

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ, ЕКОНОМІКИ ТА ПРАВА
КАФЕДРА ЕКОНОМІКИ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Освітній ступінь «Магістр»

на тему:

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ

Виконав: студент 2 курсу, групи Ек-71

Спеціальності 051 Економіка
(шифр і назва)

Федорів Михайло Петрович
(прізвище та ініціали)

Керівник:
Черевко І.В., д.е.н., проф.
(прізвище та ініціали)

ЛЬВІВ 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ, ЕКОНОМІКИ ТА ПРАВА
КАФЕДРА ЕКОНОМІКИ**

Освітній ступінь Магістр
Спеціальність 051 «Економіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри економіки

(підпис)
Сиротюк Г.В.
(прізвище, ім'я, по батькові)

“14” березня 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу студенту
Федоріву Михайлу Петровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Ефективність виробництва і використання біомаси

керівник роботи: Черевко Ірина Василівна, д.е.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЛНУВМБ ім. С.З. Гжицького від “14” березня 2025 року
№194-4

2. Термін подання студентом роботи до “5” грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: нормативно-законодавчі акти, літературні джерела, дані досліджуваних підприємств, статистична звітність.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ
Розділ 1. Теоретичні та методичні основи дослідження ефективності виробництва та використання біомаси
1.1. Поняття біомаси як виду продукції, відходів і як сировини
1.2. Сутність ефективності виробництва та використання біомаси
1.3. Методика дослідження ефективності виробництва і використання біомаси.
Розділ 2. Аналіз та оцінка ефективності виробництва та використання біомаси
2.1. Виробництво біомаси та потенціал її використання в Україні.
2.2. Тенденції утворення і використання біомаси у країнах Європи.

2.3. Ефективність виробництва і використання біомаси та чинники, що її обумовлюють.
Розділ 3. Шляхи підвищення ефективності виробництва та використання біомаси.
3.1. Диверсифікація біосировинної бази утворення біомаси для нетрадиційної енергетики.
3.2. Напрями застосування зарубіжного досвіду виробництва і використання біомаси.
3.3. Потенційні можливості ринку біомаси як сировини для біопалива.
Висновки
Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу: рисунки, таблиці

6. Дата видачі завдання: “14” березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів роботи
1.	Отримання завдання керівника. Збір і опрацювання рекомендованої літератури за темою КР. Приготування літературного огляду. Вивчення досліджуваного об’єкту. Аналіз існуючого стану проблеми (складання програми; підготовка матеріалів для кваліфікаційної роботи).	березень-липень 2025 р.
2.	Обґрунтування перспектив і шляхів вирішення досліджуваної проблеми та їх деталізація (формування перспективної частини; приготування основи для формування варіанту роботи).	серпень-вересень 2025 р.
3.	Розробка та обґрунтування пропозицій щодо реалізації практичних рекомендацій. Написання економічної частини роботи; висновків і пропозицій з реалізації роботи; оформлення остаточного варіанту роботи та графічних матеріалів, які представляються до захисту перед ЕК.	жовтень 2025 р.
4.	Остаточне оформлення кваліфікаційної роботи (здача роботи керівнику КР; виправлення його зауважень; подання КР на рецензування; остаточне оформлення ілюстративних матеріалів, таблиць).	листопад 2025 р.
5.	Підготовка до захисту перед ЕК. Попередній захист на випускній кафедрі (приготування доповіді і презентації роботи й погодження їх з керівником КР).	грудень 2025 р.

Студент

(підпис)

Федорів М.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Черевко І.В.

(прізвище та ініціали)

УДК 332.155:620.925

Реферат

Кваліфікаційна робота 85 стор. текст. част.; 1 рис.; 7 табл.; 28 літературних джерел.

Ефективність виробництва і використання біомаси. Федорів М.П. Кваліфікаційна робота. Кафедра економіки. Львів. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025.

В роботі проаналізовані теоретичні та методичні основи дослідження ефективності виробництва та використання біомаси. Здійснено комплексний аналіз та оцінку ефективності виробництва й використання біомаси, в т.ч. проаналізовано обсяги виробництва біомаси та оцінено потенціал її використання в Україні; визначено економічну та енергетичну ефективність виробництва і використання біомаси, а також ключові чинники, що її обумовлюють (ресурсні, технологічні, організаційні, ринкові та інституційні); узагальнено тенденції утворення й використання біомаси у країнах Європи, зокрема напрями розвитку біоенергетики та практики підвищення результативності біомасових ланцюгів створення вартості.

Обґрунтовано шляхи підвищення ефективності виробництва та використання біомаси на основі диверсифікації біосировинної бази, адаптації зарубіжного досвіду та оцінки потенційних можливостей ринку біомаси як сировини для біопалива.

АНОТАЦІЯ

Розкрито економічну сутність біомаси, її класифікаційні характеристики та роль у забезпеченні енергетичної безпеки і зрівноваженого розвитку.

Проаналізовано сучасний стан виробництва та використання біомаси, визначено основні тенденції розвитку біоенергетики, а також чинники, що впливають на рівень економічної ефективності її виробництва. Оцінено показники економічної та енергетичної ефективності використання різних видів біомаси.

Обґрунтовано напрями підвищення ефективності виробництва і використання біомаси шляхом диверсифікації біосировинної бази, стимулювання інвестицій, застосування зарубіжного досвіду виробництва і використання біомаси та впровадження інноваційних технологій у біоенергетичній сфері.

Ключові слова: біомаса, біоенергетика, економічна ефективність, енергетичні культури.

ABSTRACT

The economic essence of biomass, its classification characteristics, and its role in ensuring energy security and sustainable development are revealed.

The current state of biomass production and use is analyzed, the main trends in the development of bioenergy are identified, as well as the factors that influence the level of economic efficiency of its production. The economic and energy efficiency indicators of the use of various types of biomass are assessed.

The directions for improving the efficiency of biomass production and use are substantiated by diversifying the bio-raw material base, stimulating investment, applying foreign experience in the production and use of biomass, and introducing innovative technologies in the bioenergy sector.

Keywords: biomass, bioenergy, economic efficiency, energy crops.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ	
1.1. Поняття біомаси як виду продукції, відходів і як сировини.....	9
1.2. Сутність ефективності виробництва та використання біомаси.....	21
1.3. Методика дослідження ефективності виробництва і використання біомаси.....	26
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ	
2.1. Виробництво біомаси та потенціал її використання в Україні.....	31
2.2. Тенденції утворення і використання біомаси у країнах Європи.....	42
2.3. Ефективність виробництва і використання біомаси та чинники, що її обумовлюють.....	53
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ	
3.1. Диверсифікація біосировинної бази утворення біомаси для нетрадиційної енергетики.....	60
3.2. Напрями застосування зарубіжного досвіду виробництва і використання біомаси.....	64
3.3. Потенційні можливості ринку біомаси як сировини для біопалива.....	75
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83

ВСТУП

Україна має значні природно-ресурсні передумови для розвитку біоенергетики, зокрема наявність великих площ сільськогосподарських угідь, суттєвих обсягів рослинних відходів та значні площі енергетичних культур. Водночас рівень використання біомаси як енергетичного ресурсу залишається недостатнім, що зумовлено низкою економічних, організаційних, технологічних та інституційних обмежень. У зв'язку з цим особливої ваги набуває дослідження ефективності виробництва і використання біомаси, визначення чинників, що на неї впливають, та обґрунтування напрямів її підвищення.

Вже зараз в Європі на долю відновлюваних джерел енергії припадає понад 30% виробництва електроенергії, що значно збільшилося за останні майже 20 років (12% у 2000 році). Тепер енергії з поновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова та біомаса) виробляється більше, ніж з вугілля та природного газу – 20,9% і 20,6% відповідно у 2017 році. Частка біомаси в електроенергетиці Європейського союзу сьогодні складає 6%, в опаленні – 16%.

Актуальність теми дослідження зумовлена також необхідністю диверсифікації енергетичних джерел, зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв, забезпечення сталого розвитку сільських територій і виконання Україною міжнародних зобов'язань у сфері кліматичної політики та декарбонізації економіки.

Метою даного дослідження є обґрунтування теоретичних засад та розроблення практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності виробництва і використання біомаси в умовах трансформації енергетичного та аграрного секторів економіки України.

Об'єктом проведеного дослідження є процеси виробництва та використання біомаси як складової відновлюваної енергетики в аграрному секторі економіки.

Предметом дослідження є економічні відносини та механізми забезпечення ефективності виробництва і використання біомаси.

Методологічною основою дослідження є сукупність загальнонаукових і спеціальних методів пізнання економічних процесів і явищ, зокрема діалектичний метод, методи аналізу та синтезу, індукції і дедукції, абстрагування та узагальнення, економіко-статистичні методи, методи порівняльного аналізу, групування, а також графічні й табличні методи подання інформації, що дало змогу всебічно дослідити ефективність виробництва і використання біомаси.

Інформаційною базою дослідження є відповідні законодавчі та нормативно-правові акти України, праці вітчизняних і зарубіжних авторів, офіційні інформаційні джерела. Використані аналітичні та статистичні матеріали Держкомстату України. Період дослідження – 2022-2025 рр..

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ

1.1. Поняття біомаси як виду продукції, відходів і як сировини

Шукаючи відповідь на питання, що таке біомаса, варто наголосити, що це одне з найдавніших джерел енергії, що використовуються людством. З незапам'ятних часів людство використовувало процес видобутку енергії з біомаси, ще не до кінця зрозумівши цю концепцію. Незважаючи на проходження століть та зміни в енергетичних концепціях, ми досі покладаємося на цю модель.

Біомаса є одним із найстаріших, але водночас одним із найлегших для отримання та використання відновлюваних джерел енергії. Вона включає всі види розкладної органічної речовини, включаючи сировину тваринного та рослинного походження, а також біологічні відходи. Тому термін «біомаса» стосується будь-якої речовини органічного походження, що виробляється з використанням сонячної енергії, атмосферного вуглекислого газу та води, видобутої з ґрунту. Вона також може вироблятися шляхом так званого «соціального метаболізму». Це результат складного процесу, в якому вуглекислий газ і вода перетворюються на органічні сполуки за допомогою сонячної енергії, тобто шляхом фотосинтезу. Виробництво біомаси триватиме доти, доки сонце випромінюватиме енергію та світло, а ґрунт відповідатиме необхідним умовам для росту рослин.

Правове регулювання у сфері розвитку відновлювальних джерел енергії в Україні розвивається шляхом адаптації законодавства до вимог Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009¹ (далі – Директиви 2009/28/ЄС). Відповідно до Директиви 2009/28/ЄС термін «біомаса»: «означає частину продуктів, що підлягає біологічному розкладенню, відходи та залишки біологічного походження, що отримуються з сільського господарства (враховуючи речовини рослинного та тваринного походження),

лісового господарства та суміжних галузей, враховуючи рибальство та аквакультуру, а також частину промислових та міських відходів, що підлягає біологічному розкладенню» [5,с.10].

В українському законодавстві, за приписами Директиви ЄС, біомаса – це біологічно-відновлювана речовина органічного походження, яка включає органічні відходи сільського господарства, лісового господарства, харчової промисловості та інших галузей, а також біологічно-відновлювану речовину, яка є частиною промислових відходів і відходів, що утворюються внаслідок споживання. Це невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу. Рідке паливо з біомаси (рідке біопаливо) – біопаливо дизельне, біометанол, біоетанол, біобутанол, біо-ЕТБЕ, біо-МТБЕ, біо-ЕТАЕ, гідроочищена рослинна олія, чиста рослинна олія та інші рідкі синтетичні палива, виготовлені з біомаси [12; 13].

Термін «біомаса» має ще два практично ідентичні законодавчі визначення: «невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження у вигляді відходів лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства та технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, що зазнає біологічного розкладу, а також складова промислових або побутових відходів, що здатна до біологічного розкладу» (ЗУ «Про електроенергетику») «біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів» (Закон України «Про альтернативні види палива») [5, с.10].

Таким чином, законодавство містить кілька визначень терміну «біомаса». Біомаса розглядається як біологічно відновлювальна речовина органічного походження, а також органічна частина промислових та побутових відходів; як альтернативний вид палива та альтернативне та відновлювальне джерело енергії. Виробництво теплової енергії із біомаси, як альтернативного джерела енергії, є сферою альтернативної енергетики; енергетичні рослинні культури та продукція сільськогосподарського виробництва, які є джерелом енергії, відповідно до законодавства слід класифікувати як нетрадиційні джерела та види енергетичної сировини. Види палива, які виготовлені із біомаси, називаються біопаливом. Усі ці визначення зустрічаються в різних контекстах у законодавстві України та не завжди використовуються як взаємозамінні поняття. Відсутність єдиної термінології, класифікації, стандартів стосовно біомаси, біопалива і біоенергії та їх адаптації до Директиви 2009/28/ЄС не сприяє розвитку вектору біоенергетики в Україні [5, с.13].

Поняття біомаси по суті охоплює всі продукти рослинного та тваринного походження, які можна використовувати для виробництва енергії. Це включає як відходи рослинництва після виробництва, так і рослини, вирощені спеціально для цієї мети. Сюди також входять продукти тваринного походження та відходи, пов'язані з тваринництвом. Виробництво енергії передбачає відновлення цінних компонентів з біомаси, що утворюється під час фотосинтезу, насамперед вуглецю.

Біомаса є центральною темою Європейської зеленої угоди. Очікується, що ліси, моря, прісноводні та сільськогосподарські системи одночасно пом'якшуватимуть зміну клімату, забезпечуватимуть біорізноманіття та вироблятимуть товари. Як наслідок, біомаса, що виробляється з цих джерел, переробляється, і винаходяться нові способи використання біомаси для компенсації викидів. Тим часом суспільні проблеми, з якими ми всі стикаємося, вирішуються на глобальному рівні, а зобов'язання ЄС щодо міжнародних зобов'язань призводять до низки всеохоплюючих стратегій на рівні ЄС. Це зобов'язання щодо досягнення Цілей сталого розвитку, а точніше, щодо

пом'якшення зміни клімату, покращення екосистем та збереження та збільшення біорізноманіття, а також сприяння справедливості, рівності та конкурентоспроможності. Геополітичні події, у свою чергу, також впливають на ЄС і змушують нас переосмислити те, як управляються наші ресурси, а також продовольчий та енергетичний суверенітет ЄС.

Потужними системами, на які ми покладаємося, щоб провести нас через зелений перехід до нового способу життя з меншим впливом, є наземні, морські та прісноводні системи. Базові дані та інформація про них і послуги, які вони надають, включаючи, але не лише, постачання біомаси, є фундаментальним елементом політики. Наші власні потоки відходів також є дедалі важливішим джерелом біомаси, пом'якшуючи прямий вплив на первинні виробничі системи, проте реінжиніринг відходів також не обходиться без витрат [16, с.5].

Важливість біомаси також підкреслюється в Україні та й у всьому світі, особливо в контексті прагнення досягти цілей Енергетичної політики до 2040 року (PER2040) [24], яка має на меті досягти щонайменше 23% частки відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії.

Як визначено в Законі про відновлювані джерела енергії від 20 лютого 2015 року, біомаса – це будь-який тип біорозкладної органічної речовини, що знаходиться на нашій планеті. Вона включає як рослинні, так і тваринні матеріали, які можна перетворити на тепло або електроенергію, включаючи відходи сільського господарства, лісового господарства, аквакультури та рибальства, а також біорозкладну частину промислових та побутових відходів.

Має зміст звернути увагу на ще одну дефініцію біомаси: «біомаса – вуглецевомісткі органічні речовини рослинного та тваринного походження (деревина, солома та інші рослинні залишки сільськогосподарського виробництва, гній, спеціально вирощувані енергетичні культури, органічні частини твердих побутових відходів та іноді торф)» [6, с.61].

Біомаса, або енергія, отримана з органічних матеріалів рослинного та тваринного походження, є відновлюваним джерелом енергії, на відміну від викопного палива, такого як вугілля чи нафта. У контексті енергетики біомаса

– це органічна речовина рослинного або тваринного походження, яка перетворюється на енергію. Її отримують як зі спеціально вирощених енергетичних культур, так і з різних відходів та органічних залишків [22].

Біомаса включає різноманітну сировину, зокрема деревину, сільськогосподарські відходи, спеціалізовані енергетичні культури (наприклад, енергетичну вербу та міскантус) та біогаз, що виробляється шляхом ферментації

Використання біомаси в енергетичному секторі спрямоване на зменшення викидів вуглекислого газу, хоча вкрай важливо, щоб її виробництво було сталим. Біомаса використовується для виробництва тепла в спеціально адаптованих котлах, електроенергії на електростанціях та як біокомпонент у транспорті. Біомаса відіграє значну роль в енергетичному секторі [22].

Отже, біомаса є значним джерелом відновлюваної енергії, яке сприяє зменшенню викидів парникових газів. Це важливо з кількох причин.

По-перше, ресурси біомаси оцінюються як найбільші з усіх відомих відновлюваних джерел енергії. Її можна безперервно збирати та навіть культивувати. Це також найстабільніше джерело завдяки можливості точно прогнозувати та розраховувати кількість енергії, яку можна виробити.

По-друге, це допомагає зменшити нашу залежність від викопного палива, що має вирішальне значення в контексті зміни клімату та енергетичної безпеки. Крім того, використання біомаси може сприяти розвитку місцевої економіки, стимулюючи сільськогосподарське та лісове виробництво [18].

Джерелами біомаси та її похідних продуктів для енергетичного використання можуть виступати різноманітні органічні матеріали природного або техногенного походження. До них належать відходи та побічні продукти сільського господарства (рослинництва й тваринництва), харчової та переробної промисловості, домашнього господарства та комунального сектору. Важливою групою ресурсів є також деревина лісів і лісонасаджень, включно з відходами їх механічної та хімічної переробки. Окрему категорію становлять біоресурси водних екосистем, а також енергетичні культури, спеціально

вирощувані для виробництва твердих, рідких та газоподібних видів біопалива. Узагальнена класифікація основних джерел біомаси наведена на рисунку 1.1.

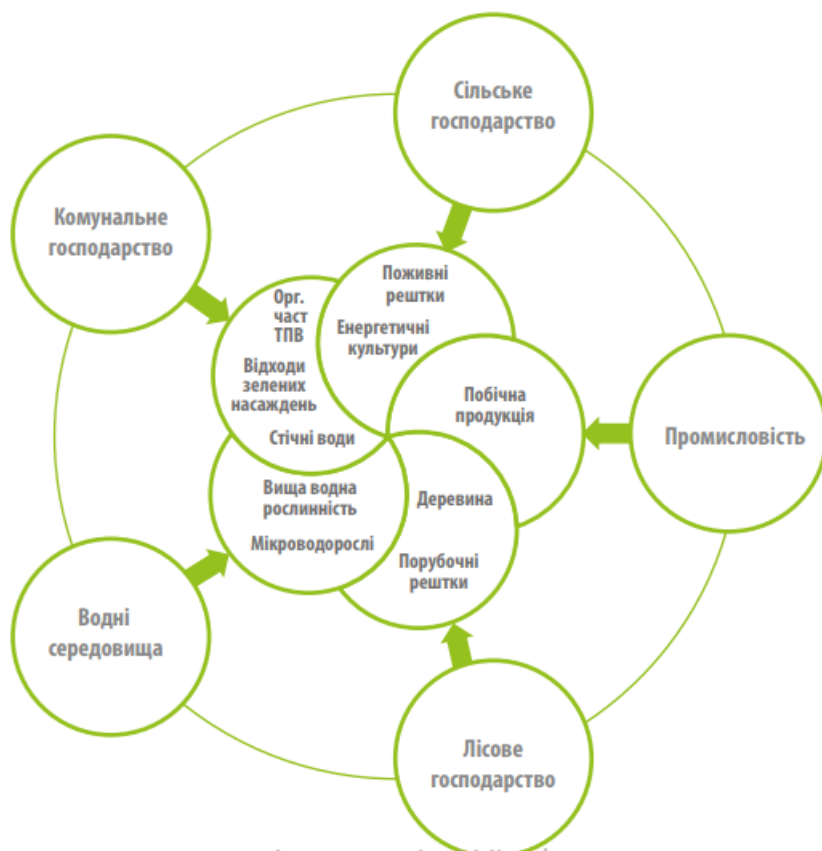


Рис. 1.1. Джерела походження біомаси*

*за даними [11, с.9]

Біомасу можна розділити на різні типи залежно від її походження та агрегатного стану [28; 29].

➤ тверда біомаса – переважно складається з речовин рослинного походження, таких як деревні відходи, промислові, сільськогосподарські та побутові відходи, а також рослини з енергетичних культур.

➤ рідка біомаса – переважно стосується біопалива, яке виробляється за допомогою хімічних процесів за участю рослин, що додаються до традиційного палива або окремих енергоносіїв.

➤ газоподібна біомаса – біогаз, що утворюється в результаті біорозкладу органічних відходів. Він складається переважно з метану та вуглекислого газу.

Для виробництва біомаси можна використовувати різні види сировини, такі як:

- деревні відходи лісового господарства та деревообробної промисловості, а також
- дерев'яна тара,
- солома з різних рослин (зернових, олійних, бобових) та сіно,
- сільськогосподарські культури з енергетичних культур,
- органічні відходи, такі як гній та осади стічних вод,
- відходи целюлозно-паперової промисловості, а також органічні відходи цукрових заводів, винокурень та пивоварень,
- рідке біопаливо, що використовується в транспорті, таке як рослинні олії, біодизель та біоетанол з винокурень та нафтопереробних заводів,
- біогаз, що утворюється з гною, осаду стічних вод,
- та побутових відходів на звалищах.

Біомасу, призначену для енергетичних цілей, можна розділити на кілька груп [29; 32]:

- Деревна біомаса (дендромаса) – різні види дерев, стебла, кора, тирса, брикети, пелети.
- Зелена та сільськогосподарська біомаса (агромаса) – трави та квіти, солома, стебла, волокна, лушпиння, насіння, залишки (качани, вичавки, корм, жом).
- Водна біомаса – діатомові водорості, вії, морські водорості.
- Відходи біомаси тваринного та людського походження – добрива, кістки, пташиний послід, м'ясо-кісткове борошно.
- Забруднена біомаса та промислова біомаса – картонні відходи, ДСП, ДВП, піддони, фанера.
- Суміші біомаси [25, с.6].

Оцінка потенціалу сільськогосподарської біомаси охоплює основні культури, що вирощуються в Європі, які відповідно до загальноприйнятої класифікації об'єднують у дев'ять ключових категорій: зернові культури,

цукрові та крохмалисті, олійні, культури зеленого збирання, багаторічні культури, овочі, бобові, технічні та енергетичні культури.

Властивості біомаси мають вирішальне значення для її енергетичного використання. До них належать:

- Хімічний склад – вміст вуглецю, водню, кисню, азоту та сірки.
- Теплотворна здатність – кількість енергії, яку можна отримати з одиниці маси біомаси.
- Вміст вологи – вміст води в біомасі, який впливає на ефективність горіння.
- Вміст летких речовин: впливає на процес горіння та викиди забруднюючих речовин.
- Вміст золи – залишок, що залишається після спалювання біомаси, який може бути важливим з точки зору утилізації та впливу на навколишнє середовище.
- Щільність – впливає на зберігання, транспортування та переробку біомаси [25, с.6].

Існує кілька способів використання біомаси. Енергію можна отримати, використовуючи природні процеси, що відбуваються в рослинних і тваринних продуктах. Гази та біопаливо, що утворюються під час контрольованих процесів гниття та ферментації, є одними з відновлених продуктів. Однак найбільша кількість енергії виробляється шляхом спалювання вуглецю, що міститься в рослинах [19].

Енергію біомаси можна виробляти кількома способами. Один з найпоширеніших – це спалювання біомаси для отримання тепла, яке потім використовується для опалення будівель або перетворюється на електроенергію. Інші методи включають ферментацію, газифікацію або піроліз, які дозволяють видобувати біогаз або біопаливо, таким чином забезпечуючи джерело відновлюваної та екологічно чистої енергії [18].

Суха біомаса використовується для живлення електростанцій, що виробляють електроенергію та тепло. Її також стискають під тиском і відправляють приватним споживачам у вигляді пелет. Для спалювання переважно використовуються відходи лісопильного виробництва та деревна продукція, які неможливо використати жодним іншим способом. В останні роки популярністю стали користуватися високоенергетичні культури, що вирощуються виключно для цілей спалювання [19].

Тверда біомаса походить переважно з тирси та стружки, що утворюються при переробці дерев та рослин. Найбільш впізнаваними формами твердої біомаси є деревина, пелети та брикети, які зазвичай використовуються для опалення будинків. Олійні культури, такі як цукрова тростина та кукурудза, використовуються для виробництва біопалива шляхом спиртового бродіння. Цей процес виробляє біоетанол, який покращує або замінює традиційне паливо [18].

Однак важливо пам'ятати, що екологічна природа біомаси залежить від відповідального управління ресурсами та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Стале сільське господарство та раціональне використання органічних відходів мають тут вирішальне значення.

Правильно кероване використання біомаси також допомагає зменшити негативний вплив сміттєзвалищ.

Біогаз – ще один цінний продукт, отриманий з біомаси та використовується для виробництва енергії. Це суміш газів, переважно метану та вуглекислого газу, що утворюється шляхом органічної ферментації. Цей процес відбувається на спеціалізованих установках, де біомаса розкладається мікроорганізмами в анаеробних умовах. Під час ферментації мікроорганізми розкладають органічну речовину, утворюючи біогаз як побічний продукт. Біогаз потім можна використовувати для виробництва електроенергії та тепла.

Згідно з поправкою до Закону про відновлювані джерела енергії від серпня 2023 року, можливість отримання гарантії походження була розширена, зокрема: для біогазу, сільськогосподарського біогазу та біометану. Раніше

гарантії походження можна було отримати лише для електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії та поданої в мережу. Ця зміна значно покращує імідж відновлюваних газів, опалення та охолодження, оскільки це буде еквівалентно використанню електроенергії з відновлюваних джерел.

Деревина та інші лісові продукти є традиційним джерелом біомаси, яке широко використовується для виробництва тепла та електроенергії. Сільськогосподарські відходи, такі як солома та лушпиння зернових, також мають значний енергетичний потенціал і можуть бути ефективно використані як біопаливо.

Крім того, харчові відходи, які часто є екологічною проблемою, можна ферментувати або газифікувати. Навіть деякі види трав та енергетичних рослин, спеціально вирощуваних для виробництва біомаси, можна використовувати для виробництва енергії. Вони повинні характеризуватися, перш за все, високою калорійністю, стійкістю та швидким щорічним зростанням. Популярними енергетичними культурами є топінамбур, верба та шипшина [18].

Такі процеси, як ферментація, газифікація та спалювання, дозволяють перетворювати ці різноманітні ресурси біомаси на тепло, електроенергію або біопаливо, сприяючи сталому використанню природних ресурсів та зменшенню викидів парникових газів.

Цей огляд джерел біомаси демонструє багатство доступної сировини, яку можна перетворити на енергію.

Біомаса має багато застосувань, окрім виробництва енергії. Її можна використовувати як паливо для опалення будинків або як компонент біорозкладної упаковки та продуктів. Наприклад, деревні пелети, що використовуються для опалення, є популярним продуктом, виготовленим з біомаси. Крім того, біопаливо, яке використовується для живлення транспортних засобів, також може вироблятися з різних джерел біомаси, що сприяє зменшенню викидів.

Біомаса також знаходить своє місце в промисловому та сільськогосподарському секторах. Наприклад, сільськогосподарські відходи,

такі як солома або рослинні залишки, можна переробляти на біогаз або компост, які можна використовувати для удобрення ґрунту. Крім того, виробництво біогазу з органічних відходів також може забезпечити додатковий дохід для фермерських господарств.

Харчові продукти та корми є найважливішою категорією з точки зору використання біомаси. Через великі прогалини в даних щодо використання сільськогосподарської біомаси як біоматеріалів та біоенергії ці дві категорії використання недооцінені, хоча вони досить добре задокументовані для лісової біомаси. Дисбаланс у відомих способах використання потоків відходів призводить до дефіциту загальних міжгалузевих потоків біомаси, оскільки постачання біомаси, яке не може бути віднесено до конкретного використання або втрачено чи витрачено даремно (для сільськогосподарської біомаси), не може бути представлене. Крім того, існує мало даних для всебічного представлення каскадного використання матеріалів у сільськогосподарському секторі (наприклад, від біоматеріалів до виробництва енергії з біомаси). Сучасне біопаливо (тобто солома, деревина та інша лігноцелюлозна біомаса для рідкого біопалива) та сільськогосподарська біомаса для опалення (тобто агропелети) також сюди не включені [16, с.5].

Основні переваги біомаси включають універсальний доступ до інгредієнтів та повну відновлюваність. Рослинний матеріал, отриманий з промислових відходів, доступний майже в кожному географічному місці. Навіть рослини, вирощені виключно для використання в енергії, можна адаптувати до певних кліматичних умов. Приклад деяких скандинавських країн також дає цінний урок щодо створення мереж постачальників та переробників відходів, що дозволяє розглядати цей матеріал як ресурс [18].

Біомаса, яка розглядається як перспективне відновлюване джерело енергії, отримує все більше визнання в контексті побудови сталого майбутнього. Її потенціал впливає з вуглецевого циклу: рослини, що використовуються для виробництва біомаси, поглинають вуглекислий газ з атмосфери під час процесу росту, який потім вивільняється під час горіння [22].

Найважливіше те, що кількість CO_2 , що поглинається новими насадженнями, повинна компенсувати викиди, що утворюються внаслідок горіння, зрештою досягаючи вуглецево-нейтрального балансу.

Біомаса також, звичайно, є повністю відновлюваним ресурсом, оскільки культурні рослини класифікуються як такі. Щороку нові партії рослин можна вирощувати в тому ж місці та повторно використовувати в процесах виробництва енергії. Крім того, існує проблема використання промислових відходів та сировини нижчої якості, яка зазвичай залишається для природного біорозкладу.

У деяких колах біомаса є суперечливим питанням, головним чином через те, що енергія з матеріалу отримується шляхом спалювання, а одним із побічних продуктів цього процесу є вуглекислий газ. Відновлювані джерела енергії мають бути екологічно нейтральними та не завдавати додаткової шкоди [19]. Однак аргументи екологів ґрунтуються на властивостях та унікальних здібностях рослин. Під час росту рослини поглинають вуглекислий газ з повітря та перетворюють його на поживні речовини. Протягом свого життя рослина перетворює більше вуглекислого газу, ніж утворюється в результаті спалювання. Тому баланс можна вважати позитивним, тобто він приносить користь екосистемі.

У глобалізованому світі, де зміна клімату стає дедалі актуальнішою проблемою, використання відновлюваних джерел енергії, таких як біомаса, стає дедалі важливішим. Однак важливо пам'ятати про необхідність дотримання стійких практик видобутку та використання біомаси, щоб гарантувати, що переваги, отримані від її використання, не впливають і не вплинуть негативно на навколишнє середовище.

Воєнні дії завдали потужного удару по енергетичній інфраструктурі України, істотно погіршивши стабільність та безпеку енергопостачання. Протягом листопада 2022-лютого 2023 року електропостачання було обмежене для 3,8 млн споживачів, а під час пікових системних аварій кількість знеструмлених домогосподарств та підприємств сягала 13,5 млн. Масштабні

ракетні обстріли та окупація окремих територій призвели до тимчасової втрати близько 50% генеруючих потужностей та підстанцій, що суттєво ускладнило балансування енергосистеми та забезпечення потреб економіки.

Крім фізичного руйнування інфраструктури, значно зріс рівень загроз у кіберпросторі. Кількість кібератак на енергетичний сектор суттєво збільшилася, що створило додаткові ризики для функціонування критично важливих об'єктів та інформаційних систем управління.

Воєнні дії спричинили також масштабні екологічні збитки, які перевищили 56 млрд євро. Наразі тривають розслідування щодо фактів екоциду та ведення так званої екологічної війни, що має довготривалі наслідки як для природних ресурсів, так і для відновлення економіки.

1.2. Сутність ефективності виробництва та використання біомаси

Ефективне виробництво та використання біомаси передбачає перетворення сільськогосподарських, лісових та побутових відходів на енергію (тепло, електроенергію, біопаливо) або добрива (біовугілля), що зменшує викиди CO₂, підтримує циркулярну економіку, створює робочі місця та підвищує енергетичну незалежність. Ключовим у цьому є інтеграція технологій (наприклад, біопалива та біогазу), оптимізація використання різних видів біомаси (навіть низькоякісної) та вибір сировини (наприклад, лучної біомаси замість енергетичних культур на орних землях) для максимізації екологічних (поглинання вуглецю) та економічних вигод, хоча енергетична ефективність пелет із рослинних залишків іноді нижча, ніж деревини.

Біомаса – це технологічно зріла, відновлювана та гнучка енергетична технологія зі значним внутрішнім потенціалом. Максимальна ефективність виробництва і використання біомаси досягається завдяки інтегрованому підходу, який поєднує збір відходів, виробництво енергії та виробництво добрив, одночасно підтримуючи екологічні та економічні цілі, зберігаючи природні ресурси для наступних поколінь.

В українському законодавстві наразі немає усталеного визначення термінів «деревна біомаса» чи «лісова біомаса». Існують різні стандарти, які містять

визначення різних складових лісової і деревної біомаси за різними типами (стружка, тирса, деревина дров'яна, дрова, пелети тощо), як-от: ISO 17225-1-4 «Тверде біопаливо. Технічні характеристики та класи палива», ДСТУ EN 15234-4-5:2018 «Біопаливо тверде», ТУУ-00994207-005:2018 «Деревина дров'яна. Класифікація, облік, технічні вимоги». Відповідно до наказу Міндовкілля № 621 від 27 вересня 2021 р. про затвердження Інструкції з ведення електронного обігу деревини 76 дається визначення поняттям деревина, деревина дров'яна непромислового використання, деревина дров'яна промислового використання, хмиз, що є складовими частинами лісової біомаси (первинні). Водночас не наводиться повне визначення терміну «лісова біомаса» (яка також включає і вторинні відходи, і продукти з лісової біомаси).

У Директиві ЄС 2018/2001, на яку посилається RED III, є таке визначення: “forest biomass” means biomass produced from forestry”, у запозиченій і закріпленій в українському законодавстві версії: «(26) «лісова біомаса» означає біомасу, вироблену в секторі лісового господарства». Це визначення також не можна вважати повним, оскільки воно може включати всі продукти (а не тільки відходи) лісового господарства (наприклад, круглу деревину, ділову деревину), які хоча формально і можуть використовуватися для виробництва енергії, але, по суті, являють собою комерційні продукти для сектору переробки деревини, тобто це не лісова енергетична біомаса.

Тому дамо власне визначення поняття «лісова біомаса». Це маса деревини у вигляді відходів, продуктів і залишків, які утворені в процесі лісогосподарської діяльності, включно з тонкомірними стовбурами, корою, гілками, сучками, пнями та корінням дерев, вторинними відходами і залишками секторів деревообробки і переробки, деревним вугіллям, деревними пелетами, брикетами, деревною тріскою і тирсою первинної і вторинної переробки (зокрема з відходів стовбурової деревини), що використовується для виробництва енергії.

У матеріалах європейського проєкту ВЕЕ (сьома рамкова програма FP7) дається таке визначення деревної біомаси: «Деревна біомаса – маса деревних

частин (деревини, кори, гілок, сучків, пнів і коріння) дерев, живих та мертвих, кущів і чагарників, виміряних з мінімальним діаметром від 0 мм (не входить листя хвойних і листяних порід)».

В основі ланцюга утворення лісової біомаси лежить стовбурова деревина – частина стовбура дерева від місця спилування до верхівки, з корою і без гілок. Дров'яна стовбурова деревина є первинною складовою лісової біомаси в Україні, разом із якою формуються всі інші види. На переробку для отримання енергії вона надходить після основних видів лісопромислової діяльності: рубок головного користування, рубок формування та оздоровлення лісів, інших лісогосподарських заходів. Первинні лісові відходи (залишки після заготівлі деревини) включають у себе кілька типів деревної біомаси: частку деревини з деяких рубок догляду (часто все дерево), порубкові рештки (сучки, гілля, верхівки дерев, інші відходи, що не належать до ліквіду з крони) і пні. Вторинні лісові відходи (відходи переробки деревини) – різні види біомаси, які утворюються в процесі промислової переробки деревини: тирса і тріска, кора, залишки деревини, чорний луг. Умовно за властивостями біомаси деревні відходи, що в подальшому можна буде використати, поділяють на відходи з елементів крони, відходи зі стовбурної деревини та відходи з кори.

Відповідно до Публічного звіту Держлісагентства за 2023 р., запас деревини в лісах України оцінюється в межах 2,3 млрд м³. За рік у лісах приростає 35 млн м³ деревини. Середній запас деревостанів в Україні – 235-251 м³/га. За даними Єдиної державної системи електронного обліку деревини, загалом по галузі обсяги заготівлі ліквідної деревини від усіх видів рубок за 2023 рік становили 15,7 млн м³. З них близько 13,1 млн м³ заготовлено підприємствами Держлісагентства. Зокрема, лісоматеріалів круглих – близько 5,6 млн м³, довгомірних лісоматеріалів – 0,4 млн м³, деревини дров'яної промислового використання – 3,9 млн м³ та деревини дров'яної непромислового використання (дров паливних) – 3,2 млн м³. Два останні показники (сумарно 7,1 млн м³) становлять лісову біомасу, що використовується для виробництва

енергії, приготування їжі, опалення, переробки на вторинні продукти біомаси (пелети/брикети).

Основними якісними характеристиками деревної біомаси – як і будь-якого іншого типу твердої біомаси – є параметри, що визначають можливі напрями її використання та тип обладнання, придатного для спалювання або подальшої переробки. До таких характеристик належать: розмір частинок, насипна та деревна щільність, рівень вологості, теплотворна здатність, вміст летких речовин, зольність, елементарний склад органічної частини та зольного залишку, а також температура початку плавлення золи.

Крім того, деревна біомаса значно варіює за своїм походженням, джерелом отримання, торговою формою та фізико-хімічними властивостями, що безпосередньо впливає на її якість і придатність для різних технологічних процесів.

До цього виду деревної біомаси належать усі відходи, що утворюються в процесі лісогосподарської діяльності під час заготівлі деревини. До них відносять гілки, хмиз, порубкові залишки різних типів, пні, сухостій та іншу відмерлу деревину. Обсяги утворення такої біомаси щороку прямо залежать від інтенсивності рубок, які фіксуються в лісорубних квитках для кожного окремого лісгоспу.

Завдяки наявності публічних статистичних даних та інформації Держлісагентства потенціал цього різновиду деревної біомаси може бути визначений досить точно, хоча й характеризується певною міжрічною варіативністю. У 2021 році обсяг відходів від рубок становив близько 0,7 млн т н.е., що відповідає приблизно 2,4 млн т у натуральній масі за умови вологості на рівні 40 % [1].

Загальне виробництво сільськогосподарської біомаси оцінюється шляхом диференціації двох основних компонентів:

1. Економічне виробництво: первинні продукти, тобто зерно, фрукти, коріння, бульби тощо;

2. Виробництво залишків: вторинні продукти, тобто листя, стебла та лушпиння [16, с.26].

Ефективність виробництва біомаси:

➤ диверсифікація сировинної бази: використання всіх доступних відходів (соломи, лушпиння, побутових відходів) замість енергетичних культур на орних землях.

➤ інтеграція процесів: поєднання виробництва твердого палива (пелети, брикети) та біогазу з тієї ж біомаси. Оптимізація врожаю: Використання луків та пусток для виробництва біоенергії, що зменшує викиди CO₂ та збільшує поглинання вуглецю.

➤ технології: використання сучасних методів (наприклад, гідротермальна обробка) покращує властивості та ефективність палива.

Ефективність використання біомаси:

➤ циркулярна економіка: біомаса перетворює відходи на джерело енергії та продукти (біовугілля).

➤ застосування: виробництво електроенергії, тепла, біопалива (біоетанолу, біодизеля) та постачання до місцевих теплових мереж.

➤ низький вплив на навколишнє середовище: нульовий баланс CO₂ (у циклі росту-спалювання), нижчі викиди інших забруднюючих речовин (CO₂, NO_x) порівняно з викопним паливом.

➤ економічні та соціальні переваги: зменшення залежності від імпорту палива, створення робочих місць та підтримка сільського господарства.

Ефективність виробництва та використання біомаси є комплексною характеристикою, що поєднує економічні, енергетичні, екологічні та технологічні параметри. Вона визначає здатність біомаси забезпечувати відтворюваність енергоресурсів, оптимальне використання земельних і матеріальних ресурсів, отримання стійкого енергетичного виходу, а також мінімізацію негативного впливу на довкілля.

У сучасних умовах біомаса розглядається як стратегічний елемент енергетичного переходу, адже її використання сприяє підвищенню

енергетичної безпеки, зниженню залежності від імпорتنих енергоресурсів, формуванню циркулярної економіки та скороченню викидів парникових газів. Ефективність біоенергетичного виробництва значною мірою визначається здатністю технологій забезпечувати високу енергетичну віддачу порівняно з витратами на вирощування, заготівлю та переробку сировини.

Сутність ефективності також охоплює соціально-економічний вимір, що проявляється у створенні нових робочих місць, розвитку сільських територій, диверсифікації аграрного виробництва та підвищенні конкурентоспроможності аграрного сектору. Отже, ефективність виробництва та використання біомаси є багатовимірною категорією, яка визначає як стійкість біоенергетичних систем, так і їхню здатність забезпечувати довгострокові переваги для економіки, суспільства та довкілля.

За умови поєднання технологічних інновацій, раціональної аграрної політики та належної інвестиційної підтримки біомаса здатна стати одним із ключових ресурсів у формуванні енергетично стійкого майбутнього.

1.3. Методика дослідження ефективності виробництва і використання біомаси.

Економічна ефективність використання біомаси у сучасному світі стає все більш актуальною темою як в плані науки, так і практики. З розвитком технологій та підвищенням уваги до екологічних методів енергозбереження, все більше цікавить питання, наскільки це вигідно і чи вигідно взагалі, дослідження можливих відповідей на яке потребує відповідного методичного підходу. В процесі проведено дослідження, результати якого представлені у даній кваліфікаційній роботі, виходили із наступних прийнятих положень.

Дослідження ефективності виробництва та використання біомаси є ключовим елементом оцінювання потенціалу біоенергетичного сектору та обґрунтування можливостей заміщення традиційних енергоресурсів відновлюваними. У сучасних умовах, коли енергетична безпека, екологічна стійкість та економічна доцільність набувають стратегічного значення,

комплексна методологія аналізу біомаси стає фундаментом для прийняття управлінських і технологічних рішень.

Методичний підхід до оцінювання ефективності виробництва і використання біомаси ґрунтується на системному аналізі всіх етапів формування біоенергетичного ресурсу – від генерування вихідної сировини до її перетворення та кінцевого споживання. Такий підхід передбачає дослідження як ресурсного потенціалу біомаси, так і параметрів її технологічної та економічної ефективності, що дозволяє визначити ступінь раціональності її використання у різних секторах економіки.

Особлива увага приділяється аналізу структурних характеристик біомаси, технічних параметрів обладнання, показників енергетичної віддачі, екологічних ефектів, а також витрат і результатів її використання. У процесі дослідження враховується широкий спектр чинників: вид біомасової сировини, технологія її переробки, ефективність процесів збирання і підготовки, рівень енергетичної конверсії, безпекові та екологічні характеристики.

Методика також опирається на сучасні підходи до енергетичного планування, включаючи принципи сталого управління біоресурсами, вимоги міжнародних стандартів (зокрема RED II/RED III, ISO 17225), положення національного законодавства щодо використання твердих біопалив та їх енергетичної цінності. Окремо враховуються вплив зовнішніх чинників – економічних, технологічних та природно-кліматичних, а також форс-мажорних обставин, таких як воєнні дії, що суттєво впливають на доступність та ефективність використання біомаси.

Метою проведених експериментальних досліджень є встановлення основних закономірностей процесу часткової газифікації твердої біомаси у горючий газ і біовугілля в реакторах щільного шару палива з рухомою зоною газифікації. Досліди виконувалися в умовах, що максимально наближені до реальних технологічно можливих режимів термічної конверсії біомаси.

Постановка задач експерименту

•Під час планування та організації експериментальних робіт було сформульовано такі завдання:

•забезпечення мінімального рівня випадкових похибок та повне усунення грубих помилок вимірювання;

•збереження стабільності фізико-хімічних властивостей зразків біомаси;

•мінімізація відхилень параметрів, що характеризують умови проведення експериментів (зокрема вологості, температури та тиску в лабораторії).

Наукове підґрунтя та вибір параметрів дослідження

Аналіз літературних джерел показує, що ключовою характеристикою процесів регульованого термічного розпаду біомаси є вихід та склад продуктів термічної конверсії. Відповідно, саме ці параметри були визначені як функція мети у планованих експериментах, включаючи тверді, рідкі та газоподібні продукти.

Основні чинники варіації (режимні параметри), що визначають вихід і склад продуктів термічної конверсії, були сформульовані так:

- вид біопалива та розмір його фракції;
- вологість сировини;
- насипна щільність;
- питомі витрати повітряного дуття;
- діапазон температур нагрівання.

Об'єкти дослідження та структура експериментальної серії

У дослідженнях як представники основних груп біомаси застосовувалися:

- деревина,
- рослинні відходи,
- енергетичні рослини.

Кількість повторних дослідів при фіксованій комбінації параметрів становила від трьох до п'яти, що визначалося доступністю відповідного виду біопалива. Такий підхід забезпечив статистичну достовірність результатів та можливість їх подальшої параметричної інтерпретації.

По-перше, використання біомаси дозволяє значно знизити витрати на традиційні енергоресурси, що особливо важливо в умовах нестабільних цін на нафту та газ. Виробництво енергії з біомаси може бути дешевшим завдяки використанню відходів сільського господарства, лісової промисловості та інших органічних залишків. Це не тільки сприяє економії, але й зменшує залежність від імпортованих ресурсів.

По-друге, сучасні технології дозволяють максимально ефективно використовувати біомасу, що значно підвищує її економічну привабливість. Інноваційні методи переробки, такі як анаеробне зброджування та піроліз, дозволяють отримувати більше енергії з меншої кількості сировини. Це, в свою чергу, знижує витрати на виробництво і підвищує прибутковість проектів [9].

По-третє, одним із ключових аспектів зменшення викидів парникових газів є енергоефективність. Сучасні технології дозволяють значно підвищити ефективність використання ресурсів, що, у свою чергу, сприяє економії енергії. Це включає в себе оптимізацію процесів, використання відновлюваних джерел та впровадження енергоощадних технологій.

По-четверте, оптимізація процесів дозволяє зменшити втрати енергії та підвищити ефективність її використання. Використання відновлюваних джерел забезпечує стабільність та надійність енергопостачання. Впровадження енергоощадних технологій сприяє зменшенню споживання енергії та зниженню витрат.

По-п'яте, зменшення викидів парникових газів має численні переваги не тільки для довкілля, але й для суспільства в цілому. Це включає покращення якості повітря, зменшення впливу на здоров'я людей та збереження природних екосистем. Крім того, впровадження екологічних технологій сприяє створенню нових робочих місць та розвитку зеленої економіки [9].

По-шосте, покращення якості повітря знижує ризик захворювань дихальної системи.

По-сьоме, збереження природних екосистем сприяє біорізноманіттю та стійкості природних процесів.

По-восьме, впровадження екологічних методів та новітніх технологій є важливим кроком на шляху до сталого розвитку. Це не лише зменшує викиди парникових газів, але й сприяє загальному покращенню якості життя. Енергоефективність, економія ресурсів та збереження навколишнього середовища – ось основні складові цього процесу [9].

По-дев'яте, енергозбереження та економія ресурсів можуть бути досягнуті завдяки більш ефективному використанню природних матеріалів. Це дозволяє зменшити залежність від викопних джерел енергії та сприяє сталому розвитку. Важливо, щоб такі заходи були спрямовані на підтримку біорізноманіття, а не його знищення.

По-десяте, застосування екологічно чистих методів у виробництві енергії з біомаси має багато економічних переваг:

це дозволяє зменшити витрати на утилізацію відходів, які в іншому випадку потребували б додаткових фінансових витрат;

це сприяє збереженню природних ресурсів, що в довгостроковій перспективі веде до зниження витрат на їх видобуток та обробку;

екологічні методи дозволяють зменшити викиди парникових газів, що, в свою чергу, може призвести до отримання додаткових фінансових вигод у вигляді податкових пільг та субсидій.

Таким чином, економічна ефективність біомаси не тільки базується на безпосередніх фінансових вигодах, але й на довгостроковій економії ресурсів та збереженні екологічного балансу [9].

Зазначені положення в ході дослідження були дотримані і використані шляхом їх врахування в процесі застосування комплексу методів наукового пошуку, основним із яких був діалектичний підхід у поєднанні із науковою абстракцією та методом органічної єдності історичного і логічного у економічних наукових дослідженнях. Не менш активно використано також методи індукції і дедукції, аналізу і синтезу одержаних вході аналізу результатів, систематизації та узагальнення, класифікації, описово-аналітичний і монографічний методи.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ

2.1. Виробництво біомаси та потенціал її використання в Україні.

В умовах трансформації енергетичного сектору України та необхідності зниження залежності від імпорتنих енергоресурсів виробництво біомаси набуває особливого стратегічного значення. Біомаса є доступним, відновлюваним та екологічно орієнтованим джерелом енергії, потенціал якого в Україні залишається значною мірою нереалізованим. Завдяки високій частці аграрного виробництва, значним площам земель сільськогосподарського призначення та різноманіттю наявних біоресурсів країна має сприятливі передумови для розширення обсягів виробництва енергетичної біомаси.

Сучасні виклики, зумовлені воєнними руйнуваннями, перебоями в енергопостачанні та необхідністю відбудови економіки, додатково посилюють актуальність використання біомаси як конкурентної альтернативи традиційним видам палива. Активізація цього напрямку сприяє формуванню децентралізованої та стійкої енергетичної системи, створенню нових ланцюгів доданої вартості, скороченню викидів парникових газів, а також інтеграції України до європейського енергетичного та кліматичного простору.

Потенціал біомаси визначається передусім обсягами її виробництва та кількістю продуктів, що формують біомасу у вигляді побічної продукції, залишків чи відходів основного виробництва. Як і показники аграрного сектору, цей потенціал є динамічним та змінюється щорічно під впливом природних, економічних і технологічних чинників. За останніми оцінками, здійсненими на основі статистичних даних за 2021 рік – останній період, не викривлений впливом воєнних дій, – загальний енергетичний потенціал біомаси становив 25,27 млн т н.е. (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Динаміка потенціалу біомаси в Україні*

Вид біомаси	2021 рік	Структура, % (2021)	2023 рік	Структура, % (2023)
Лісова біомаса, зокрема:	3,08	12,0	2,44	13,0
Відходи від рубок (гілки, порубкові залишки, пні, мертва деревина/сухостій)	0,70	23,0	0,57	24,0
Дрова	1,18	38,0	0,97	40,0
Тріска, тирса	0,10	3,0	0,09	4,0
Відходи вторинної переробки споріднених галузей і виробництва продуктів із деревини	0,20	7,0	0,15	6,0
Відходи від обрізування садів і викорчовування	0,11	4,0	0,08	3,0
Відходи від управління захисними лісосмугами	0,50	16,0	0,33	13,0
Відходи від управління самосійними лісами	0,28	9,0	0,24	10,0
Агробіомаса, зокрема:	16,45	65,0	12,09	62,0
Польові відходи від збору зернових культур	4,20	25,5	3,15	26,0
Польові відходи від збору технічних культур (стебла, корзинки, стрижні кукурудзи і соняшнику)	7,00	42,6	5,39	45,0
Польові відходи від збору ріпаку	0,80	4,9	0,58	5,0
Елеваторні відходи	0,65	4,0	0,52	4,0
Лушпиння соняшнику	1,25	7,6	1,00	8,0
Вторинні рідкі агровідходи (гінь, гноївка, послід птахів, харчова і переробна промисловість – на біогаз)	1,35	8,2	1,05	9,0
Відходи першого покоління з ріпаку	0,40	2,4	0,40	3,0
Біоетанол першого покоління з кукурудзи/цукрового буряка	0,80	4,9	0,00	7,0
Органічні відходи, зокрема:	0,74	3,0	0,46	3,0
Тверді побутові відходи (на біогаз)	0,40	54,1	0,24	53,0
Тверді побутові відходи (пряме спалювання)	0,25	33,8	0,19	40,0

Стічні води (на біогаз)	0,07	9,0	0,03	7,0
Шлам від целюлозно-паперової промисловості	0,02	2,7	0,02	5,0
Органічні відходи, зокрема:	0,74	3,0	0,46	2,0
Тверді побутові відходи (на біогаз)	0,40	54,1	0,24	53,0
Тверді побутові відходи (на пряме спалювання)	0,25	33,8	0,15	33,0
Стічні води (на біогаз)	0,07	9,5	0,05	10,0
Шлам від целюлозно-паперової промисловості	0,02	2,7	0,02	4,0
Енергетичні культури, зокрема:	5,00	20,0	4,50	23,0
Енергетичні культури (верба, тополя, павловнія, міскантус; пряме спалювання), 0,5 млн га	2,50	50,0	2,25	50,0
Енергетичні культури (силос із кукурудзи на біогаз), 1 млн га	2,50	50,0	2,25	50,0
Потенціал біомаси, всього	25,27	100,0	20,28	100,0

Оцінка на основі попередніх статистичних даних з урахуванням зменшення потенціалу внаслідок воєнних дій, зміни структури сектору і комерційного споживання деревини в інших підсекторах; власні розрахунки.

*За даними опрацьованих джерел

Основним видом біомаси в Україні залишається аграрна біомаса. Її потенціал щорічно коливається залежно від врожайності сільськогосподарських культур, структури посівних площ, застосовуваних технологій, агропрактик та сівозмін.

Потенціал лісової біомаси в Україні у 2021 році становив 3,08 млн т н.е., або 12% загального потенціалу біомаси. У 2023 році цей показник зменшився до 2,44 млн т н.е., що відповідає приблизно 13% загального потенціалу. Хоча частка у структурі зростає на 1 в.п., абсолютний обсяг скоротився на 0,64 млн т н.е. (приблизно – 21%), що зумовлено наслідками воєнних дій, зниженням доступності лісових ресурсів, зміною пріоритетів лісокористування та обмеженнями щодо рубок.

У перерахунку на природну масу деревного палива з вологістю 40% потенціал лісової біомаси у 2023 році становить близько 8,3 млн т, що на понад 2 млн т менше порівняно з 2021 роком (10,5 млн т).

Розрахунок потенціалу охоплює ресурси, що утворюються внаслідок первинної та вторинної лісогосподарської діяльності, та не включає ділову деревину й інші комерційні продукти лісозаготівлі. До категорії лісової біомаси належать:

- відходи від рубок різних типів (гілки, корені, порубкові залишки, мертва деревина);
- дрова;
- тріска та тирса;
- побічні продукти первинної обробки деревини;
- відходи від обрізування багаторічних насаджень;
- біомаса захисних лісосмуг;
- відходи від управління самосійними лісами.

Такий методологічний підхід повністю відповідає вимогам Директиви RED III, принципу каскадного використання деревини та стандартам WWF щодо сталого управління біомасовими ресурсами.

Понад 61% загального потенціалу лісової біомаси припадає на два основні компоненти: дрова – 38%, первинні відходи від рубок – 23%.

Важливою складовою є також біомаса захисних лісосмуг – близько 0,5 млн т н.е., що становить приблизно 16% потенціалу деревної біомаси. Її значення зростає з огляду на деградацію лісосмуг та необхідність відновлення екосистемних функцій цих насаджень.

Загалом для кліматичної зони України, де лісистість становить 14-15%, лісова біомаса не є і найближчим часом не стане основним елементом загального біоенергетичного потенціалу. За останні десятиліття її можливий ресурс практично вичерпано, а в окремих випадках – навіть перевищено. Подальше збільшення використання біомаси лише за рахунок деревної компоненти може спричинити негативні екологічні та кліматичні наслідки.

Близько чверті загального потенціалу біомаси в Україні формують інші її види – енергетичні культури (приблизно 20%) та органічні відходи (3-5%).

Аналіз структури біоенергетичного потенціалу свідчить, що розвиток сектору біоенергетики в Україні, з урахуванням кліматичної специфіки, природно-ресурсних характеристик та економічних умов (насамперед потужного аграрного виробництва), є неможливим без суттєвого нарощування використання агробіомаси. Наразі цей ресурс залишається значною мірою недовикористаним. Водночас подальше розширення використання деревної біомаси є обмеженим через те, що її потенціал у багатьох регіонах уже вичерпано або навіть перевищено. Тому стратегічний розвиток біоенергетики має ґрунтуватися на раціональному використанні агробіомаси та обмеженні надмірного вилучення лісової біомаси з екосистем [1].

Найбільшим компонентом потенціалу деревної біомаси як за потенціалом, так і за використанням є дрова: обсяги їхнього використання складають 1,925 млн т н. е., або орієнтовно 6,5 млн натуральних т (7,5-8 млн м³ щільних куб. м) (табл. 2.2). Це в 1,63 раза перевищує наявний потенціал дров на енергетичне використання в лісах (і, відповідно, кількість деревини для некомерційного використання, що заготовляється лісгоспами) [1].

*Таблиця 2.2. Використання деревної біомаси за видами у 2021 і 2023 рр.**

Вид біомаси	Потенціал, доступний для енергетичного використання, млн т н.е.				Рівень використання деревної біомаси, млн т н.е.			
	2021 р.	Структура, %	2023 р.	Структура, %	2021 р.	Структура, %	2023 р.	Структура, %
Лісова біомаса, всього	3,08	12	2,44	13	3,211	104	3,321	136
Відходи від рубок (гілки, порубкові залишки, пні, мертва деревина/сухостій)	0,70	23	0,57	24	0,585	84	0,58	101
Дрова	1,18	38	0,97	40	1,925	163	1,96	201
Тріска і тирса первинної переробки	0,105	3	0,09	4	0,05	48	0,075	80

Відходи вторинної переробки споріднених галузей і виробництва продуктів з деревини	0,20	7	0,15	6	0,169	85	0,145	96
Відходи від обрізування садів і викорчовування	0,11	4	0,08	3	0,05	45	0,061	76
Відходи від управління захисними лісосмугами	0,50	16	0,33	13	0,322	64	0,38	117
Відходи від управління самосійними лісами	0,28	9	0,24	10	0,11	39	0,12	50

Оцінка на основі попередніх статистичних даних з урахуванням зменшення потенціалу внаслідок воєнних дій, зміни структури споживання і власних розрахунків.

Згідно з даними Держлісагентства за 2021-2023 рр. було заготовлено дров у розмірі 3,2-3,9 млн м³. Таким чином, крім лісгоспів, дрова заготовляються також іншими контрагентами (населенням, приватними домогосподарствами і компаніями), що підпадає під поняття «самозаготівля» або «нелегальні рубки» [1].

Для оцінювання масштабу змін, спричинених воєнними діями, було здійснено експертний розрахунок потенціалу лісової біомаси за 2023 рік, оскільки офіційні статистичні дані наразі відсутні. За оцінками експертів WWF-Україна, у 2023 році потенціал лісової біомаси зменшився на 23%, до 2,44 млн т н.е., що є істотним відхиленням від довоєнних показників.

Причини скорочення потенціалу лісової біомаси у 2023 р.:

- збільшення комерційних рубок на 16%, що зменшує обсяг доступних залишків для енергетичного використання.
- повне або часткове знищення лісових масивів унаслідок бойових дій: Харківська область (Куп'янський район та прилеглі території), Луганська

область (Серебрянське лісництво), великі площі в Чернігівській і Сумській областях – загалом до 600 тис. га.

- мінування лісів, їх механічне руйнування військовою технікою та обстрілами в Київській, Житомирській, Полтавській, Сумській, Херсонській і Миколаївській областях.

- зростання використання деревини на військові потреби – для облаштування позицій, фортифікацій і опалення [1].

Основним споживачем лісової біомаси в Україні традиційно є сектор опалення населення, який охоплює індивідуальне опалення домогосподарств, централізоване тепlopостачання та частково приготування їжі. Частка цього сегмента становить 55-60% залежно від року, що підтверджує його ключову роль у загальному балансі використання деревної біомаси.

Переважаюча більшість обладнання, яке використовується в домогосподарствах, залишається технічно застарілим. Це насамперед печі та котли на дровах або іншій некондиційній деревині, які характеризуються низькою ефективністю – коефіцієнт корисної дії сягає лише 30-40%. Таке обладнання генерує високий рівень викидів, зокрема твердих часток та оксиду вуглецю, що є наслідком неповного згоряння палива. В умовах енергетичних викликів та недорозвиненості інфраструктури заміщення цей сектор залишається найбільш екологічно вразливим.

Близько 10% лісової біомаси споживається у промисловості, включно з великими енергетичними установками – ТЕЦ/ТЕС, водогрійними та паровими котлами технологічного призначення, а також пелетними виробництвами. Частина електрогенеруючих об'єктів працює в режимі лише виробництва електроенергії, де середній річний коефіцієнт корисної дії становить лише 20-25%, що обмежує їхню енергетичну та економічну ефективність.

Окремо варто зазначити, що ТЕС на лісовій біомасі споживають близько 2,7 % цього ресурсу (у загальному потенціалі первинної енергії). Експлуатаційні та фінансові проблеми останніх років значно впливають на цей сегмент. Частина ТЕС і ТЕЦ уже працюють понад десять років, а впродовж останніх

чотирьох років стикалися зі складнощами у отриманні виплат за «зеленим тарифом». Крім того, з 1 січня 2024 року нові ТЕС/ТЕЦ на біомасі втратили можливість отримувати «зелений» тариф, що практично нівелює економічну доцільність інвестування у такі об'єкти.

У зв'язку з цим можна очікувати, що у найближчій перспективі нові теплоелектростанції на лісовій біомасі не будуватимуться, а частина вже існуючих може припинити роботу через нерентабельність. Це посилює залежність сектору теплопостачання від децентралізованих та малоефективних установок і створює додаткові виклики для екологічної політики та енергетичної безпеки країни [1].

Основними шляхами вирішення проблем сектору лісової біомаси і резервами для його зростання є: широкі можливості самостійного створення ланцюгів доданої вартості лісгоспами, великий масштаб лісгоспів, що дозволяє швидко концентрувати ресурси в ту чи іншу сферу, вирівнювання тарифної політики на ринку теплової енергії і на ринку природного газу (відміна ПСО для населення і бюджетної сфери), вирівнювання внутрішніх цін на енергоносії, впровадження конкурентного ринку теплової енергії, впровадження біржі біомаси, впровадження додаткових систем стимулювання для лісгосподарської діяльності і лісорозведення, рекультивації і відновлення лісів (включно з тими, що постраждали від воєнних дій), запровадження системи внутрішньої торгівлі викидами парникових газів, системи торгівлі викидами ПГ на основі EU ETS, добровільних систем торгівлі викидами CO₂, системи зеленого кредитування «green bonds», реформа податку на CO₂ (підвищення рівня податку і розподілу коштів, адміністрування, відміна сплати податку при використанні біомаси), запровадження механізму СВМ, стимулювання виробництва біометану, впровадження обов'язкових до виконання принципів сталості на основі циркулярної економіки, запровадження системи стимулювання вирощування енергетичних рослин, впровадження обов'язкової стандартизації/сертифікації лісів з елементами виконання критеріїв сталості (для всіх етапів діяльності, на основі LCA), перехід від моделі державної

власності лісів до моделі приватної власності (за умови виконання зазначених критеріїв LCA) [1].

Україна має гарні передумови для майбутнього розвитку біоенергетики. Вона володіє великим потенціалом біомаси, доступної для виробництва енергії (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Потенціал енергії, як може бути одержана з рослинної біомаси в Україні*

Вид біомаси	Розрахунковий потенціал маси в натурі, млн т.	Частка, доступна для отримання енергії, %	Економічний потенціал, млн т. у. п.
Солома від зернових	30,6	30	4,54
Солома від ріпаку	4,2	40	0,84
Зелена маса від кукурудзи на зерно	40,2	40	4,39
Зелена маса від соняшнику	21,0	40	1,72
Жом і лушпиння	6,9	75	1,13
Деревна біомаса	4,2	90	1,77
Біодизель (з ріпаку)	-	-	0,47
Біоетанол (з кукурудзи та цукрових буряків)	-	-	0,99
Біогаз із відходів та побічної продукції АПК	1,6 млрд м ³ метану (CH ₄)	50	0,97
Енергетичні культури (верба, тополя, міскатус)	11,5 млрд м ³ CH ₄	90	6,28
Енергетичні культури (кукурудза (біогаз))	3,3 млрд м ³ CH ₄	90	3,68
Всього			26,78

*розраховано на основі [6, с.64].

Основними складовими цього є відходи сільського господарства, деревні відходи, а в перспективі – енергетичні культури, вирощування яких почало

активно розвиватись в останні роки. За рахунок цього потенціалу можна покрити до 18% загального обсягу споживання первинних енергоносіїв в Україні [6, с.64]. Водночас на даний час цей напрям розвивається дуже повільно і частка біомаси в загальному обсязі первинної енергії в нашій державі складає лише 1,24% [6, с.64].

Основними напрямками реалізації енергетичного потенціалу біомаси в Україні є виробництво теплової та електричної енергії. Відповідні концепції розвитку енергогенерації на біомасі до 2020 р. і 2030 р. були розроблені Біоенергетичною асоціацією України. Одним із ключових положень концепції є поступове збільшення частки потужностей ТЕЦ на біомасі та твердих побутових відходах. Для 2030 оптимальним видається такий розподіл теплових потужностей:

- ТЕЦ на біомасі
- 25%, – ТЕЦ на ТПВ
- 10%, – котельні та побутові котли
- 65% [6, с.66].

Україна володіє значним природним, аграрним та технічним потенціалом для розвитку виробництва біомаси, що робить цей напрям одним із стратегічно важливих у забезпеченні енергетичної безпеки та переході до відновлюваних джерел енергії. Висока частка сільськогосподарських угідь, наявність великих обсягів рослинних решток та перспективних енергетичних культур (таких як міскантус і енергетична верба), а також істотні обсяги відходів тваринництва створюють реальну можливість для формування розвиненого сектору біоенергетики.

Потенціал виробництва біомаси в Україні залишається недовикористаним, що зумовлено низкою економічних, технологічних та інфраструктурних бар'єрів. Водночас аналіз свідчить, що у разі належної підтримки з боку держави, інвестицій у біоенергетичні плантації, впровадження сучасних технологій збирання та переробки біомаси, а також розвитку локальних

енергетичних кооперацій, цей сектор може забезпечити суттєве зростання частки відновлюваної енергії в енергобалансі країни.

Розвиток виробництва біомаси сприятиме не лише енергетичній диверсифікації, але й підвищенню економічної стійкості аграрного сектору, раціональному використанню земельних ресурсів, створенню доданої вартості в регіонах та скороченню викидів парникових газів. Таким чином, біомаса виступає одним із найперспективніших напрямів формування сучасної моделі «зеленої» енергетики України, особливо в умовах повоєнної відбудови та модернізації економіки.

2.2. Тенденції утворення і використання біомаси у країнах Європи.

Біомаса, як відновлюване джерело енергії, є однією з найстабільніших, універсальних та доступних форм відновлюваної енергії у світі. Динамічний технологічний розвиток, зростаюча екологічна свідомість та бажання стати незалежними від викопного палива спонукали багато країн світу прискорити енергетичний перехід у секторах, пов'язаних з викидами та управлінням відходами.

Біомаса, яка розглядається як перспективне відновлюване джерело енергії, отримує дедалі більшого визнання в контексті побудови зрівноваженого майбутнього. Її потенціал впливає з вуглецевого циклу: рослини, що використовуються для виробництва біомаси, поглинають вуглекислий газ з атмосфери під час процесу росту, який потім вивільняється під час горіння.

Європейський Союз (ЄС) використовує біомасу для задоволення своїх потреб у продуктах харчування та кормах, енергії та матеріалах. Попит і пропозиція біомаси мають екологічний, соціальний та економічний вплив. Розуміння пропозиції, попиту, витрат на біомасу та пов'язаного з ними впливу є особливо важливим для відповідних сфер політики ЄС, щоб сприяти розробці обґрунтованої та науково обґрунтованої політики [16].

Як власна наукова служба Європейської Комісії (ЕК), роль Спільного дослідницького центру (JRC – Joint Research Center) Європейської Комісії полягає в тому, щоб надавати політикам ЄС незалежну, науково обґрунтовану

та технічну підтримку протягом усього циклу політики, тим самим сприяючи узгодженій політиці. Щоб забезпечити міцну наукову основу для добре підготовленого розробки політики ЄК, служби Комісії звернулися до JRC з проханням періодично надавати дані, оброблену інформацію, моделі та аналіз щодо пропозиції та попиту на біомасу в ЄС та світі, а також її сталості [16].

Біомаса сама по собі є одним із стовпів економіки ЄС. Вона присутня практично в усіх сферах економічного життя. Середньорічна біомаса, що виробляється в наземних секторах (сільське та лісове господарство) в ЄС, становить майже 1500 млн тонн сухої речовини (приблизно 1 млрд тонн у сільському господарстві, 500 млн тонн у лісовому господарстві [16]. Широке визначення біомаси включено до Закону про відновлювану енергетику [33].

Біомаса є центральною темою Європейської зеленої угоди. Очікується, що ліси, моря, прісноводні та сільськогосподарські системи одночасно пом'якшуватимуть зміни клімату, забезпечуватимуть біорізноманіття та вироблятимуть товари. Як наслідок, біомаса, що виробляється з цих джерел, переробляється, і винаходяться нові способи використання біомаси для компенсації викидів. Тим часом суспільні проблеми, з якими ми всі стикаємося, вирішуються на глобальному рівні, а зобов'язання ЄС щодо міжнародних зобов'язань призводять до низки всеохоплюючих стратегій на рівні ЄС.

Це зобов'язання щодо досягнення Цілей сталого розвитку, а точніше, щодо пом'якшення наслідків зміни клімату, покращення екосистем, збереження та збільшення біорізноманіття, а також сприяння справедливості, рівності та конкурентоспроможності. Геополітичні події, у свою чергу, також впливають на ЄС і змушують нас переосмислити те, як управляються наші ресурси, а також продовольчий та енергетичний суверенітет ЄС [16, с.5].

Сьогодні біомаса як паливо впевнено займає четверте місце в світі за обсягами виробництва енергії. Із біомаси та відновлювальної частини органічних відходів виробляється близько 10 % загального обсягу первинної енергії – 1203 млн тонн нафтового еквіваленту/рік, в тому числі (млн тонн нафтового еквіваленту/рік): в Китаї – 195, Індії – 162, Європейському Союзу –

98, США – 82, Росії – 7, Україні – 1. Аналіз структури виробництва енергії з відновлювальних джерел енергії показує, що біомаса є найпотужнішим з них, і її частка становить майже 77% серед всіх відновлювальних джерел енергії [14, с.163]. Майже 70% поставок біомаси надходить із сільськогосподарського сектору, який включає харчові продукти, зібрані залишки та біомасу від випасу. Сільськогосподарські культури та залишки вирощуються приблизно на 37% від загальної площі ЄС-27 (рахунки ЄЗ за 2018 рік). Біомаса, що виробляється в ЄС для харчових цілей (включаючи ресурси), становить приблизно 500 мільйонів тонн сухої речовини (Мтдм) на рік, з яких приблизно 100 Мтдм припадає на рослинну їжу.

Значна частина решти джерел біомаси (27%) походить з лісового господарства. На основі спеціальної оцінки, проведеної JRC у рамках цього дослідження, ми оцінили, що у 2017 році з лісів було вилучено 551 млн м³ (включаючи кору). Вторинна деревина (тріска та частинки деревини; чорний луг) становила 179,6 млн м³ у тому ж році [16, с.8].

Важливим показником у Системі моніторингу біоекономіки ЄС є частка біомаси, що використовується за джерелами. Це дає уявлення про тенденції у джерелах біомаси. Розподіл часток біомаси за походженням (сільське, лісове або рибне та аквакультурне) варіюється в межах ЄС-27, хоча в більшості країн-членів частка сільськогосподарської біомаси вища, ніж частка інших видів біомаси. Частка сільськогосподарської біомаси знизилася за останній період, коли були доступні дані з усіх секторів [16, с.16].

Біомаса, що використовується для виробництва харчових продуктів та кормів у країнах ЄС, майже повністю має сільськогосподарське походження. 70% загального обсягу сільськогосподарської біомаси (чистий обсяг торгівлі, виражений у сухій речовині) використовувалося як харчові продукти та корми. Однак через значні прогалини в даних щодо використання сільськогосподарської біомаси як біоматеріалів та біоенергії, ці дві категорії використання явно недооцінені. Приблизно 80% загального обсягу біомаси для харчових продуктів та кормів використовується як корм для тварин та підстилка

для виробництва продуктів тваринного походження (для внутрішнього споживання або для експорту), тоді як решта безпосередньо споживається як рослинна їжа або витрачається на харчові відходи перед споживанням (рослинна біомаса на етапі переробки та виробництва). Третина зібраних рослинних залишків використовується для кормів, підстилок та садівництва. Решта дві третини викидаються або використовуються в наступних секторах. На даний момент неможливо кількісно визначити, як ці дві третини розподіляються на біоматеріали та біоенергію [16, с.18].

Деревна біомаса з лісів та інших лісистих угідь використовує та повторно використовує в рамках складних та взаємопов'язаних ланцюгів створення вартості. Циркулярні потоки біомаси є ключовими для продукції з деревної біомаси, причому деревина часто проходить кілька циклів повторного використання, поки не буде утилізована (зазвичай для виробництва енергії). Ланцюги постачання деревної біомаси включають постачання первинної деревини з лісів та інших лісистих угідь, промислових побічних продуктів, деревини після споживання та виробництва деревної продукції та енергії. Найважливішим джерелом деревної біомаси є круглий ліс, який включає первинну деревину будь-якої якості [16, с.21].

Перетворення основних джерел біомаси, що використовуються та виробляються в ЄС-27, є корисним засобом для порівняння тенденцій у частках використання біомаси за джерелами. ЄС-27 щорічно отримує 1 мільярд тонн біомаси в сухій речовині, з яких лише 5% імпортується (ця цифра може бути дещо вищою через невідоме походження 5% поставок біомаси).

Понад дві третини цієї біомаси має сільськогосподарське походження. Деревна біомаса є другим за важливістю джерелом біомаси в сухій речовині. Рибальство та аквакультура, хоча й є важливим сектором харчування, який демонструє великий потенціал для зростання, все ще є незначним джерелом біомаси, якщо вимірювати його в сухій вазі.

Історичні, культурні, географічні та кліматичні умови кожної держави-члена загалом визначають, який тип біомаси вона виробляє. Крім того,

виробництво біомаси з сільського господарства набагато динамічніше, ніж деревна біомаса. Сільське господарство може сильно залежати від політики та змін погоди, і воно може швидше адаптуватися до змін попиту. Більшість країн ЄС-27 спеціалізуються на сільському господарстві, причому деякі виробляють сільськогосподарську біомасу майже виключно з лісової біомаси. Однак, кілька країн, переважно в північних регіонах, мають значно вищу частку виробництва деревної біомаси (Естонія, Фінляндія та Швеція), а деякі інші держави-члени виробляють збалансоване поєднання деревної та сільськогосподарської біомаси (Латвія, Словенія, Португалія та Австрія).

Франція та Німеччина є найбільшими виробниками біомаси в абсолютному вираженні, за ними йде Польща.

Половина всієї біомаси, доступної в ЄС-27, яка включає біомасу, вироблену з первинних виробничих систем (сюди входять лісозаготівельні та сільськогосподарські залишки), вторинні джерела, такі як переробка відходів та промислові побічні продукти у випадку лісової промисловості, як показано на першому рисунку Короткого опису, використовується для виробництва продуктів харчування та кормів; 22% використовується у виробництві енергії, а 28% - для виробництва матеріалів. Енергетика та біоматеріали (зокрема, сільськогосподарська біомаса для використання в якості матеріалів та біомаса для виробництва енергії) – це ті сфери, де якість даних може бути значно покращена, що дозволить краще аналізувати використання біомаси [16, с.23].

Постачання риби з аквакультури досягло 1,1 мільйона тонн. Іспанія, Франція, Греція та Італія становлять 66% за вагою та 61% за вартістю від загального виробництва аквакультури ЄС у 2020 році, згідно з даними ФАО. Морська риба становить 21% за вагою та 40% за вартістю виробництва аквакультури ЄС. Молюски становлять 49% за вагою та 27% за вартістю. Діадромні риби становлять 20% за вагою та 24% за вартістю. Прісноводна риба становить 10% ваги та 7% вартості. Що стосується морського рибальства, то у 2020 році з вод ЄС було виловлено приблизно 3,9 мільйона тонн морепродуктів (включаючи рибу). З 2016-17 років спостерігається скорочення поставок

морепродуктів до ЄС та економічних показників морського рибальства. Це скорочення поставок значною мірою зумовлене зусиллями щодо зменшення надмірної експлуатації та зовнішніми факторами, які підірвали ефективність риболовецького флоту ЄС, такими як Brexit, вплив пандемії COVID-19 та, нещодавно, високі ціни на паливо [16, с.8].

На додаток до інших джерел біомаси, морські водорості є дедалі важливішим джерелом біомаси, з їхнім прямим та непрямим потенціалом пом'якшення зміни клімату, макроводорості сприяють трансформації великої кількості CO₂ в O₂, відіграють важливу роль у морських екосистемах, сприяючи глобальному первинному виробництву та підтримці складних харчових ланцюгів у прибережних зонах, і є цінним ресурсом у європейській біоекономіці, головним чином для харчової та хімічної промисловості. Щодо постачання біомаси макроводоростей, за даними ФАО за 2022 рік, держави-члени ЄС-27 імпортували загалом 157,3 тис. тонн продукції з морських водоростей у 2019 році (вимірюється у вазі нетто-продукту) та експортували загалом 89,5 тис. тонн. У 2020 році торговельні товари, як імпорт, так і експорт, збільшилися, імпорт склав 173,4 тис. тонн, а експорт – 98,3 тис. тонн. У 2020 році державою-членом, яка зафіксувала найбільший обсяг торгівлі морськими водоростями, була Ірландія, імпортувавши 64,8 тисячі тонн та експортуючи 77,9 тисячі тонн, за нею йшла Франція (імпортувала 71,8 тисячі тонн чистої ваги продукції та експортувала 9,5 тисячі тонн), включаючи торгівлю всередині та за межами ЄС [16, с.8].

Відходи також є важливим джерелом біомаси в ЄС. Біологічні відходи сільського господарства, промисловості та домогосподарств у 2018 році становили приблизно 147 млн. тдм, згідно з даними Євростату. З них 90,4% було відновлено. При використанні більш детальних даних, використовуючи підхід масового балансу для харчових продуктів, харчові відходи, що утворилися у 2019 році, обчислюються на рівні 84,7 млн. тдм, а деревні відходи, обчислені з більш детальними даними, обчислюються на рівні 137,5 млн. тдм [16, с.8].

Сільське господарство є основним джерелом біомаси в ЄС, і загальна біомаса розподіляється майже порівну між економічним виробництвом та виробництвом залишків. Приблизно 70% сільськогосподарської біомаси виробляється в шести державах-членах, а саме у Франції, Німеччині, Італії, Польщі, Іспанії та Румунії. Пшениця та кукурудза є основними джерелами сільськогосподарської біомаси. Для обох культур залишкова біомаса вища за економічну частину. Протягом останніх 20 років біомаса, доступна в сільському господарстві, збільшилася завдяки, залежно від культури та країни, змінам у оброблюваних площах або вдосконаленню методів агроуправління, що вплинуло на врожайність. У наступні роки можна очікувати збільшення доступності біомаси, але на це вплине вплив зміни клімату на сільське господарство [16, с.25].

Тенденція постачання біомаси зростає як за рахунок первинного внутрішнього виробництва, так і за рахунок вторинних джерел [16, с.8].

У 2023 році в Європейському Союзі з біоенергії було вироблено 5,7% [23] електроенергії. Загалом, враховуючи торгівлю та власне споживання, ЄС споживає понад 1 млрд тонн сухої речовини біомаси щорічно. Понад 60% використовується в кормовому та харчовому секторі, далі йдуть енергетичні цілі (приблизно 20%) та біоматеріали (приблизно 19%) [34].

Потужними системами, на які ми покладаємося, щоб забезпечити собі зелений перехід до нового способу життя з меншим впливом, є наземні, морські та прісноводні системи. Базові дані та інформація про них і послуги, які вони надають, включаючи, але не виключно, постачання біомаси, є фундаментальним елементом політики.

Наші власні потоки відходів також є дедалі важливішим джерелом біомаси, пом'якшуючи прямий вплив на первинні виробничі системи, проте реінжиніринг відходів також не обходиться без витрат.

ЄС є чистим імпортером біомаси загалом – його експорт продуктів тваринного походження та переробленої продукції, а також виробів з масиву деревини, паперу та картону перевищує імпорт рослинних продуктів

харчування, твердого біопалива, риби, морепродуктів та водоростей. З точки зору як внутрішніх поставок, так і торгівлі, сільське господарство (65,5%) є найбільшим сектором постачання біомаси в ЄС (в еквіваленті сухої речовини), далі йдуть лісове господарство (34,2%) та морський сектор (приблизно 0,3%) [34]. Загальні джерела біомаси, включаючи внутрішнє виробництво та чистий імпорт, у ЄС-27 становлять приблизно 1 мільярд тонн сухої речовини (тдм), тоді як використання становить 1,2 мільярда тдм. Додаткова біомаса у використанні відносно джерел, тобто внутрішнє виробництво плюс чистий імпорт, зумовлена утилізацією відходів промисловості та домогосподарств [16, с.7]. Майже 70% біомаси надходить із сільськогосподарського сектору, який включає харчові продукти, зібрані залишки та біомасу випасу. Сільськогосподарські культури та залишки вирощуються приблизно на 37% від загальної площі ЄС-27. Біомаса, що виробляється в ЄС для харчових цілей (включаючи ресурси), становить приблизно 500 мільйонів тонн сухої речовини (Мтдм) на рік, з яких приблизно 100 Мтдм – це рослинна їжа [16, с.7].

Більшість сільськогосподарської біомаси (70%) виробляється у вигляді зібраних культур. Хоча й у значно меншій кількості, випас та заготівельні відходи (кожен становить 13% від загальної сільськогосподарської біомаси) також є важливими джерелами. Лише 6% біомаси сільськогосподарського походження імпортується до ЄС-27. Вітчизняний круглий ліс є найбільшим джерелом деревної біомаси в ЄС-27. Лише 13% від загальної кількості доступного круглого лісу імпортується або має невказане походження. Що стосується рибальства та аквакультури, найбільшим джерелом біомаси є імпортована риба та морепродукти (44%), за якими йдуть виловлені рибні продукти (35%). «Внутрішньо» вироблена біомаса з рибної промисловості (виловлені рибні відходи та аквакультура) становить 43% від загального обсягу біомаси рибальства [16, с.16].

Біомаса, що використовується для виробництва харчових продуктів та кормів у ЄС, майже повністю має сільськогосподарське походження. 70% загального обсягу сільськогосподарської біомаси (чистий обсяг торгівлі,

виражений у сухій речовині) використовувалося як харчові продукти та корми у 2019 році. Однак через значні прогалини в даних щодо використання сільськогосподарської біомаси як біоматеріалів та біоенергії, ці дві категорії використання явно недооцінені. Приблизно 80% загального обсягу біомаси для харчових продуктів та кормів використовується як корм для тварин та підстилка для виробництва продуктів тваринного походження (для внутрішнього споживання або для експорту), тоді як решта безпосередньо споживається як рослинна їжа або витрачається на харчові відходи перед споживанням (рослинна біомаса на етапі переробки та виробництва). Третина зібраних рослинних залишків використовується для кормів, підстилок та садівництва. Решта дві третини викидаються або використовуються в наступних секторах. На даний момент неможливо кількісно визначити, як ці дві третини розподіляються на біоматеріали та біоенергію [16, с.18].

Понад 60% біомаси в ЄС використовується в секторі кормів та продуктів харчування, далі йдуть енергетика (приблизно 20%) та біоматеріали (приблизно 19%). Хоча такі сектори економіки, як виробництво продуктів харчування, кормів та біоматеріалів (наприклад, паперу), є стабільними та не зазнають швидких змін, останніми роками відбулися значні та швидкі зміни у використанні біомаси в енергетиці. У ЄС біомаса становить приблизно 60% енергії, отриманої з усіх відновлюваних джерел енергії [34]. Особливої уваги заслуговує використання практично всіх видів біомаси, доступних у певній країні.

Біомаса є відновлюваним, екологічно чистим паливом, використання якого не призводить до підсилення глобального парникового ефекту. Це четверте за значенням паливо у світі, яке дає близько 2 млрд т у. п. на рік, що становить близько 14% загального споживання первинних енергоносіїв у світі (у країнах, що розвиваються, – понад 30%) На сьогоднішній день обсяги споживання біомаси для виробництва енергії в Європейському Союзі становлять понад 120 млн т н.е./рік, а до 2020 року валове кінцеве споживання біомаси має зрости до 138 млн т н.е./рік. Основним видом біомаси, що використовується, є тверда

біомаса. Її частка в загальному обсязі споживання незмінно становить близько 70%. Внесок біомаси до валового кінцевого енергоспоживання ЄС вже перевищив 8%, а до 2020 року має зрости до 14%. В окремих країнах-лідерах рівень розвитку біоенергетики значно вищий середньоєвропейського. Так, у Фінляндії частка біомаси в кінцевому енергоспоживанні становить 28%, у Латвії – більше 27%, у Швеції та Естонії – близько 26% (для порівняння – в Україні – 1,78%). У США, де 4% енергії одержують з біомаси (майже стільки ж, як від атомних електростанцій), сьогодні працюють установки, що спалюють біомасу для одержання електроенергії загально встановленою потужністю 9000 МВт. Біомаса може з легкістю забезпечити більш 20% енергетичних потреб цієї країни. Іншими словами, наявні земельні ресурси й інфраструктура сільського господарства дозволяють замінити всі працюючі атомні станції США без зміни цін на продовольчі товари. Більше того, використання біомаси для виробництва етанолу може зменшити імпорт нафти в цю країну на 50% [14, с.163].

Щодо використання біомаси, то більшість її використання пов'язане з виробництвом продуктів харчування. Корми для тварин та підстилки становлять майже 40% (393,0 млн. тдм, за вирахуванням експорту харчових продуктів тваринного походження), а продукти харчування рослинного походження – 9,7% (95,7 млн. тдм). Що стосується нехарчових товарів, то на матеріали припадає 28% (276,4 млн. тдм), а на енергію – 22% (216,9 млн. тдм).

Тенденція використання біомаси в ЄС-27 зростає як з первинного внутрішнього виробництва, так і з вторинних джерел. Ця тенденція найбільш виражена для використання біомаси для біоенергії, далі йде використання матеріалів, тоді як використання для харчових продуктів залишається переважно незмінним [16, с.7]. Очікується, що біомаса набуватиме дедалі більшого значення як ресурс у ЄС, і залежно від того, де буде вироблятися біомаса, виникатимуть як прямий, так і непрямий вплив на очікувані наслідки

Оцінюючи виробництво, постачання, використання, попит, потоки та вплив біомаси одночасно, ми виявляємо, що в багатьох випадках ми досягаємо прогресу в плані ефективності використання ресурсів (наприклад, збільшення

повторного використання та переробки деревини, харчових продуктів та інших біовідходів), проте ми також загалом виробляємо та споживаємо більше. Цей Jevon's Paradox²⁰ [27] є результатом цілей ефективності, проте занадто вузька зосередженість на ефективності породжує замкненість та низьку адаптивність до змін. У той час як ефективність важлива в короткостроковій перспективі, адаптивність важлива в довгостроковій перспективі, наприклад, для стійкості [26]. Крім того, у поєднанні з ефектом загального збільшення використання біологічних ресурсів, оскільки вони насправді виробляються ефективніше, дешевше, а їх диверсифікація у використанні заохочується, можна зробити висновок, що вплив людства на виробництво біомаси все-таки зростає.

Протягом останніх кількох років ЄК ухвалила численні ініціативи, що ставлять цілі щодо розмежування економічного зростання від використання ресурсів (Європейська зелена угода (Європейська комісія, 2019)), захисту біорізноманіття (Стратегія біорізноманіття (Європейська комісія, 2020)), пом'якшення наслідків зміни клімату (Посилення кліматичних амбіцій Європи до 2030 року (Європейська комісія, 2020b)) та, загалом, підвищення стійкості економіки та циркулярного використання ресурсів (Стратегія біоекономіки (Європейська комісія, 2012, оновлена у 2018 році), Стратегія «від ферми до виделки» (Європейська комісія, 2020c), План дій щодо циркулярної економіки (Європейська комісія, 2020d)) [16, с.14]. У всіх цих інноваційних ініціативах біомаса є ключовим ресурсом.

Аналіз тенденцій утворення та використання біомаси у країнах Європи свідчить про те, що біоенергетика посідає дедалі важливіше місце в структурі відновлюваних джерел енергії, забезпечуючи значний внесок у декарбонізацію національних економік та підвищення енергетичної безпеки. В умовах переходу до кліматично нейтральної економіки європейські держави системно нарощують обсяги виробництва біомаси, активізують розвиток

¹ Під час переходу до вугілля як енергоносія в економіці в середині-кінці 1800-х років економіст (Джевонс, 1865) спостерігав певний парадокс, коли зі зростанням ефективності використання вугілля загальний масштаб його використання також збільшувався.

біоенергетичних технологій та удосконалюють нормативно-правові механізми регулювання використання твердих, рідких і газоподібних біопалив.

Європейська практика демонструє, що ефективне використання біомаси можливе лише за умов упровадження комплексної політики, яка охоплює інноваційні технології, державну підтримку, прозорі ринки та жорсткі екологічні стандарти. Досвід країн ЄС підтверджує, що біоенергетика може стати вагомим елементом енергетичної трансформації, а застосування сталих підходів до управління ресурсами здатне забезпечити довгострокову енергетичну та екологічну вигоду.

2.3. Ефективність виробництва і використання біомаси та чинники, що її обумовлюють.

Ефективність виробництва та використання біомаси залежить від якості сировини (вміст вологи, стадія розвитку рослини), технології переробки (газифікація, піроліз), умов зберігання, а також рівня зрівноваженості управління ресурсами та знань, кваліфікації і досвіду користувачів, причому низька вологість біомаси та ефективність нагрівальних приладів є ключовими для максимізації теплотворної здатності та мінімізації витрат.

Основними критеріями оцінювання ефективності вирощування сільськогосподарських культур, зокрема енергетичних, є собівартість одиниці продукції та рентабельність виробництва. Показники економічної результативності залежать від технологічних особливостей вирощування культур, їх біологічного потенціалу та рівня матеріальних і трудових витрат, необхідних для отримання біомаси з одиниці площі. Через це різні види енергетичних культур мають суттєво відмінний рівень рентабельності та окупності вкладених ресурсів.

Зокрема, економічні параметри формуються під впливом таких факторів, як якість ґрунтів, норми внесення добрив, потреба у засобах захисту рослин, тривалість вегетаційного періоду, врожайність та витрати на збирання й транспортування біомаси. Тому комплексне оцінювання ефективності

передбачає аналіз повного циклу виробництва – від закладання плантації до отримання та реалізації енергетичної сировини.

Енергоефективність вирощування міскантусу гігантського ґрунтується на застосуванні удосконаленої технології виробництва біомаси. Під ефективністю у цьому випадку розуміють сукупність взаємопов'язаних операцій, що визначають енерговитрати на виробництво одиниці продукції (біомаси з енергоємністю 16,5 МДж/кг), її енергопродуктивність, обсяг урожаю та вихід твердого біопалива.

Таблиця 2.4. Енергоефективність виробництва біомаси в залежності від технології вирощування, 2018–2022 рр.*

Технологія	Урожайність, т/га	В, т/га	Е _{аа} , ГДж/га	Е _с , ГДж/га	ЕР _с , ГДж/га	К _{еє}
Звичайна	11,8	13,2	217,8	154,4	63,4	3,4
Удосконалена	20,7	22,8	375,7	293,2	82,5	4,5
Прибавка	8,9	9,6	157,9	138,8	19,1	1,1

*Примітка: В

– вихід твердого біопалива, т/га; Е_{аа}

– сукупна енергія, накопичена в біомасі, ГДж/га, Е_с

– сумарні енергетичні витрати на вирощування біомаси, ГДж/га; ЕР_с

– енергопродуктивність виробництва біомаси, ГДж/га; К_{еє} – коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування біомаси

За даними [3, с.30].

Обґрунтовано, що врожайність за сухою біомасою міскантусу гігантського суттєво підвищується, починаючи з другого року вегетації. Встановлено зростання енергопродуктивності (на 19,1 ГДж/га) та коефіцієнта енергоефективності (на 1,1 пункту) за умови вирощування міскантусу за удосконаленою технологією, порівняно зі звичайною.

Ефект підвищення продуктивності й енергоефективності досягається шляхом: вирощування міскантусу у сумішевих посівах із бобовою культурою – багаторічним люпином; оптимізації міжрядь (70×70 см), що покращує доступ світла та знижує конкуренцію рослин; застосування мікоризного препарату Мікофренд у дозі 0,2 л/га з нормою витрати 25 л/га робочого розчину для позакореневої обробки рослин під час весняного підживлення [3, с.30].

Запропоновані агротехнологічні заходи забезпечують істотне покращення енергетичної віддачі та загальної продуктивності міскантусу гігантського, що підтверджує доцільність їх упровадження в умовах лісостепової зони України.

Встановлено, що при оптимізації енерговитрат на технологічні операції протягом багаторічного циклу вирощування міскантусу гігантського енергопродуктивність та коефіцієнт енергоефективності істотно зростають. Це зумовлено раціональнішим використанням технічних і матеріальних ресурсів, підвищенням виходу сухої біомаси, а також зменшенням питомих витрат енергії на одиницю продукції. Оптимізована технологія забезпечує стабільне нарощування енергетичної віддачі культури протягом періоду її експлуатації, що робить міскантус гігантський одним із найбільш перспективних видів енергетичних культур для виробництва твердого біопалива.

Удосконалений комплекс агротехнологічних заходів охоплює оптимізацію підготовки ґрунту, застосування ресурсозберігаючих прийомів догляду за посівами, підвищення ефективності використання техніки, а також удосконалення процесів збирання та первинної переробки біомаси. У порівнянні зі стандартною технологією вирощування міскантусу гігантського в умовах Лісостепу України ці заходи забезпечують суттєве зростання енергоефективності виробництва біомаси, що проявляється у:

- зниженні питомих енерговитрат;
- збільшенні виходу сухої біомаси з одиниці площі;
- підвищенні енергетичної віддачі та коефіцієнта енергетичної ефективності;
- збільшенні виробництва твердого біопалива при незмінному або навіть нижчому рівні ресурсних затрат.

Таким чином, застосування удосконаленої технології є важливим інструментом підвищення економічної та енергетичної результативності виробництва міскантусу гігантського, що робить цю культуру більш конкурентоспроможною в секторі біоенергетики.

Одним із ключових показників оцінювання енергетичної доцільності вирощування енергетичних культур є чистий енергетичний коефіцієнт (net energy return, NER) біопалива, що виробляється з відповідних рослин. Цей критерій відображає загальну ефективність енергетичної системи та визначається як відношення сукупної енергії, акумульованої в одиниці готового біопалива, до величини енергетичних затрат, необхідних для виконання всіх технологічних процесів його виробництва – від вирощування та збирання сировини до її переробки та отримання кінцевого продукту.

Таким чином, показник NER дає змогу оцінити, наскільки енергетично виправданим є виробництво того чи іншого виду біопалива, а також порівняти ефективність різних культур за енергетичною віддачею. Узагальнені значення чистого енергетичного коефіцієнта для основних енергетичних культур наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5. **Чистий енергетичний коефіцієнт біопалива, отриманого з біоенергетичних культур***

Культура	Вид біопалива	Чистий енергетичний коефіцієнт (NER)
Кукурудза	біоетанол	1,2–1,8
Цукровий буряк	біоетанол	1,2–2,2
Пшениця	біоетанол	1,2–4,2
Цукрова тростина	біоетанол	2,2–8,4
Ріпак	біодизель	1,2–3,6
Соя	біодизель	1,4–3,4
Пальмова олія	біодизель	8,6–9,6
Енергетична верба	паливна тріска	16,6–55,3
Міскантус	суха біомаса	20,8–54,3

*за даними [2].

Як свідчать дані, енергетична верба та міскантус демонструють у порівнянні з іншими біоенергетичними культурами найвищі значення чистого енергетичного коефіцієнта (NER), які можуть досягати відповідно 55,3 та 54,3. Це підтверджує їхню високу енергетичну ефективність і доцільність інвестування у створення й експлуатацію плантацій цих культур.

Методичні підходи до оцінювання економічної ефективності

Показники економічної ефективності проєктів з вирощування енергетичних культур визначалися на основі фактичних витрат, зафіксованих у ході експериментальних досліджень, а за відсутності відповідних даних – із використанням нормативних розрахунків. Для проведення оцінки застосовувалися технологічні карти, адаптовані до умов інтенсивного виробництва.

У ході досліджень передбачалася традиційна система основного обробітку ґрунту – оранка з обертанням пласта. Вважалося, що інвестор володіє необхідним технічним парком машин і причіпного обладнання. При цьому використовувалась переважно техніка та агрегати вітчизняного виробництва, які забезпечують виконання всіх агротехнічних вимог, а обсяги внесення добрив та засобів захисту рослин відповідають потребі для отримання високого врожаю біомаси.

Усі ціни на техніку, матеріали, сировину та продукцію приймалися за рівнем 2017 року. Для економічних розрахунків застосовували ставку дисконту 22,5 %, визначену кумулятивним методом з урахуванням:

дохідності облігацій внутрішньої державної позики – 14,5%,
премії за ризик – 8%.

Сценарний підхід до економічної оцінки

Економічну ефективність інвестування у біоенергетичні культури оцінювали за двома сценаріями:

- Сценарій А – інвестор повністю фінансує проєкт за власні кошти.
- Сценарій Б – інвестор вкладає власні кошти, але держава компенсує частину витрат на створення багаторічних плантацій: для міскантусу – 35%, для енергетичної верби – 60% [2].

Розраховані показники економічної ефективності за обома сценаріями наведено у табл. 2.6.

Таблиця 2.6. Загальна характеристика та економічна ефективність інвестиційних проектів вирощування біоенергетичних культур*

Біоенергетична культура	Міскантус гігантський		Енергетична верба	
Площа плантаційного комплексу, га	100		100	
Тривалість життєвого циклу проекту (ЖЦП), років	16		16	
Етап ЖЦП	Технологічні операції			
1-й рік	Мульчування ґрунту, лущення, внесення гербіцидів, мінеральних і органічних добрив, оранка, суцільний обробіток ґрунту		Мульчування ґрунту, лущення, внесення гербіцидів, мінеральних і органічних добрив, оранка, суцільний обробіток ґрунту	
2-й рік	Передпосівний обробіток ґрунту, садіння ризом, внесення мінеральних добрив, суцільний обробіток ґрунту, розпушування міжрядь, внесення гербіцидів, технологічне скошування, транспортування біомаси		Передпосівний обробіток ґрунту, садіння пагонів, суцільний обробіток ґрунту, розпушування міжрядь, внесення мінеральних добрив, внесення гербіцидів і інсектицидів	
3-й рік	Внесення мінеральних добрив, скошування, транспортування біомаси		Доповнення плантації	
4-й рік	Внесення мінеральних добрив, скошування, транспортування біомаси		Технологічне скошування, транспортування біомаси	
5-й–16-й роки	Внесення мінеральних добрив, скошування, транспортування біомаси		Трирічний цикл: 1-й рік — внесення мінеральних добрив; 2-й рік — відсутність операцій; 3-й рік — технологічний зріз верби на тріску, транспортування біосировини	
Ставка дисконту	0,2225		0,225	
	А	Б	А	Б

Показники ефективності проєкту				
NPV, грн	-1 612 831	644 415	-1 252 136	204 914
PI	0,722	1,159	0,382	1,360
IRR, %	21,7	26,6	10,5	26,2
DPP, років	>16	10,5	>16	12,5

**за даними [2].*

Аналіз ефективності інвестицій у створення та функціонування біоенергетичних плантацій ще раз підтвердив, що розвиток біоенергетики, особливо на початкових етапах становлення, є неможливим без цільової фінансової підтримки з боку держави, органів місцевого самоврядування, недержавних фондів та міжнародних інституцій. Необхідність такої підтримки зумовлена значними стартовими капіталовкладеннями, тривалим періодом окупності багаторічних культур та високими ризиками для інвестора, які формуються під впливом ринкових, технічних та природно-кліматичних чинників.

Наявність механізмів грантової, компенсаційної чи кредитної підтримки здатна істотно покращити інвестиційну привабливість біоенергетичних проєктів, скоротити терміни їх окупності та забезпечити сталий розвиток сектору, що є важливим елементом національної енергетичної безпеки та переходу до відновлюваних джерел енергії.

Підсумовуючи, досягнення високої ефективності вимагає поєднання оптимальних умов росту та збору врожаю, належної підготовки та зберігання сировини, а також сучасних, ефективних технологій переробки.

РОЗДІЛ 3

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ.

3.1. Диверсифікація біосировинної бази утворення біомаси для нетрадиційної енергетики.

В умовах трансформації енергетичного сектору України та необхідності підвищення його стійкості до зовнішніх впливів особливого значення набуває розвиток нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, серед яких біоенергетика посідає провідне місце. Зростання потреби в екологічно чистій, доступній та децентралізованій енергії зумовлює необхідність розширення та оптимізації біосировинної бази, що забезпечує формування біомаси для енергетичних потреб. Диверсифікація біосировини стає ключовим інструментом мінімізації ризиків, пов'язаних із нестабільністю постачання традиційних енергоресурсів, сезонністю виробництва біомаси та потенційними змінами в агрокліматичних умовах.

Розширення спектра сировинних ресурсів – від аграрних відходів і побічної продукції до спеціально вирощуваних енергетичних культур – сприяє підвищенню енергетичної незалежності держави, створенню нових можливостей для регіонального розвитку та формуванню замкнених циклів сталого виробництва. Такий підхід забезпечує ефективне використання біологічного потенціалу територій, зменшення викидів парникових газів та інтеграцію української енергетичної політики до сучасних європейських стандартів.

Таким чином, дослідження процесів диверсифікації біосировинної бази є необхідною передумовою для нарощування потенціалу біоенергетики, оптимізації структури енергоресурсів та формування стійкої моделі розвитку нетрадиційної енергетики в Україні.

Боротьба із забрудненням повітря може бути досягнута багатьма способами, зокрема шляхом посадки рослин, які поглинають вуглекислий газ і натомість виробляють кисень шляхом фотосинтезу. Кисневі дерева (OxyTrees)

набувають все більшої популярності протягом останніх кількох років. Кисневі дерева – це спеціально виведені види, які завдяки великому листю та швидкому росту інтенсивно поглинають вуглекислий газ і виробляють кисень. Їх варто садити через численні екологічні переваги, такі як очищення повітря та боротьба зі зміною клімату, а також практичні переваги, такі як швидке зростання високоякісної деревини.

Кисневі дерева (OxyTrees, або кисневі дерева) – це культурний різновид павловнії, отриманий в результаті схрещування двох підвидів: *Paulownia fortunei* та *Paulownia elongata*. Кисневі дерева вперше були розроблені біотехнологічною компанією в Іспанії, але сьогодні вони популярні в усьому світі завдяки своєму корисному впливу на природу та широкому промисловому застосуванню. Кафедра лісового господарства та генетики Університету Кастилья-Ла-Манча навіть визнала Кисневі дерева найціннішим сортом павловнії з точки зору впливу на навколишнє середовище [20].

Павловнія – це дерево, яке може досягати висоти до 20 метрів лише за кілька років, що робить його одним із найшвидше зростаючих видів у світі. Швидкозростаюче аеробне дерево павловнія особливо цінується за свою здатність до регенерації після зрізання, що підтримує виробництво біомаси та мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище. Крім того, аеробні дерева павловнії зменшують вплив викидів CO₂, що робить його ідеальним рішенням для зусиль сталого розвитку. Унікальні властивості кисневих дерев полягають у тому, що вони можуть переробляти значно більшу кількість вуглекислого газу, таким чином ефективніше очищаючи повітря та забезпечуючи незрівнянно більше кисню, ніж традиційні місцеві рослини. Кисневі дерева характеризуються здатністю поглинати велику кількість CO₂, а павловнія також вирізняється високоякісною деревиною, що робить її також комерційно привабливою. Власники плантацій кисневих дерев часто обирають павловнію за її ефективність як у виробництві деревини, так і в покращенні якості повітря.

При цьому Павловнія та ОхуТрее – це два різні види аеробних дерев, що характеризуються швидким ростом та здатністю нейтралізувати CO₂. Вибір між ними залежить від індивідуальних потреб. Павловнія є більш універсальною, підходить як для виробництва деревини, так і біомаси, тоді як Окситрі ідеально підходить для нейтралізації вуглецю. Обидва види пропонують унікальні екологічні переваги, які можна адаптувати до потреб інвесторів або окремих користувачів [21].

Кисневі дерева – дерева, що виробляють більше кисню, ніж інші

Фотосинтез є важливим для життя та росту рослин. Однак у випадку кисневих дерев він відбувається надзвичайно ефективно. За оцінками, ОхуТрее можуть поглинати до 10 разів більше вуглекислого газу, ніж інші дерева. Для гектарної плантації це буде понад 100 тонн на рік і більш ніж у 10 разів ефективніше, ніж звичайний бук чи дуб.

Завдяки своїм властивостям, посадка кисневих дерев допомагає організаціям демонструвати проєкологічну діяльність у контексті вимог ESG. Якщо ваша компанія зобов'язана звітувати нефінансову інформацію, ви можете зробити свій внесок у захист навколишнього середовища за допомогою ОхуТрее. Можливо, це також можливість подати заявку на отримання сертифіката зеленого будівництва?

ОхуТрее – це листопадні дерева з річним приростом приблизно 3 метри, або до 25 сантиметрів на місяць. Це досить значне збільшення порівняно, наприклад, з польським буком, який виростає не більше ніж на 30-60 сантиметрів на рік. Після зрубів стовбура кисневе дерево швидко випускає пагони. Всього за три роки стовбур може досягти товщини до 85 см [21].

Характерною особливістю кисневих дерев є крона, що складається з дуже великого листя, яке часто перевищує 30 сантиметрів у довжину. Ство́бур вкорінюється в ґрунті системою відростків довжиною до 9 метрів. Чим пояснюється таке швидке зростання? В першу чергу, це пов'язано з ретельним відбором сортів рослин для генетичного схрещування. Велике листя має

вирішальне значення, оскільки воно забезпечує надзвичайно ефективний фотосинтез.

Рослина легко адаптується до іноземного клімату. Настільки легко, що екологи стурбовані порушенням місцевої екосистеми. Вона процвітає майже на будь-якому ґрунті, хоча віддає перевагу добре дренованому, вологому ґрунту з рівнем кислотності від 5 до 8,9 рН. Вона повністю морозостійка до температур від -25 до +45°C, тому може витримувати спекотне літо Польщі та морозні зими [20].

Водночас ця рослина не тільки корисна, але й естетично приємна. Оксидерева мають овальні, зелено-сірі плоди та блідо-фіолетові квіти, суцвіття яких досягають 40 см. Вони можуть стати декоративним доповненням до будь-якого саду, вуличної доріжки чи парку, особливо під час періоду цвітіння.

Кисневе дерево – використання у сільському господарстві та промисловості. Кисневі дерева широко використовуються як рослини в міських просторах. Вони забезпечують тінь та вологість повітря, водночас ефективно очищаючи його від забруднюючих речовин. Завдяки своїм великим квітам, що ростуть густими суцвіттями, рослина справляє надзвичайно яскраве враження.

Завдяки швидкому зростанню оксидерева використовуються як сировина для деревини в меблевій промисловості. Їх використовують для виробництва меблів, піддонів, дощок і навіть човнів. Після висихання деревина міцна, водонепроникна та на 30% легша за багато інших листяних дерев. Це опосередковано захищає місцеві дерева від вирубки, оскільки їх ріст набагато повільніший.

Варто зазначити, що як листя, так і квіти є цінними сільськогосподарськими ресурсами. Пилок використовується для виробництва меду, а листя забезпечує високоенергетичний корм для тварин.

Чи можна заробляти гроші на кисневих деревах? Для компаній, що займаються масовим вирощуванням дерев на плантаціях, OxyTrees представляє чудову можливість для отримання прибутку. Один гектар плантації може дати до 600 м³ деревини за один цикл, а ціна за кубічний метр сягає 1500 злотих [21].

Враховуючи швидке зростання рослини, можна сміливо сказати, що це довгострокова інвестиція з високою прибутковістю. Сьогодні кисневі дерева дуже популярні серед власників пусток.

На жаль, наразі цей шлях диверсифікації сировинної бази в Україні виглядає досить обмеженим, оскільки Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України затвердило перелік чужорідних видів дерев, заборонених у відтворенні лісів (наказ №695/39751). У списку заборонених інвазійних насаджень є павловнія, її види та гібриди. Відтепер ці види заборонено використовувати для створення та відновлення лісів та полезахисних смуг в Україні. Водночас висаджені до набуття Переліком чинності дерева зі списку не будуть вирубуватися. Пояснюється, що чужорідні види дерев здатні змінити або знищити цілі екосистеми. Не маючи природних ворогів на нових територіях, інвазійні види швидко розмножуються, захоплюють простір та витісняють місцеві види із природних ландшафтів. Затвердження переліку інвазійних видів — це історичний природоохоронний крок, який дозволить відновити в Україні стійкі до кліматичних змін ліси з високими захисними властивостями та без агресивних видів-чужинців [8].

Диверсифікація біосировинної бази є ключовою умовою зміцнення енергетичної безпеки України та підвищення стійкості нетрадиційної енергетики в умовах зростаючих викликів, спричинених воєнними діями, кліматичними змінами та економічними обмеженнями. Розширення спектра ресурсів для виробництва біомаси — від агровідходів та лісових залишків до спеціалізованих енергетичних культур — створює передумови для більш гнучкої, ефективної та екологічно збалансованої моделі енергозабезпечення.

Комплексний підхід до використання доступних біологічних ресурсів сприяє формуванню регіональних енергетичних кластерів, зменшенню залежності від викопних палив, зниженню викидів парникових газів і розвитку циркулярної економіки. Водночас диверсифікація біосировини стимулює інновації у виробництві й переробці, розширює можливості для залучення

інвестицій та сприяє гармонізації української енергетичної політики з європейськими стандартами.

Отже, диверсифікація біосировинної бази не лише підвищує ефективність біоенергетики, але й стає важливим чинником сталого розвитку держави, забезпечуючи стратегічний резерв енергоресурсів та прискорюючи відновлення економіки в післявоєнний період.

3.2. Напрями застосування зарубіжного досвіду виробництва і використання біомаси.

Очевидно, варто на хвилинку відірватися від внутрішньої дискусії за біомасу та поглянути на те, що роблять інші країни, де біомаса враховується в енергетичному балансі та постійно розробляються нові інноваційні технології її переробки.

Канада вже давно є лідером у галузі біомаси. Її ресурси базуються переважно на лісовому секторі та відходах біомаси. У 2023 році частка біомаси у відновлюваному енергетичному комплексі становила 24% (508 ПДж) [35]. Уряд підтримує розвиток технологій термічної переробки біомаси, таких як газифікація, піроліз та гідротермальне зрідження. Ці рішення дозволяють ефективно використовувати біомасу для виробництва енергії та транспортного палива.

Крім того, Канада інвестує в проекти уловлювання та зберігання вуглецю (CCUS), зміцнюючи свої міжнародні позиції. Одним з найбільш вражаючих проектів є завод Arbios Biotech у Чунто Гуні, який, як очікується, стане найбільшим у світі діючим гідротермальним заводом зі зрідження біомаси. Інноваційна технологічна платформа Cat-HTR™ дозволяє перетворювати лісові залишки та відходи біомаси на високоцінні, стійкі біопродукти, що використовуються, серед іншого, для виробництва відновлюваного транспортного палива з низьким вуглецевим слідом. Компанія Enerkem будує завод з переробки вуглецю у Варенні, де за допомогою запатентованої термохімічної технології неперероблювані відходи та деревні залишки будуть перетворюватися приблизно на 125 мільйонів літрів біометанолу щорічно. Цей

проект підтримують Shell, Suncor, Proman та Hydro-Québec, а завод буде оснащений електролізером потужністю 90 МВт для виробництва зеленого водню. BioLesna Carbon Technologies отримала фінансування приблизно на 7 мільйонів доларів на будівництво біопереробного заводу, який перетворюватиме лісові відходи на біовугілля, біомасло та піролізний газ [29].

Тим часом Carbonity отримала 5,2 мільйона доларів на будівництво заводу з виробництва біовуглю для заміни металургійного вугілля у сталеливарній та цементній промисловості. Значним міжнародним проектом є Woodland Biofuels, який планує побудувати завод з газифікації біомаси вартістю 1,35 мільярда доларів у Порт-оф-Луїзіана. На першому етапі об'єкт вироблятиме відновлюваний природний газ (RNG), а на другому – вуглецево-негативний водень, який видалятиме 660 000 тонн CO₂ на рік шляхом уловлювання та зв'язування вуглекислого газу з біомаси.

Біомаса у Фінляндії є ключовим елементом відновлюваної енергетики, на яку припадає приблизно 80% (414 ПДж). Більше половини тепла в національній системі опалення надходить з біомаси. Стратегія Фінляндії зосереджена на оптимізації ланцюжка створення вартості біомаси та розвитку інфраструктури біометану. Також впроваджуються технології уловлювання вуглекислого газу (BIO-CCS) та BIO-CCU, що дозволяє використовувати біогенний CO₂ для виробництва біопалива та матеріалів. Впроваджуються сучасні гібридні установки, що інтегрують енергетичні та промислові процеси. Проекти, що підтримуються фінансуванням, включають біогазові установки Nevel Oy у Котці та Gasum Oy у Kouvola, біометанові установки Körrö Energia та Westenergy, які використовують CO₂ від спалювання відходів та водень, які будуть розташовані в Kristiinankaupunki, та Lounais-Suomen Jätehuolto Oy, яка використовує звалищний газ та водень, що утворюється в електролізері. Через заплановану заборону на використання вугілля у виробництві енергії, в останні роки було здійснено кілька великих інвестицій у виробництво тепла з біомаси. Компанія Helen (раніше Helsingin Energia) розпочала будівництво нової теплоелектростанції на біомасі потужністю 260 МВт у 2022 році. Tampereen

Energia запустила нову когенераційну установку на біомасі у 2023 році (50 МВт електроенергії, 160 МВт тепла). Fortum побудувала теплоелектростанції на деревних пелетах та деревній трісці потужністю 50 МВт в Еспоо, а Lahti Energia побудувала нову теплоелектростанцію на біомасі потужністю 190 МВт [29].

У Польщі міста Гайнувка, Санок, Бжег та Оструда Сілезська – це лише деякі з міст, які в останні роки перейшли на біомасу. І незабаром до них приєднуються інші. Це не випадково – перехід з вугілля на відновлювані джерела енергії обґрунтовується не лише екологічними міркуваннями, а й, перш за все, економічними, а також необхідністю відповідати критеріям Директиви про енергоефективність (EED). Вибір біомаси дозволяє досягти та підтримувати статус ефективної тепломережі, зменшує ризик підвищення плати за дозволи на викиди CO₂ та, що особливо важливо для місцевих органів влади, дозволяє подавати заявки на фінансування таких інвестицій. Завод з переробки біогазу у біометан у Польщі є частиною інфраструктури біогазової установки, розташованої на цукровому заводі Strzelin, що належить Südzucker. Біогаз, що виробляється на заводі, використовуватиметься для власних потреб цукрового заводу, а будь-який надлишок біометану буде подаватися в мережу через 9-кілометровий газопровід, який побудували Südzucker та Polska Spółka Gazownictwa. Біогаз виробляється з рослинних залишків цукрових буряків на заводі Strzelin з 2012 року. Початкова потужність біогазової установки становила 4 МВт. Нова енергетична інфраструктура з рекордною потужністю 45 МВт тепер може виробляти понад 9000 м³ біогазу на годину.

Інвестування в розширення біогазової установки та різке збільшення її потужності є ще одним важливим елементом енергетичного переходу. Надлишок зеленого газу буде подаватися в газову мережу відповідно до її абсорбційної здатності. Біогазова установка у Стшеліні складається з чотирьох ферментерів об'ємом 10 000 м³ кожен та двох постферментерів, а також технологічно просунутої системи обробки дигестату (ферментаційного осаду), який переробляється на чисту воду та добрива. Електроенергія та тепло виробляються з біомаси шляхом анаеробного метанового бродіння в

ферментаційних камерах. Біогазова установка включає біогазову очисну установку для біометану та систему його впорскування в національну розподільчу мережу. Компанія готова до біометану. Для покращення інтеграції відновлюваних газів у національну розподільчу систему, Polska Spółka Gazownictwa розширює та модернізує газову мережу країни, оскільки кількість заявок на підключення до мережі зростає [31].

Ще одним вагомим аргументом на користь біомаси у Польщі є наявність місцевих ресурсів. На ТЕЦ у Ciechanów у 2023 році було завершено перший етап заміни традиційних вугільних джерел на установки, що виробляють тепло та електроенергію в когенерації. Було запущено ТЕЦ на біомасі потужністю 13 МВт з паровою турбіною (1,1 МВт) та дві газові когенераційні системи із сукупною тепловою потужністю 3,5 МВт та 3 МВт. Хоча нові блоки дозволили компанії досягти статусу ефективної системи опалення, минулого року було підписано контракт на ще одне нове джерело відновлюваної енергії потужністю 8 МВт. Паровий котел на вугіллі буде замінено на котел на біомасі (трісці). Вартість інвестицій перевищує 44 мільйони злотих бруто, з яких 16 мільйонів злотих фінансується з програми централізованого теплопостачання Національного фонду охорони навколишнього середовища та водного господарства [17].

Керівна рада ТЕЦ Ciechanów визнає, що одним із факторів, що призвели до розробки програми з біомаси, була близькість Мазурсько-Куявського регіону, який пропонує багатство відходів лісової тріски від переробки деревини для меблевої та суміжної промисловості. У поєднанні з новими джерелами когенерації, нові інвестиції в біомасу дозволять Цехануву виробляти до 80% тепла з відновлюваних джерел енергії та газової когенерації замість вугілля. В результаті ТЕЦ викидатиме майже на 13 000 тонн менше CO₂ щорічно [17].

Німеччина, яка багато років розвиває свій сектор біоенергетики, зараз змінює свій підхід до використання біомаси. Біомаса становить приблизно 55% відновлюваної енергії країни, але темпи зростання цього сектору знижуються, особливо в галузі біогазу. Уряд розробляє Національну стратегію використання

біомаси (NABIS), роблячи акцент на біоекономіці, ресурсоефективності та біопродуктах, поступово відмовляючись від виробництва енергії з біомаси. Пріоритет серед інших джерел надається використанню біогенних відходів,

Такі установи, як FNR, DBFZ та KIT, відіграють ключову роль у дослідженнях та розробках, зосереджуючись на переробці біомаси на біорафінуванні, технологіях уловлювання CO₂ та інтеграції з відновлюваним синтетичним паливом. У найближчі роки роль біоенергетики в секторі опалення житлових приміщень зменшиться на користь теплових насосів та інших відновлюваних джерел енергії, а ключовими напрямками стануть розробка біопродуктів та хімічних інновацій. Однією з причин цієї зміни є надлишок енергії від фотоелектричних та вітрових турбін, а з іншого боку, поступове зниження виробничого потенціалу німецьких лісів через монокультури та явище їхнього вимирання, частково також спричинене зміною клімату.

Нідерланди змінюють свій підхід до використання біомаси в енергетиці, поступово відмовляючись від її спалювання на електростанціях та зосереджуючись на біоекономіці. Хоча біомаса все ще становить 45% відновлюваної енергії, її роль в енергетичному секторі поступово знижуватиметься на користь більш просунутих застосувань, таких як біопаливо та біохімічні речовини.

Нова стратегія біоекономіки підтримує розвиток біопереробних заводів, що дозволяє ефективніше перетворювати біомасу на високоцінні продукти. Серед ключових проектів – Charlin, який використовує лігнін для виробництва асфальту; Chemport, який розробляє технології використання сахаридів у хімічній промисловості; та Total-Corbion, який виробляє біопластики на основі полімолочної кислоти (PLA). Такі голландські компанії, як SkyNRG, SHV Energy та KLM, активно розробляють авіаційне біопаливо, а Biondoil інвестує у виробництво палива та хімікатів з відходів біомаси. Майбутнє біоенергетики в Нідерландах буде базуватися на інтеграції біопереробних заводів з технологіями електрифікації та водню, а традиційне спалювання біомаси в енергетичному секторі буде скорочено [29].

Незважаючи на домінування гідроенергетики в національному енергетичному балансі, Норвегія розробляє технології, пов'язані з біогазом, біопаливом та скороченням викидів CO₂. Біомаса наразі становить 7,5% енергетичного балансу, але її значення зростає в промисловості та транспорті. Ключові інвестиції включають виробництво біометану та біовугілля як заміни коксу в сталеливарній промисловості, а також впровадження технологій уловлювання та зберігання CO₂. Урядова стратегія Energi21 сприяє інноваціям у логістиці біомаси, авіаційному біопаливі та технологіях переробки біомаси. Проект Bio4Fuels розробляє технології ферментації біомаси в біоспирти, піролізу в біонафту та газифікації в газоподібне паливо. Silva Green Fuel побудувала демонстраційну установку для виробництва біопалива, використовуючи технологію гідротермальної конверсії (HTL), розроблену Steeper Energy.

У секторі біометану такі проекти, як St1 Biokraft, який виробляє 12,5 млн. нм³ на рік, та Greve Biogass, чий завод, як очікується, досягне 180-200 ГВт·год на рік, сприяють розвитку виробництва зрідженого біогазу. VEAS, власник найбільшої в Норвегії станції очищення стічних вод, розширює свій біогазовий завод із запланованим річним виробництвом 70 ГВт·год. У секторі біовугілля Mana Group розробляє технологію виробництва агломерованого біовугілля, тоді як WACKER CHEMICALS працює над скороченням викидів CO₂ від виробництва кремнію. Крім того, зараз реалізуються проекти CCUS (уловлювання, утилізація та зберігання вуглецю), такі як уловлювання CO₂ від Carbon Centric на сміттєспалювальному заводі в Раккестаді та встановлення Solvang ASA технології уловлювання та зберігання вуглецю на борту (OCCS) для морського транспорту [29].

Швеція значно інвестує в розвиток технологій BECCS (біоенергетика з уловлюванням та зберіганням вуглецю), які вловлюють та зберігають біогенний CO₂. Провідні проекти, такі як Stockholm Exergi та Tekniska verken у Лінчепінгу, зосереджені на усуненні викидів CO₂ шляхом використання біомаси в енергетичних процесах.

Країна також розвиває транспортне біопаливо, а нафтопереробні заводи St1/SCA у Гетеборзі та Preem у Лісекілі впроваджують технології виробництва екологічно чистого авіаційного палива та біопалива наступного покоління. Хімічний та паперовий сектори також набирають обертів завдяки таким компаніям, як Södra, яка будує найбільший промисловий завод з виробництва лігніну, та Meva Energy, яка розробляє технології синтез-газу з деревних відходів. [29].

Австрія є одним із європейських лідерів у використанні біомаси, на яку припадає 55% відновлюваної енергії країни. Основні застосування включають опалення житлових будинків та централізоване тепlopостачання, причому понад половина установок залежить від біомаси. Австрія також розробляє когенерацію та передові технології перетворення біомаси, такі як виробництво синтетичного газу та біопалива наступного покоління. Відень є центром інновацій у біоенергетиці, а такі проекти, як Waste2Value та Syngas Platform Vienna, зосереджені на перетворенні органічних відходів на синтез-газ та його подальшому використанні у виробництві біодизеля та біометанолу. Уряд також фінансує дослідження біопалива та технологій уловлювання CO₂ [29].

Велика Британія швидко розвиває свій сектор біоенергетики. Вона також має активну спільноту дослідників у галузі біоенергетики, зокрема завдяки фінансованому Дослідницькою радою Центру біоенергетики SUPERGEN. Урядові програми, такі як Програма інновацій у сфері біосировини, наразі виділили 36 мільйонів фунтів стерлінгів на стимулювання сталого вітчизняного виробництва біомаси, фінансуючи інноваційні ідеї, що усувають перешкоди для виробництва твердого біопалива з джерел біомаси, таких як гігантський міскантус, енергетична верба, коноплі, водорості та морські водорості. Уряд Великої Британії також проводить інноваційний конкурс на 30 мільйонів фунтів стерлінгів для виробництва водню з використанням біоенергії з уловлюванням та зберіганням вуглецю (H₂ BECCS). Також тривають дослідження анаеробного розкладання (AD) та зменшення викидів метану та аміаку з біогазових установок, які можуть впливати на якість повітря, ґрунту та води [29].

Італія зосереджується на модернізації систем опалення на пелетах та деревині, покращуючи їхню екологічну ефективність за рахунок конденсаційних систем та вдосконалених фільтрів для котлів. Нові технології в цьому секторі спрямовані на скорочення викидів забруднюючих речовин, відповідно до вимог Національного енергетичного та кліматичного плану (NECP). Водночас План відновлення та стійкості (NRRP) передбачає значні інвестиції в біометан, включаючи модернізацію існуючих біогазових установок та будівництво нових установок, фінансуючи до 40% інвестиційних витрат.

Підтримка також включає розвиток сталих практик виробництва біометану, зокрема скорочення викидів парникових газів та створення консорціумів для перетворення залишків ферментації на органічні добрива. У 2023 році NRRP був розширений, включивши до програми RePower EU, яка виділяє 2 мільярди євро на розвиток біометану, підтримуючи не лише нові інвестиції, але й заміну застарілої сільськогосподарської техніки технікою, що працює на біометані. Додаткові заходи включають зниження витрат на підключення біометанових установок до газової мережі та регуляторні стимули для інвестицій у декарбонізовані гази [29].

Франція зосереджується на зрівноваженому управлінні лісовими ресурсами та оптимізації використання біомаси в опаленні та промисловості. Ключові ініціативи включають аналіз вуглецевого циклу в лісах, підтримку сталого лісозаготівельного виробництва та реалізацію енергетичного переходу відповідно до сценаріїв «Перехід 2050», які окреслюють шляхи досягнення кліматичної нейтральності. Франція швидко розвиває системи опалення на основі біомаси.

У 2022 році установки на біомасі потужністю понад 50 кВт виробили тут 36 ТВт·год «зеленого» тепла з відновлюваних джерел енергії, покриваючи 5,4% кінцевого попиту країни на опалення. З 2009 року Тепловий фонд ADEME підтримував понад 2800 установок на біомасі, які щорічно забезпечують 26,5 ТВт·год тепла, виділяючи 4,28 мільярда євро субсидій, що призвело до інвестицій у розмірі 14 мільярдів євро. Біомаса також широко використовується

в домогосподарствах – у 2020 році 7,4 мільйона будинків мали дров'яні прилади, з яких 6,9 мільйона активно використовувалися. Річне споживання енергії з деревини становило 66 ТВт·год, що становить 25% від загального споживання енергії домогосподарствами та понад третину їхніх потреб в опаленні [29].

Бразилія швидко розширює виробництво біопалива другого покоління (E2G), зокрема целюлозного етанолу, найбільшим виробником якого є Raízen. Наразі працюють два великі заводи з виробництва етанолу другого покоління – Costa Pinto Bioenergy Park у Пірасікабі та завод Vonfim у Гуарібі, із загальною потужністю 112 мільйонів літрів на рік, а також будуються інші. Raízen планує подальше розширення шляхом будівництва ще чотирьох заводів, кількість яких, як очікується, збільшиться до 20 до 2030 року, що дозволить щорічно виробляти 1,6 мільярда літрів.

Бразилія підтримує розвиток біопалива за допомогою фінансових програм, включаючи PAISS, яка субсидує інновації в целюлозному етанолі, авіаційному паливі та біопаливі без попереднього замовлення. У 2018 році уряд виділив понад 200 мільйонів бразильських реалів (38 мільйонів доларів США) на дослідження та розробки в галузі біоенергетики. Подальша трансформація сектору відбувається в рамках Програми майбутнього палива, яка інтегрує національну політику, таку як RenovaBio та Програма зеленої мобільності та інновацій (MOVER). Ця програма сприяє розвитку авіаційного біопалива (біопалива для реактивних двигунів), суднового палива, а також технологій уловлювання та зберігання CO₂ [29].

Бельгія зосереджується на біопереробних заводах, біопаливі наступного покоління та біометані. Фландрія інвестує в біохімію та переробку сировини, тоді як Валлонія розробляє технології, пов'язані з біогазом, зеленим воднем та переробкою сільськогосподарських відходів. Серед інноваційних проектів – STEELANOL, що реалізується ArcelorMittal, яка виробляє біоетанол із газів сталеливарних заводів, та Torero, яка перетворює деревні відходи на біовугілля.

Бельгія також інвестує в розробку біодизелю та біоетанолу, прикладом чого є заводи Cargill та BioWanze, що підтримують декарбонізацію транспорту.

Розвиток біометану має вирішальне значення в енергетичному переході – заводи в Берсі, Флерюсі та Кеві виробляють декарбонізовані гази, що замінюють природний газ. Водночас Бельгія відмовляється від великих електростанцій на біомасі, зосереджуючись на централізованому тепlopостачання та біогазових системах. Програми «Стратегія розумної спеціалізації» (Smart Specialisation Strategy) та «Циркулярна Валлонія» (Circular Wallonia) підтримують інновації в біоматеріалах, циркулярній економіці та відновлюваній енергетиці [29].

Проведений аналіз досвіду виробництва та використання біомаси показує, що основні напрми підвищення ефективності цих процесів передбачають диверсифікацію способів цього використання. Зокрема, для України найбільш прийнятними напрямками підвищення ефективності виробництва та використання біомаси могли б бути:

- інтенсифікація використання деревної біомаси;
- диверсифікація біосировинної бази утворення біомаси для нетрадиційної енергетики;
- розвиток проектів уловлювання та зберігання вуглецю проекти уловлювання та зберігання вуглецю, розвиток технологій BECCS (біоенергетика з уловлюванням та зберіганням вуглецю), які вловлюють та зберігають біогенний CO₂;
- розробка і впровадження технології виробництва агломерованого виробництва біовугілля для заміни металургійного вугілля у сталеливарній та цементній промисловості;
- оптимізація ланцюжка створення вартості біомаси та розвитку інфраструктури біометану;
- розвиток використання звалищного газу та водню, що утворюється в електролізері;

- розробка і впровадження технології переробки біомаси на біоафінуванні, технологіях уловлювання CO₂ та інтеграції з відновлюваним синтетичним паливом;

- обмеження безпосереднього спалювання біомаси на електростанціях, зосереджуючись на біоекономіці – виробництві біопалива та біохімічних речовин.

- надання переваги інноваціям у логістиці біомаси, авіаційному біопаливі та технологіях переробки біомаси; впровадження технологій ферментації біомаси в біоспирти, піролізу в біонафту та газифікації в газоподібне паливо;

- використання енергії з біомаси для опалення житлових будинків та централізованого теплопостачання;

- розробка і впровадження передових технологій перетворення біомаси, таких як виробництво синтетичного газу та біопалива наступного покоління;

- виробництво твердого біопалива з джерел біомаси, таких як гігантський міскантус, енергетична верба, коноплі, водорості;

- впровадження технології анаеробного розкладання (AD) та зменшення викидів метану і аміаку з біогазових установок, які можуть впливати на якість повітря, ґрунту та води;

- створення консорціумів для перетворення залишків ферментації на органічні добрива;

- підключення біометанових установок до газової мережі та впровадження регуляторних стимулів для інвестицій у декарбонізовані гази;

- підтримка розвитку біопалива за допомогою фінансових програм;

- розробка технологій, пов'язаних з біогазом, зеленим воднем та переробкою сільськогосподарських відходів як біомаси;

- розробка і впровадження інновацій в біоматеріалах, циркулярній економіці та відновлюваній енергетиці;

- розробка Національної стратегії використання біомаси (NABIS) з акцентом на біоекономіці, ресурсоефективності та біопродуктах.

Останній перегляд сценаріїв NET-ZERO до 2050 року у звіті Міжнародного енергетичного агентства від вересня 2023 року підтверджує майбутню роль сучасних біоенергетичних технологій у задоволенні світових енергетичних потреб до 2050 року.

3.3. Потенційні можливості ринку біомаси як сировини для біопалива

Аналіз даних щодо сучасного стану та прогнозів розвитку біоенергетики в Україні свідчить, що біомаса є і залишатиметься одним із ключових відновлюваних ресурсів у національному енергобалансі. Оціночний енергетичний потенціал біомаси становить близько 21,2 млн т н.е. на рік, що еквівалентно 26 млрд м³ природного газу, що підкреслює її стратегічну здатність компенсувати значну частку імпортованих викопних ресурсів.

На відміну від Європи, де біомаса забезпечує 60% енергії з ВДЕ, в Україні вона відіграє ще більшу роль – близько 75%. Така домінантність пояснюється високим аграрним потенціалом держави, наявністю великої кількості відходів сільськогосподарського виробництва та перспективних енергетичних культур. Проте із розвитком сонячної, вітрової та інших технологій відновлюваної енергетики структура виробництва ВДЕ буде змінюватися.

Таблиця 3.1. Оцінка потенціалу використання біомаси в енергетиці України*

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн т	Частка теоретичного потенціалу, %	Потенціал, доступний для енергетики, млн т н.е.
Солома зернових культур	36,1	30	3,75
Солома ріпаку	2,1	40	0,29
Побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	36,5	40	2,79
Побічні продукти виробництва соняшнику (стебла, корзинки)	25,9	40	1,48
Вторинні відходи с/г (лушпиння соняшника)	2,0	86	0,71

Разом по аграрній біомасі	-	-	≈ 9,02 (43%)
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	6,6	94	1,55
Деревна біомаса (сухостій, деревина із захисних лісосмуг, відходи ОВБСН)	8,8	44	1,03
Біодизель (з ріпаку)	-	-	0,16
Біоетанол (з кукурудзи й цукрового буряку)	-	-	0,66
Біогаз із відходів та побічної продукції агропромислового комплексу	1,6 млрд м ³ CH ₄	50	0,68
Біогаз із полігонів твердих побутових відходів	0,6 млрд м ³ CH ₄	34	0,18
Біогаз зі стічних вод (промислових та комунальних)	1,0 млрд м ³ CH ₄	23	0,19
Енергетичні культури (верба, тополя, міскантус — 1 млн га)	11,5	100	4,88
Кукурудза на біогаз (1 млн га)	3,0 млрд м ³ CH ₄	100	2,57
Всього	-	-	21,0

* За умови вирощування на 1 млн га незадіяних сільськогосподарських земель.

* Джерело: БАУ

Прогнози свідчать, що до 2050 року частка біомаси у структурі ВДЕ знизиться до 50%, однак це не означає скорочення фактичних обсягів її використання – натомість зростатимуть інші ВДЕ. За діючою Енергетичною стратегією передбачено досягнення 25% енергії з ВДЕ у 2035 році, але проєкт Нацплану з ВДЕ пропонує досягти цієї цілі вже до 2030-го. В такому сценарії понад половина відновлюваної енергії буде вироблена саме з біомаси.

У короткостроковій перспективі біомаса може вже найближчим часом забезпечити 12-13% загального виробництва енергії, що відображає її ключову роль у енергетичному переході країни.

Таким чином, біомаса залишається базовим елементом енергетичної системи України, особливо у контексті декарбонізації та зростання ролі ВДЕ. Незважаючи на поступове розширення інших "зелених" технологій, вона й надалі забезпечуватиме значну частку відновлюваної енергії та сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави.

Аналіз теоретичного потенціалу біомаси в Україні свідчить, що найбільшу його частку – близько 40% – формують відходи сільськогосподарського виробництва. До цієї категорії належать солома зернових культур, стебла кукурудзи й соняшнику, лушпиння та корзинки соняшника. Однак фахівці наголошують, що ці ресурси повинні використовуватися не лише в енергетиці, але й повертатися в агровиробництво для підтримання родючості ґрунтів. Тому фактично доступний енергетичний потенціал цієї групи обмежений екологічними та технологічними вимогами.

Ще приблизно 35% доступного потенціалу становлять енергетичні культури – зокрема тополя, верба, міскантус, силосні культури та кукурудза на біогаз. Україна має значний резерв під такі плантації: близько 2 млн га малопродуктивних та деградованих земель, які можуть бути залучені без конкуренції з продовольчим виробництвом. Це створює умови для масштабного наросування сегменту енергетичних культур у структурі біоенергетики.

Оцінка ролі біомаси в енергосистемі ґрунтується на даних енергетичного балансу Держстату. Станом на 2020 рік біомаса вже забезпечила заміну 5,2 млрд м³ природного газу, що говорить про її значний внесок у зменшення залежності країни від викопного палива. Десять років тому цей показник був меншим за 1 млрд м³, що підтверджує стрімку динаміку розвитку.

Середньорічний темп зростання біоенергетики становить близько 11%, і за умови збереження тенденції у 2021 році заміщення газу могло досягти 5,7 млрд м³. Це свідчить про послідовне зміцнення біоенергетичного сектору як одного з ключових напрямів розвитку відновлюваної енергетики в Україні.

Інфраструктура виробництва енергії з біомаси

На сьогодні точна статистика щодо кількості біоенергетичних об'єктів відсутня. Держава веде облік лише електростанцій, які працюють на біомасі, але вони становлять лише невелику частину загальної інфраструктури, адже основний обсяг біомаси використовується у виробництві теплової енергії, для якої централізований реєстр поки не сформований [15].

За наявними оцінками 270 МВт – загальна встановлена потужність електрогенерації на біомасі та біогазі; з них 120 МВт генерується з біогазу; близько 150 МВт – з твердої біомаси.

Порівняно з загальною енергетичною системою країни це доволі невеликий показник, що свідчить про значний потенціал для розширення сектору, особливо зважаючи на наявні природні й аграрні ресурси [15].

Наприклад, великий торгівельний центр "Мегамаркет" у Броварах опалюється гранулами (пелетами) з біомаси.

Приблизно 4 тис. теплових МВт працює в домогосподарствах. Ще приблизно 3 тис. МВт потребує промисловість. І ще біля 1 тис. мегават можна приблизно навпіл поділити між централізованим теплопостачанням (теплокомуненерго) і бюджетною сферою (котли на опалення лікарень, шкіл, дитячих садків, тощо).

Наразі чисельність самих установок ніде не обліковується. Втім, реальну статистичну картину ми побачимо, коли буде законодавчо врегульовано питання звільнення суб'єктів господарювання, що спалюють біомасу, від сплати податку на викиди CO₂.

До речі, Україна – єдина країна в світі, яка збирає такий податок з виробників галузі. Проект закону, який звільняє біомасові котельні від податку на викиди CO₂ вже існує. Після його ухвалення буде створено реєстр усіх промислових котелень та котельні у житлово-комунальній та бюджетній сферах, крім приватних котлів у населення. Тоді можна буде побачити хоча б частину цих об'єктів.

Практика українських міст демонструє, що перехід на місцеві біопаливні ресурси не лише можливий, а й високоефективний. Показовими є результати,

досягнуті у Дубно та Рівному, які стали лідерами у впровадженні технологій біоенергетики у сфері централізованого теплопостачання.

У Дубно ще наприкінці попереднього опалювального сезону вдалося замінити 32% споживаного природного газу за рахунок використання деревних видів палива. Це стало можливим завдяки переходу частини котелень на тверде біопаливо, що забезпечує стабільне та економічно вигідне теплопостачання.

У підготовці до нового опалювального сезону місто продовжує розширювати біоенергетичні потужності – встановлюються три додаткові котли українського виробництва, що працюють на деревній тирсі. Після їх введення в експлуатацію очікується, що частка заміщення природного газу зросте до 45%, що суттєво зменшить енергетичну залежність громади та

Ще одним показовим прикладом ефективного використання місцевих відновлюваних ресурсів у теплозабезпеченні є місто Жовква на Львівщині. На відміну від великих міст, де переважають централізовані системи теплопостачання, у Жовкві більш поширеними є індивідуальні системи опалення, які забезпечують теплом більшість домогосподарств.

Конкурентність біопалива для використання його у промисловості та в комерційних установах підтверджує зростаючий попит на біомасові котельні у 2021 році. Причина криється у різкому зростанні ціни на природний газ для побутових споживачів.

Біопаливо приблизно у 6 разів дешевше, ніж комерційний газ, тому будь-який котел на біопаливі у промисловості окупиться за рік-два. При цьому у бюджетній сфері термін окупності котельні на біомасі становить приблизно п'ять-шість років. Цим і можна пояснити практичну відсутність будівництва нових котелень на біомасі у бюджетній сфері і для населення [15].

Ринок біомаси як сировини для виробництва біопалива демонструє значний стратегічний потенціал, зумовлений поєднанням економічних, екологічних та енергетичних переваг. Україна має сприятливі передумови для розвитку цього сегмента завдяки великій площі сільськогосподарських угідь, високій частці аграрного виробництва та наявності різноманітних видів

біоресурсів – від енергетичних культур (міскантус, енергетична верба) до агровідходів (солома, лушпиння, стебла). Наразі цей потенціал використовується лише частково, що відкриває додаткові можливості для нарощування обсягів виробництва біопалива.

Зростання внутрішнього та міжнародного попиту на відновлювану енергію, запровадження європейських екологічних стандартів, прагнення до декарбонізації та енергетичної незалежності стимулюють розширення ринку біомаси. Високі енергетичні коефіцієнти біоенергетичних культур свідчать про економічну доцільність створення плантацій та перехід до більш стійких моделей енергозабезпечення.

Разом з тим, ефективне освоєння цього потенціалу потребує державної та регіональної підтримки, залучення інвестицій, розвитку технологічної інфраструктури, удосконалення логістики та стимулювання виробників. За умови створення сприятливих політичних та інвестиційних рамок ринок біомаси здатний стати одним із ключових драйверів енергетичного переходу України, сприяти зменшенню залежності від викопного палива та формуванню циркулярної, низьковуглецевої економіки.

Отже, біомаса як сировина для біопалива має високі перспективи розвитку, а її раціональне використання може забезпечити комплексний соціально-економічний та екологічний ефект у середньо- та довгостроковій перспективі.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження засвідчило, що виробництво та використання біомаси є одним із перспективних напрямів розвитку біоенергетики та підвищення енергетичної безпеки, особливо в умовах зростання цін на традиційні енергоресурси та необхідності декарбонізації економіки. Україна володіє значним ресурсним потенціалом біомаси, зумовленим розвитком аграрного сектору, наявністю значних обсягів сільськогосподарських відходів і можливістю вирощування спеціалізованих енергетичних культур.

Україна має значний потенціал сільськогосподарських відходів, зокрема соломи зернових культур і залишків переробки соняшнику та кукурудзи. Водночас у енергетичних цілях використовується менш як 1% цього потенціалу, що зумовлено недостатнім розвитком інфраструктури та логістики. Це стримує впровадження котельних установок на біомасі. Очікується, що розвиток ринку біомаси, зокрема поява спеціалізованих постачальників і довгострокових контрактів, сприятиме розширенню використання сільськогосподарських відходів для виробництва енергії.

Аналіз економічної ефективності показав, що за умови впровадження сучасних технологій, раціональної організації виробництва та оптимізації логістики біомаса може бути конкурентоспроможним енергоносієм. Найвищі показники ефективності характерні для багаторічних енергетичних культур, які забезпечують стабільну врожайність, зниження питомих витрат у довгостроковій перспективі та високі енергетичні коефіцієнти.

Однією з умов використання біомаси енергетичних культур є екологічна сталість при їх вирощуванні та переробці. Задля контролю за дотриманням умови екологічної сталості розроблено відповідні стандарти. Серед інших, найбільш повним і всеохоплюючим на сьогоднішній день є стандарт NTA 8080, який регулює виробництво, переробку та використання біомаси.

Водночас встановлено, що рівень ефективності виробництва і використання біомаси значною мірою залежить від сукупності чинників, серед яких ключову роль відіграють природно-кліматичні умови, технологічне

забезпечення, інвестиційна спроможність виробників, розвиток інфраструктури та державна політика підтримки біоенергетики. Досвід країн Європи свідчить, що системна підтримка, стимулювання інновацій і інтеграція біомаси в енергетичні та аграрні ланцюги створення вартості сприяють підвищенню її економічної та екологічної результативності.

Отже, підвищення ефективності виробництва і використання біомаси в Україні потребує комплексного підходу, що поєднує розвиток ресурсної бази, удосконалення технологій, залучення інвестицій та формування сприятливого інституційного середовища, що в перспективі забезпечить сталий розвиток аграрного сектору та енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Директива Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел. URL: http://saee.gov.ua/wp-content/uploads/2012/07/1_
2. Звіт «Виробництво теплової енергії із біомаси: аналіз законодавства, регуляторних аспектів і податкової політики та рекомендації щодо необхідних змін у чинному законодавстві та для сприяння впровадженню пілотного проекту в м. Миргород». USAID, Всеукраїнська благодійна організація «Інститут місцевого розвитку», Київ, 2014. 102 с.
3. Калетнік Г.М., Токарчук Д.М., Скорук О.П. Організація і економіка використання біоресурсів: підручник: 2-ге видання, перероблене і доповнене. Вінниця: ТОВ «Друк», 2020. 372 с.
4. Лиса А. В Україні заборонили саджати павловнію для створення та відновлення лісів. 2023. URL: <https://landlord.ua/news/v-ukraini-zaboronyly-sadzhaty-pavlovniiu-dlia-stvorennia-ta-vidnovlennia-lisiv>.
5. Марченко Н. Переваги та недоліки використання біомаси для виробництва енергії. 2024. <https://landlord.ua/agrolife-en/vikoristannya-biomasi-dlya-virobnitstva-energiyi-perevagi-ta-nedoliki>
6. Переваги та недоліки використання біомаси для виробництва енергії. 2024. URL: <https://landlord.ua/agrolife-en/vikoristannya-biomasi-dlya-virobnitstva-energiyi-perevagi-ta-nedoliki><https://landlord.ua/agrolife-en/vikoristannya-biomasi-dlya-virobnitstva-energiyi-perevagi-ta-nedoliki>
7. Про альтернативні види палива. [Закон України](#). Відомості Верховної Ради України, 2000, № 12, ст. 94.
8. Про внесення змін до деяких законів України щодо обов'язковості використання рідкого біопалива (біокомпонентів) у галузі транспорту. Закон України. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2024, № 38, ст. 245 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3769-20#Text>

9. Рудь Ю.М. Визначення поняття «біомаса» за законодавством України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2014, Вип. 197. Ч. 3. С.163-165.
10. Avitabile V, et al. [Biomass production, supply, uses and flows in the European Union \(europea.eu\)](https://europea.eu). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. 291 p.
11. Biomasa podbija polskie miasta. 2025. URL: <https://magazynbiomasa.pl/biomasa-podbija-polskie-miasta/>.
12. Co to jest biomasa? Z czego powstaje? Wszystko, co musisz wiedzieć. 2024. URL: <https://reo.pl/pl/informacje/zielona-encyklopedia/9/co-to-jest-biomasa-z-czego-po> w staje-wszystko-co-musisz-wiedziec#_ftn1.
13. Czym jest biomasa? 2025. URL: <https://polenergia-sprzedaz.pl/blog/czym-jest-biomasa-wyjasniamy/>
14. Czym są drzewa tlenowe i dlaczego warto je sadzić ? 2024. <https://translate.google.com/> Walka-zanieczyszczeniami-powietrza-moze-przebiegac-na-wiele-sposobow-w-tym..=translate.
15. Drzewo Tlenowe Sadzonki – Przewodnik po uprawie i korzyściach ekologicznych. 2024. <https://beleafsa.pl/drzewo-tlenowe-sadzonki-przewodnik-po-uprawie-i-korzysciach-ekologicznych/>
16. Energia biomasy co to jest i jakie ma zalety oraz wyzwania? 2025. URL: <https://biomasa.org.pl/energia-biomasy-co-to-jest-i-jakie-ma-zalety-oraz-wyzwania/>.
17. European Electricity Review, 2024, EMBER, 282 p.
18. Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 2 marca 2021 r. w sprawie polityki energetycznej państwa do 2040 r. 2012. URL: <https://www.dziennikustaw.gov.pl/MP/2021/264.>
19. Gburzyńska M., Pikus A. Wykorzystanie biomasy w energetyce. Gaz, woda i technika sanitarna. 2024. URL: <https://gazwoda.pl/wp-content/uploads/Openaccess/2024/1015199172024782.pdf> DOI: 10.15199/17.2024.7-8.2

20. Holling, C.S., and L.H. Gunderson. Resilience and Adaptive Cycles. *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, Island Press, 2002. P. 25–62
21. Jevons, W.S., *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*, 2nd Rev. e., Macmillan and Co, 1865.
22. Kowalik P..”Wykorzystanie biomasy jako surowca energetycznego. [W:] *Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy*”. red. Ściążko M., Zieliński H. wyd. Instytutu chemicznej Przeróbki węgla. 2003. S. 39–41
23. Mirowski T., Domagała J. (przez A.Lenartowska). Śladami projektów biomasowych. 2025. URL: <https://magazynbiomasa.pl/sladamiprojektowbiomasowych/>.
24. Mirowski T., Mokrzycki E., Uliasz-Boheńczyk A. ” Energetyczne wykorzystanie biomasy”. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. Wydawnictwo IGSMiE PAN, 2018. 222 s.
25. Lenartowska A. Pierwsza polska biometanownia przyłączona do sieci! 2025. URL: <https://magazynbiomasa.pl/pierwsza-polska-biometanownia-przylaczona-do-sieci/>.
26. Szczukowski S., Stolarski M. Plantacje drzew i krzewów szybko rosnących jako alternatywa biomasy z lasu – stan obecny, szanse i zagrożenia rozwoju. [W:] *Biomasa leśna na cele energetyczne*. red. P. Gołos i A. Kaliszewki. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, 2013. S.22–46
27. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, Dz.U. z dnia 27 lipca 2023 r. Poz. 1436.
28. Znaczenie biomasy w gospodarce i energetyce w krajach UE. 2023. <https://politykarolna.eu/2023/09/19/znaczenie-biomasy-w-gospodarce-i-energetyce-w-krajach-ue/>.