) свідчать про те, що застосування покривних культур для виробництва біогазу із наступним внесенням дигестату на поле **позитивно впливає** на накопичення вуглецю у ґрунті та зменшення викидів CO₂ з ґрунту. Якщо прийняти вміст органічного вуглецю (C_{org}) у надземній частині покривної культури за 100 одиниць, то його баланс при зароблянні біомаси у ґрунт складає від -4 до 28. У випадку анаеробної ферментації надземної біомаси покривної культури із поверненням дигестату на поле, баланс

РОЗДІЛ 3

органічного вуглецю є **позитивним** і становить **9...29 (рис. 3.1)**. При цьому зберігається виконання покривною культурою її традиційних екологічних функцій (захист ґрунту від ерозії та ін.), а ризик негативних впливів є невеликим.

Австрійські фахівці провели більш ніж 5-річне польове дослідження впливу на ґрунт і ґрунтові води від вирощування та використання покривних культур для виробництва біогазу³⁷ (проєкт Syn-Energy 2010-2015 рр.). Було досліджено 5 варіантів покривних культур, більшість з яких – суміші щонайменше 3-х видів рослин з 50% бобових.

Результати дослідження показали, що при збиранні біомаси покривних культур з урожайністю 2,5 т с.р./га із поверненням еквівалентного обсягу дигестату на поле, **надходження вуглецю гумусу** в ґрунт складають **112 кг/га**. Якщо ж ці самі покривні культури заробляють у ґрунт як зелене добриво, надходження вуглецю гумусу становить лише **80 кг/га**. Чим вище врожай

36 Launay, C., Houot, S., Frédéric, S. et al. Incorporating energy cover crops for biogas production into agricultural systems: benefits and environmental impacts. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 42, 57 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00790-8>

37 Biogas from Cover Crops and Field Residues: Effects on Soil, Water, Climate and Ecological Footprint. <https://publications.waset.org/10005395/biogas-from-cover-crops-and-field-residues-effects-on-soil-water-climate-and-ecological-footprint>

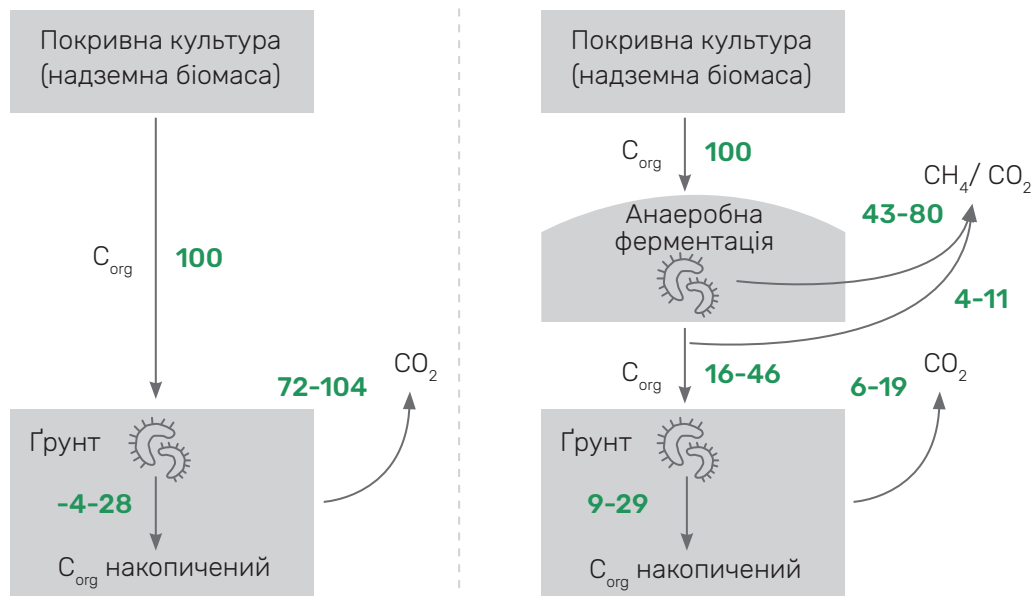


Рис. 3.1. Вуглецевий баланс від внесення в ґрунт надземної біомаси покривної культури та від повернення дигестату після її зброжування³⁶

біомаси з гектара, тим більше позитивний вплив на вміст гумусу. При вирощуванні покривних культур на біогаз обсяг біомаси є більшим через ранній посів і пізніше збирання. Порівняно з полем під паром, **ризик ерозії зменшується** на 50% від вирощування покривних культур, що ідуть на виробництво біогазу. Для покривних культур, що використовуються як зелене добриво, цей ефект менший.

Позитивні результати щодо збереження **запасу вуглецю** в ґрунті отримано також при моделюванні прикладів вирощування покривних культур як сировини для БГУ із поверненням дигестату на поле у Франції³⁸. Було досліджено 4 приклади у різних регіонах країни:

I – Іль-де-Франс (паризький регіон, океанічний клімат, тип ґрунту – Лювісолі³⁹);

II – південно-західний регіон (клімат від океанічного до середземноморського, типи ґрунту – Лювісолі, Кальцісолі);

III – Рона-Альпи (центр та південний схід, помірно-континентальний клімат, тип ґрунту – Лювісолі);

IV – східний регіон (океанічний клімат, тип ґрунту – Камбісолі).

Представлені в літературі результати досліджень стосуються здебільше регіону Іль-де-Франс (1-й варіант сівозміни), тому саме ці дані наведено нижче. Всього для регіону Іль-де-Франс було розглянуто три варіанти сівозмін з різними покривними культурами (**табл. 3.1**). У Франції найбільш розповсюдженою покривною культурою, що залишається у полі, є гірчиця (*Sinapis alba*). Зазвичай її сіють з середини серпня до середини вересня, а заробляють у ґрунт – у період з листопада до січня. У варіанті 1 сівозміни покривною культурою для отримання сировини для БГУ був озимий ячмінь (висівання восени, збір врожаю навесні).

Прийнято, що у всіх варіантах сівозмін весь обсяг пожнивних решток основних культур повертається у ґрунт. Визначено, що основна річна кількість гумуфікованого вуглецю попадає у ґрунт з надземною частиною рослинних залишків, і у випадку залишення покривної культури в полі цей обсяг більший (**рис. 3.2**). Втім, загальний річний обсяг внесення вуглецю в ґрунт (залишки основної культури, залишки покривної культури, дигестат) є вищим для випадку вирощування покривної культури як сировини для БГУ із поверненням дигестату на поле – **1,37 т** гумуфікованого вуглецю/га/рік

38 Energy cover crops for biogas production increase soil organic carbon stocks: A modeling approach (2022). https://www.researchgate.net/publication/365637796_Energy_cover_crops_for_biogas_production_increase_soil_organic_carbon_stocks_a_modeling_approach

39 Лювісолі, кальцісолі, камбісолі – типи ґрунту згідно Світової реферативної бази ґрунтових ресурсів (bit.ly/3ZtNw7d). Лювісолі – насичені основами ґрунти, диференційовані за вмістом високо активної глини в гумідному помірно-континентальному кліматі (типовий для Франції родючий ґрунт). Кальцісолі – ґрунти з накопиченням менш розчинних солей або карбонату кальцію. Камбісолі – помірно розвинуті ґрунти.

проти **1,27 т** гуміфікованого вуглецю/га/рік при зароблянні біомаси покривної культури у ґрунт.

Моделювання стану ґрунту протягом 30-річного періоду показує, що вміст органічного вуглецю може збільшитись з 50 т С/га (вихідне значення)

до 50,5 т С/га для випадку вирощування покривних культур для зброджування із поверненням дигестату. В альтернативному варіанті (залишення біомаси на полі) вміст органічного вуглецю може зменшитися до 49,4 т С/га (**рис. 3.3**).

Таблиця 3.1. Досліджені варіанти сівозмін з покривними культурами для регіону Іль-де-Франс³⁸.

Сівозмінна – варіант 1:
Ріпак – озима пшениця – покривна культура* – кукурудза на зерно – озима пшениця
* Для випадку анаеробного зброджування – озимий ячмінь (10 т с.р./га) Для випадку залишення покривної культури на полі – гірчиця (2 т с.р./га).
Сівозмінна – варіант 2:
Ріпак – озима пшениця – озимий ячмінь – покривна культура** – озима пшениця
** Для випадку анаеробного зброджування – кукурудза на силос (6 т с.р./га) Для випадку без анаеробного зброджування – без покривної культури
Сівозмінна – варіант 3:
Ріпак – озима пшениця – озимий ячмінь – покривна культура*** – цукровий буряк – озима пшениця
*** Для випадку анаеробного зброджування – кукурудза на силос (6 т с.р./га) Для випадку залишення покривної культури на полі – гірчиця (2 т с.р./га)

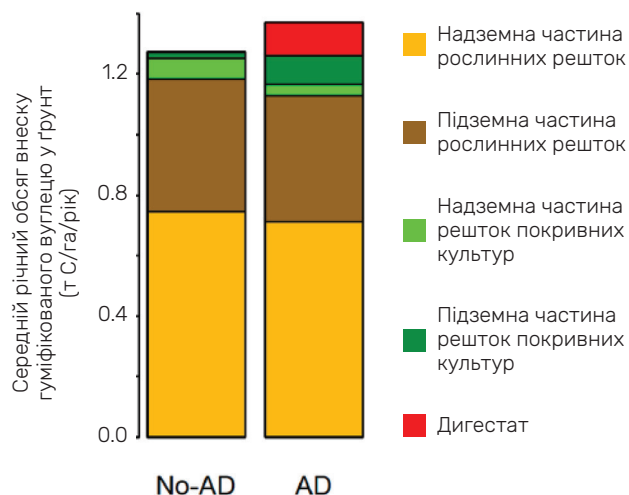


Рис. 3.2. Середній річний обсяг внеску гуміфікованого вуглецю у ґрунт (т С/га/рік) при вирощуванні покривних культур для анаеробного зброджування (AD) та при залишенні біомаси покривних культур у полі (No-AD) (результати для регіону Іль-де-Франс)³⁸.

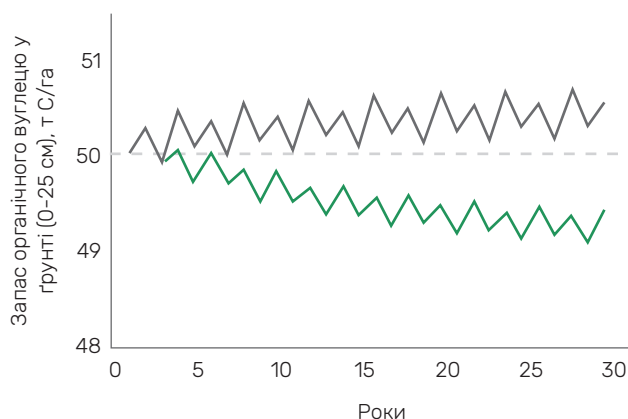


Рис. 3.3. Моделювання динаміки запасу органічного вуглецю у ґрунті (0-25 см, т С/га) протягом 30 років при вирощуванні покривних культур для анаеробного зброджування (AD) та при залишенні біомаси покривних культур у полі (No-AD) (результати для регіону Іль-де-Франс)³⁸.

Міжнародний досвід виращування проміжних і покривних культур

Дослідження JRC досвіду Іспанії, Франції, Нідерландів, Румунії

Спільним дослідницьким центром Єврокомісії (JRC) було вивчено досвід виращування міжпосівних (catch crops) і покривних культур (cover crops) (МПК) у вибраних регіонах Іспанії, Франції, Нідерландів, Румунії⁴⁰. Основні результати дослідження, яке виконувалося шляхом опитування фермерів, представлено в **таблиці 4.1**. Визначено, що як міжпосівні і покривні культури найчастіше виращують вику звичайну (Іспанія), гірчицю білу (Франція, Румунія), пажитницю рясноцвітну (Нідерланди). Основними попередниками цих культур є пшениця (Іспанія, Франція, Румунія), ячмінь (Франція) і кукурудза на зерно/силос (Нідерланди). Частіше за все додаткова культура висівається після збирання основної, а підсівання до основної культури застосовується рідко.

В досліджених регіонах Нідерландів розповсюджено виращування пажитниці рясноцвітної (Italian ryegrass) як **озимої покривної культури** після кукурудзи на силос на піщаних ґрунтах. Оранка ґрунту виконується у березні/квітні, незадовго до висівання кукурудзи. Покривна культура висівається у період з кінця жовтня до початку листопада і збирається наступного року у березні/квітні. В інших країнах (Іспанія, Франція, Румунія) основна культура частіше за все є озимою. **Яра покривна культура** (наприклад, гірчиця біла), висівається у липні/серпні, а збирається у жовтні/листопаді напередодні сіяння основної культури.

У більшості досліджених випадків (близько 80% опитаних фермерів, які могли вибирати декілька

РОЗДІЛ 4

варіантів відповідей) біомасу міжпосівних і покривних культур заробляють у ґрунт. Із усіх опитаних фермерів, 10% збирають урожай МПК на корм худобі, 7% – на продаж, 6% – для власного використання, 1% – для біоенергетики (зокрема, 2% опитаних фермерів у Франції та 1% – у Румунії) та 2% – для інших потреб.

Приклад фермерського господарства в Італії (концепція Biogasdoneright™)

В Італії послідовне виращування (тобто отримання врожаю двох культур за рік) широко поширене завдяки впровадженню нової моделі сталого отримання продуктів харчування, кормів і біогазу – **Biogasdoneright™** (BDR™). Ця модель поступово набуває статусу всесвітньо визнаної системи сталого розвитку сільського господарства із виробництвом біогазу. В моделі BDR™ **основна** культура виращується на продукти харчування або корми, тоді як **проміжна** культура може використовуватися для виробництва **біогазу/біометану**. Відповідно, господарство, що працює за даною системою, може застосовувати дигестат з БГУ як органічне добриво замість додаткового придбання мінеральних добрив. В даний час модель Biogasdoneright™ використовується на більш ніж 600 фермерських господарствах в Італії, а також у Франції; 10 мільйонів доларів було інвестовано у пілотні дослідження в США⁴¹.

Розглянемо реальний приклад впровадження BDR™ на фермерському господарстві Італії. Це господарство із 320 га землі та поголів'ям із 150 молочних корів розташоване на Паданській рівнині біля м. Феррара (північ Італії). У 2012 р. на фермі, де виращуються молочні корови, було

40 Adoption of cover crops for climate change mitigation in the EU. JRC, 2019. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC116730> <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0638ab96-f939-11e9-8c1f-01aa75ed71a1/language-en>

41 The Role of Sequential Cropping and Biogasdoneright™ in Enhancing the Sustainability of Agricultural Systems in Europe (2021). <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/11/2102>

Таблиця 4.1. Результати дослідження центру JRC щодо досвіду вирощування міжпосівних і покривних культур у вибраних країнах ЄС⁴⁰.

Показники	Країна (регіон)			
	Іспанія (автономна область Кастилія-Леон на північному заході)	Франція (центральна частина)	Нідерланди (провінція Оверейсел на сході і Флеволанд у центрі)	Румунія (регіон Мунтенія на півдні)
Загальна кількість опитаних господарств	155	162	151	155
Кількість господарств, що вирощують МПК	26	120	149	78
Середня площа землі у господарстві, га	136	182	72	773
Середня площа землі під МПК у господарстві, га	17,0	31,4	12,5	101,3
Основні види МПК	Вика звичайна (Vicia sativa)	Гірчиця біла (Sinapis alba) Овес щетинястий (Avena strigosa) Фацелія (Phacelia tanacetifolia) Вика звичайна (Vicia sativa) Конюшина (Trifolium Alexandrinum) Редис олійний (Raphanus)	Пажитниця рясноцвіта (Lolium multiflorum) Пажитниця багаторічна (Lolium perenne) Овес щетинястий (Avena strigosa) Гірчиця біла (Sinapis alba)	Гірчиця біла (Sinapis alba) Овес щетинястий (Avena strigosa) Вика звичайна (Vicia sativa) Гірчиця сарептська (Brassica juncea)
Основні культури, після яких часто вирощують МПК	Пшениця Ячмінь	Пшениця Ячмінь Ріпак	Кукурудза на зерно/силос Жито Пшениця	Пшениця Кукурудза на зерно Соняшник Ріпак Ячмінь
Період росту МПК до збирання або інших операцій, тижні	14,9	13,0	21,5	13,0

побудовано БГУ потужністю 1 МВт_е. Як сировину для отримання біогазу використовували гній, гноївка і силос кукурудзи. Після будівництва БГУ кукурудза стала вирощувалася як монокультура – на 270 га збирали силос як сировину для біогазової установки, на 30 га – як корм для худоби; на решті 20 га вирощувалася люцерна також на корм худобі. Через брак сировини господарство додатково закуповувало силос кукурудзи для БГУ в обсязі, еквівалентному його вирощуванню на 71 га.

З метою повного забезпечення біогазової установки власною сировиною і оптимізації

землекористування фермерське господарство започаткувало нові сівоzmіни із включенням **проміжних/покривних культур**. Земельні площі були поділені на кілька ділянок (30 га, 110 га, 60 га, 100 га, 20 га – загалом 320 га) із вирощуванням двох врожаїв за рік на кожній, окрім однієї (20 га з люцерною) (**табл. 4.2**). Проміжні/покривні культури використовуються тільки як **сировина** для БГУ. Кукурудза на силос є проміжною культурою на ділянці 110 га (сировина для БГУ) і основною на ділянці 30 га (корм для худоби). Основні культури ідуть на корм для худоби або на продаж. Вони **не використовуються** як сировина для БГУ за виключенням сорго на силос (10 га).

Таблиця 4.2. Нові сівоzmіни з проміжними/покривними культурами у фермерському господарстві біля м. Феррара (північ Італії)⁴².

Культури на окремих ділянках землі	Площі під культурами, га			Площі під культурами з різними напрямками використання врожаю, га		
	Озимі	Моно-культури	Ярі	Корм для худоби	Продаж	Сировина для БГУ
Ділянка 30 га:						
Пшениця на силос*	30					30
Кукурудза на силос**			30	30		
Ділянка 110 га:						
Пшениця на зерно**	110				110	
Кукурудза на силос*			110			110
Ділянка 60 га:						
Суміш: озимі зернові/азот-фіксуючі культури*	60					60
Кукурудза на зерно**			60		60	
Ділянка 100 га:						
Тритикале на силос*	100					100
Сорго на силос**			10			10***
Соя**			90		90	
Ділянка 20 га:						
Люцерна		20		20		
Загалом площа, га	300	20	300	50	260	310

* Проміжні/покривні культури.

** Основні культури.

*** Єдине виключення – використання сорго на силос (основна культура на 10 га) як сировини для БГУ.

Таким чином, після уведення нових сівозмін структура власної сировини, що повністю задовольняє потреби БГУ (у тонах свіжої маси) стала наступною: силос пшениці (1350 т/рік), силос кукурудзи (6600 т/рік), силос тритикале (4500 т/рік), силос сорго (360 т/рік), суміш біомаси тритикале/азот-фіксуючих культур (2100 т/рік) плюс послід курячий (3650 т/рік), гній корів (3504 т/рік), гноївка корів (5256 т/рік).

США

Вирощування покривних культур динамічно розвивається в США. Площі під покривними культурами збільшилися на 50% до 6,2 млн га протягом 2012-2017 рр. За даними USDA, у 2020 р. ці площі досягли 8,1 млн га із потенціалом росту до 40,5 млн га вже у 2025 р.⁴³

Фермери використовують різноманітні покривні культури та різноманітні стратегії їх вирощування. Покривні культури включаються у сівозміну на полях з бавовною і кукурудзою на силос набагато частіше, ніж з кукурудзою на зерно і соєю. Найбільш розповсюдженими покривними культурами є жито (як злакова культура або як райграс однорічний) і озима пшениця. Для підготовки поля до посіву основної культури покривні культури зазвичай «знищують» гербіцидами або обробкою ґрунту. Існують також практики випасу худоби та збору врожаю біомаси покривних культур. Згідно правил програм фінансової підтримки USDA, такий збір дозволений тільки на сіно або силос, а збір на зерно/насіння (тобто на продаж) **заборонений**. При цьому програми фінансової підтримки деяких штатів дозволяють збір з метою продажу, але сума підтримки зменшується. Наприклад, у штаті Меріленд протягом 2007-2017 рр. покривні культури з 20-40% площ могли збиратися на продаж⁴⁴.

USDA оцінює прогрес у розвитку вирощування покривних культур не стільки по росту фактичної площі їх вирощування, скільки по збільшенню **частки** цієї площі від загальної зібраної площі с/г культур (за винятком люцерни). Протягом 2012-2017 рр. ця частка зросла в США в середньому з 3,4% до 5,1%.

За зазначеним показником, вирощування покривних культур найбільш розвинуто у східних штатах країни (**рис. 4.1**), де частка площі під покривними культурами сягає **15%** і більше від загальної зібраної площі с/г культур. Наприклад, у Меріленді (східний штат з виходом до Атлантичного океану) ця частка становила **33%** у 2017 р.

У 2023 році Служба сільськогосподарських досліджень Міністерства сільського господарства США (USDA-ARS) випустила 4-ту версію таблиці покривних культур (**рис. 4.2**), яка надає допомогу в прийнятті рішень щодо їх вибору та управління посівами. Цей інструмент, створений за зразком періодичної таблиці елементів, містить інформацію про 70 видів культур, які можна висівати окремо або в сумішах. Документ включає інформацію про цикл росту, відносне використання води, архітектуру рослини, глибину посіву, якість корму, характеристики запилення та кругообіг поживних речовин.

Сьогодні в США проводяться активні дослідження можливостей використання покривних культур для виробництва біопалив. Наприклад, вивчається напрямок запровадження «італійської» концепції Bio-gasdoneright™ для отримання **біогазу**⁴⁵. Крім того, досліджується можливість уведення рижію (Camelina) як 3-ї культури в стандартні сівозміни кукурудза-соя Середнього Заходу США. Прогнозоване використання рижію – виробництво **відновлюваного дизелю**⁴⁵.

43 Anaerobic Digestion of Cereal Rye Cover Crop (2022). <https://www.mdpi.com/2311-5637/8/11/617>

44 Cover Crop Trends, Programs, and Practices in the United States (USDA, 2021). <https://ageconsearch.umn.edu/record/309562/>

45 Biofuel Producer Bets on Camelina as Low-Carbon Feedstock. <https://advancedbiofuelsusa.info/biofuel-producer-bets-on-camelina-as-low-carbon-feedstock>

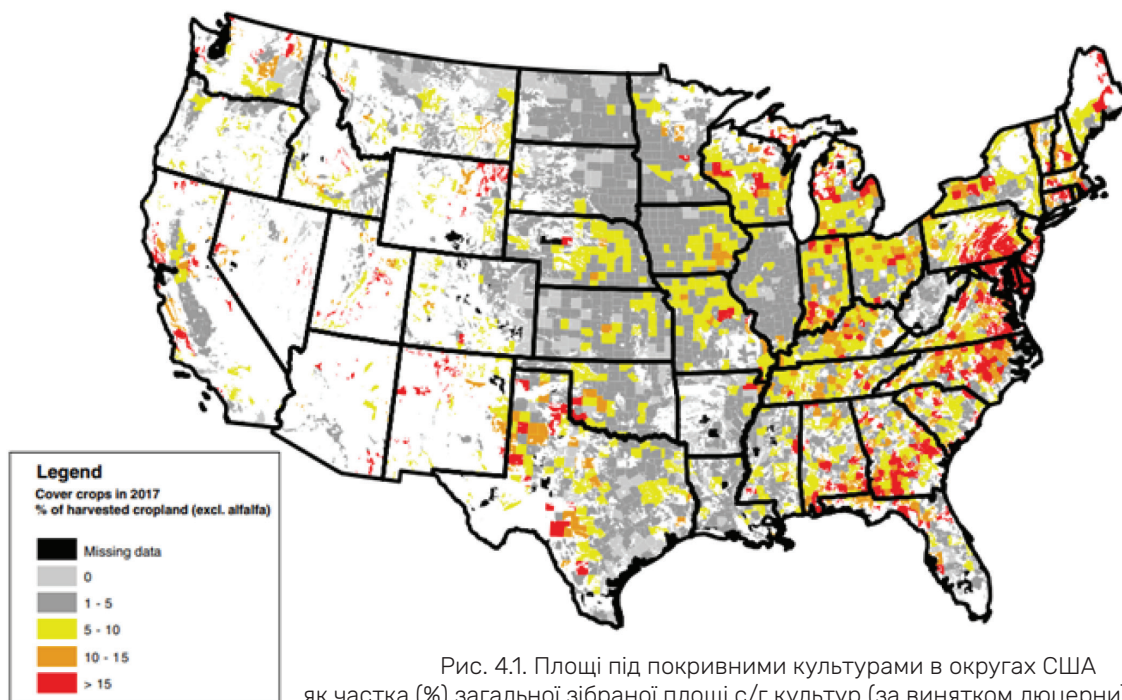


Рис. 4.1. Площі під покривними культурами в округах США як частка (%) загальної зібраної площі с/г культур (за винятком люцерни), 2017 р.⁴⁴

Cover Crop Chart

GROWTH CYCLE	PLANT ARCHITECTURE	RELATIVE WATER USE
A = Annual	Y = Upright	● = Low
B = Biennial	* = Upright-Spreading	●● = Medium
P = Perennial	~ = Prostrate	●●● = High

COOL			WARM		
GRASS	BROADLEAF				GRASS
ANNUAL FESCUE	LEGUME				BROWNTOP MILLET
BARLEY	CAMELINA	MUSTARD	BALANSA CLOVER	CHICKPEA	AMARANTH
OAT	PHACELIA	CANOLA	BERSEEM CLOVER	PEA	FOXTAIL MILLET
WHEAT	FLAX	RADISH	CRIMSON CLOVER	LENTIL	PEARL MILLET
ANNUAL RYEGRASS	KALE	TURNIP	RED CLOVER	LESPEDEZA	QUINOA
CEREAL RYE	SPINACH	BEET	WHITE CLOVER	BIRDSFOOT TREFOIL	PROSO MILLET
TRITICALE	CHARD	CARROT	KURA CLOVER	VETCH	CHICORY
SALINE TOLERANT					GRAIN SORGHUM
					SUDAN GRASS
					SAFFLOWER
					TEFF
					CORN

V 4.0 April 2023

Additional Information

grass – трави, broadleaf – широколистяні рослини, legume – бобові, cool – прохолодно, warm – тепло, growth cycle – цикл росту, annual – однорічні, biennial – дворічні, perennial – багаторічні, relative water use – відносьне використання води, low – низьке, medium – середнє, high – високе, plant architecture – архітектура рослини

Рис. 4.2. Таблиця покривних культур USDA-ARS V 4.0 (квітень 2023 р.)⁴⁶

46 USDA-ARS. Cover crop chart v. 4.0 <https://www.ars.usda.gov/plains-area/mandan-nd/ngprl/docs/cover-crop-chart/>

Енергетичний потенціал проміжних і покривних культур в Європі і США

РОЗДІЛ 5

Європа

На сьогодні основною сировиною для виробництва біогазу в країнах Європи є сільськогосподарські залишки (Болгарія, Кіпр, Німеччина), гній (Данія, Італія, Угорщина), енергетичні рослини (Словаччина, Сербія, Німеччина, Хорватія), осад стічних вод (Швейцарія, Норвегія, Швеція), і промислові

тверді відходи (Україна, Бельгія) (рис. 5.1). Біогаз з проміжних/покривних культур в помітних обсягах отримують у Сербії (більше 20% в загальній структурі сировини), Італії та Болгарії; в невеликих об'ємах – в Греції, Словенії, на Кіпрі. В цілому, частка цього виду сировини в загальному обсягу виробництва біогазу в Європі залишається поки незначною.

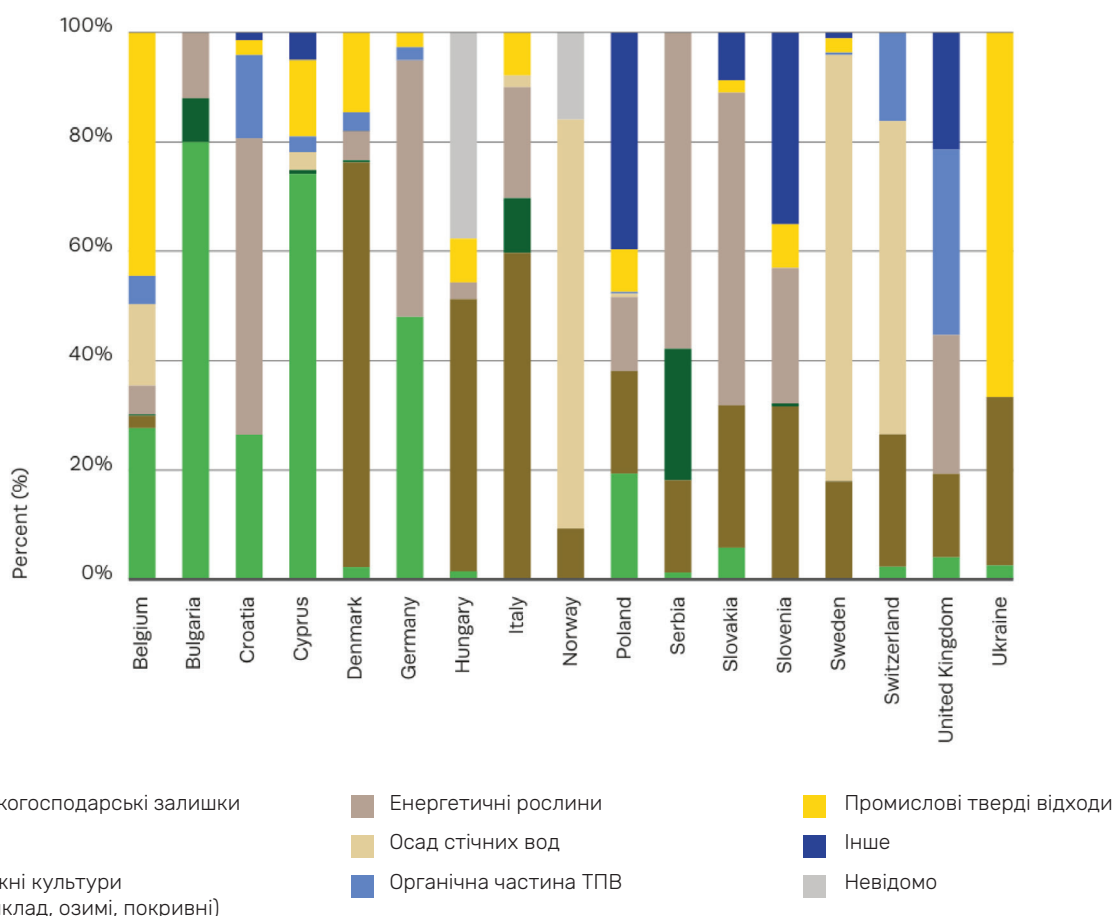
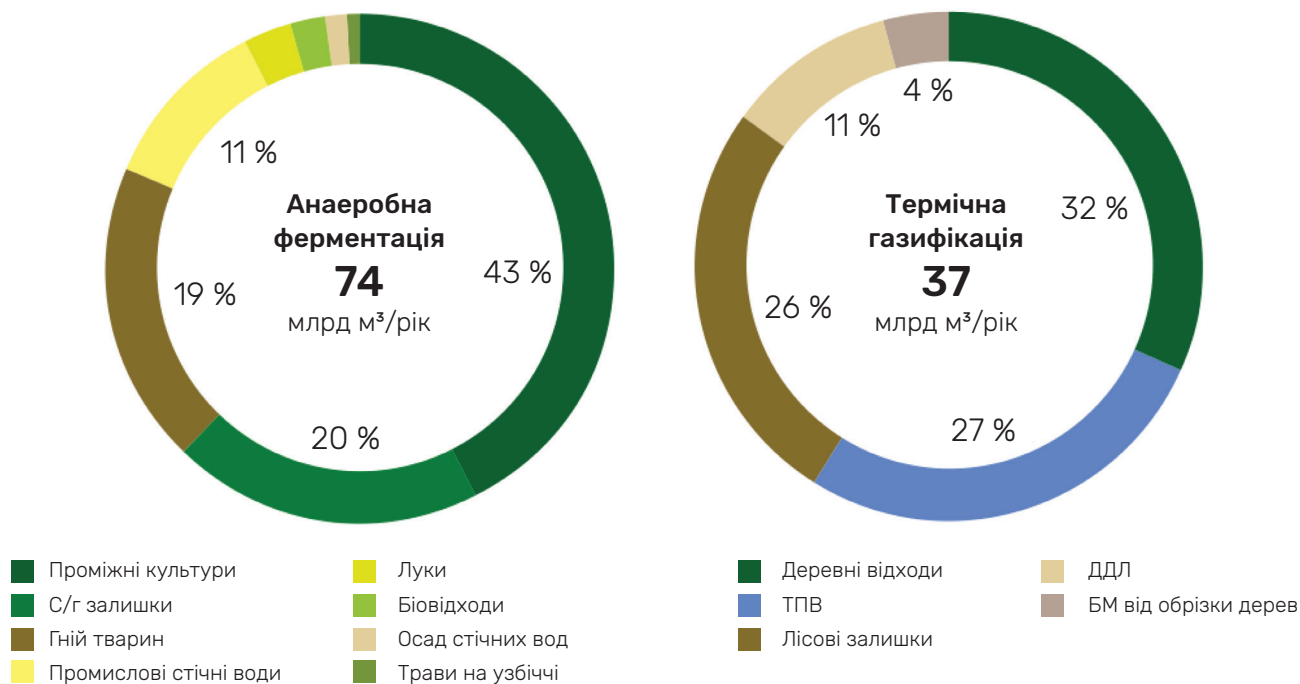


Рис. 5.1. Структура сировини для виробництва біогазу у вибраних країнах Європи, 2023 р.^{47 48}

47 Без врахування промислових стічних вод і біогазових установок на полігонах ТПВ.

48 EBA Statistical Report 2024. <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2024/>



БМ – біомаса, ДДЛ – деревина від догляду за ландшафтом

Рис. 5.2. Потенціал виробництва біометану анаеробним зброджуванням (зліва) та термічною газифікацією біомаси (справа) в Європі у 2040 р. (млрд м³/рік) і відповідна структура сировини, % ^{49 48}

Згідно оцінок⁴⁹ компанії **Guidehouse**⁵⁰ 2024 року, в Європі може бути вироблено до 44 млрд м³ біометану у 2030 р. і до 165 млрд м³ у 2050 р., з яких, відповідно, 40 і 150 млрд м³ – в ЄС-27. Для 2040 року цей прогноз – 111 млрд м³ в Європі, у т.ч. 101 млрд м³ в ЄС-27. Потенціал виробництва біометану в Європі, оцінений для 2040 року, на 67% забезпечується анаеробним зброджуванням (до 74 млрд м³), решта – термічною газифікацією біомаси (37 млрд м³) (**рис. 5.2**). Це відповідає росту виробництва у 5-7 разів порівняно з поточним рівнем. Прогноз компанії Guidehouse показує, що ймовірно і в перспективі анаеробне зброджування залишиться основною технологією для отримання біометану. У багатьом, це обумовлено залученням більших обсягів таких видів сировини як проміжні культури, відходи та залишки. Очікується, що у 2040 р. проміжні культури складуть **43%** (32 млрд м³/рік) загального обсягу сировини для виробництва біогазу, сільськогосподарські залишки – 20%, гній тварин – 19% (див. **рис. 5.2**).

⁴⁹ Biogases towards 2040 and beyond. Guidehouse, EBA, 2024. <https://guidehouse.com/-/media/new-library/services/sustainability/documents/2024/biogases-towards-2040-and-beyond.ashx>

⁵⁰ Лондонський офіс міжнародної консультаційної компанії <https://guidehouse.com/>

Очікується, що лідерами за обсягом виробництва біометану з проміжних/покривних культур у 2040 році будуть Іспанія (~5,7 млрд м³/рік), Франція (5,5 млрд м³/рік), Італія (4,4 млрд м³/рік), Німеччина (3,5 млрд м³/рік) (**рис. 5.3**).

Результати дослідження фахівців французької компанії **ENGIE**^{51 52} є близькими до прогнозів компанії Guidehouse. Згідно оцінки ENGIE, потенціал отримання біометану з проміжних культур в ЄС-27 плюс 10 країн поза меж ЄС може досягти **44** млрд м³/рік (462 ТВт•год/рік) у 2050 р., що становить **26%** від загального потенціалу біометану – **167** млрд м³/рік (1767 ТВт•год/рік)⁵³. При цьому в ряді країн частка проміжних культур в загальній структурі сировини для виробництва біометану може бути значно більше середньої – до 50% і більше в Туреччині, Польщі, Угорщині, Болгарії, Сербії (**рис. 5.4**).

⁵¹ ENGIE – відома французька компанія, що працює у сфері ВДЕ, у тому числі будує об'єкти відновлюваної енергетики <https://www.engie.com/en>

⁵² Geographical analysis of biomethane potential and costs in Europe in 2050 (ENGIE, 2021). https://www.engie.com/sites/default/files/assets/documents/2021-07/ENGIE_20210618_Biogas_potential_and_costs_in_2050_report_1.pdf

⁵³ В дослідженні ENGIE результати представлені у ТВт•год. Перерахунок у млрд м³ зроблено у EBA Statistical Report 2022. https://www.europeanbiogas.eu/_trashed-3/

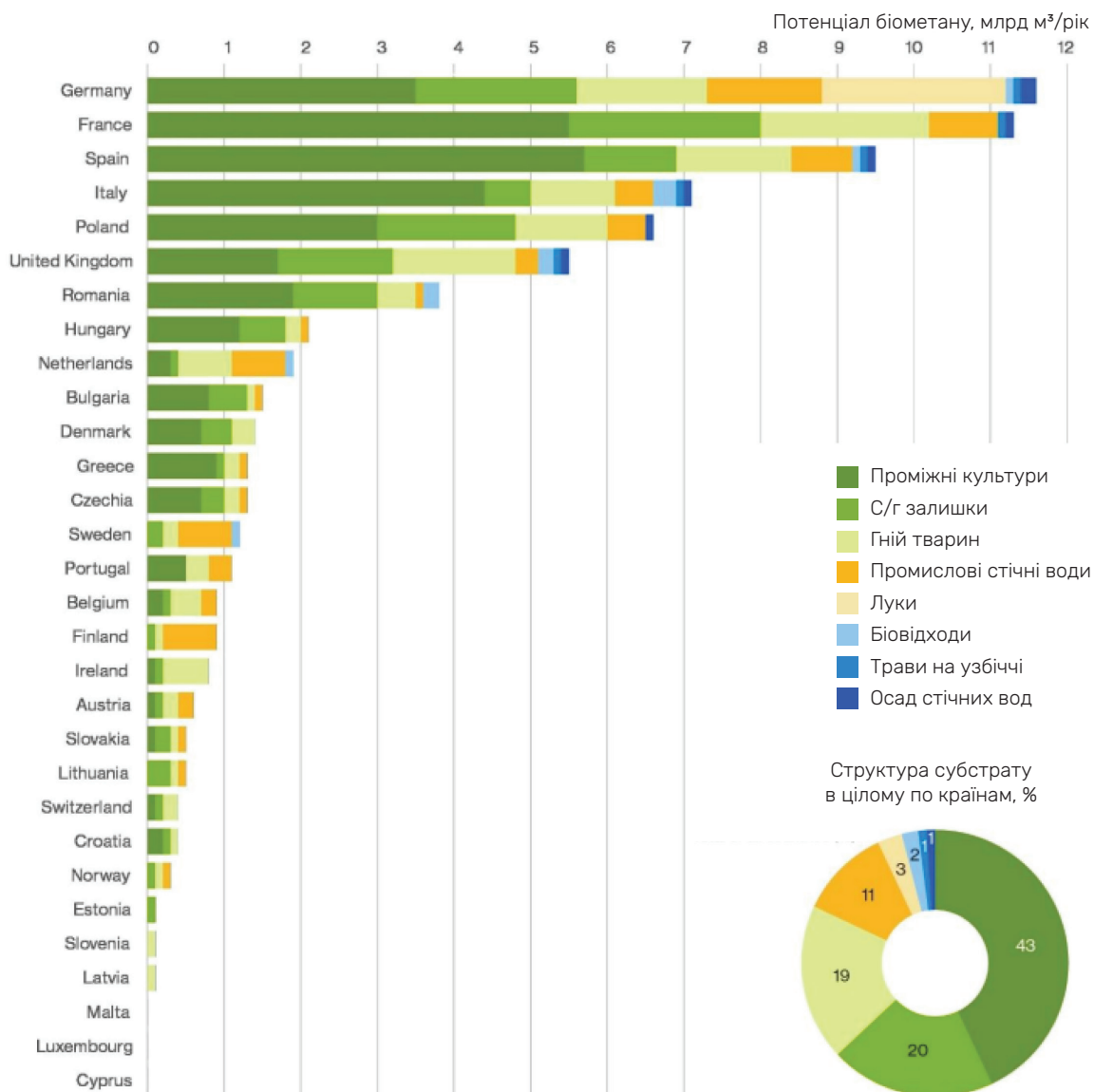


Рис. 5.3. Потенціал виробництва біометану анаеробним зброджуванням (млрд м³/рік) за видами сировини в країнах Європи і загальна структура (%) в цілому по країнам, 2040 р.⁴⁹

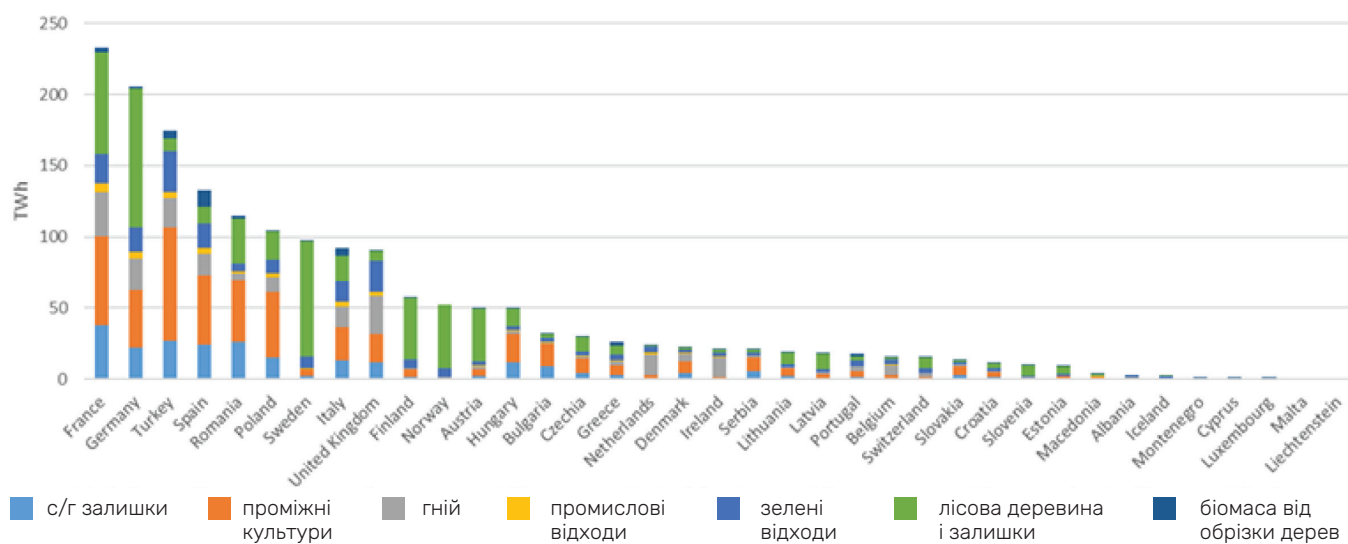


Рис. 5.4. Прогноз обсягу (ТВт•год) та структури потенціалу виробництва біометану за видами сировини в ЄС-27 плюс 10 країн поза ЄС, 2050 р.⁵²

Таблиця 5.1. Частка і площа земель, доступних для системи послідовного вирощування в Європі, у консервативному та максимальному сценаріях⁵⁴.

Тип клімату (країни) ¹⁾	Консервативний сценарій: частка площі під ярими культурами ²⁾ для послідовного вирощування ⁴⁾	Площа земель під послідовне вирощування, тис. га	
		Консервативний сценарій: 20% ³⁾	Максимальний сценарій: 80% ³⁾
Середземноморський (центральна і південна Іспанія, Португалія, південна Франція, Італія, Греція, Албанія)	23%	2651	10604
Атлантичний (центральна і північна Франція, Ірландія, Об'єднане Королівство, Бельгія, Нідерланди)	22%	3943	15773
Континентальний (Німеччина, Люксембург, Данія, Польща, Австрія, Швейцарія, Чехія, Словаччина, Угорщина, Румунія, Болгарія, Балкани)	31%	8945	35781

1. Країни регіону північного клімату (Норвегія, Швеція, Фінляндія, Естонія, Латвія, Литва) були виключені з дослідження через кліматичні умови, що є непридатними для запровадження послідовного вирощування.

2. Кукурудза, сорго, соя, соняшник, кукурудза на силос.

3. Прийнята частка від загальної площі під основними культурами.

4. Експертна оцінка фахівців у сфері с/г. Для розрахунків прийнято єдине консервативне значення для всіх типів клімату – 20%.

Група бельгійських фахівців з Гентського університету провела оцінку потенціалу виробництва біометану з проміжних/покривних культур в Європі з урахуванням типу кліматичних зон різних регіонів⁵⁴. Дослідження охоплювало ЄС-28 (за виключенням кількох країн з регіону північного типу клімату⁵⁵), а також Швейцарію, Албанію та балканські країни поза ЄС. Згідно отриманих результатів, потенціал виробництва біометану з проміжних/покривних культур в Європі становить від **46** млрд м³/рік (**консервативний сценарій**) до **185** млрд м³/рік (**максимальний сценарій**). Оцінка за консервативним сценарієм майже співпадає з результатами ENGIE, наведеними вище.

В консервативному сценарії площу земель, що підходить для впровадження системи послідовного вирощування у різних кліматичних зонах Європи, оцінено як відсоток площі під певними ярими культурами (**табл. 5.1**). Для цілей розрахунку для всіх кліматичних зон було прийнято єдине консервативне значення – **20%** від **загальної площі** вирощування основних культур. В максимальному сценарії, який вважається оцінкою **теоретичного** потенціалу, цей показник складає **80%**.

Було розроблено по 2 варіанти сівозмін з проміжними/покривними культурами для кожного типу клімату – загалом 6 (**рис. 5.5**). Як ППК розглядалися кукурудза, тритикале, ячмінь, сорго, бобові покривні, овес, жито на силос, райграс (**табл. 5.2**).

54 Magnolo, F., Dekker, H., Decorte, M. et al. The Role of Sequential Cropping and Biogasdoneright™ in Enhancing the Sustainability of Agri-cultural Systems in Europe. Agronomy 2021, 11. <https://doi.org/10.3390/Agronomy11112102>

55 До регіону північного клімату (Boreal) відносяться Норвегія, Швеція, Фінляндія, Естонія, Латвія, Литва.

Таблиця 5.2. Проміжні/покривні культури, розглянуті для оцінки потенціалу виробництва біометану в Європі⁵⁴.

Вид культури для різних типів клімату	Середній урожай біомаси, т с.р./га	Вихід біогазу, м³/т с.р.
Середземноморський клімат (північ і південь):		
Кукурудза	16,5	620
Тритикале	13,5	570
Ячмінь	11	570
Сорго	13,5	570
Бобові покривні	8,5	510
Атлантичний клімат:		
Сорго	7	570
Кукурудза	14	620
Овес	7,6	570
Тритикале	9,3	570
Ячмінь	4,5	570
Континентальний клімат:		
Кукурудза	14	620
Жито на силос	6,5	570
Сорго	10	570
Райграс	9	570

КАЛЕНДАР ПОСІВІВ	СІВОЗМІНА																																															
	1 сільськогосподарський рік												2 сільськогосподарський рік												3 сільськогосподарський рік												4 сільськогосподарський рік											
	Сеп	Окт	Нов	Дец	Ян	Фев	Мар	Апр	Май	Чер	Лип	Сер	Окт	Нов	Дец	Ян	Фев	Мар	Апр	Май	Чер	Лип	Сер	Окт	Нов	Дец	Ян	Фев	Мар	Апр	Май	Чер	Лип	Сер	Окт	Нов	Дец	Ян	Фев	Мар	Апр	Май	Чер	Лип	Сер	Ок		
Середземноморський (північ)	ОЗИМИ ЗЕРНОВІ				СОРГО				ТРИТИКАЛЕ/ОЗ. ЗЕРН.				ЯРА К-РА				ТРИТИК./ОЗ. ЗЕРН.				ЯРА К-РА				ОЗИМИ ЗЕРНОВІ				СОРГО																			
Середземноморський (південь)	ОЗИМИ ЗЕРНОВІ								ТРИТИКАЛЕ/ОЗ. ЗЕРН.								БОБОВИ/ОВОЧЕВИ				СОНЯШ./КОНОП.				ТРИТИКАЛЕ/ОЗ. ЗЕРН.																							
Атлантичний	ОВЕС/ТРИТИКАЛЕ/ЯЧМІНЬ				ЯРА К-РА								ЯРА К-РА				ОВЕС/ТРИТИК./ЯЧМІНЬ								ОВЕС/ТРИТИКАЛЕ/ЯЧМІНЬ																							
Атлантичний	ОЗ. ПШЕНИЦЯ/ЯЧМІНЬ				ЯРА К-РА								ЯРА К-РА				ОВЕС/ТРИТИК./ЯЧМІНЬ								ОЗ. ПШЕНИЦЯ/ЯЧМІНЬ				ЯРА К-РА																			
Континентальний	ОЗИМИ ЗЕРНОВІ								ЗЕЛЕНЕ ЖИТО (ранній збір)				ЯРА К-РА				Проміж. к-ра				ЯРА К-РА				ОЗИМИ ЗЕРНОВІ																							
Континентальний	ОЗИМИ ЗЕРНОВІ								ЗЕЛЕНЕ ЖИТО (ранній збір)				КУКУРУДЗА (РАЙГРАС)				РАЙГРАС								ОЗИМИ ЗЕРНОВІ																							

Рис. 5.5. Запропонований календар сівозмін з проміжними/покровними культурами для різних кліматичних зон Європи⁵⁴

Результати оцінки показали, що найбільший потенціал виробництва біометану з проміжних/покривних культур має регіон Європи з континентальним кліматом – від 26 млрд м³/рік (консервативний сценарій) до 105 млрд м³/рік

(максимальний сценарій) **(табл. 5.3).** Цей регіон включає Німеччину, Люксембург, Данію, Польщу, Австрію, Швейцарію, Чехію, Словаччину, Угорщину, Румунію, Болгарію, Балкани.

Таблиця 5.3. Потенціал виробництва біометану з проміжних/покривних культур в Європі⁵⁴

Показники	Регіони Європи за типом клімату		
	Середземноморський	Атлантичний	Континентальний
Площа під ярими ППК, тис. га:			
- консервативний сценарій	1326	1972	4473
- максимальний сценарій	6513	9612	19026
Площа під озимими ППК, тис. га:			
- консервативний сценарій	1326	1972	4473
- максимальний сценарій	4092	6161	16754
Вихід біогазу, м ³ /га:			
ярі ППК	8925	6248	7140
озимі ППК	6050	4066	4418
Потенціал виробництва біометану, млрд м ³ /рік:			
- консервативний сценарій*	9,9	10,2	25,8
- максимальний сценарій**	37,9	42,5	104,9

* В сумі **45,9** млрд м³/рік.

** В сумі **185,4** млрд м³/рік.

У квітні 2025 року Робоча група 3.1 Промислового партнерства з біометану (BIP) опублікувала звіт «Потенціал послідовних та ротаційних сівозмін для сталого виробництва біометану в Європі»⁵⁶. Цей звіт базується на описаній вище роботі Магноло та ін.⁵⁴ і використовує новий підхід до моделювання потенціалу біометану з нових сівозмін. Послідовні (проміжні) культури вводяться як додаткова культура в існуючу сівозміну протягом періодів, коли земля зазвичай пустує (не є продуктивною) між двома основними культурами. У межах цього звіту **ротаційні** культури визначаються як ті, що вирощуються у довготривалій (5+ років) сівозміні, яка узгоджується з принципами сталого розвитку. Методологія оцінки потенціалу виробництва

біометану враховує коефіцієнт невизначеності (80%) та п'ять ключових коригувальних факторів, які впливатимуть на продуктивність послідовного/ротаційного вирощування культур у Європі:

1. Конкуренція між виробництвом продуктів харчування і палива («продукти харчування проти палива»).
2. Конкуренція інших технологій відновлюваної енергетики за біомасу.
3. Сумісність з різними типами ґрунту.
4. Готовність ріллі.
5. Кліматичний ризик.

За результатами оцінки, ЄС-27 має потенціал виробляти **44,0** млрд кубометрів біометану на рік із культур у послідовних та ротаційних сівозмінах (**табл. 5.4**).

⁵⁶ https://bip-europe.eu/wp-content/uploads/2025/04/BIP-Task-Force-3.1_Biomethane-Potential-Novel-Cropping-Systems_April2025.pdf

Таблиця 5.4. Потенціал виробництва біометану з послідовних/ротаційних культур для ЄС-27⁵⁶.

Країни ЄС	Максимальний потенціал біометану від нових сівозмін (млрд м ³)	Коригувальні коефіцієнти						Потенціал виробництва біометану з нових сівозмін (млрд м ³)
		Іжа проти палива	Конкуренція за біомасу	Сумісність з рілляництвом	Готовність ріллі*	Вплив клімату	Невизначеність	
Австрія	0,2	100%	98%	89%	78%	Невідомий	80%	0,1
Бельгія	0,9	95%	98%	71%	78%		80%	0,4
Болгарія	2,8	100%	98%	94%	78%		80%	1,6
Хорватія	1,1	95%	98%	92%	78%		80%	0,6
Кіпр	0,2	100%	98%	78%	78%		80%	0,1
Чехія	2,2	100%	98%	92%	78%		80%	1,2
Данія	1,9	95%	98%	86%	78%		80%	0,9
Естонія	0,1	90%	98%	90%	78%		80%	0,0
Фінляндія	0,7	90%	98%	84%	78%		80%	0,3
Франція	18,4	95%	98%	89%	78%		80%	9,5
Німеччина	9,5	100%	98%	88%	78%		80%	5,1
Греція	2,8	100%	98%	84%	78%		80%	1,4
Угорщина	3,7	100%	98%	91%	78%		80%	2,1
Ірландія	0,2	90%	98%	95%	78%		80%	0,1
Італія	12,7	100%	98%	83%	78%		80%	6,4
Латвія	0,2	90%	98%	90%	78%		80%	0,1
Литва	0,3	90%	98%	89%	78%		80%	0,1
Люксембург	0,1	100%	98%	96%	78%		80%	0,1
Мальта	0,0	100%	98%	68%	78%		80%	0,0
Нідерланди	0,8	90%	98%	59%	78%		80%	0,3
Польща	10,0	100%	98%	88%	78%		80%	5,4
Португалія	0,6	95%	98%	70%	78%		80%	0,2
Румунія	6,2	100%	98%	95%	78%		80%	3,6
Словаччина	0,1	100%	98%	92%	78%		80%	0,1
Словенія	0,1	100%	98%	94%	78%		80%	0,1
Іспанія	10,4	95%	98%	61%	78%		80%	3,7
Швеція	0,8	90%	98%	89%	78%		80%	0,4
ВСЬОГО ЄС27	87,0							44,0

*Слід зазначити, що в міру покращення стану ґрунтів у Європі, зростатиме й потенціал виробництва біометану.

США

В США потенційна площа під вирощування **олійних покривних культур**, призначених для виробництва *сталого авіаційного палива (САП)*⁵⁷, оцінюється у **28,7** млн га за даними 2021 р. із ростом до **29,3** млн га у 2035 р.⁵⁸. Як олійні культури розглядаються ефіопська гірчиця (Carinata), рижій (Camelina) і талабан польовий (Pennycress).

57 Згідно підходу Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA), САП має три ключові ознаки: його виробництво є сталим, тобто не порушує екологічного балансу і не виснажує природні ресурси; воно вироблено з сировини, що є альтернативною сирій нафті; воно має властивості реактивного палива, що відповідають технічним і сертифікаційним вимогам для використання у комерційних літаках. <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-what-is-saf.pdf>

58 Oilseed Cover Crops for Sustainable Aviation Fuels Production and Reduction in Greenhouse Gas Emissions Through Land Use Savings, 2022. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2021.790421/full>

Згідно іншої оцінки⁵⁹, потенціал земельної площі для вирощування жита як покривної культури в США складає **40** млн га у сівозміні з кукурудзою або кукурудзою-соєю. Використання цього потенціалу дасть змогу отримати близько **150** млн т с.р. біомаси жита на рік.

59 Rye as an Energy Cover Crop: Management, Forage Quality, and Revenue Opportunities for Feed and Bioenergy (2022). <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/10/1691>

Можливості для вирощування проміжних і покривних культур для виробництва передового біометану в Україні з урахуванням регіональних аспектів

РОЗДІЛ 6

Агрокліматичні умови України для вирощування проміжних і покривних культур

Більшість території України має помірний континентальний клімат, сприятливий для вирощування різноманітних сільськогосподарських культур, зокрема зернових та олійних, подібний до клімату частин Центральної та Східної Європи, а також регіонів Середнього Заходу США. При цьому значні посівні площі сільськогосподарських культур в Україні знаходяться в зоні ризикованого землеробства (території із природним

дефіцитом опадів), де є постійний ризик втрати обсягів урожаю у надто посушливий рік або втрати якості урожаю у надмірно дощовий рік⁶⁰. Великий вплив на ведення сільського господарства має температурний режим – як сезонний, так і протягом всього року. Для визначення можливості вирощування проміжних і покривних культур необхідно **детально розглянути** температурні тенденції і характеристики опадів, чому присвячений даний розділ.

60 Адаменко Т. Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? Німецько-український агрополітичний діалог, 2019. <https://drive.google.com/file/d/1Xw5LrJAFoZvg5RmbcF0PwDrQA-Q87Ncyx/view?pli=1>



Рис. 6.1. Дати переходу температури повітря через 10°C навесні⁶¹

Стійкий **перехід температури повітря через 10°C** навесні визначає початок активної вегетації більшості рослин⁶¹. Настання температури повітря 10°C найчастіше починається з півдня і південного заходу і дуже рідко зі сходу (рис. 6.1). Від інтенсивності синоптичних процесів залежить ступінь просторового розповсюдження – одночасного охоплення всієї території або лише південної частини. Перехід температури повітря через 10°C найраніше починається у середині квітня у Криму, південних областях та на Закарпатській низовині.

На заході та крайньому північному сході цей перехід відбувається 25-27 квітня, на решті території, просуваючись з півдня на північ – з 15 по 25 квітня. З півдня на північ перехід температури через 10 °C весною здійснюється впродовж 10 днів, а зі сходу на захід – за 8-10 днів. Для переходу характерні, як правило, значні відхилення в датах. Період встановлення

такої температури може тривати місяць, а може й кілька днів. Амплітуда екстремальних дат стійкого переходу через 10 °C весною змінюється від 38-42 днів (на більшій частині території країни) до 46-57 днів у західних областях. Тривалість періоду з температурою повітря рівною і вище 10 °C зростає від 155 днів на Житомирщині та північному сході до 184-196 днів – на Закарпатті, у південних областях та в степовому Криму.

Зниження середньої добової температури восени відбувається дещо швидше, ніж підвищення весною. Період із температурою повітря від 15 до 10 °C вважають продовженням літа, коли ще триває активна вегетація сільськогосподарських культур. У західних областях цей період триває 30-34 дні, поступово зменшуючись до 18-20 днів на сході країни. З переходом температури через 10 °C припиняється вегетація основних теплолюбних культур. Проте цей період припинення активної вегетації досить тривалий через вплив прогрітого за літо ґрунту.

⁶¹ Атлас «Агрокліматичні ресурси України» / за редакцією Т.І. Адаменко, М.І. Кульбиди, А.Л. Прокопенка. – Київ, 2016. – 113 с.



Рис. 6.2. Дати переходу температури повітря через 10°C восени⁶¹

Найраніше перехід через 10 °C відмічається на крайньому північному сході – 28-30 вересня (рис. 6.2). На більшій частині території країни перехід відбувається у першій декаді жовтня, у південних та Закарпатській областях – у другій декаді жовтня, у Криму, на півдні Одещини, Миколаївщини та Херсонщини – на початку третьої декади жовтня. На морських узбережжях, відповідно, перехід дещо пізніший, ніж на прилягаючих територіях. На сході і заході країни перехід відбувається практично одночасно. Амплітуда дат стійкого переходу через 10 °C восени майже на всій території становить від 38-40 на сході до 45-58 днів на заході та півдні.

Опади є головним джерелом поновлення водних запасів і запасів вологи у ґрунті. По території України опади розподіляються нерівномірно, їх річна кількість зменшується із заходу і північного заходу на південь і південний схід. У північно-західній частині країни кількість опадів за рік становить 600–700 мм, у Прикарпатті та на рівнинах Закарпаття – місцями більше 700 мм.

У південних областях за рік випадає 400–500 мм опадів, а в окремих районах Херсонської області та степового Криму – менше 400 мм. На решті території країни річна кількість опадів коливається від 500 до 600 мм. У центральній частині Карпат річна кількість опадів перевищує 1000 мм, а на високогір'ях – навіть 1500 мм.

Карта з кількістю опадів за теплий період (квітень– жовтень) наведена на рис. 6.3. У теплий період року переважають рідкі опади, їх кількість становить 75-80% від річної. Найбільша кількість опадів припадає на червень–липень. Вересень і жовтень – найсухіші місяці теплового періоду. У літні місяці (переважно у липні) відмічаються найбільші добові максимуми опадів. Кількість опадів за теплий період розподіляється аналогічно річній кількості – зменшуючись із заходу та північного заходу на схід та південний схід (від 400–550 мм до 320–380 мм відповідно). За цією характеристикою на більшості території країни кількість опадів складає від 500 до 300 мм.



Рис. 6.3. Кількість опадів (мм) за теплий період (квітень-жовтень)⁶¹

На рівнині Закарпаття кількість опадів становить 445–635 мм, а у крайніх південних районах та в степовому Криму – менше 300 мм. На узбережжі морів кількість опадів за теплий період зменшується до 230–260 мм. На рівнинній території під час літніх злив добові максимуми можуть досягати 150–170, навіть до 200 мм. Для цього періоду характерна також найбільша інтенсивність опадів. Впродовж теплого періоду може випадати значна кількість опадів, яка іноді навіть більша середніх річних значень. Максимальні значення (без урахування гірських районів) коливаються від 600–700 мм на більшій частині території до 800–1000 мм – на заході країни. У посушливі роки мінімальна кількість опадів у теплий період становить від 85–100 мм у південних районах до 140–240 мм – на решті території.

Середня річна температура повітря є основним параметром для оцінки **зміни клімату**⁶⁰. В Україні вона підвищилася на 1,2°C за тридцять останніх років, а якщо розраховувати за останні 10 років, то на 1,7°C. Однак, для

ефективного ведення сільського господарства дуже важливо знати як змінюється не лише середня річна температура повітря, а й тенденції зміни середніх місячних та сезонних температур. Від цих змін значною мірою залежить планування польових робіт.

На всій території країни збільшилася кількість днів із дуже високими температурами (вище +30–35°C), або кількість днів із тепловим стресом. У південних областях за вегетаційний період раніше таких днів було в середньому 30–40, стало 50–65; у північних та західних областях було менше 10, стало більше 15–30.

Зміна температурного режиму у теплий період року позначилася на теплових ресурсах України, для оцінки яких використовують показник суми активних (позитивних) температур повітря вище +10 °C, що накопичуються за теплий період. Порівняння цих сум за різні періоди свідчить про їх збільшення в середньому на 200–400 °C (табл. 6.1).

Внаслідок змін клімату, період активної вегетації сільськогосподарських культур вже подовжився на 10 днів і більше. Це додаткові можливості для вирощування усіх видів теплолюбних сільськогосподарських культур. Ефективність опадів зменшується внаслідок підвищення температури повітря, а підвищення температури на 1°C загрожує Україні зникненням і так невеликої зони достатнього зволоження (Полісся та західний Лісостеп) і переходом цієї зони до нестійкого та недостатнього зволоження⁶².

Таблиця 6.1. Суми активних температур повітря вище + 10°C в агрокліматичних зонах України за різні періоди⁶⁰.

Агрокліматична зона	Періоди		
	1961-1990	1991-2009	2010-2019
Степ	3145	3400	3550
Лісостеп	2705	2950	3150
Полісся	2500	2770	2950

В Україні ФАР обчислюють за вимірами та коефіцієнтами переходу від інтегральної сонячної радіації, одержаними за спектральними експериментальними дослідженнями⁶³. Виробники насіннєвого матеріалу вказують, яка кількість ФАР потрібна для отримання оптимального врожаю⁶⁴. За рахунок вирощування двох урожаїв помітно збільшується використання сонячної енергії на фотосинтез і утворення органічної речовини. Якщо кукурудза весняного посіву за період вегетації використала тільки 0,73% енергії ФАР, яка падає на посіви за максимальний період вегетації, вика + овес – 0,52% і ярий ячмінь – 1,32%, то у двох культур різного строку посіву цей показник значно збільшувався: в посівах ярий ячмінь + післяжнивні – до 1,47-1,68%, вико-овес + озимі + кукурудза – 1,48-1,65 %¹⁶.

Ресурси тепла: Загальна сума активних температур (при переході через +10 °C) в Україні змінюється з півночі на південь від 2000 до 3600 °C. Сума температур для одержання урожаю зеленої маси ранніх ярих сумішей

становить 700-800°C⁶⁵. Отже, на всій території України достатньо тепла для вирощування післяжнивних і післязливних посівів на зелений корм, а в південних районах – і на зерно. Період можливої вегетації проміжних культур після різних попередників до стійкого похолодання коливається від 60-70 до 120-140 днів.

Урожай, залежно від культури, можна мати через 55-70 до 100 днів, у тому числі урожай зерна – через 70 – 90 днів. Важливо враховувати і те, що при вирощуванні польових культур у літніх проміжних посівах період їх вегетації значно скорочується. Щоправда, проходження фаз розвитку післяжнивних посівів, вегетація яких припадає на серпень-жовтень, навпаки, внаслідок зниження температур подовжується. Проте накопичення вегетативної маси при підбиранні холодостійких культур відбувається задовільно і добре.

Але на більшій частині території України основним лімітуючим фактором врожайності проміжних посівів, особливо літніх післяжнивних (наприклад, після кукурудзи на зелений корм), післяжнивних і підсівних, є **волога**. При цьому запаси її перед посівом в умовах Лісостепу не мають значного впливу на врожайність. Літом ця волога може забезпечити в кращому разі лише появу сходів і початковий ріст рослин.

Вітчизняний досвід вирощування проміжних культур для кормовиробництва

В Україні напрацьовано значний досвід вирощування проміжних культур для кормовиробництва, який можна використати і для вирощування сировини для біоенергетики, зокрема, для виробництва біогазу та біометану.

Проміжні посіви використовують весною і восени на зелений корм, для заготівлі силосу, сінажу, сіна і трав'яного борошна⁶⁶. Крім того, ці посіви підвищують вихід продукції з одиниці площі, залишають у ґрунті до 45-60 ц/га коренів

62 <https://www.donausoja.org/wp-content/uploads/2023/02/Atlas-Climate-change-in-Ukraine.pdf>

63 <https://uhmj.org.ua/index.php/journal/article/view/196/190>

64 <https://agrotimes.ua/article/rujnuemo-pogodni-mifi/>

65 Зінченко О. І. Кормовиробництво: Навчальне видання. – 2-е вид., доп. і перероб. – К.: Вища освіта, 2005. – 448 с. https://www.isgkr.com.ua/images/sampled/data/doc/literatura/kormovirobnictvo_zinchenko_o_i.pdf

66 Довідник з кормовиробництва для виконання практичних завдань студентами факультету агрономії кваліфікації молодший бакалавр за спеціальністю 201 Агрономія. – Умань: Редакційно-видавничий відділ, 2021. – 63 с.

і стерньових решток, зменшують забур'яненість і поліпшують структуру ґрунту.

Сіють озимі проміжні культури на зелений корм у такі самі строки, як і на зерно. На Поліссі ріпак, перко й суріпицю висівають у першій половині серпня, в Лісостепу – у другій (до 25 серпня). Оптимальний строк сівби жита кормових сортів на Поліссі та в Лісостепу – з 5 по 10 вересня, а зернових сортів жита і пшениці – по 20–25 вересня. У Степу проміжні культури вирощують лише на зрошуваних землях; їх висівають після збирання основних культур весною, літом і рано восени.

Для післяжнивних і післяукісних посівів культури підбирають залежно від ґрунтово-кліматичних умов. Вони повинні мати короткий вегетаційний період, бути маловимогливими до тепла, світла, вологи, стійкими проти ранніх приморозків. Перевага надається тим, що мають меншу норму висіву насіння і низьку його вартість. У ранніх післяукісних і післяжнивних посівах вирощують переважно кукурудзу та її сумішки з горохом, люпином, кормовими бобами і соєю, турнепс, соняшник з горохом, а на Поліссі і Передкарпатті ще й люпин. Для сівби в кінці липня – на початку серпня рекомендують використовувати гірчицю білу в сумішці з горохом та ріпу-стернянку (шеститижневий турнепс), а в Степу ще й горохово- і вівсяну сумішки. У другій декаді серпня краще висівати гірчицю білу й редьку олійну, а в Степу – ще й горохово- або віко-вівсяну сумішки.

Підсівні культури розміщують у кормових, польових і спеціальних сівозмінах перед ярими. Якщо покривними культурами є озимі, то їх висівають після культур зайнятого пару⁶⁷, багаторічних трав і ранніх зернобобових. При вирощуванні підсівних культур під покривом ярих, останні розміщують після просапних, пізніх зернобобових і технічних культур.

В освоєних польових, кормових і спеціальних сівозмінах проміжні посіви можуть займати до 20–50% сівозмінної площі. З окремих видів проміжних посівів слід надавати перевагу у Карпатах озимим проміжним і підсівним, у Передкарпатті й на Поліссі – озимим проміжним, підсівним і післяукісним, у Лісостепу – озимим проміжним і післяжнивним, а в Степу – післяжнивним.

Структура посівних площ Полісся і Передкарпаття дає можливість у польових сівозмінах проміжні посіви розміщувати після зернових і однорічних трав перед ярими. Наприклад, 1 – конюшина, 2 – озима пшениця + післяжнивні посіви, 3 – льон + післяжнивні посіви, 4 – картопля, коренеплоди, 5 – ячмінь + озимі проміжні посіви, 6 – кукурудза на силос, 7 – озиме жито + післяжнивні посіви, 8 – люпин, однорічні трави + післяукісні посіви, 9 – овес з підсівом конюшини.

На піщаних і глинисто-піщаних ґрунтах рекомендується сівозміна, насичена проміжними посівами: 1 – люпин на зелену масу, 2 – жито + післяжнивні посіви, 3 – картопля, 4 – жито + озимі проміжні посіви.

У 10-пільних сівозмінах господарств Лісостепу з зерно-буряково-тваринницьким напрямом виробництва м'яса свинини і птиці, молока і яловичини, післяжнивні посіви розміщують після озимої пшениці перед ярими зерновими або просапними, а в Степу – після озимої пшениці перед коренеплодами і кукурудзою на зерно; озимі проміжні – після озимого ячменю перед кукурудзою на зелений корм.

У міру росту й розвитку вміст сухої речовини в зеленій масі кормових рослин у період вегетації з 8–12% у початковій фазі збільшується до 18–22% у період колосіння (бутонізації) – цвітіння, підвищуючись потім у фазі молочно-воскової і воскової стиглості до 27–30% і більше (кормові трави, кукурудза, озимі жито і пшениця на корм, ранні ярі бобово-злакові суміші)⁶⁵. Вміст сирого протеїну (або загального азоту) у сухій речовині рослин після колосіння і бутонізації, тобто після настання генеративного періоду, навпаки, різко знижується. Це пояснюється тим, що на початку вегетації рослини дуже обводнені і посилено засвоюють азот: на одиницю сухої речовини їм потрібно у 2–3 рази більше азоту, ніж у генеративні фази. Далі у процесі росту і нагромадження сухої речовини у них відбувається так зване «ростове розведення» азотистих поживних речовин. За короткий період вегетації (40–55 днів) озимі й ранні ярі, кукурудза можуть нагромаджувати 55–85% валової кількості протеїну, тоді як сухої речовини 24–48% (табл. 6.2).

Оскільки суху речовину рослини накопичують повільніше, загальна кількість її за 2–3 врожаї (укоси) або за 5–6 циклів випасання худоби може ненабагато перевищити або виявитися

67 Зайнятий пар – пар, зайнятий культурними рослинами, які рано звільняють поле для обробітку ґрунту і створюють сприятливі умови для наступних культур.

Таблиця 6.2. Вихід сухої речовини і протеїну у різні фази розвитку культур⁶⁵

Культура	Фаза вегетації	Суха речовина		Протеїн	
		ц/га	%	кг/га	%
Озиме жито	Вихід у трубку	20,5	38,4	330	65,4
	Початок колосіння	42,6	81,6	532	100,5
	Цвітіння	52,2	100	506	100
Озима пшениця	Вихід у трубку	29,9	48,2	429	81,7
	Початок колосіння	49,3	69,5	540	103
	Повне колосіння	62,0	100	524	100
Кукурудза весняного строку	10 листків	18,0	23,6	258	54
	Утворення качанів	59,0	77,3	442	103,8
	Молочно-воскова стиглість	76,2	100	426	100
Кукурудза в післякисному посіві з міжряддями 45 см	8 – 9 листків	9,3	19,8	149	31
	10 – 11 листків	19,3	41,3	265	55,2
	Утворення качанів	46,7	100	480	100
Те саме з міжряддями 70 см	8 – 9 листків	5,7	11,5	89,5	26,5
	10 – 11 листків	11,2	23,5	144	41,3
	Утворення качанів	34,6	69,5	388	114,8
	Молочно-воскова стиглість	49,8	100,0	338	100
Овес	Початок виходу в трубку	12,3	18,1	230	33,4
	Фаза трубки	26,4	38,8	378	54,4
	Поява волоті	43	64,7	58,8	85,4
	Повна фаза волоті	54	79,2	620	89,7
	Молочна стиглість	57	83,8	690	100
	Молочно-воскова і воскова стиглість	68	100	690	100

приблизно такою, як і при вирощуванні однієї, але високопродуктивної культури за вегетаційний період. Основний виграв – збільшення у 1,5-2 рази виходу протеїну.

Правильне чергування науково обґрунтованого набору культур у поєднанні з прогресивними способами обробки ґрунту, удобренням, максимальним ущільненням сівоzmіни проміжними культурами дають змогу інтенсивно використовувати землю, підвищувати її родючість, поліпшувати фізичні властивості ґрунту. Для вирощування в післякисних, післяжнивних, підсівних і озимих проміжних посівах у різних зонах України використовують різні кормові культури (табл. 6.3).

Інтенсивна селекційна робота та оптимізовані системи виробництва змогли сприяти значному підвищенню врожайності сільськогосподарських культур протягом останніх десятиліть. Тому багато культур, які збираються у момент максимальної врожайності біомаси для приготування силосу і використовуються для виробництва біогазу, відомі як сировина для виробництва харчових продуктів або кормів¹³.

Для виробництва біогазу крім культур з сімейства Poaceae (справжні трави, такі як кукурудза, сорго та інші злаки), також можна використовувати урожай листя від плодів, таких як цукровий буряк. Також обговорюється використання для біогазу багаторічних видів

Таблиця 6.3. Екологічно обґрунтоване районування кормових культур
для використання в проміжних посівах різних ґрунтово-кліматичних зон України⁶⁵

Культура	Лісостеп	Степ	Полісся і західні райони України	Нечорноземна зона
Жито кормове	4	4	4	4
Пшениця кормова	4	4	4	4
Кукурудза	1; 2	1; 2	1; 2	1
Суданська трава	1; 3	1; 2; 3	1; 0	1; 0
Ріпак				
озимий, свиріпа	2; 4	4	1; 2; 4	1; 2; 4
ярий	1; 0; 2	2; 0	1; 2	1; 2
Сорго	1; 0	1	1; 2	1; 2
Соя	1	1	1	–
Вика				
яра	1	–	1; 2; 0	1; 0
озима паннонська	4	4	4	4
Горох	2	2	1; 2	1; 2
Люпин	–	–	1; 2	1
Соняшник	1; 2	1; 2	1; 2	1
Овес	2	2	1; 2	1; 2
Редька олійна	1; 2	1; 2	1; 2	1; 2
Ячмінь ярий	2; 0	2; 0	2; 0	2; 0
Однорічна конюшина	3	3	3	–

Примітка: 1 – післяукісні; 2 – післяжнивні; 3 – підсівні; 4 – озимі проміжні.

родини Asteraceae (родина айстрових), Malva-seae (родина мальвових) і Polygonaceae (родина споришу). Типи Brassica (родини гірчичних) не підходять через високий вміст сірки у рослинній сировині.

Впровадження проміжних і покровних культур для виробництва біогазу у сівозміні

В Україні з 1990 до 2022 рр. у структурі посівів сільськогосподарських культур значно скоротилися частка площ під кормовими культурами – з 37% до 6% (рис. 6.4). При цьому

відбулося стрімке зростання частки площ під технічними культурами – з 12% до 35%. Також зросли частка площ під зерновими та зернобобовими – з 45% до 52% та частка площ під коренеплодами, бульбоплодами, культурами овочевими та баштаними продовольчими – з 6% до 7%. Слід відзначити, що найбільша частка площ під зерновими та зернобобовими становила 57% у 2011 і 2013 р., але потім почалося їх заміщення технічними культурами.

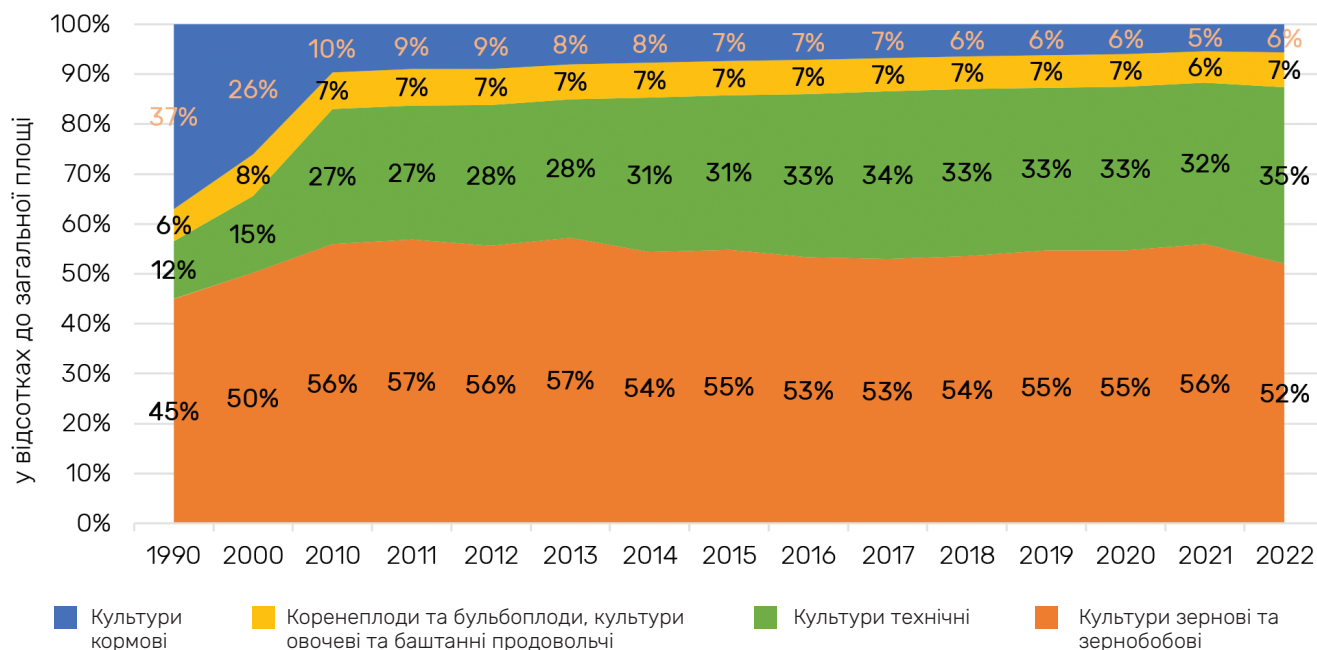


Рис. 6.4. Зміна структури посівів сільськогосподарських культур в Україні протягом 1990–2022 рр.⁶⁸

⁶⁸ <https://www.ukrstat.gov.ua/>

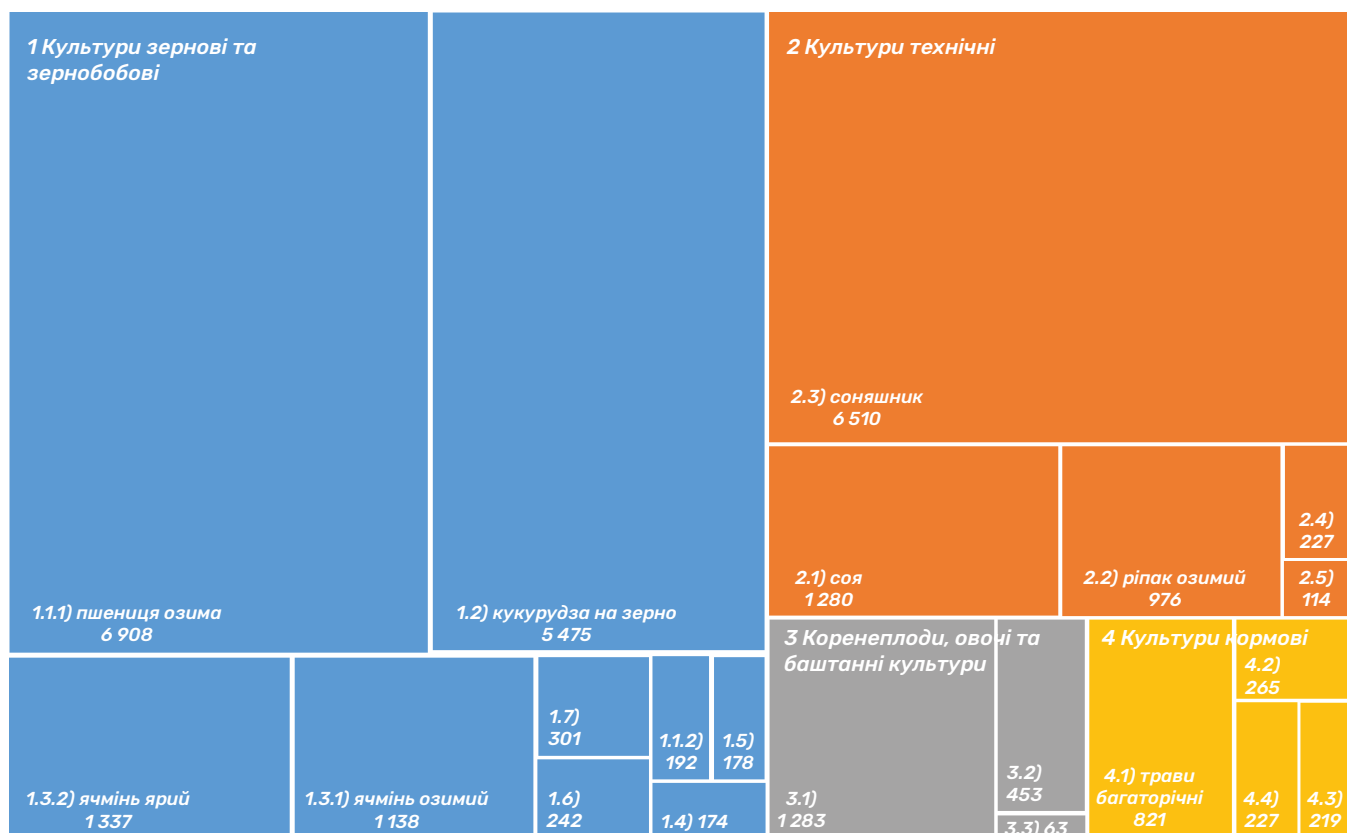


Рис. 6.5. Структура посівів сільськогосподарських культур у 2021 р., тис. га, де:

1 Культури зернові та зернобобові: 1.1.1) пшениця озима; 1.1.2) пшениця яра; 1.2) кукурудза на зерно;

1.3.1) ячмінь озимий; 1.3.2) ячмінь ярий; 1.4) жито озиме; 1.5) овес; 1.6) горох; 1.7) інші.

2 Культури технічні: 2.1) соя; 2.2) ріпак озимий; 2.3) соняшник; 2.4) буряк цукровий; 2.5) інші.

3 Коренеплоди, овочі та баштанні культури: 3.1) картопля; 3.2) овочеві відкритого ґрунту; 3.3) баштанні продовольчі.

4 Культури кормові: 4.1) трави багаторічні; 4.2) трави однорічні; 4.3) кукурудза кормова; 4.4) інші.

На **рис. 6.5** представлена діаграма з даними Державної служби статистики України щодо площ посівів окремих сільськогосподарських культур за групами культур: зернові та зернобобові; технічні; кормові; коренеплоди, бульбоплоди, овочеві та баштанні продовольчі. Загалом, сільськогосподарські культури займали 28387,5 тис. га у 2021 р. Найбільші площі займали посіви пшениці озимої – близько 6,9 млн га; соняшнику – 6,5 млн га; кукурудзи на зерно – 5,5 млн га; сої – 1,3 млн га; ячменю ярого – 1,3 млн га; ячменю озимого – 1,1 млн га; ріпаку – 1 млн га та картоплі – 1,3 млн га (98,5% площ під картоплею розташовані у господарствах населення). Таким чином можна виділити наступні **основні сільськогосподарські культури**: пшениця озима; ячмінь озимий і ярий; кукурудза на зерно; соняшник; соя і ріпак, які займають понад 4/5 посівних площ в Україні. Саме у **сівозмінах цих культур потенційно можна впровадити вирощування проміжних і покривних культур для біоенергетики**.

Підходи до визначення **оптимального співвідношення сільськогосподарських культур** у різних ґрунтово-кліматичних зонах України описані у Наказі Міністерства аграрної політики України та Української академії аграрних наук від 18.07.2008 № 440/71⁶⁹. Наукові принципи побудови сівозмін передбачають правильний підбір попередників та оптимальне поєднання одновидових культур із дотриманням допустимої періодичності їх повернення на одне й те ж поле. При цьому необхідна адаптація виробництва до природно-кліматичних умов регіонів. Продуктивність культур значною мірою залежить від розміщення їх у сівозміні. Можливість одержання максимального врожаю залежить від розміщення культур після кращих попередників. Слід уникати насичення сівозміни культурами, близькими між собою біологічно (колосовими зерновими, бобовими). Не рекомендується розміщувати колосові зернові після колосових більше двох років, а також бобові після бобових.

У сучасних умовах за зростання попиту на зернову та олійну продукцію прикладом оптимальної короткоротаційної сівозміни може бути, зокрема, **чотирипільна** з таким чергуванням культур⁷⁰:

багаторічні бобові трави, зернобобові чи кормові культури;

пшениця озима;

соняшник, зернобобові, кукурудза та інші, окрім зернових стерньових культур;

ячмінь ярий, пшениця яра, однорічні трави, однорічні трави з підсівом багаторічних трав.

Для планування вирощування проміжних і покривних культур, крім їх біологічної взаємодії з попередниками і послідовниками у сівозміні та їх впливу на родючість ґрунту, важливо визначити проміжки часу, коли поля вільні від основних культур, але при цьому наявні сприятливі агрокліматичні умови для вегетації рослин. Узагальнені типові періоди вирощування основних сільськогосподарських культур в Україні наведено на **рис. 6.6**. Так, озиму пшеницю в основному сіють у вересні–жовтні і збирають у липні–серпні, а кукурудзу сіють у квітні–травні і збирають у вересні листопаді. Тому, якщо кукурудза вирощується у сівозміні після озимої пшениці, наявна можливість впровадити **післяжнивні посіви проміжних культур**, урожай яких може бути використаний для біоенергетики.

Аналогічний підхід можна використати для впровадження вирощування **проміжної культури** після озимого ріпаку перед кукурудзою на зерно.

В Україні як проміжні культури для отримання біомаси в поточному році і подальшого виробництва біогазу/біометану можуть бути використані: ярі зернові (після ранніх попередників), кукурудза (ранньостиглі

69 <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0440555-08#Text>

70 <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/10145-systema-dynamichnoi-sivozminy.html>

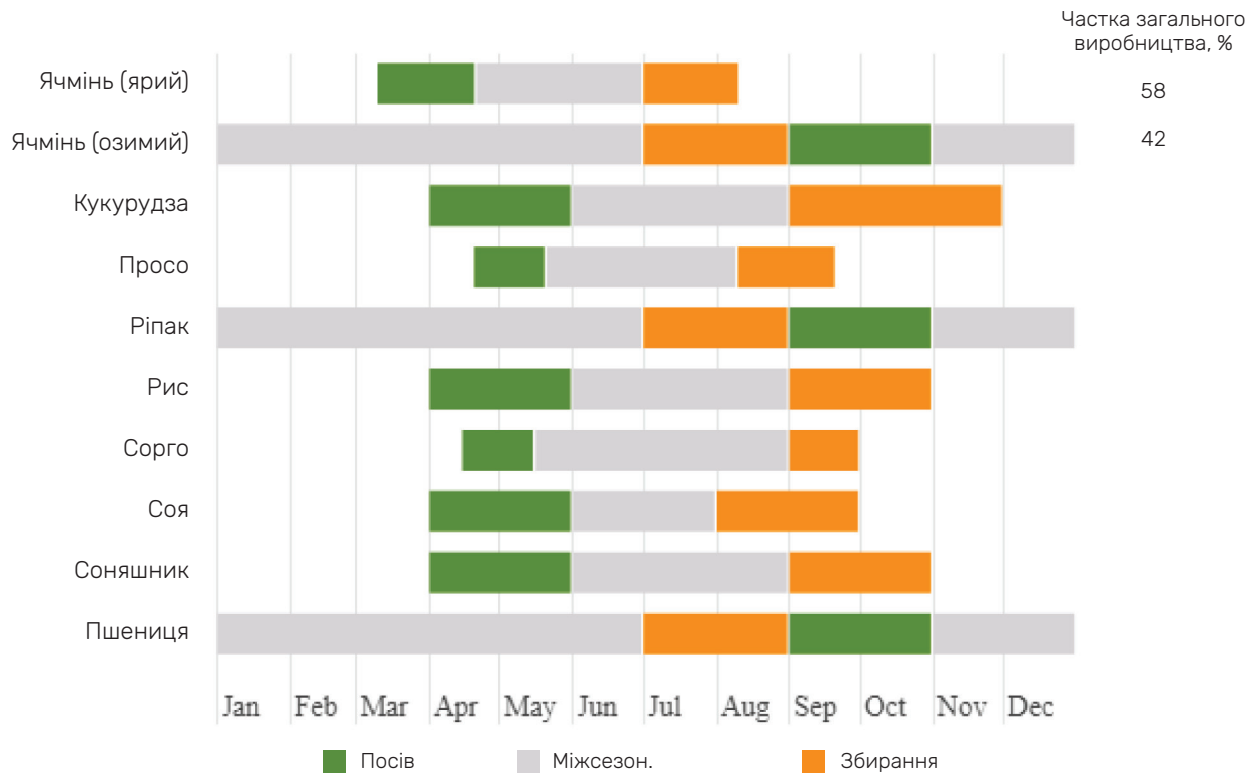


Рис. 6.6. Календар вирощування сільськогосподарських культур в Україні⁷⁷

⁷⁷ <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=UP>

гібриди за сприятливих умов), сорго, вика. Для раннього збирання біомаси у наступному році для аналогічного біоенергетичного використання можуть розглядатися озимі проміжні культури: зелене жито (KWS Пропауер⁷¹, KWS Магніфіко⁷²), тритикале (Велетень⁷³), озима пшениця і озимий ячмінь (на ранніх стадіях розвитку). Крім того, розглядаються й інші види проміжних і покривних культур. Серед них, завдяки своїй посухостійкості, витривалості та здатності швидко нарощувати значну біомасу, перспективним є амарант для отримання зеленої маси з метою подальшого виробництва біогазу та біометану⁷⁴. Урожайність зеленої маси амаранту становить 50-90 т/га і може досягати 100-150 т/га⁷⁵. Компанія Soufflet Agro Ukraine випустила довідник покривних

⁷¹ <https://www.kws.com/ua/uk/produkty/zernovi/zhyto/oglyad-gibry-div-ozymogo-zhyta/kws-propauer/>

⁷² <https://www.kws.com/ua/uk/produkty/zernovi/zhyto/kws-magnifiko/>

⁷³ <https://agroflyer.com/ru/tritikale-ozime-veleten-rrnns-9171.html>

⁷⁴ https://uabio.org/wp-content/uploads/2025/02/Vykorystannya-amarantu_v_bioenergetytsi.pdf#page=4.00

⁷⁵ <https://agrarii-razom.com.ua/culture/amarant-na-zeleniy-korm>

культур⁷⁶, який містить характеристики 21 рослини родин айстрових, водолисткових, капустяних, бобових, льонових та гречкових. Даний довідник можна використовувати при плануванні впровадження вирощування покривних культур в Україні.

Компанія KWS пропонує для виробництва біогазу спеціальні гібриди озимого жита. З зеленої маси гібридного жита отримують 4320 м³ біометану/га (табл. 6.5), що на 31% менше ніж з гектару кукурудзи на силос (енергетичної кукурудзи).

У 2021 році компанія KWS надала НТЦ «Біомаса» три зразки силосу: силос житній СЖ-39 (зібраний до виходу колосу), СЖ-65 (зібраний після цвітіння) та СЖ-73 (зібраний у фазі молочно-воскової стиглості). На всіх зразках досліджували вміст сухої речовини, органічних речовин і вихід біогазу. Результати досліджень показали, що під час збільшення терміну вирощування кількість сухої речовини також збільшується, а зольність силосу при цьому знижується (рис. 6.7).

⁷⁶ https://www.soufflet-agro.com.ua/media/filer_public/30/ad/30ad6456-a305-4547-83e2-572c68a68a90/sa_cover_crop_guide_ua_web.pdf

З подовженням термінів збирання збільшується і вихід метану на кілограм біомаси. Щодо виходу метану на кілограм органічної речовини, то під час збирання до виходу колоса кількість отриманого метану становить до 350 л/кг СОР, під час збирання після цвітіння цей показник дещо знижується (до 300 л/кг СОР). А під час збирання у фазі молочно-воскової стиглості досягнуто найвищі показники (від 350 л/кг СОР). Такі показники є близькими до тих, що отримують для силосу кукурудзи.

Таким чином, потенціал виходу метану є найвищим для житнього силосу, зібраного у фазі молочно-воскової стиглості. Силос, заготовлений у фазі прапорцевого листка (кінець квітня – початок травня), також показує високі результати. Збирання у цей період є доцільним для господарств з нормальним вологозабезпеченням ще й тому, що після жита може бути висіяна інша культура.

Таблиця 6.5. Порівняння виходу біогазу та біометану⁷⁸.

Показники	Енергетична кукурудза	Гібридне жито
Вихід зеленої маси (т/га)	60	35-40
Вміст сухої речовини, %	27-31	33-36
Вихід біогазу, м ³ /т (зелена маса)	200	200
Конверсія метану, %	53	54
Вихід метану, м ³ /т (зелена маса)	105	108
Вихід метану з площі, м ³ /га	6300	4320

Код матеріалу	Сухі речовини (СР)	Суша органічна речовина (СОР)
	%	% від СР
СЖ-39	26,78	89,05
СЖ-65	32,99	91,41
СЖ-73	36,13	94,97

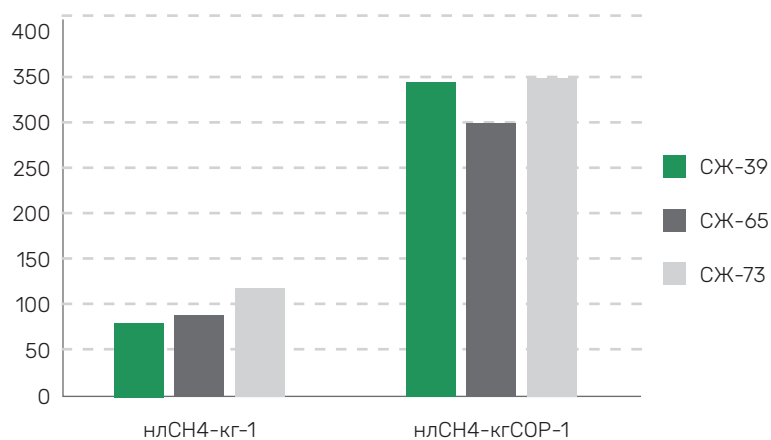


Рис. 6.7. Результати експериментального дослідження НТЦ «Біомаса» виходу біогазу із житнього силосу⁷⁹

⁷⁸ https://www.kws.com.ua/media/cereals_ua/katalog-gibrydiv-ta-sortiv-zernovyh-kultur-ta-ozymogo-ripaku-2023.pdf

⁷⁹ <https://propozitsiya.com.ua/zlakovi-sylosy-perspektyva-dlya-vyrobnyctva-biogazu>

ТЕО вирощування і збирання проміжних і покривних культур в Україні

РОЗДІЛ 7

Вихідні дані

Розглянемо приклад вирощування проміжних (покривних) культур для виробництва біогазу у існуючій сівоzmіні між озимим ріпаком та кукурудзою (табл. 7.1). Пропонується посіяти післяжнивні культури у липні на частині площі 1000 га після озимого ріпаку, який зберуть у червні – липні, та посіяти озимі проміжні культури у серпні на решті площі 1000 га після озимого ріпаку. Збирання післяжнивних культур буде здійснюватися у жовтні–листопаді. Озимі проміжні культури будуть збиратися у травні до початку сівби кукурудзи. Вибір проміжних культур обумовлений їх здатністю швидкого формування зеленої маси з липня до листопада для післяжнивних культур та з серпня до травня для озимих проміжних культур.

В Україні існує практика посіву як післяукісні й післяжнивні культури вико-вівсяної суміші для забезпечення худоби зеленим кормом, заготовівлі сіна і як сидерат. Попередньо пропонується як післяжнивні культури вирощувати вико-вівсяну суміш, а як озиму проміжну культуру

– гібридне жито. Вихід зеленої маси вико-вівсяної суміші приймемо 4 т с.р./га або 13,3 т/га вологістю біомаси 70%, а зеленої маси озимого жита – 8 т с.р./га або 26,7 т/га вологістю 70%. Слід відзначити, що урожайності зеленої маси проміжних культур можуть бути і значно більшими, зокрема, вико-вівсяної суміші – 27,8 т/га⁸⁰; гібридів жита озимого – 42 т/га⁸¹. Тому для отримання високого виходу біомаси з одиниці площі доцільно провести пробні посіви різних видів покривних культур та підібрати оптимальні для локальних умов сорти.

Тривалість збирання зеленої маси – до 2 тижнів. Орієнтовна відстань транспортування біомаси до 20 км. Зібрану зелену масу потрібно буде силосувати. Визначимо витрати на вирощування та збирання на зелену масу жита озимого та вико-вівсяної суміші.

80 <https://propozitsiya.com/ua/rol-pokrivnih-kultur-pid-chas-viroshchuvannya-bagatorichnih-trav>

81 <https://superagronom.com/news/269-viroshchuvannya-ozimogo-jita-na-korm-vigidnishe-vid-posivu-bagatorichnih-trav>

Таблиця 7.1. Приклад впровадження вирощування проміжних культур у існуючу сівоzmіну.

1 рік (місяці)												2 рік (місяці)												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Існуюча практика																								
Озимий ріпак							Пар									Кукурудза								
Нова практика (післяжнивна культура)																								
Озимий ріпак						Післяжнивна культура						Пар						Кукурудза						
Нова практика (озима проміжна культура)																								
Озимий ріпак						Озима проміжна культура										Кукурудза								

Оцінка витрат на вирощування та збирання жита як озимої проміжної культури

У озимого жита стебло – соломина заввишки від 70 до 200 см⁸². Цвіте через 2 тижні після колосіння. Маса 1000 насінин 13–55 г. Добре росте на підзолистих, піщаних, торфоболотних, важких глинистих та інших ґрунтах. Вищі врожаї дає на чорноземах та темно-сірих лісових ґрунтах. Мало вимогливе до тепла. Насіння починає проростати при температурі ґрунту на глибині загортання 1–2 °С. При 12–14 °С сходи з'являються через 6–8 днів після сівби. Фаза куціння настає через 10–15 днів після появи сходів. Холодостійкість висока. Приріст зеленої маси зростає до фази цвітіння. При збиранні у фазі виходу в трубку та при наявності вологи в ґрунті добре відростає і дає високий урожай отави. Тривалість вегетаційного періоду 270–360 днів. На корм вирощують у Лісостепу, на Поліссі та в Степу. Займає провідне місце в системі зеленого конвеєра. Навесні зелену масу використовують для годівлі тварин.

Гібридне жито компанії KWS – це високотехнологічна культура, яка поєднує в собі всі переваги жита як виду – пластичність, адаптивність, стійкість до хвороб, шкідників і ґрунтово-кліматичних факторів. Разом з тим воно має переваги гетерозисного ефекту, високу врожайність та стабільність. Технологія вирощування гібридного жита KWS на силос наведена на **рис. 7.1**.

Приріст зеленої маси жита збільшується до початку колосіння. Після виходу в трубку зростає вміст клітковини, зменшується питома вага листків, погіршується якість зеленого корму і поїдання його тваринами⁸³. Оптимальна фаза збирання жита на силос – це повний вихід прапорцевого листка BBCH 39⁸⁴ до виходу колоса⁸⁵.

82 <https://crops.udau.edu.ua/assets/files/kormi/korm.dovid-nik.2018.pdf>

83 https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3174/1/Antipova_L.Kormovirob_KL_2014.pdf

84 BBCH – це міжнародна система для опису стадій розвитку рослин, яка застосовується у агрономії для стандартизації визначення розвитку рослин на всіх їхніх етапах. <https://agroexp.com.ua/uk/chto-takoe-vvsn>

85 <https://superagronom.com/articles/378-jito-ozime-tehnologiya-viroshchuvannya-obrobitor-gruntu-dobryva-nasinnya-zahist-ta-zbirannya>

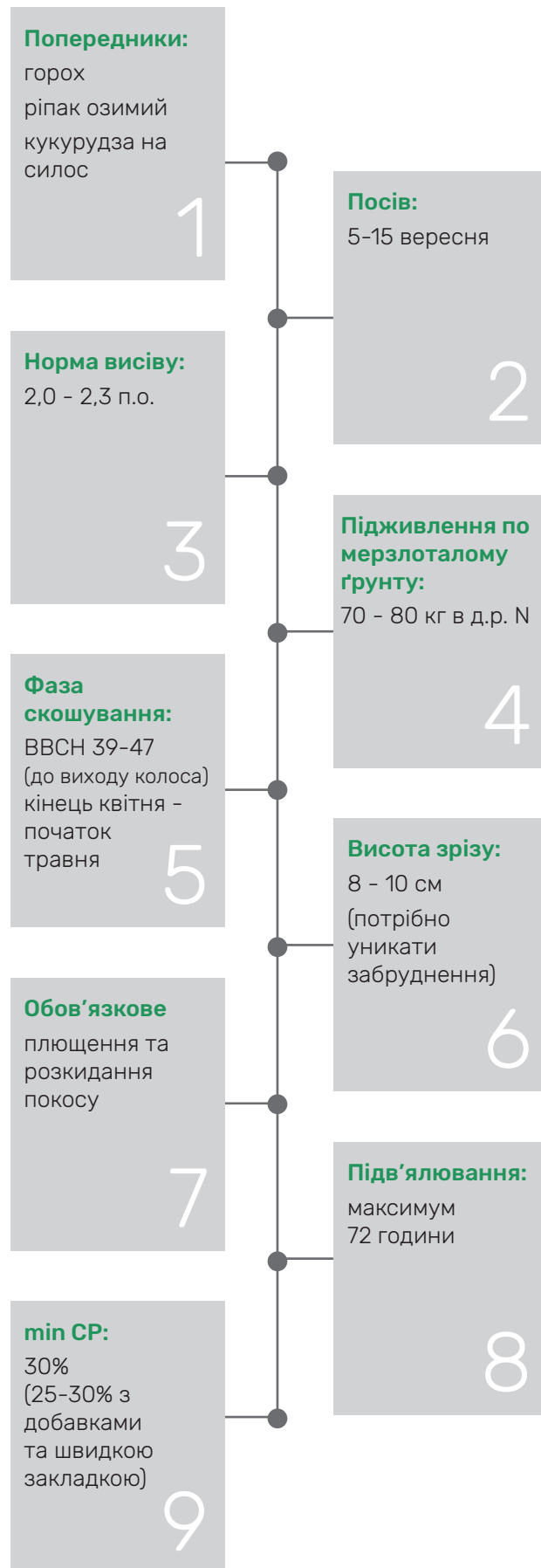


Рис. 7.1. Технологія вирощування гібридного жита KWS на силос⁷⁹

Для необхідності зниження вологості зеленої маси жито перед закладанням на силосування скошують і залишають у полі для в'янення. Вміст сухої речовини 30–35% у біомасі зменшує ризики погіршення силосування через надлишок вологи й покращує поживну цінність кінцевого продукту. Загальна схема збирання зеленої маси жита з попереднім прив'яненням виглядає так:

Скошування з плющенням (широке розстелення або помірний покіс).

Ворушіння (1–2 рази) для швидкої та рівномірної втрати вологи.

Згрібання у валок (валкоутворювачем), коли вологість знижується до 65–70%.

Підбір валка кормозбиральним комбайном, подрібнення й транспортування до місця закладання.

На основі даних **рис. 7.1** для оцінки витрат на вирощування визначено перелік технологічних операцій вирощування та збирання гібридного жита на силос (**табл. 7.2**). За розглянутою технологією передбачається підживлення по мерзлоталом ґрунту у нормі 70–80 кг діючої речовини азоту. З огляду на те, що дигестат після зброджування силосної маси жита у БГУ буде внесений на поля як добриво, відбудеться повернення поживних речовин під наступну культуру сівозміни. Тому вартість мінеральних добрив не будемо враховувати.

За норми висіву насіння 2 п. од./га і вартості 45 євро/п.од. без ПДВ витрати на насіння складуть 90 євро/га. Засоби захисту рослин (ЗЗР) будуть використовуватися у разі необхідності⁸⁶, отже врахуємо витрати на одну обробку гербіцидом або фунгіцидом як 10 євро/га без ПДВ. Таким чином, витрати на насіння, регулятори росту і ЗЗР складуть 100 євро/га.

На 1000 га витрати на оплату праці становлять 6993 євро, витрати палива – 74863 л. Вартість дизельного палива складає 1 євро/л без ПДВ. Мазильні матеріали 15% від вартості ДП. Витрати на ТО, ремонт техніки приймемо 5% від її вартості. Термін амортизації техніки – 8 років. Загальні виробничі витрати на вирощування та збирання зеленої маси озимого жита наведено у **табл. 7.3**.

Таким чином **питомі витрати на вирощування і збирання зеленої маси озимого жита з площі 1000 га з доставкою до силососховища становлять 13,4 євро/т** або 44,7 євро/т с.р. за вологості біомаси 70%. Якщо ж виключити технологічні операції внесення мінеральних добрив (див. № 3–5 в **табл. 7.2**) та плющення, ворущіння і згрібання у валки (див. № 7–9 в **табл. 7.2**) питомі витрати на вирощування й збирання маси жита складуть 12,2 євро/т або 40,7 євро/т с.р.

Оцінка витрат на вирощування та збирання вико-вівсяної суміші як післяжнивної культури

Вика яра посівна (горошок) займає провідне місце за кормовою цінністю серед однорічних бобових трав. На корм її використовують у вигляді зеленої маси, сіна, сінажу, трав'яного і зернового борошна. Вику яру висівають переважно в сумішках з вівсом або ячменем, капустианими та іншими культурами. Урожай ярої вики в сумішці з вівсом становить 200–350 ц/га зеленої маси, 50–75 ц/га сіна, а врожай насіння – 15–25 ц/га⁸⁷.

Вика вологолюбна культура, за посушливих умов урожай її різко знижується. Найбільше води вона поглинає під час інтенсивного наростання вегетативної маси і фаз цвітіння та утворення плодів. Період вегетації триває 75–90 днів. А при вирощуванні на зелену масу тривалість вегетаційного періоду 50–70 днів

Вико-вівсяну сумішку вирощують також у післяукісних і післяжнивних посівах. На формування 1 т сіна вика яра виносить з ґрунту 6 кг P_2O_5 , 15–17 кг K_2O , багато кальцію і магнію, а також молібден. Вона позитивно реагує на безпосереднє внесення добрив, а також використовує їх післядію при удобренні попередника. Якщо мінеральні добрива не внесли під час основного або передпосівного обробітку ґрунту, доцільно внести гранульований суперфосфат (50 кг/га) під час сівби.

Спосіб сівби – звичайний рядковий і вузькорядний, що забезпечує рівномірне

⁸⁶ <https://www.kws.com/ua/uk/produkty/zernovi/zhyto/tehnologiya-vy-roshchuvannya-gibrydnogo-zhyta/>

⁸⁷ Прогресивні технології вирощування кормових культур / За ред. Д.І. Мазоренка і Г.Є. Мазнева. – Харків: «Майдан». – 2008. – 333 с.

Таблиця 7.2. Перелік технологічних операцій вирощування і збирання озимого жита на силос та витрати палива.

№	Найменування технологічних операцій	Об'єм робіт, га (т)	Склад агрегату		Норма виробітку, га/год (т/год)	Питомі витрати палива, л/га (л/т)	Витрати палива, л
			енергозасіб	с/г машина			
1	Дискування	1000	NH 7.315HD	БДВП-7,2	6	10,0	10000
2	Посів озимого жита	1000	NH 7.315HD	Lemken Solitair 9/600	5	7,0	7000
3	Навантаження добрив	(235)	Manitou 733		(3,5)	(0,6)	141
4	Транспортування добрив	(235)	Вантажівка		(3,5)	(0,8)	188
5	Підживлення по мерзлоталому ґрунту	1000	NH td 5.140	Amazone ZA-M 1501	15	1,0	1000
6	Обприскування ЗЗР	1000	John Deer M4040		35	0,6	600
7	Скошування з плющенням	1000	NH td 6.180	Krone EasyCut B1000 CR	10	2,2	2200
8	Ворушіння	1000	NH td 5.140	Krone KWT 2000	15	1,0	1000
9	Збирання у валки	1000	NH td 5.110	Krone TC 1370	10	1,4	1400
10	Підбирання самохідним кормозбиральним комбайном	1000	Krone BigX630		3	30,0	30000
11	Транспортування	(26667)	Вантажівки		(80)	(0,8)	21333
	Всього:						74863

Таблиця 7.3. Питомі витрати на вирощування та збирання озимого жита на силос на площі 1000 га

№	Стаття витрат	Витрати, євро/т	Частка, %	Примітка
1	Оплата праці	0,26	2,0%	4 євро/год або 32 євро/змінa 8 годин, 0,22 нормозміни/га
2	Витрати на паливо і мастильні матеріали	3,26	24,3%	Дизельне паливо 74,9 л/га. Мастильні матеріали 15% від вартості ДП
3	Витрати на ТО і ремонт	1,75	13,0%	5% від вартості техніки
4	Амортизація техніки	4,36	32,6%	8 років
5	Витрати на насіння, ЗЗР	3,75	28,0%	Насіння (2 п. од./га), ЗЗР
	Разом:	13,38		

розміщення насіння на площі. При цьому добре пригнічуються бур'яни рослинами вики.

На зелений корм і сіно вики висівають 2,2-2,4 млн/га і вівса 1,4-2 млн/га схожих насінин. У Степу норму висіву зменшують на 15-20%. Насіння вики для проростання потребує достатнього надходження вологи, тому його загортають на глибину не менше 4-5 см. На легких ґрунтах та в посушливу погоду глибину збільшують до 5-6 (7) см.

Посіви вики та її сумішок на кормові цілі зазвичай мало вражаються шкідниками та хворобами. Тому на цих посівах пестициди не використовують.

На зелену масу і трав'яне борошно вико-злакову сумішку починають збирати на початку цвітіння вики, а на сіно і сінаж у фазі повного цвітіння, на силос – у фазі сизих бобів.

Перелік технологічних операцій вирощування та збирання ярої вики з вівсом на площі

1000 га представлена у **табл. 7.4**. При посіві рекомендується внесення 50 кг/га гранульованого суперфосфату, вартість якого не врахована з огляду на повернення поживних речовин у дигестаті з БГУ у поле. Вартість насіння вико-вівсяної суміші при нормі посіву 2,2 млн/га вики та 1,5 млн/га вівса становить 80 євро/га без ПДВ.

На 1000 га витрати на оплату праці становлять 4682 євро, витрати палива – 51967 л. Вартість дизельного палива складає 1 євро/л без ПДВ. Мазильні матеріали – 15% від вартості ДП. Витрати на ТО, ремонт техніки прийmemo 5% від її вартості. Термін амортизації техніки – 8 років. Загальні виробничі витрати на вирощування та збирання зеленої маси озимого жита наведено у **табл. 7.5**.

Таким чином, **питомі витрати на вирощування і збирання зеленої маси вики та вівса з площі 1000 га за врожайності 13,3 т/га з доставкою до силососховища становлять 18 євро/т або 60 євро/т с.р. за вологості біомаси 70%.**

Таблиця 7.4. Перелік технологічних операцій вирощування і збирання ярої вики з вівсом на силос.

№	Найменування технологічних операцій	Об'єм робіт, га (т)	Склад агрегату		Норма виробітку, га/год (т/год)	Питомі витрати палива, л/га (л/т)	Витрати палива, л
			енергозасіб	с.г. машина			
1	Дискування	1000	NH 7.315HD	БДВП-7,2	6	10,0	10000
2	Посів з внесенням міндобрив	1000	NH 7.315HD	Lemken Solitair 9/600	5	7,0	7000
3	Скошування з плющенням	1000	NH td 6.180	Krone EasyCut B1000 CR	11	2,0	2000
4	Ворушіння	1000	NH td 5.140	Krone KWT 2000	15	1	1000
5	Збирання у валки	1000	NH td 5.110	Krone TC 1370	10	1,3	1300
6	Підбирання самохідним кормозбиральним комбайном	1000	Krone BigX630		5	20,0	20000
7	Транспортування	(13333)	Вантажівки		(67)	0,8	10667
	Всього:						51967

Таблиця 7.5. Питомі витрати на вирощування та збирання вики та вівса на силос на площі 1000 га

№	Стаття витрат	Витрати, євро/т	Частка, %	Примітка
1	Оплата праці	0,35	2,0%	4 євро/год або 32 євро/змінa 8 годин, 0,15 нормозміни/га
2	Витрати на паливо і мастильні матеріали	4,52	25,2%	Дизельне паливо: 52 л/га. Мастильні матеріали: 15% від вартості ДП
3	Витрати на ТО і ремонт	2,02	11,3%	5% вартості техніки
4	Амортизація техніки	5,05	28,2%	8 років
5	Витрати на насіння	6,00	33,4%	Насіння: 2 млн/га вики та 1,5 млн/га вівса
	Разом:	17,95		

ТЕО виробництва біометану з проміжних і покривних культур в Україні

РОЗДІЛ 8

Для оцінки техніко-економічних показників проекту виробництва біометану з проміжних і покривних культур розглянуто модель постачання сировини з **агропідприємства**, що має в обробі загальною **10 тис. га землі** в компактному розташуванні в межах одного району господарювання, а також **свиноферму з середнім поголів'ям 18 тис. голів**. При цьому розглянуто, що під покривні/проміжні культури загальною відводиться 20% земель, з яких 1000 га відводяться під вирощування післязимої зеленої маси вико-вівсяної суміші, і ще 1000 га – під проміжну культуру озимого жита. Вибір даної моделі обумовлено тим, що використання гною в проектах виробництва передового біометану дозволяє додатково скоротити викиди парникових газів, а відтак і його карбоновий слід. Це, відповідно, може збільшити попит на такий біометан та можливу ціну його реалізації при експорті на європейський ринок відновлюваних біопалив.

За прийнятої урожайності даних культур, їх вихід складе загалом 40 тис. т/рік, зокрема 26667 т озимого жита та 13333 т вико-вівсяної суміші (**див. детальніше розділ 7**). Для зберігання та використання такої сировини протягом року передбачається будівництво бетонованих силососховищ загальним об'ємом близько 60 тис. м³. При втратах при зберіганні 6% маси силосу, фактична подача такої сировини на біометановий завод складе 25067 т/рік силосу жита озимого з вмістом СР 30% та 12533 т/рік – силосу вико-вівсяної суміші з вмістом СР 30%. Розрахунковий вихід гноївки зі свиноферми оцінено в 90 тис. т/рік. Прийнята вологість гноївки складає 96%.

Для забезпечення власних потреб усього біометанового комплексу в електричній та тепловій енергії передбачено виробництво частини біогазу з силосу кукурудзи з наступним спалюванням його в когенераційній установці.

Оцінена потреба в силосі кукурудзи складає 14014 т/рік, що потребує постачання до силососховища 14909 т/рік зеленої маси кукурудзи з вмістом СР 35%. При урожайності зеленої маси кукурудзи 50 т/га, необхідно буде виділити близько 300 га землі або 3% всіх земель розглядуваного підприємства. Використання частини обсягу виробленого біогазу для забезпечення власних енергетичних потреб комплексу розглядається як спосіб зменшити карбоновий слід виробленого біометану, а відтак і збільшення можливої ціни гарантій походження на нього.

Концепція проєкту виробництва біометану передбачає, що силос жита, силос вико-вівсяної суміші та силос кукурудзи буде постачатись окремим підрозділом агрокомпанії за ціною, що враховує рентабельність на рівні 25%. При цьому, витрати на силосування та витрати на постачання силосу від силососховища до біогазової станції входитимуть у витрати біометанового проєкту. Утворений в процесі переробки сировини на біогаз дигестат передбачається вносити на поля компанії під основні культури. Витрати на транспортування та внесення дигестату не віднесено до витрат біометанового проєкту.

Технологічна концепція проєкту передбачає виробництво біогазу в біогазовій установці аграрного типу з циліндричними реакторами горизонтального типу, що включатиме основні ферментери та доброджувач. Частина виробленого біогазу, після попереднього осушення та видалення сірководню, буде подаватись на когенераційну установку для вироблення електричної та теплової енергії. Решта, основна частина біогазу, буде подаватись на установку очищення та збагачення біогазу до біометану. В проєкті розглядається опція доочищення до якості харчової вуглекислоти та зрідження виділеного в процесі збагачення біогазу CO_2 . Передбачено котельню на агрогранулах, що забезпечуватиме розігрів біореакторів при біологічному запуску, а також резервування для випадків простою когенераційної установки на біогазі.

Продуктова концепція передбачає, що вироблений біометан буде подаватись в ГТС України з реалізацією гарантій походження на європейському ринку відновлюваних біопалив, а харчова вуглекислота буде збуватись на внутрішньому ринку. Дигестат буде внесено на

поля компанії. Оцінена еквівалентна вартість дигестату може складати 2,95 євро/т. В фінансовій моделі враховується ціна на дигестат для агрокомпанії на рівні 1,8 євро/т, з ПДВ.

Оцінений вихід біогазу з вхідної маси суміші силосу складає 10,46 млн nm^3 /рік з концентрацією CH_4 на рівні 57% (табл. 8.1).

На збагачення буде направлятись біогаз, що походить з силосу жита, силосу вико-вівсяної суміші та гноївки в обсязі 7,7 млн nm^3 /рік або близько 880 nm^3 /год. Збагачення передбачено з допомогою мембранної технології. Обсяг виробленого біометану, що буде закачуватись в газотранспортну мережу складатиме 4,46 млн nm^3 /рік з часткою CH_4 в ньому 98%. Маса виробленої товарної зрідженої вуглекислоти 99,99% чистоти складатиме 5620 т/рік.

Вихід дигестату складе орієнтовно 128249 т/рік, з них, після розділення на шнековому сепараторі, 106153 т/рік рідкої фракції буде направлено в лагуну для зберігання до внесення на поля двічі на рік. Об'єм лагуни складе 58,4 тис. m^3 . Вихід твердої фракції дигестату складе 22096 т/рік.

Сумарні потреби всього біометанового комплексу в електричній енергії, що включає комплекс виробництва біогазу, розділення дигестату, збагачення біогазу до біометану, зрідження CO_2 , компримування біометану в газотранспортну мережу, складуть 6386 МВт·год/рік. Загальне приєднане електричне навантаження – 729 кВт_е.

Для підтримання необхідної температури в біореакторах необхідно буде подати 7485 МВт·год/рік. Виробленої в когенераційній установці теплової енергії, з врахуванням скидного тепла від процесу збагачення біогазу, буде вистачати для покриття цих потреб.

Оцінені інвестиції в проєкт (CAPEX) склали 14,2 млн євро, включно з ПДВ та митними платежами (табл. 8.2). Левова частка інвестицій припадає на комплекс виробництва біогазу – 43,4%. При цьому, питомий розмір інвестицій в комплекс виробництва біогазу складає 2185 євро/кВт еквівалентної електричної потужності КГУ на біогазі, що відповідає середньому рівню цін на ринку на установки подібного масштабу. Вагомими складовими інвестицій є також комплекс збагачення біогазу до біометану (16,2%), комплекс зрідження CO_2 (10,4%), а також блок силососування (сумарно 11,4%).

Таблиця 8.1. Розрахункові показники виходу біогазу та складу сировини.

Показник	Розм.	Суміш, всього	Сировина:			
			Силос жита озимого	Гноївка свиней	Силос вико- вівсяної суміші (30%/70%)	Силос
Прийнятний біохімічний потенціал виходу метану (BMP)	нм ³ CH ₄ /т СОР	328,6	340,0	360,0	340,0	350,0
	нм ³ CH ₄ /т	114,6	93,8	12,2	93,8	113,9
Біогаз	нм ³ /т СОР	581,3	618,2	553,8	618,2	636,4
Ефективність	%	95,0	95	95	95	95
Виробництво CH ₄	нм ³ CH ₄ /добу	16 206	6 122	2 867	3 061	4 155
	нм ³ CH ₄ /рік	5 915 203	2 234 673	1 046 520	1 117 292	1 516 718
Виробництво біогазу	нм ³ /добу	28 664	11 132	4 411	5 566	7 555
	нм ³ /рік	10 462 181	4 063 042	1 610 031	2 031 440	2 757 669
Виробництво CO ₂	нм ³ CO ₂ /добу	12 171	4 898	1 500	2 449	3 324
% CH ₄	%	56,5	55	65	55	55
%CO ₂	%	42,5	44,0	34,0	44,0	44,0
Вміст азоту загального	кг N/т	3,7	5,4	2,8	6,2	4,5
C : N	-	16,6	25,6	5,7	21,6	34,4

Таблиця 8.2. CAPEX проекту.

Складові інвестицій	Всього, євро	Частка від загальної суми
ВСЬОГО	14 222 304	100,0%
Техніка та обладнання	8 360 040	58,8%
Будівництво та монтаж	5 045 029	35,5%
Інше	817 235	5,7%
Комплекс виробництва біогазу	6 179 005	43,4%
Машини та техніка для силосування та транспортування силосу до біогазової станції	351 000	2,5%
Силососховище	1 263 511	8,9%
КГУ на біогазі	859 974	6,0%
Резервна котельня	155 506	1,1%
Комплекс збагачення біогазу до біометану	2 309 954	16,2%
Комплекс зрідження CO ₂	1 485 498	10,4%
Блок трансферу біометану в ГТС (основний + резервний компресор, газопровід 5 км, вузол обліку газу, хроматограф)	1 172 070	8,2%
Машини та техніка для логістики CO ₂	195 077	1,4%
Приєднання до електромережі	68 987	0,5%
Машини та техніка для операцій з дигестатом	61 724	0,4%
Проектування	120 000	0,8%

Загальну суму річних операційних витрат (OPEX) оцінено в 2,36 млн євро, з ПДВ (**табл. 8.3**), що складає 16,6% суми CAPEX. Основні витрати проекту пов'язані з купівлею сировини та операціями по її заготівлі та транспортуванню (сумарно 61,7%).

Прийняті в фінансовій моделі базові величини тарифів та цін наведено в **табл. 8.4**. Базовий курс валют при перерахунку грн в євро прийнято 47,13 грн/євро.

Оцінку можливої ціни на біометан зроблено на основі даних трейдерів біометану, з врахуванням оціненої величини карбонового сліду такого біометану.

Розрахунок скорочень викидів парникових газів (ПГ) проведено у відповідності до положень Директиви RED II, зокрема методології розрахунку скорочень викидів, викладеній в Додатку VI В (палива з біомаси). При розрахунку скорочень викидів ПГ застосовано один з дозволених підходів, а саме комбінація

розрахункових значень та розподілених значень за замовчуванням. Розподілені значення за замовчуванням використовувались частково для гною та силосу кукурудзи. Оцінку величин скорочення викидів ПГ по кожному виду сировини наведено в **таблиці 8.5**.

Як видно з результатів розрахунку, всі види сировини забезпечують потрібний рівень зниження викидів ПГ в 65% для транспортних палив. Усереднені сумарні викиди (E) для всього кінцевого продукту (БІОМЕТАН) склали (-13,00) $\text{gCO}_{2-\text{екв}}/\text{МДж}$.

Дохід в проекті формується за рахунок продажу 43599 МВт•год біометану, 5620 т/рік зрідженої вуглекислоти та 128249 т/рік дигестату. Сумарний дохід оцінено в 4,865 млн євро/рік, без ПДВ. Основний дохід, за прийнятих цін, формується за рахунок продажу біометану і складає близько 80,6%, ще 15,4% доходу формується від реалізації вуглекислоти, і лише 4% – дигестату.

Таблиця 8.3. OPEX проекту.

Складова операційних витрат	Всього, євро/рік	Частка від загальної суми
OPEX, ВСЬОГО	2 358 495	100,0%
Сировина	1 247 296	52,9%
Логістика сировини	208 332	8,8%
Операційні витрати	342 243	14,5%
Логістика цільових продуктів	464 102	19,7%
Оплата праці	96 522	4,1%
Сировина	1 247 296	52,9%
Логістика сировини	208 332	8,8%
Виробництво біогазу	143 756	6,1%
Комбіноване виробництво електричної та теплової енергії в КГУ на біогазі	94 273	4,0%
Обслуговування резервної котельної	31 711	1,3%
Збагачення біогазу до біометану	131 889	5,6%
Зрідження CO ₂	37 137	1,6%
Логістика зрідженого CO ₂	107 911	4,6%
Логістика біометану	273 679	11,6%
Операції з дигестатом	82 512	3,5%

Таблиця 8.4. Базові тарифи та ціни, прийняті в фінансовій моделі (без ПДВ)

Показник	Розм.	Величина
ЦІЛЬОВІ ПРОДУКТИ		
Ціна на біометан	євро/МВт•год*	90
Ціна на зріджений CO ₂	євро/т	133
Ціна на дигестат	євро/т	1,5
СИРОВИНА		
Силос жита озимого	євро/т	17,82
Гноївка свиней	євро/т	0
Силос вико-вівсяної суміші	євро/т	23,87
Силос кукурудзи	євро/т	20,95
СИЛОСУВАННЯ ТА ЛОГІСТИКА СИЛОСУ		
Силос жита озимого	євро/т	3,45
Силос вико-вівсяної суміші	євро/т	3,45
Силос кукурудзи	євро/т	3,14
ЛОГІСТИКА ЦІЛЬОВИХ ПРОДУКТІВ		
Зріджений CO ₂	євро/(т•км)	0,05
Біометан: тариф для точки входу в ГТСУ	грн/(1000 м ³ /добу)	464,37
Біометан: тариф для точки входу та виходу на міждержавних з'єднаннях	євро/(1000 м ³ /добу)	25,66

 * 1 МВт•год енергії біометану = близько 100,28 нм³CH₄.

 Таблиця 8.5. Сумарні викиди для кінцевого продукту за видами сировини, гCO_{2-екв}/МДж кінцевого продукту (біометан).

Складова оцінки викидів	Сировина:			
	Силос зеленої маси жита озимого	Силос вико-вівсяної суміші	Вологий гній	Силос кукурудзи
Викиди при видобутку та вирощуванні [e _{ec,n} +e _{td,n} +e _{l,n} -e _{sca,n}]	7,63	10,45	0,00	18,10
Кредити для гною	0,00	0,00	-147,50	0,00
Застосування бонусу e _B (відновлення деградованих земель), г CO _{2-екв} /МДж	0,00	0,00	0,00	0,00
Викиди при виробництві (e _p)	17,76	17,76	17,76	17,76
Викиди при транспортуванні та розподіленні готового продукту (e _{td, product})	4,60	4,60	4,60	4,60
Викиди від кінцевого використання (e _u)	0,36	0,36	0,36	0,36
Зниження викидів від уловлення і заміщення CO ₂ (e _{ccr})	-34,66	-34,66	-34,66	-34,66
Сумарні викиди (E) для всього кінцевого продукту (БІОМЕТАН)	-4,32	-1,49	-159,44	6,15
Потенціал скорочення викидів ПГ для кінцевого продукту, %	104,59%	101,59%	269,62%	93,45%

В **таблиці 8.6** наведено прийняті умови фінансування проекту. Частку позикових коштів прийнято 60% під 8,0% річних. Амортизацію обладнання прийнято на період 15 років, споруд – на 50 років. Фактор інфляції в фінансовій моделі не враховувався. Результати оцінки основних фінансових показників представлено в **таблиці 8.7**.

Дисконтований термін окупності склав 7,8 років при величині IRR 20%, що дозволяє вважати

дану проектну концепцію, за прийнятих розрахункових параметрах, достатньо інвестиційно привабливою.

Аналіз чутливості показника IRR від ціни реалізації основних цільових продуктів показує, що на рентабельність проекту значно впливає ціна продажу біометану (**рис. 8.1**), меншою мірою – ціна продажу зрідженого CO₂ (**рис. 8.2**).

Таблиця 8.6. Умови фінансування проекту.

Показник	Розмірність	Значення
Ставка кредитування	%	8,0%
Відтермінування сплати кредиту	років	1
Термін кредитування	років	7
Ставка корпоративного податку	%	18%
Ставка дисконтування	%	10%
Власний капітал	%	40%

Таблиця 8.7. Показники економічної ефективності проекту.

Показник	Розмірність	Значення
Інвестиції (CAPEX), в т.ч.:		14,22
Запозичені кошти	млн євро	8,53
Власні кошти		5,69
Операційні витрати (OPEX), у т.ч.:		1,98
Сировина		1,21
Операційні витрати		0,29
Логістика цільових продуктів	млн євро/рік (без ПДВ)	0,39
Дохід		4,87
Біометан в ГТС		3,92
Зріджений CO ₂		0,75
Дигестат		0,19
Чиста приведена вартість (NPV)	млн євро	5,78
Внутрішня норма рентабельності (IRR)	%	19,9%
Індекс прибутковості (PI)	-	0,41
Простий термін окупності (SPP)	років	5,9
Дисконтований термін окупності (DPP)	років	7,8

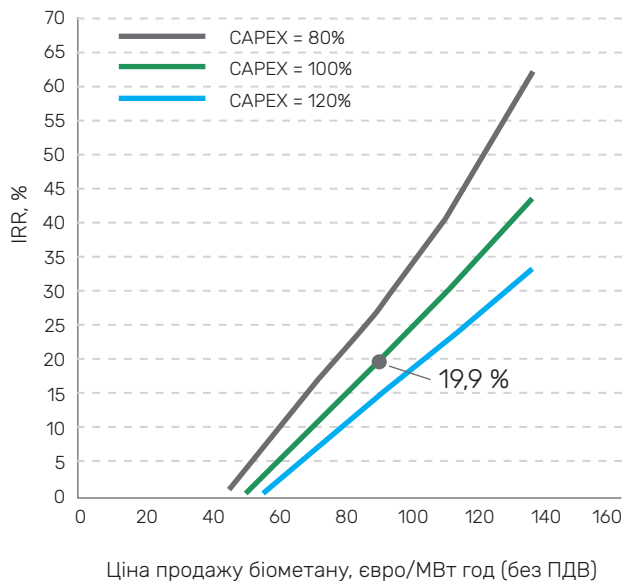


Рис. 8.1. Залежність величини IRR від ціни на біометан

Наведений аналіз показує, що проєкт також чутливий до збільшення CAPEX. Так, при збільшенні CAPEX на 20% проєкт може бути на межі інвестиційної привабливості з дисконтованим терміном окупності 10,3 роки та IRR 14,8%. Також, зменшення ціни реалізації біометану лише на 10% до 81 євро/МВт•год призводить до збільшення терміну окупності до 9,7 років з IRR 15,7%.

Відтак, проєкт є достатньо чутливим до зміни ключових економічних параметрів. Запорукою успішної реалізації подібних проєктів може стати гарантування задовільної ціни продажу біометану на довгостроковий період та пошук ринків збуту зрідженої вуглекислоти з більшою дохідністю. Зменшення інвестицій в проєкт також дозволить зробити його більш економічно стійким, втім

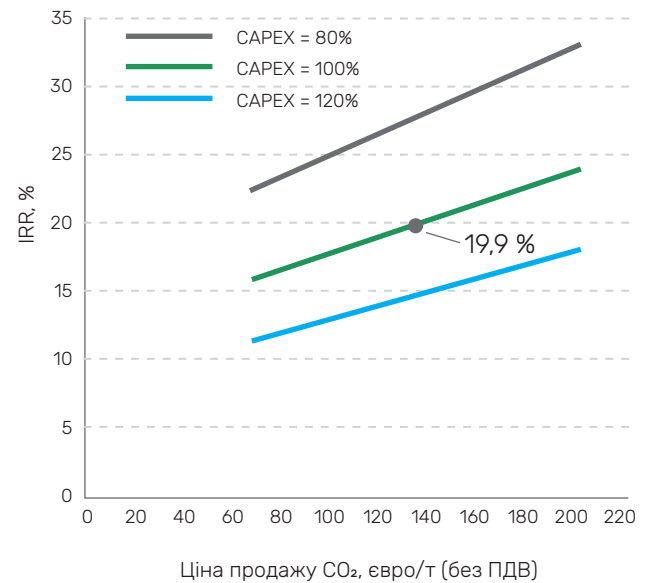


Рис. 8.2. Залежність величини IRR від ціни на зріджений CO₂

імовірність істотного (на 15-20%) зменшення розміру інвестицій оцінюється як невисока.

Альтернативною концепцією розглянутого проєкту може бути виробництво електричної енергії з біогазу з реалізацією в мережу (на РДН або за двосторонніми угодами) або на власні потреби підприємства. При цьому, при роботі когенераційної установки в рівномірному режимі та відпуску електричної енергії 24/24, вартість розглянутого проєкту може знизитись до 10,5 млн євро, а операційні витрати на 13%. Для досягнення аналогічного рівня рентабельності, ціна відпуску електричної енергії повинна складати не нижче 18 євро-центів за 1 кВт•год. Втім, такий рівень цін значно перевищує поточний рівень тарифів на електричну енергію на РДН.

Оцінка потенціалу виробництва біометану в Україні з урахуванням проміжних і покривних культур

РОЗДІЛ 9

Використання **покривних/проміжних культур** є перспективним напрямком для значного збільшення обсягів отримання біометану. Потенціал виробництва біометану з таких культур в Україні можна оцінити у **9,23** млрд м³ CH₄/рік (**7,89** млн т н.е./рік). Дана оцінка відповідає **консервативному** підходу, згідно якого прийнято, що під вирощування покривних/проміжних культур відводиться **20%** посівної площі із середньою врожайністю цих культур **5** т с.р./га і виходом біогазу **570** м³/т с.р. (**табл. 9.1**).

Оцінений можливий обсяг отримання біометану з покривних/проміжних культур (**9,23** млрд м³ CH₄/рік) є найбільшою складовою загального потенціалу виробництва біометану з різних видів сировини в Україні – **47%**. Іншими крупними складовими потенціалу є біометан з післяжнивних решток сільськогосподарських культур (4,37 млрд м³ CH₄/рік, 22%) та біометан з силосу кукурудзи як енергетичної рослини (3,00 млрд м³ CH₄/рік, 15%) (**табл. 9.2, рис. 9.1**).

Проведемо оцінку потенціалу проміжних культур для виробництва біометану на рівні областей України. Методика цієї оцінки враховує регіональні кліматичні особливості, такі як сума ефективних температур більше 5°C і кількість опадів за місяцями, що визначені за відповідними кліматичними даними – середньої температури місяців року та кількості опадів з веб-порталу <https://weatherandclimate.com/ukraine>. Прийнято, що для отримання врожаю проміжних культур базова сума активних температур понад 5°C протягом вегетаційного періоду повинна бути більше 600°C^{88,89}, а на утворення 1 кг сухої речовини використовується 350 л води⁹⁰.

88 Косолап М.П. Презентація «Покривні та сидеральні культури після збирання врожаю», 22.08.2024.

89 <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/397-syderatsiia-nevidiemna-skladova-biologichnoho-zemlerobstva.html>

90 <https://www.agronom.com.ua/vyroshhuvannya-gibrydnogo-zhyta/>

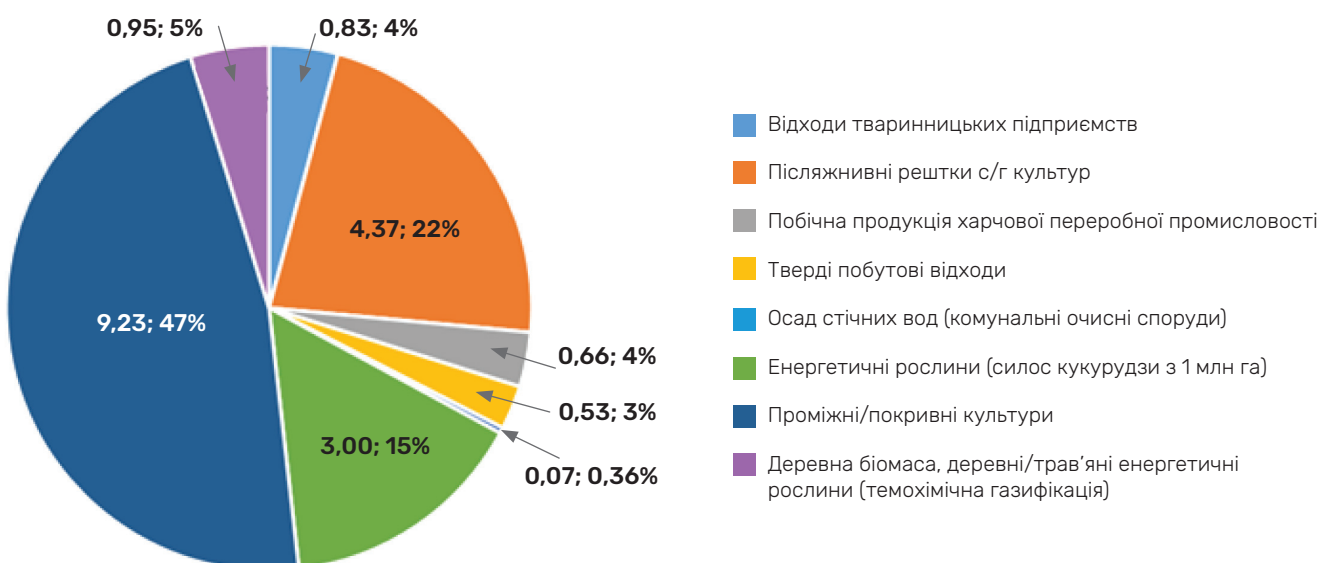


Рис. 9.1. Структура економічного потенціалу виробництва біометану в Україні, млрд м³ CH₄/рік

Таблиця 9.1. Методика оцінки потенціалу виробництва біометану з покривних/проміжних культур в Україні.

Показники	Значення	Коментар
Посівна площа, млн га (I)	28,4	Дані 2021 р.
Частка посівної площі під вирощування покривних/проміжних культур (II), %	20	Прийнято з урахуванням даних дослідження «The Role of Sequential Cropping and Biogas-doneright™ in Enhancing the Sustainability of Agricultural Systems in Europe» (2021) ⁵⁴ . Опис роботи представлено у розділі 5 Аналітичної записки.
Середня врожайність покривних/проміжних культур, т с.р./га/рік (III)	5	
Вихід біогазу з покривних/проміжних культур, м³/т с.р. (IV)	570	
Концентрація метану в біогазі (V), %	57	Відповідає показнику, прийнятому в оцінці потенціалу біометану консорціуму компаній Gas for Climate (2022)*.
Потенціал отримання біометану з покривних/проміжних культур, млрд м³/рік ($I \times II/100 \times III \times IV \times V/100$)	9,23	Оцінка згідно консервативного підходу. Збільшення вихідних показників (площа під покривними/проміжними культурами, врожайність цих культур) дасть більш високий результат оцінки потенціалу.

* Biomethane production potentials in the EU (Gas for Climate, 2022).

https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2023/12/Guidehouse_GfC_report_design_final_v3.pdf

Таблиця 9.2. Оцінка потенціалу виробництва біометану в Україні¹⁾.

Види сировини для виробництва біометану	Теоретичний потенціал виробництва млрд м³ CH ₄ /рік	Потенціал, доступний для енергетики (економічний)		
		Частка теоретичного потенціалу, %	млрд м³ CH ₄ /рік	млн т н.е./рік
Відходи тваринницьких підприємств (гній)	1,04	80	0,83	0,71
Післяжнивні рештки с/г культур	16,79	26	4,37	3,8
Побічна продукція харчової переробної промисловості	1,69	39	0,66	0,56
Тверді побутові відходи	0,70	75	0,53	0,45
Осад стічних вод (комунальні очисні споруди)	0,07	100	0,07	0,06
Енергетичні рослини (силос кукурудзи з 1 млн га)	3,00	100	3,00	2,57
Проміжні/покривні культури	9,23	100	9,23	7,89
Деревна біомаса, деревні/ трав'яні енергетичні рослини ²⁾	9,51	10	0,95	0,82
БІОМЕТАН, всього	42,03	47	19,64	16,86

1) Без урахування тимчасово окупованих територій України станом на 2021 р.

2) 10% теоретичного потенціалу деревної біомаси (паливна деревина, порубкові рештки, відходи деревообробки, сухостій, деревина із захисних лісосмуг, обрізки садів/виноградників) і деревних/трав'яних енергетичних рослин (верба, тополя, міскантус) відведено на отримання біометану шляхом термохімічної газифікації біомаси.

Базові посівні площі проміжних культур прийнято 20% від посівних площ культур сільськогосподарських під урожай 2021 року. При цьому площі розділені на 50% під озимі проміжні та 50% післяжнивні посіви. Виходячи із кліматичних даних, проведена переоцінка потенційних площ для вирощування озимих проміжних та післяжнивних за окремими регіонами та прийнято потенційну врожайність зеленої маси для виробництва біометану у тоннах сухої маси (табл. 9.3). Для Одеської та Донецької областей з огляду на недостатню кількість опадів у вегетаційних період вирощування озимих проміжних культур (до 240 мм з середини серпня до квітня), прийнято, що їх будуть сіяти на 5% посівних площ. Через нестачу опадів у період вирощування післяжнивних культур, їх вирощування не розглядається у Донецькій, Житомирській, Миколаївській, Одеській та Херсонській областях. Крім цього, з огляду на низьке вологозабезпечення не враховано вирощування проміжних у Автономній Республіці Крим.

Як і в оцінці потенціалу в цілому по Україні, приймаємо питомий вихід біогазу – 570 м³/т с.м.

проміжних культур; вміст біометану у біогазі – 57% (див. табл. 9.1). Карта розподілу питомого потенціалу виробництва біометану з проміжних культур за областями України представлена на рис. 9.2.

Загальний потенціал за областями відповідає результатам оцінки потенціалу виробництва біометану в Україні в цілому – 9,23 млрд м³ CH₄/рік. Найбільший за обсягами потенціал проміжних культур для біометану зосереджено в областях з великими посівними площами: Харківська, Дніпропетровська та Полтавська. При цьому вищий питомий вихід біометану можна отримати в областях, де випадає більша кількість опадів: Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька та Чернівецька. Слід відзначити, що для окремих територій областей приймається один набір кліматичних даних без врахування регіональних кліматичних умов, тому отримані оціночні результати є орієнтовними. З огляду на це, для більш точного обґрунтування впровадження проектів вирощування проміжних культур та виробництва з них біометану необхідно використовувати більш диференційовані локальні дані.



Рис. 9.2. Розподіл питомого економічного потенціалу виробництва біометану з проміжних культур за областями України, м³ CH₄/га посівних площ культур сільськогосподарських регіону.

Таблиця 9.3. Оцінка потенціалу виробництва біометану з проміжних культур за областями України.

Області	Площі для вирощування проміжних культур, тис. га		Орієнтовна врожайність проміжних культур, т с.м./га		Об'єм біометану, млн м ³ CH ₄ /рік
	озимі	післяжнивні	озимі	післяжнивні	
Вінницька	165	165	7,0	3,5	564
Волинська	61	61	8,0	3,5	229
Дніпропетровська	197	197	7,0	3,5	673
Донецька	52	–	5,2	–	88
Житомирська	115	–	6,0	–	225
Закарпатська	17	17	9,0	4,5	76
Запорізька	171	171	8,0	3,5	640
Івано-Франківська	38	38	9,0	5,0	174
Київська	119	119	8,0	3,5	445
Кіровоградська	171	171	7,0	3,5	582
Луганська	86	86	8,0	3,5	320
Львівська	71	71	9,0	5,0	321
Миколаївська	160	–	6,0	–	312
Одеська	92	–	5,2	–	156
Полтавська	173	173	8,0	3,5	647
Рівненська	62	62	9,0	5,0	282
Сумська	121	121	9,0	3,5	491
Тернопільська	84	84	9,0	5,0	382
Харківська	182	182	8,0	3,5	681
Херсонська	148	–	6,0	–	288
Хмельницька	121	121	9,0	5,0	548
Черкаська	122	122	7,0	3,5	415
Чернівецька	31	31	9,0	5,0	140
Чернігівська	135	135	9,0	3,5	550
Всього					9229

Висновки та рекомендації

Покривні та проміжні культури мають великий потенціал як сировина для виробництва енергії. Швидкий ріст, зазвичай низькі вимоги до ґрунту, відсутність конкуренції з основними культурами, що використовуються для виробництва продуктів харчування, і висока сприйнятливість до силосування, що робить можливим їх тривале зберігання, є особливостями, які сприяють використанню цієї біомаси в енергетичному секторі. Крім того, можливе зменшення вуглецевого сліду енергетичної промисловості в результаті застосування відновлюваних джерел є значною перевагою використання проміжних і покривних культур для виробництва біогазу. Цей ефект помітно проявляється, коли залишки після ферментації, багаті органічними речовинами та більш стабільні, ніж необроблена надземна біомаса, повертаються в ґрунт як джерело поживних речовин і вихідних компонентів для утворення гумусу.

Традиційно, в Україні проміжні і покривні культури вирощуються для подальшого використання як зеленого добрива (сидерати) та для виробництва кормів. Розширення площ під такими культурами та їх залучення у ланцюги виробництва біометану, з поверненням поживних речовин у ґрунт із дигестатом, створює нові можливості для розвитку сталої біоенергетики та сільського господарства. Використання проміжних і покривних культур для виробництва біометану – це новий напрямок, що потребує комплексного аналізу можливостей та передумов для його успішного розвитку в умовах України. Отриманий біометан можна використовувати всередині країни як заміну природного газу та традиційних моторних палив (насамперед, стисненого природного газу та дизелю), а також експортувати.

В Україні напрацьовано значний досвід вирощування проміжних культур для кормовиробництва, який можна використати і для вирощування сировини для біоенергетики, зокрема, для виробництва біогазу та біометану. Правильне чергування науково обґрунтованого

набору культур у поєднанні з прогресивними способами обробітку ґрунту, удобренням, максимальним ущільненням сівозміни проміжними культурами дають змогу інтенсивно використовувати землю, підвищувати її родючість, поліпшувати фізичні властивості ґрунту. Для планування вирощування проміжних і покривних культур, крім їх біологічної взаємодії з попередниками і послідовниками у сівозміні та їх впливу на родючість ґрунту, важливо визначити проміжки часу, коли поля вільні від основних культур, але при цьому наявні сприятливі агрокліматичні умови для вегетації рослин.

В Україні як проміжні культури для отримання біомаси в поточному році і подальшого виробництва біогазу/біометану можуть бути використані: ярі зернові (після ранніх попередників), кукурудза (ранньостиглі гібриди за сприятливих умов), сорго, вика. Для раннього збирання біомаси у наступному році для аналогічного біоенергетичного використання можуть розглядатися озимі проміжні культури: зелене жито (KWS Пропауер, KWS Магніфіко), тритикале (Велетень), озима пшениця і озимий ячмінь (на ранніх стадіях розвитку). Крім того, розглядаються й інші види проміжних і покривних культур. Серед них, завдяки своїй посухостійкості, витривалості та здатності швидко нарощувати значну біомасу, перспективним є амарант для отримання зеленої маси з метою подальшого виробництва біогазу та біометану. Компанія Soufflet Agro Ukraine випустила довідник покривних культур, який містить характеристики 21 рослини родин айстрових, водолисткових, капустяних, бобових, льонових та гречкових. Даний довідник можна використовувати при плануванні впровадження вирощування покривних культур в Україні.

Використання покривних/проміжних культур є перспективним напрямком для значного збільшення обсягів отримання біометану. Потенціал виробництва біометану з таких культур в Україні можна оцінити у 9,23 млрд м³ CH₄/рік (7,89 млн т н.е./рік). Дана

оцінка відповідає консервативному підходу, згідно якого прийнято, що під вирощування покривних/проміжних культур відводиться 20% посівної площі із середньою врожайністю цих культур 5 т с.р./га і виходом біогазу 570 м³/т с.р. Оцінений можливий обсяг отримання біометану з покривних/проміжних культур є найбільшою складовою загального потенціалу виробництва біометану з різних видів сировини в Україні – 47%. Іншими крупними складовими потенціалу є біометан з післяжнивних решток сільськогосподарських культур (4,37 млрд м³ CH₄/рік, 22%) та біометан з силосу кукурудзи як енергетичної рослини (3,00 млрд м³ CH₄/рік, 15%).

Найбільший за обсягами потенціал проміжних/покривних культур для біометану зосереджено в областях України з великими посівними площами: Харківська, Дніпропетровська та Полтавська. При цьому вищий питомий вихід біометану можна отримати в областях, де випадає більша кількість опадів: Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька та Чернівецька. Слід відзначити, що для окремих територій областей приймається один набір кліматичних даних без врахування регіональних кліматичних умов, тому отримані оціночні результати є орієнтовними. З огляду на це, для більш точного обґрунтування впровадження проєктів вирощування проміжних/покривних культур та виробництва з них біометану необхідно використовувати більш диференційовані локальні дані.

Виконана оцінка техніко-економічних показників проєкту виробництва біометану проміжних і покривних культур показує, що всі розглянуті види сировини забезпечують потрібний рівень зниження викидів ПГ на 65% для транспортних палив (виконання вимоги Директиви RED III). Усереднені сумарні викиди для всього кінцевого продукту (біометану) склали (-13,00) гCO_{2-екв}/МДж. Дисконтований термін окупності становить 7,8 років при величині IRR 20%, що дозволяє вважати дану проєкту

концепцію, за прийнятих розрахункових параметрах, достатньо інвестиційно привабливою. Аналіз чутливості показника IRR від ціни реалізації основних цільових продуктів показує, що на рентабельність проєкту значно впливає ціна продажу біометану, меншою мірою – ціна продажу зрідженого CO₂. Проведений аналіз показує, що проєкт також чутливий до збільшення CAPEX. Таким чином, проєкт є достатньо чутливим до зміни ключових економічних параметрів. Запорукою успішної реалізації подібних проєктів може стати гарантування задовільної ціни продажу біометану на довгостроковий період та пошук ринків збуту зрідженої вуглекислоти з більшою дохідністю. Зменшення інвестицій в проєкт також дозволить зробити його більш економічно стійким, втім імовірність істотного (на 15-20%) зменшення розміру інвестицій оцінюється як невисока.

Для більш ефективного використання потенціалу проміжних/покривних культур для потреб біоенергетики необхідні подальші дослідження. Інструменти генетичної інженерії можуть стати революційними для галузі, особливо їх застосування для покращення перетравності біомаси і підвищення вмісту крохмалю у ній. Оптимізація ланцюжка постачання біомаси є критичною для масштабування виробничої системи. Підвищення ефективності перетворення біомаси у біогаз та рідкі біопалива потребує удосконалення та створення нових технологій.

Україна потенційно може зайняти до 20% європейського ринку біометану, виробляти понад 20 млрд м³ біометану на рік і залучити до 40 млрд євро інвестицій у цю галузь. Біометан з проміжних і покривних культур, що є предметом даної Аналітичної записки, може зробити внесок у цей загальний обсяг на рівні близько 46% (9,2 млрд м³/рік). Для розвитку вітчизняного виробництва біометану важливо створити передумови для раціонального використання наявних та перспективних ресурсів сталої біомасової сировини.

Додаток 1. Перелік типових культур які вирощуються як проміжні та покривні у різних частинах світу та напрямки їх додаткового використання

Джерело: *Catch and Cover Crop Biomass Bioconversion into Energy*⁹¹

Родина	Вид	Напрямок використання	Поширення
Айстрові – Asteraceae (alt. Compositae)	Нігер (Guizotia abyssinica)	Покращення ґрунту, кормова, джерело олії	Африка: Ефіопія (n) Африка (cult., natur.) Азія (cult. natur.) Австралія (cult.) Півд. Європа (natur.)
	Соняшник (Helianthus annuus L.)	Корми; медозбір, виробництво олій, декоративне використання, харчова	Півн. Америка (n) Широко культивується
Шорстколисті – Boraginaceae	Мереживна фацелія, фіолетовий пижмо (Phacelia tanacetifolia Benth.)	Покращення ґрунту: покривна культура, медозбір, декоративне використання, фітосанітарна функція	Півн. Америка (n), Австралія (natur.), Європа (natur.)
	Гірчиця біла (Sinapis alba)	Покращувач ґрунту (глибока коренева система): покривна культура; кормова; джерело ліпідів; лікарські трави; фітосанітарна функція	Європа, Півн. Америка, Західна Азія
	Редька кормова, Редька олійна (Raphanus sativus)	Покращувач ґрунту (глибока та об'ємна коренева система), покривна культура; кормова; фітосанітарна функція	Широко культивується
Капустяні – Brassicaceae (alt. Cruciferae)	Рижій (Camelina sativa L.)	Покращувач ґрунту: покривна культура, зелене добриво, джерело олії; кормова	Азія (n), Європа (n), Півн. Америка (n); широко культивується
	Ріпа (Brassica rapa L.)	Покращувач ґрунту: покривна культура, харчова, кормова	Широко культивується
	Ріпак (Brassica napus L.)	Покращувач ґрунту: покривна культура, кормова	Широко культивується

Бобові – Fabaceae (alt. Leguminosae)	Вігна (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp)	Покращувач ґрунту: зелене добриво, покривна культура; проміжна культура; кормова; харчова	Африка (n), широко культивується
	Кроталарія ситникова (<i>Crotalaria juncea</i> L.)	Покращувач ґрунту: зелене добриво, покривна культура; кормова; проміжна культура, азотфіксація, виробництво волокна	Азія (n), Півд. Африка, культивується у тропіках
	Люпин жовтий (<i>Lupinus luteus</i> L.)	Покращувач ґрунту: покривна та проміжна культура; кормова; лікарські трави	Півн. Африка (n), Півд. Європа (n), Австралія (cult.), Західна Азія (natur.), Півд. Африка (natur.)
	Люпин вузьколистий, люпин синій (<i>Lupinus angustifolius</i>)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; кормова	Півн. Африка (n), Західна Азія (n), Півд. Європа (n), Австралія (cult.)
	Люпин білий (<i>Lupinus albus</i> L.)	Покращувач ґрунту; покривна культура; кормова; декоративна функція	Азія (n), Європа (n), широко культивується
	Люцерна (<i>Medicago sativa</i> L.)	Покращувач ґрунту, покривна культура, кормова	Африка (n), Азія (n), Європа (n), широко культивується
	Вика звичайна (<i>Vicia sativa</i> L.)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; кормова	Африка (n), Азія (n), Європа (n), широко вирощується
	Вика волохата (<i>Vicia villosa</i> Roth.)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; кормова (але може бути токсичною для коней)	Африка (n), Азія (n), Європа (n), широко вирощується
	Біб кінський (<i>Vicia faba</i> L.)	Покращувач ґрунту: проміжна культура, покривна культура	Широко культивується
	Серадела (<i>Ornithopus sativus</i> Brot.)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; кормова	Півн. Африка (n), Півд. Європа (n), Австралія (cult.), Європа (cult.), Африка (natur.)
	Конюшина єгипетська (<i>Trifolium alexandrinum</i> L.)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; кормова	Африка (cult.), Азія (cult.), Австралія (cult.), Європа (cult.), Півн. Америка (cult.)
	Конюшина обернена, конюшина перська (<i>Trifolium resupinatum</i> L.)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; кормова	Африка (n), Азія (n), Європа (n), широко культивується
	Конюшина біла (<i>Trifolium repens</i> L.)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; кормова	Африка (n), Азія (n), Європа (n), широко культивується в регіонах з помірним кліматом
	Конюшина червона (<i>Trifolium pratense</i> L.)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; кормова; виробництво меду; харчова добавка	Африка (n), Азія (n), Європа (n), широко культивується і натуралізується в регіонах з помірним кліматом
	Конюшина багряна (<i>Trifolium incarnatum</i>)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; кормова; виробництво меду	Африка (n), Азія (n), Європа (n), широко культивується в регіонах з помірним кліматом
	Горох, горох посівний (diverse <i>Pisum sativum</i> L.)	Покращувач ґрунту: проміжна культура; харчова	Африка (n), Азія (n), Європа (n), культивується по всьому світу

2025



UABIO

