УДК 338.43:620.92:005.21
JEL: M11; O13; Q16; Q42
DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-8-233-248

РОЗРОБКА СТРАТЕГІЧНИХ НАПРЯМІВ ПЕРЕРОБКИ АГРОБІОМАСИ НА РІЗНІ ВИДИ БІОПАЛИВ У ПІДПРИЄМСТВАХ АПК

© 2026 **ЛОГОША Р. В., ТОКАРЧУК Д. М., ЄМЧИК Т. В.**

УДК 338.43:620.92:005.21
JEL: M11; O13; Q16; Q42

Логоша Р. В., Токарчук Д. М., Ємчик Т. В. Розробка стратегічних напрямів переробки агробіомаси на різні види біопалив у підприємствах АПК

У статті досліджено теоретико-методичні, організаційно-економічні та прикладні засади формування інтегрованої моделі стратегічного управління переробкою агробіомаси у виробництві біопалив на підприємствах АПК. Обґрунтовано, що сучасні тенденції розвитку світової економіки, зростання енергетичних ризиків, необхідність забезпечення енергетичної незалежності, декарбонізації виробництва та реалізації принципів циркулярної економіки зумовлюють потребу в ефективному використанні ресурсного потенціалу агробіомаси як одного з ключових чинників сталого розвитку аграрного сектора. Встановлено, що комплексна переробка побічної продукції рослинництва, органічних відходів тваринництва, відходів харчової промисловості та спеціально вирощуваних енергетичних культур створює передумови для формування багатофункціональних біоенергетичних виробництв, здатних забезпечити підприємства АПК відновлюваними джерелами енергії, підвищити рівень їхньої економічної стійкості та конкурентоспроможності. У процесі дослідження здійснено систематизацію основних видів агробіомаси за джерелами походження, фізико-хімічними характеристиками, технологічними особливостями та напрямами використання у виробництві різних видів біопалив. Проведено комплексний аналіз сучасного стану та перспектив використання рослинних залишків, органічних відходів тваринництва, побічної продукції харчової промисловості й енергетичних культур як сировинної основи для виробництва біогазу, біометану, біоетанолу, біодизеля та твердих біопалив. Визначено перспективність формування інтегрованих біорефінерій як сучасної моделі комплексного та безвідходного використання агробіомаси. Їхнє функціонування передбачає поєднання взаємопов'язаних технологічних процесів переробки рослинних залишків, органічних відходів тваринництва, побічної продукції харчової промисловості та спеціально вирощуваних енергетичних культур. Такий підхід дає змогу в межах єдиного виробничого комплексу одночасно отримувати біогаз, біометан, біоетанол, біодизель, тверді біопалива, теплову й електричну енергію, а також органічні добрива, кормові компоненти та іншу цінну супутню продукцію. Впровадження таких інтегрованих виробництв забезпечить підвищення енергетичної автономності, диверсифікацію джерел доходів, скорочення обсягів органічних відходів і викидів парникових газів, а також сприятиме розвитку циркулярної біоекономіки та зміцненню енергетичної безпеки України.

Ключові слова: *агробіомаса; біопаливо; біогаз; біометан; біоетанол; біодизель; тверде біопаливо; стратегічний розвиток; біоенергетика; циркулярна економіка; енергетична незалежність; стратегічне планування.*

Рис.: *2.* ***Табл.:*** *7.* ***Бібл.:*** *27.*

Логоша Роман Васильович *– доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри аграрного менеджменту та маркетингу, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, Вінниця, 21008, Україна)*
E-mail: *konffmp@ukr.net*
ORCID: *https://orcid.org/0000-0001-6462-5083*

Токарчук Діна Миколаївна *– кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри адміністративного менеджменту та альтернативних джерел енергії, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, Вінниця, 21008, Україна)*
E-mail: *tokarchyk_dina@ukr.net*
ORCID: *https://orcid.org/0000-0001-6341-4452*

Ємчик Тетяна Вікторівна *– кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри аграрного менеджменту та маркетингу, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, Вінниця, 21008, Україна)*
E-mail: *tana.honcharuk@gmail.com*
ORCID: *https://orcid.org/0000-0001-6998-4325*

UDC 338.43:620.92:005.21
JEL: M11; O13; Q16; Q42

Lohosha R. V., Tokarchuk D. M., Yemchyk T. V. Developing Strategic Directions For Processing Agrobiomass into Various Types of Biofuels at Enterprises in the Agro-Industrial Complex

This article examines the theoretical, methodological, organizational, economic, and applied foundations for developing an integrated model of strategic management for agrobiomass processing in biofuel production at enterprises in the agro-industrial complex. It is substantiated that current trends in the global economy, rising energy risks, the need to ensure energy independence, the decarbonisation of production, and the implementation of circular economy principles necessitate the efficient use of the resource potential of agrarian biomass as one of the key factors in the sustainable development of the agrarian sector. It has been found that the comprehensive processing of crop by-products, organic livestock waste, food industry waste, and specially cultivated energy crops creates the conditions for the formation of multifunctional bioenergy production facilities capable of supplying agribusiness enterprises with renewable energy sources, and to enhance their economic stability and competitiveness. This study systematized the main types of agrobiomass according to their sources of origin, physicochemical characteristics, technological features, and areas of application in the production of various types of biofuels. A comprehensive analysis was conducted of the current status and prospects for the use of crop residues, organic livestock waste, food industry by-products, and energy crops as feedstocks for the production of biogas, biomethane, bioethanol, biodiesel, and solid biofuels. The development of integrated biorefiner-

ies has been identified as a promising modern model for the comprehensive and waste-minimising utilisation of agrobiomass. Their operation involves the integration of interrelated technological processes for converting crop residues, livestock organic waste, by-products of the food-processing industry, and purpose-grown energy crops. Within a single production complex, this approach enables the simultaneous production of biogas, biomethane, bioethanol, biodiesel, solid biofuels, heat and electricity, as well as organic fertilisers, feed components, and other valuable co-products. The implementation of such integrated production systems will enhance energy self-sufficiency, diversify revenue streams, reduce organic waste volumes and greenhouse gas emissions, and contribute to the development of a circular bioeconomy and the strengthening of Ukraine's energy security.

Keywords: *agrobiomass; biofuel; biogas; biomethane; bioethanol; biodiesel; solid biofuel; strategic development; bioenergy; circular economy; energy independence; strategic planning.*

Fig.: *2.* ***Tabl.:*** *7.* ***Bibl.:*** *27.*

Lohosha Roman V. *– D. Sc. (Economics), Professor, Head of the Department of Agricultural Management and Marketing, Vinnytsia National Agrarian University (3 Soniachna Str., Vinnytsia, 21008, Ukraine)*
E-mail: *konffmp@ukr.net*
ORCID: *https://orcid.org/0000-0001-6462-5083*

Tokarchuk Dina M. *– PhD (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of the Administrative Management and Alternative Energy Sources, Vinnytsia National Agrarian University (3 Soniachna Str., Vinnytsia, 21008, Ukraine)*
E-mail: *tokarchyk_dina@ukr.net*
ORCID: *https://orcid.org/0000-0001-6341-4452*

Yemchyk Tetiana V. *– PhD (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Management and Marketing, Vinnytsia National Agrarian University (3 Soniachna Str., Vinnytsia, 21008, Ukraine)*
E-mail: *tana.honcharuk@gmail.com*
ORCID: *https://orcid.org/0000-0001-6998-4325*

ВСТУП

Глобальна трансформація світової енергетики, посилення вимог щодо скорочення антропогенних викидів парникових газів, загострення проблем енергетичної безпеки та необхідність реалізації принципів циркулярної економіки зумовлюють стрімке зростання ролі біоенергетики в структурі національних енергетичних систем. У сучасних умовах біоенергетика розглядається не лише як альтернативне джерело енергії, а й як важливий інструмент диверсифікації аграрного виробництва, підвищення ефективності використання природних ресурсів і забезпечення комплексного розвитку сільських територій.

Для України питання ефективної переробки агробіомаси набуває особливої актуальності. АПК України є одним із найбільших виробників органічної сировини в Європі. Щорічно у процесі виробництва зернових, технічних, овочевих, плодових культур та продукції тваринництва утворюються значні обсяги органічних залишків, значна частина яких використовується неефективно або взагалі залишається невикористаною. За експертними оцінками, потенціал аграрної біомаси України становить десятки мільйонів тонн умовного палива щороку, що дає змогу суттєво скоротити залежність від імпортних енергоносіїв [1; 2].

Поряд із традиційними джерелами агробіомаси дедалі більшого значення набувають спеціалізовані енергетичні культури, зокрема міскантус, світчграс, енергетична верба та тополя. На відміну від інших видів агробіомаси, вони спеціально вирощуються для енергетичних потреб, характеризуються високою продуктивністю, стійкістю до несприятливих умов вирощування та можливістю використання малопродуктивних і деградованих земель. Їхнє застосування забезпечує стабільне постачання сировини для біоенергетичних підприємств, знижує залежність від сезонності утворення аграрних відходів і створює передумови для довгострокового розвитку біоенергетичного сектора [3].

Особливого значення набуває інтеграція виробництва біопалив у виробничі процеси підприємств АПК. Такий підхід дозволяє одночасно вирішувати кілька стратегічних завдань: підвищення енергетичної автономності підприємств, зменшення витрат на паливно-енергетичні ресурси, ефективне управління відходами, виробництво органічних добрив та скорочення негативного впливу на навколишнє природне середовище [4].

Водночас наявна система використання агробіомаси характеризується низкою проблем. Серед основних слід відзначити: недостатній рівень розвитку логістичної інфраструктури, сезонність надходження біомаси, значні транспортні витрати, обмеженість інвестиційних ресурсів, недосконалість механізмів державної підтримки та недостатню інтеграцію біоенергетичних проєктів у стратегії розвитку аграрних підприємств.

У країнах ЄС розвиток біоенергетики здійснюється в межах комплексної політики декарбонізації економіки, реалізації положень Європейського зеленого курсу, пакета законодавчих ініціатив Fit for 55 та стратегії REPowerEU. Зазна-

чені документи передбачають істотне збільшення виробництва відновлюваної енергії, зокрема біометану, біопалив другого покоління та інших видів низьковуглецевих енергоносіїв [5-6]. Для України адаптація до цих стратегічних напрямів є важливою передумовою інтеграції в європейський енергетичний простір.

Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку АПК України є формування інтегрованих біоенергетичних систем, які поєднують виробництво різних видів біопалив із комплексною переробкою агробіомаси. У таких системах відходи одного технологічного процесу стають сировиною для іншого, що відповідає принципам циркулярної економіки та забезпечує максимальну ефективність використання ресурсів.

Особливої актуальності набуває розроблення стратегічних напрямів переробки агробіомаси, які враховують ресурсний потенціал аграрних підприємств, структуру виробництва, особливості регіонального розвитку, сучасні технологічні рішення, вимоги екологічної безпеки та перспективи розвитку внутрішнього й міжнародного ринку біопалив.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематика виробництва біопалив із агробіомаси активно досліджується вітчизняними та зарубіжними науковцями. Значний внесок у розвиток теоретичних засад біоенергетики зробили українські вчені В. Бондар, Г. Гелетуха, І. Гончарук, Я. Гонтарук, Т. Желєзна, Г. Калетнік, Т. Коломієць, М. Кучерук, С. Кудря, О. Дячук, В. Дубровін, Н. Пришляк, О. Шпичак та інші, праці яких присвячені оцінці біоенергетичного потенціалу України, розвитку ринку біопалив і вдосконаленню державної політики у сфері відновлюваної енергетики.

У наукових працях зарубіжних науковців [7–9] значну увагу приділено питанням розвитку біорефінерій, циркулярної біоекономіки, комплексної переробки лігноцелюлозної сировини, оптимізації логістичних систем постачання біомаси, декарбонізації агропродовольчих систем та економічної ефективності виробництва біопалив.

Попри значну кількість досліджень, недостатньо розробленими залишаються питання комплексного стратегічного управління переробкою агробіомаси безпосередньо на рівні підприємств АПК, інтеграції різних технологій виробництва біопалив, оптимізації вибору напрямів інвестування та формування універсальних моделей біорефінерій, адаптованих до умов України.

Метою статті є розроблення стратегічних напрямів переробки агробіомаси на різні види біопалив у підприємствах АПК.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Україна належить до держав із найбільшим потенціалом виробництва біомаси серед країн Європи. Значна площа сільськогосподарських угідь, високі обсяги вирощування зернових і технічних культур, розвинене тваринництво та харчова промисловість формують потужну ресурсну базу для розвитку біоенергетики [10].

Під агробіомасою розуміють сукупність органічних матеріалів рослинного і тваринного походження, що можуть бути використані для виробництва енергії або біопалив після відповідної технологічної переробки [11-12].

На відміну від викопних видів палива, агробіомаса є відновлюваним ресурсом, який формується щороку в процесі аграрного виробництва. Сучасна структура агробіомаси характеризується високим рівнем диверсифікації, що створює широкі можливості для розвитку різних напрямів біоенергетики.

Перед визначенням стратегічних напрямів розвитку біоенергетичного виробництва доцільно здійснити систематизацію основних видів агробіомаси, що утворюються в процесі функціонування підприємств АПК, та визначити найбільш ефективні напрями їх енергетичного використання. Кожен вид органічної сировини характеризується специфічними фізико-хімічними властивостями, рівнем вологості, теплотворною здатністю, вмістом органічної речовини та особливостями логістичного забезпечення, що безпосередньо впливають на вибір технології переробки. Водночас застосування принципів комплексної переробки біомаси дозволяє не лише виробляти різні види біопалив, а й отримувати цінні супутні продукти, які можуть бути використані у рослинництві, тваринництві або інших галузях економіки. У зв'язку з цим у табл. 1 узагальнено основні види агробіомаси підприємств АПК, джерела їх утворення, найбільш ефективні напрями переробки та супутню продукцію, що формується в результаті реалізації відповідних біоенергетичних технологій.

Проведений аналіз даних табл. 1 свідчить, що підприємства АПК України мають значний диверсифікований ресурсний потенціал для виробництва практично всіх сучасних видів біопалив. Основну частку ресурсної бази формують рослинні залишки, які представлені соломою зернових культур, кукурудзяними стеблами та соняшниковим луш-

Таблиця 1

Структура агробіомаси підприємств АПК та напрями її енергетичного використання

Вид агробіомаси	Основне джерело	Найбільш ефективний напрям переробки	Додаткова продукція
Солома зернових	Рослинництво	Пелети, брикети	Органічне добриво
Кукурудзяні стебла	Рослинництво	Біогаз, пелети	Біодобрива
Соняшникове лушпиння	Олійні заводи	Паливні гранули	Теплова енергія
Гній ВРХ	Тваринництво	Біогаз	Дигестат
Свинячий гній	Тваринництво	Біометан	Органічні добрива
Пташиний послід	Птахівництво	Біогаз	Органічні добрива
Жом буряковий	Цукрові заводи	Біогаз, біоетанол	Кормові добавки
Меляса	Цукрова промисловість	Біоетанол	CO_2
Барда	Спиртові заводи	Біогаз	Добрива
Відходи галузі овочівництва	Переробні підприємства	Біогаз	Компост

Джерело: сформовано авторами за даними [11; 12].

пинням. Ці види біомаси характеризуються порівняно низькою вологістю, високою теплотворною здатністю та доступністю, що робить їх найбільш придатними для виробництва твердих біопалив у вигляді пелет, брикетів і паливних гранул. Особливо цінним є соняшникове лушпиння, яке утворюється безпосередньо на олійноекстракційних підприємствах, що дає можливість мінімізувати логістичні витрати та використовувати отримане паливо для забезпечення власних енергетичних потреб виробництва.

Проаналізуймо динаміку утворення основних відходів рослинництва на сільськогосподарських підприємствах України. Для цього використаємо дані Державної служби статистики та розрахункові коефіцієнти виходу побічної продукції (відходів), які різняться залежно від культури (табл. 2).

Найбільші обсяги побічної продукції припадають на кукурудзу на зерно (у середньому 35,6 млн т на рік), пшеницю (19,4 млн т), соняшник (20,8 млн т) та ріпак (6,9 млн т), що визначає їх як основну сировинну базу для виробництва біогазу, біометану та твердих біопалив. У 2022 році, внаслідок повномасштабного військового вторгнення, спостерігалося істотне скорочення валових зборів більшості культур, а відповідно і обсягів утворення рослинних відходів. Водночас у 2023–2025 роках простежується поступове відновлення виробництва окремих культур, що сприяє збільшенню потенційної сировинної бази для розвитку біоенергетики.

Вагомою складовою енергетичного потенціалу відходів сільськогосподарських підприємств є первинні відходи тваринництва – гній ВРХ та пташиний послід. Обсяги їх утворення безпосередньо залежать від чисельності поголів'я сільськогосподарських тварин і птиці, яка в останні роки зазнала суттєвих змін. Негативний вплив на розвиток галузі мало повномасштабне військове вторгнення російської федерації у 2022 році, що призвело до скорочення поголів'я тварин, руйнування виробничої інфраструктури, втрати виробничих потужностей на тимчасово окупованих територіях та ускладнення логістичних процесів. Як свідчать дані рис. 1, уже в перший рік повномасштабної війни чисельність ВРХ у сільськогосподарських підприємствах порівняно з 2021 роком скоротилася на 54,7 тис. голів, або на 5,5%. Аналогічна тенденція спостерігалася і в інших галузях тваринництва: поголів'я свиней зменшилося з 3,58 до 3,15 млн голів (на 11,9%), овець і кіз – з 168,5 до 141,2 тис. голів (на 16,2%). Найбільш стійкою виявилася галузь птахівництва: після скорочення чисельності птиці у 2022 році до 102,1 млн голів у наступні роки спостерігалося поступове відновлення, і у 2025 році її поголів'я досягло 119,7 млн голів.

Зазначені тенденції безпосередньо впливають на потенційні обсяги утворення органічних відходів та, відповідно, на ресурсну базу для виробництва біогазу і біометану (табл. 3), що необхідно враховувати під час оцінювання перспектив розвитку біоенергетики в аграрному секторі України.

Загалом гній ВРХ, свинячий гній і пташиний послід, мають найвищу ефективність при використанні в технологіях анаеробного зброджування. Виробництво біогазу та біометану з такої сировини дозволяє не лише отримувати відновлювані енергоресурси, а й вирішувати проблему утилізації органічних відходів, зменшувати викиди метану

Таблиця 2

Динаміка валових зборів та утворення первинних відходів основних культур, що вирощуються у сільськогосподарських підприємствах України, 2021–2025 рр., тис. т

Культура/первинні відходи	Коефіцієнт утворення побічно продукції (відходів)	2021 р.		2022 р.		2023 р.		2024 р.		2025 р.		В середньому за 5 років	
		валовий збір, тис. т	утворення побічної продукції, відходів, тис. т	валовий збір, тис. т	утворення побічної продукції, відходів, тис. т	валовий збір, тис. т	утворення побічної продукції, відходів, тис. т	валовий збір, тис. т	утворення побічної продукції, відходів, тис. т	валовий збір, тис. т	утворення побічної продукції, відходів, тис. т	валовий збір, тис. т	утворення побічної продукції, відходів, тис. т
Пшениця (солома)	1,0	25687,2	25687,2	16358,7	16358,7	17373,6	17373,6	18204,7	18204,7	19190,4	19190,4	19362,9	19362,9
Ячмінь (солома)	0,8	5592,6	4474,0	2985,0	2388,0	2935,6	2348,4	2867,3	2293,8	2690,5	2152,4	3414,2	2731,3
Жито(солома)	1,3	444,0	577,2	196,3	255,2	117,6	152,8	114,3	148,5	113,6	147,7	197,1	256,3
Просо (солома)	0,8	150,2	120,1	74,6	59,7	183,1	146,5	143,7	114,9	49,1	39,3	120,1	96,1
Овес (солома)	1	151,3	151,3	102,0	102,0	147,0	147,0	182,8	182,8	131,9	131,9	143,0	143,0
Гречка (солома)	1,9	54,1	102,8	106,7	202,7	166,8	316,9	73,4	139,4	36,9	70,1	87,6	166,4
Соя (солома)	0,9	3130,4	2817,4	3144,7	2830,2	4435,9	3992,3	6341,0	5706,9	4669,0	4202,1	4344,2	3909,8
Ріпак (солома)	2,0	2907,4	5814,7	3305,6	6611,2	4177,3	8354,7	3589,5	7179,1	3199,3	6398,6	3435,8	6871,6
Кукурудза на зерно (стебла)	1,3	36790,7	47827,9	22849,1	29703,9	27228,6	35397,1	22968,4	29858,9	27230,9	35400,2	27413,5	35637,6
Соняшник (стебла)	1,9	14214,0	27006,5	10022,5	19042,8	11476,1	21804,6	9756,1	18536,6	9175,4	17433,2	10928,8	20764,7
Цукрові буряки (гичка)	0,5	10353,7	5176,9	950,8	475,4	12742,1	6371,0	12427,7	6213,9	11324,4	5662,2	9559,7	4779,9

Джерело: сформовано авторами за даними [13; 14].

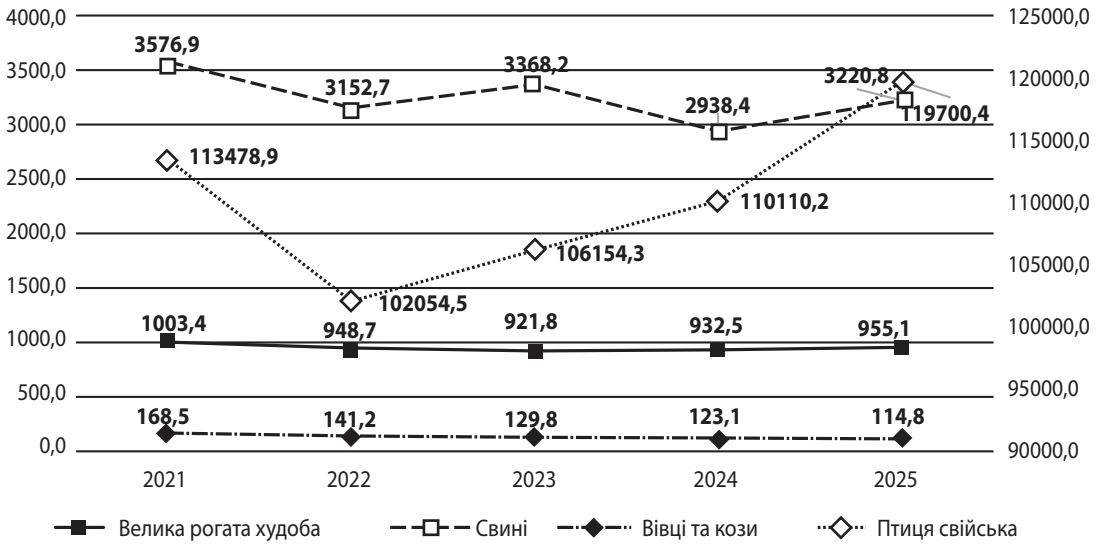

Рис. 1. Динаміка кількості сільськогосподарських тварин на кінець року (підприємства), 2021–2025 рр., тис. гол.

Джерело: Державна служба статистики України [13].

Таблиця 3

Динаміка утворення відходів тваринництва у сільськогосподарських підприємствах України, 2021-2025 рр., тис. т

Рік	ВРХ		Свині		Вівці та кози		Птиця свійська		Середньорічне утворення відходів всіма видами тварин, тис. т
	Поголів'я, тис. голів	Утворення відходів, тис. т	Поголів'я, тис. голів	Утворення відходів, тис. т	Поголів'я, тис. голів	Утворення відходів, тис. т	Поголів'я, тис. голів	Утворення відходів, тис. т	
2021	1 003,4	20068,0	3 576,9	8942,3	168,5	118,0	113 478,9	6241,3	35369,5
2022	948,7	18974,0	3 152,7	7881,8	141,2	98,8	102 054,5	5613,0	32567,6
2023	921,8	18436,0	3 368,2	8420,5	129,8	90,9	106 154,3	5838,5	32785,8
2024	932,5	18650,0	2 938,4	7346,0	123,1	86,2	110 110,2	6056,1	32138,2
2025	955,1	19102,0	3 220,8	8052,0	114,8	80,4	119 700,4	6583,5	33817,9

Джерело: обраховано авторами за даними [13].

в атмосферу та виробляти високоякісні органічні біологічні добрива [15]. Таким чином, розвиток біогазових комплексів забезпечує реалізацію принципів циркулярної економіки, за яких відходи тваринництва перетворюються на цінний виробничий ресурс.

Окрему групу становлять побічні продукти харчової промисловості, серед яких жом буряковий, меляса та барда спиртового виробництва. Динаміка їх продукування може бути обрахована на основі обсягів виробництва цукрових буряків, цукру або спирту із застосуванням нормативних коефіцієнтів Орієнтовні нормативи, які використовуються в Україні та країнах ЄС: жом буряковий (вологий) – 0,75-0,85 т на 1 т буряків, меляса – 0,035-0,05 т на 1 т буряків (або 4-5 % маси буряків), барда спиртова – 10-14 л на 1 л спирту або 12-16 т на 1 т спирту. Слід зазначити, що в умовах дії воєнного стану Державна служба статистики України обмежила оприлюднення частини статистичної інформації, зокрема щодо обсягів виробництва окремих видів промислової продукції, у тому числі етилового спирту, що унеможливлює проведення повноцінного аналізу відповідних показників за 2022–2025 роки. Що стосується відходів переробки цукрових буряків (рис. 2), динаміка їх утворення є нестабільною: після суттєвого скорочення у 2022 році вже з 2023 року спостерігається тенденція до збільшення їх обсягів, яка зберігається до кінця до-

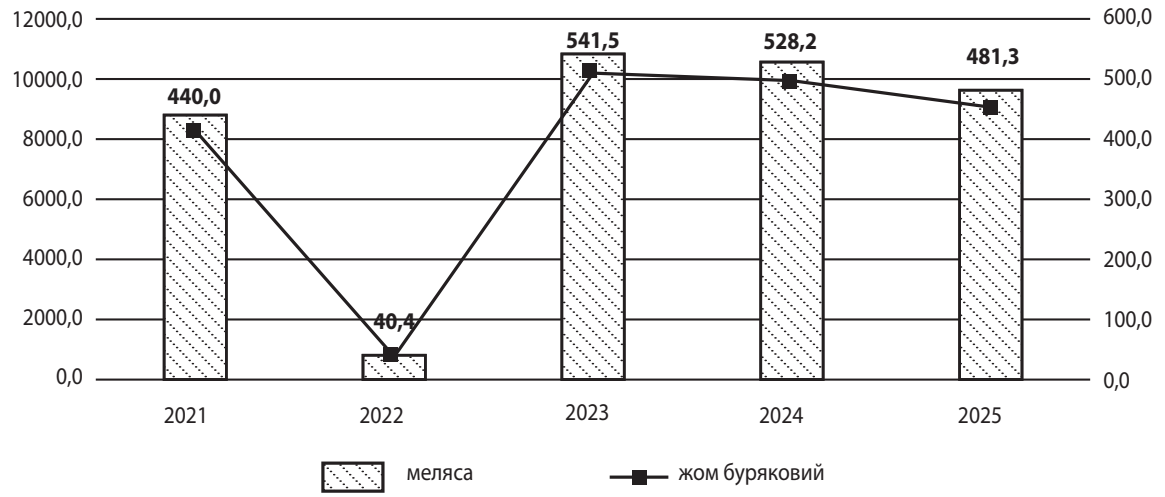

Рис. 2. Динаміка утворення жому бурякового та меляси в Україні, 2021–2025 рр., тис. т

Джерело: обраховано авторами за даними [13].

сліджуваного періоду. Проте галузь так і не повернулася до докризових темпів розвитку, що обумовлено скороченням посівних площ, логістичними труднощами та негативним впливом воєнних дій на функціонування цукрової промисловості.

Завдяки високому вмісту легкодоступних вуглеводів і органічних сполук ця сировина характеризується значним біоенергетичним потенціалом. Зокрема, меляса є ефективною сировиною для виробництва біоетанолу, тоді як жом буряковий може використовуватися як для отримання біогазу, так і для виробництва біоетанолу. Барда спиртового виробництва доцільно застосовувати у біогазових установках із подальшим використанням отриманого дигестату як органічного добрива. Комплексна переробка таких відходів сприяє підвищенню економічної ефективності діяльності підприємств харчової промисловості та скороченню екологічного навантаження.

Відходи овочівництва також характеризуються значним потенціалом для виробництва біогазу завдяки високому вмісту біорозкладних органічних речовин. Побічним продуктом їх переробки є компост, який може використовуватися для відновлення родючості ґрунтів, покращення їх агрофізичних властивостей та зменшення потреби у застосуванні мінеральних добрив [16].

Максимальна ефективність використання агробіомаси досягається за умови впровадження інтегрованих біорефінерій, які забезпечують комплексну переробку різних видів сировини з одночасним виробництвом кількох видів біопалив і корисної супутньої продукції [17; 18]. Такий підхід сприяє підвищенню рівня енергетичної самозабезпеченості підприємств АПК, диверсифікації джерел доходів, скороченню витрат на утилізацію відходів і зменшенню негативного впливу на навколишнє природне середовище. Крім того, диференціація напрямів переробки залежно від походження агробіомаси створює передумови для формування регіонально спеціалізованих біоенергетичних кластерів, що забезпечить повніше використання місцевого ресурсного потенціалу та підвищить конкурентоспроможність підприємств АПК в умовах розвитку біоекономіки.

Ефективність функціонування біоенергетичних виробництв значною мірою визначається особливостями сировинної бази, оскільки фізико-хімічні властивості агробіомаси, її доступність, сезонність утворення та логістичні характеристики безпосередньо впливають на вибір технології переробки, рівень економічної ефективності та конкурентоспроможність біопаливних проєктів [19].

У сучасних умовах розвитку АПК особливого значення набуває систематизація основних груп агробіомаси відповідно до їх технологічного потенціалу та можливостей комплексного використання. Такий підхід дозволяє обґрунтувати пріоритетні напрями розвитку біоенергетики, визначити найбільш перспективні технології переробки та сформувати стратегії раціонального використання біологічних ресурсів. З цією метою у табл. 4 наведено узагальнену характеристику основних груп агробіомаси, їхніх специфічних особливостей, найбільш ефективних напрямів переробки та стратегічних переваг їх використання у виробництві біопалив.

Дані табл. 2 свідчать, що сировинна база біоенергетики в АПК України є достатньо диверсифікованою, що створює передумови для розвитку різних технологічних напрямів виробництва біо-

Таблиця 4

Основні групи агробіомаси та перспективи їх використання у виробництві біопалив

Група агробіомаси	Основні види сировини	Характерні особливості	Найбільш перспективний напрям переробки	Стратегічні переваги використання
Рослинні залишки	Солома зернових культур, кукурудзяні стебла, стебла ріпаку, соняшникове лушпиння, соєва солома	Великі щорічні обсяги утворення, висока теплотворна здатність, порівняно низька вологість, доступність	Виробництво пелет, брикетів, паливних гранул, частково біогазу	Заміщення викопного палива, зменшення спалювання рослинних залишків, підвищення енергетичної незалежності підприємств
Органічні відходи тваринництва	Гній ВРХ, свинячий гній, пташиний послід	Високий вміст органічної речовини, значний біогазовий потенціал, постійне утворення протягом року	Виробництво біогазу та біометану методом анаеробного зброджування	Отримання відновлюваної енергії, виробництво дигестату як органічного добрива, скорочення викидів парникових газів
Відходи харчової промисловості	Жом буряковий, меляса, барда, відходи овочепереробки, фруктові вичавки	Висока концентрація органічної речовини, швидка біодеградація, висока ефективність анаеробного зброджування	Виробництво біогазу, біоетанолу, органічних добрив	Комплексна утилізація відходів, зменшення екологічного навантаження, додаткові джерела доходу підприємств
Енергетичні культури	Міскантус, світчграс, енергетична верба, енергетична тополя	Висока врожайність, невибагливість до ґрунтових умов, можливість вирощування на деградованих і малопродуктивних землях	Виробництво твердого біопалива, біоетанолу другого покоління, біогазу	Стабільне забезпечення сировиною біоенергетичних підприємств, зниження сезонності постачання, ефективне використання земельних ресурсів

Джерело: розроблено автором на основі узагальнення сучасних наукових досліджень [11; 12; 20].

палив залежно від регіональної спеціалізації підприємств, структури аграрного виробництва та наявних ресурсів. Кожна група агробіомаси має специфічні фізико-хімічні характеристики, які визначають найбільш ефективний спосіб її енергетичної переробки та потенційний економічний ефект від використання.

Найбільший ресурсний потенціал мають рослинні залишки, які утворюються у значних обсягах після збирання зернових, технічних і олійних культур. Завдяки високій теплотворній здатності, низькій вологості та широкій доступності вони є оптимальною сировиною для виробництва твердих біопалив, зокрема пелет, брикетів і паливних гранул. Використання цієї групи біомаси забезпечує скорочення практики відкритого спалювання післяжнивних залишків, зменшення залежності від викопних палив і підвищення рівня енергетичної автономності аграрних підприємств [1].

Важливим напрямом розвитку біоенергетики є використання органічних відходів тваринництва, які характеризуються стабільним утворенням протягом року та високим вмістом органічної речовини. Найбільш ефективною технологією їх використання є анаеробне зброджування з виробництвом біогазу або біометану. Додатковою перевагою цього процесу є отримання дигестату, який може застосовуватися як високоякісне органічне добриво [21]. Таким чином, одночасно досягаються енергетичний, економічний та екологічний ефекти, що повністю відповідає принципам циркулярної економіки.

Не менш перспективною є переробка відходів харчової промисловості, які характеризуються високою концентрацією органічних речовин та швидкою біодеградацією. Використання жому бурякового, меляси, барди та інших побічних продуктів забезпечує високу продуктивність біогазових комплексів і виробництва біоетанолу. Комплексна утилізація таких відходів дозволяє мінімізувати екологічні ризики, скоротити витрати на поводження з відходами та створити додаткові джерела доходу для підприємств переробної промисловості.

Узагальнюючи результати аналізу, можна зробити висновок, що найбільш ефективна стратегія розвитку підприємств АПК полягає не у використ-

танні окремих видів біомаси, а у формуванні інтегрованої багатокомпонентної системи переробки агробіомаси, яка поєднує рослинні залишки, органічні відходи тваринництва, побічні продукти харчової промисловості та спеціалізовані енергетичні культури. Такий підхід забезпечує диверсифікацію сировинної бази, мінімізує ризики нестачі біомаси, сприяє безперервності виробничого процесу та підвищує економічну стійкість біоенергетичних підприємств.

Крім того, отримані результати свідчать про доцільність диференційованого вибору технологій переробки залежно від походження та властивостей агробіомаси. Це створює наукове підґрунтя для розроблення регіональних стратегій розвитку біоенергетики, формування біоенергетичних кластерів [22] та впровадження інтегрованих біорефінерій, що дозволяють максимально ефективно використовувати ресурсний потенціал АПК України, одночасно забезпечуючи економічну ефективність, енергетичну незалежність та екологічну безпеку.

Отже, стратегічне управління переробкою агробіомаси повинно базуватися на інтегрованому підході, який враховує ресурсний потенціал підприємства, рівень технологічного розвитку, економічну доцільність інвестицій, потреби внутрішнього енергетичного ринку, експортні можливості та екологічні вимоги. Відповідно до цього стратегія розвитку біоенергетичних виробництв має бути складовою загальної стратегії розвитку підприємства АПК і передбачати поетапне впровадження сучасних технологій переробки органічної сировини.

З огляду на сучасні тенденції розвитку світової біоекономіки, стратегічні напрями переробки агробіомаси доцільно формувати на основі концепції інтегрованої біорефінерії. На відміну від традиційних виробничих моделей, біорефінерія забезпечує одночасне виробництво декількох видів біопалив, електричної та теплової енергії, органічних добрив, кормових добавок, біохімічної продукції та інших товарів із максимально можливим використанням сировинних ресурсів. Такий підхід сприяє диверсифікації джерел доходів підприємства, зниженню виробничих ризиків і підвищенню загальної економічної ефективності.

Враховуючи ресурсний потенціал України та структуру агропромислового виробництва, доцільно виокремити чотири взаємопов'язані стратегічні напрями розвитку біоенергетичних виробництв: виробництво твердих біопалив, виробництво біогазу та біометану, виробництво рідких біопалив і розвиток комплексних біорефінерій. Реалізація кожного з цих напрямів має базуватися на економічній доцільності, екологічній безпеці та технологічній адаптивності до умов функціонування конкретного підприємства.

Одним із найбільш економічно обґрунтованих напрямів використання агробіомаси є виробництво твердих біопалив, яке забезпечує ефективне використання рослинних залишків, що утворюються в процесі сільськогосподарського виробництва. До найбільш поширених видів твердого біопалива належать паливні пелети, брикети та торрефікована біомаса, які характеризуються високою енергетичною цінністю, зручністю транспортування та тривалим терміном зберігання (табл. 5).

Таблиця 5

Стратегічні переваги виробництва твердих біопалив із різних видів агробіомаси

Вид біомаси	Основний вид біопалива	Технологічні переваги	Економічні переваги	Екологічний ефект
Солома зернових	Пелети, брикети	Висока доступність, простота переробки	Низька собівартість	Зменшення спалювання післяжнивних залишків
Кукурудзяні стебла	Пелети	Значні обсяги сировини	Скорочення витрат на утилізацію	Скорочення викидів CO_2
Соняшникове лушпиння	Паливні гранули	Висока теплотворна здатність	Додатковий дохід олійних підприємств	Зменшення накопичення відходів
Міскантус	Пелети	Стабільна врожайність	Довгострокова сировинна база	Використання деградованих земель
Енергетична верба	Тріска, гранули	Багаторічний цикл вирощування	Мінімальні експлуатаційні витрати	Поглинання вуглецю, відновлення ґрунтів

Джерело: розроблено авторами за даними [3; 23].

Особливу роль у формуванні ресурсної бази цього напряму відіграють солома зернових культур, кукурудзяні стебла, соняшникове лушпиння, ріпакова солома, соєві стебла та інші рослинні залишки. Їх використання дозволяє не лише отримувати конкурентоспроможне паливо, а й вирішувати проблему утилізації післяжнивних решток, які часто спалюються безпосередньо на полях, що призводить до деградації ґрунтів і збільшення викидів забруднювальних речовин.

Виробництво пелет і брикетів забезпечує підвищення щільності біомаси в кілька разів порівняно з вихідною сировиною, що істотно знижує витрати на транспортування та зберігання. Крім того, стандартизовані паливні гранули мають стабільні фізико-хімічні характеристики, що розширюють можливості їх використання як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

Перспективним напрямом є виробництво торрефікованої біомаси, яка отримується шляхом термічної обробки рослинної сировини за обмеженого доступу кисню. Така технологія дозволяє підвищити теплотворну здатність палива, зменшити його гігроскопічність, покращити механічну міцність та значно підвищити ефективність транспортування. За своїми характеристиками торрефіковані пелети наближаються до кам'яного вугілля, що відкриває перспективи їх використання у великих теплоенергетичних установках без істотної модернізації обладнання.

Важливою умовою ефективності виробництва твердих біопалив є оптимізація логістичних процесів. Через значні обсяги та низьку насипну щільність агробіомаси транспортні витрати можуть становити до третини загальної собівартості продукції. Тому доцільним є створення регіональних центрів заготівлі, первинної підготовки та гранулювання біомаси, розташованих у безпосередній близькості до сировинної бази. Такий підхід сприятиме скороченню витрат на транспортування, забезпеченню стабільності постачання сировини та підвищенню економічної ефективності виробництва.

Проведений аналіз свідчить, що виробництво твердих біопалив є найбільш доступним напрямом розвитку біоенергетики для більшості підприємств АПК, оскільки не потребує надмірно складних технологічних рішень, характеризується порівняно коротким строком окупності інвестицій та забезпечує високий рівень використання рослинної біомаси. Водночас максимальна економічна ефективність досягається за умови інтеграції виробництва твердих біопалив із системами енергозабезпечення підприємства, що дає змогу скоротити витрати на традиційні енергоносії та підвищити рівень енергетичної автономності.

Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку сучасної біоенергетики є виробництво біогазу та біометану, що забезпечує комплексне використання органічних відходів сільськогосподарського виробництва, харчової промисловості та спеціально вирощуваної біомаси. На відміну від інших видів біопалив, біогазові технології дозволяють одночасно вирішувати енергетичні, екологічні та економічні завдання, що робить їх одним із ключових елементів стратегії розвитку підприємств АПК.

Основною перевагою біогазових комплексів є можливість переробки практично всіх видів органічної сировини. Як свідчать результати проведеного аналізу, найбільший потенціал мають гній ВРХ, свинячий гній, пташиний послід, силос кукурудзи, післяжнивні рослинні залишки, буряковий жом, меляса, барда спиртового виробництва, відходи овочівництва та садівництва. Використання різнорідної сировини забезпечує стабільне функціонування біогазових установок упродовж року, що є важливою передумовою їх економічної ефективності.

Технологічною основою виробництва біогазу є процес анаеробного зброджування органічної речовини за участю спеціалізованих мікроорганізмів. У результаті цього процесу утворюється біогаз із вмістом метану 50–70 %, який може використовуватися для виробництва електричної та теплової енергії або після очищення до параметрів природного газу перетворюватися на біометан [16]. Останній характеризується високою енергетичною цінністю та може використовуватися як паливо для транспорту, подаватися до газорозподільних мереж або експортуватися до країн ЄС.

Важливою перевагою виробництва біометану є його відповідність сучасним вимогам декарбонізації економіки та розвитку відновлюваної енергетики. У країнах ЄС попит на біометан стрімко зростає завдяки реалізації політики зі скорочення використання викопного природного газу. Для України це відкриває перспективи інтеграції до європейського енергетичного ринку та формування нового експортного напряму для агропромислового комплексу.

З економічної точки зору біогазові комплекси характеризуються багатофункціональністю. Вони забезпечують не лише виробництво електроенергії та тепла, а й дають змогу отримувати додаткову продукцію у вигляді органічних добрив. Дигестат, який утворюється після анаеробного зброджування, містить значну кількість

поживних елементів, доступних для рослин, і може ефективно замінювати частину мінеральних добрив. Це особливо актуально в умовах постійного зростання їхньої вартості та необхідності відновлення родючості ґрунтів.

Одним із ключових чинників ефективності біогазових проєктів є організація безперервного постачання сировини. Найкращі результати досягаються на підприємствах із замкнутим виробничим циклом, де тваринництво, рослинництво та переробні виробництва функціонують як єдина інтегрована система. Така модель дозволяє мінімізувати логістичні витрати, забезпечити стабільність завантаження біогазових реакторів і максимально використовувати побічну продукцію аграрного виробництва.

Формування ефективної стратегії розвитку виробництва біогазу та біометану на підприємствах АПК потребує комплексного підходу, що передбачає поєднання технологічних, економічних та екологічних складових. Вибір стратегічних напрямів повинен ґрунтуватися на оцінці наявного ресурсного потенціалу, виробничої спеціалізації підприємства, можливостей інтеграції біоенергетичних технологій у виробничий процес, а також перспектив комерціалізації отриманої продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках. Особливого значення набуває впровадження комплексних біоенергетичних систем, які забезпечують не лише виробництво біогазу або біометану, а й ефективне використання побічної продукції, зокрема дигестату, а також інтеграцію виробленої енергії в систему енергозабезпечення підприємства. Такий підхід сприяє підвищенню рівня ресурсної ефективності, зниженню виробничих витрат, диверсифікації джерел доходів і мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Якщо використовувати європейські підходи, то біомаса охоплює не лише відходи і побічну продукцію, а й спеціально вирощувані енергетичні культури, основну сільськогосподарську продукцію та органічні ресурси біологічного походження. У цьому контексті Україна володіє одним із найбільших у Європі потенціалів агробіомаси, що формується за рахунок значних площ сільськогосподарських угідь, високих обсягів виробництва зернових, олійних і технічних культур, розвинутого тваринництва та переробної промисловості.

З огляду на це, поряд із побічною продукцією та органічними відходами важливою складовою ресурсної бази біоенергетики є спеціально вирощена агробіомаса, яка характеризується високою прогнозованістю виробництва, стабільною якістю сировини та значним енергетичним потенціалом. Основні види такої агробіомаси, джерела їх походження, напрями енергетичного використання та супутня продукція наведені в табл. 6.

Спеціально вирощена агробіомаса підприємств АПК може ефективно використовуватися для виробництва різних видів біопалив, зокрема біоетанолу, біодизеля, біогазу та твердих біопалив.

В Україні найбільш перспективною сировиною для виробництва біоетанолу є кукурудза, пшениця, цукрові буряки, меляса та інші цукровмісні й крохмалевмісні культури. Водночас сучасні технології дозволяють виробляти біоетанол другого покоління з лігноцелюлозної сировини, зокрема з солому зернових культур, кукурудзяних стебел та інших рослинних залишків. Використання такої сировини дає змогу підвищити рівень використання агробіомаси без конкуренції з виробництвом продовольства.

Таблиця 6

Структура спеціально вирощеної агробіомаси підприємств АПК та напрями її енергетичного використання

Вид спеціально вирощеної агробіомаси	Основне джерело	Енергетичний напрям використання	Супутня продукція
Зерно кукурудзи	Рослинництво	Біоетанол, біогаз	DDGS, CO_2
Зерно пшениці	Рослинництво	Біоетанол	Кормові добавки, CO_2
Насіння ріпаку	Рослинництво	Біодизель	Ріпаковий шрот, гліцерин
Насіння соняшнику	Рослинництво	Біодизель	Макуха, шрот
Цукрові буряки	Рослинництво	Біоетанол, біогаз	Жом, меляса
Енергетична верба	Енергетичні плантації	Тверде біопаливо	Біовугілля
Міскантус	Енергетичні плантації	Пелети, брикети	Зола як добриво
Світчграс	Енергетичні плантації	Біогаз, тверде біопаливо	Органічні добрива

Джерело: узагальнено авторами за даними [24; 25].

Для виробництва біодизеля найбільш придатними є ріпакова, соняшникова та соєва олії, а також відпрацьовані рослинні жири й олії харчової промисловості. Розвиток цього напряму дозволяє частково замістити традиційне дизельне паливо, зменшити імпорт нафтопродуктів та сприяти виконанню міжнародних зобов'язань щодо скорочення викидів парникових газів [26; 27].

Стратегія розвитку виробництва рідких біопалив повинна базуватися на принципах комплексного використання сировини, впровадження технологій другого покоління, інтеграції біопаливних виробництв із переробними підприємствами та орієнтації на внутрішній і зовнішній ринки. Особливого значення набуває використання побічної продукції виробництва біоетанолу та біодизеля, що дає змогу підвищити економічну ефективність функціонування біорефінерій і забезпечити безвідходний характер виробництва.

Зметою узагальнення ключових напрямів стратегічного розвитку виробництва біопалив, їхніх економічних переваг і екологічних ефектів у табл. 7 систематизовано найбільш перспективні напрями впровадження біопаливних технологій у діяльності підприємств АПК.

Наведені в табл. 6 стратегічні напрями демонструють, що виробництво біопалив є одним із найбільш універсальних способів використання органічної біомаси. Найбільший економічний ефект досягається за умови комплексної переробки різних видів агробіомаси з одночасним виробництвом біогазу, біометану, біоетанолу, біодизеля, теплової та електричної енергії, а також цінної су-

Таблиця 7

Стратегічні напрями розвитку виробництва біопалив у підприємствах АПК

Напрям стратегічного розвитку	Основна характеристика	Очікуваний економічний ефект	Екологічний ефект
Будівництво біогазових комплексів на тваринницьких фермах	Переробка гною та органічних відходів	Скорочення витрат на енергоносії, додатковий прибуток від реалізації електроенергії	Скорочення викидів метану, ефективне поводження з відходами
Виробництво біометану	Очищення біогазу до якості природного газу	Вихід на ринок газового палива та експорт до країн ЄС	Заміщення викопного природного газу, зниження викидів CO_2
Розвиток виробництва біоетанолу	Переробка зернових культур, цукрових буряків, меляси та лігноцелюлозної біомаси	Диверсифікація ринку біопалив, збільшення доданої вартості сільськогосподарської продукції, розвиток експорту	Скорочення споживання бензину, зменшення викидів парникових газів, комплексне використання агробіомаси
Розвиток виробництва біодизеля	Переробка насіння ріпаку, соняшнику, сої та відпрацьованих рослинних олій	Зростання доходів від переробки олійних культур, імпортозаміщення дизельного пального	Скорочення використання викопного дизельного палива, зниження викидів CO_2 та сірковмісних сполук
Комплексна переробка відходів рослинництва та харчової промисловості	Використання жому, барди, меляси, овочевих відходів	Додаткові доходи від переробки відходів, зменшення витрат на їх утилізацію	Скорочення екологічного навантаження та обсягів захоронення відходів
Інтеграція біогазових установок із системами енергозабезпечення підприємства	Забезпечення власних потреб у тепловій та електричній енергії	Зменшення собівартості продукції, підвищення енергетичної автономності	Скорочення використання викопних енергоносіїв
Створення інтегрованих біорефінерій	Комплексне виробництво біогазу, біометану, біоетанолу, біодизеля та супутньої продукції з різних видів агробіомаси	Максимізація доданої вартості, диверсифікація джерел доходів, підвищення конкурентоспроможності підприємств	Комплексне використання біомаси, мінімізація відходів, розвиток циркулярної біоекономіки

Джерело: розроблено авторами.

путньої продукції. Такий підхід сприяє максимальному використанню ресурсного потенціалу біомаси, диверсифікації джерел доходів агропромислових підприємств, підвищенню їхньої енергетичної автономності та конкурентоспроможності. Крім економічних переваг, інтегровані біорефінерії забезпечують комплексне використання сировини, мінімізацію утворення відходів, скорочення викидів парникових газів і формування замкнених циклів використання ресурсів, що повністю відповідають принципам циркулярної біоекономіки та цілям сталого розвитку.

Отже, розвиток виробництва біогазу, біометану, біоетанолу та біодизеля має розглядатися як взаємодоповнювальні напрями єдиної стратегії комплексної переробки агробіомаси. Їхня інтеграція в діяльність підприємств АПК забезпечить підвищення енергетичної незалежності, диверсифікацію джерел доходів, зростання конкурентоспроможності аграрного сектора та сприятиме досягненню цілей сталого розвитку і переходу до циркулярної біоекономіки.

ВИСНОВКИ

Формування комплексної стратегії розвитку біоенергетичних виробництв у підприємствах АПК є одним із ключових факторів підвищення конкурентоспроможності аграрного сектора, зміцнення енергетичної незалежності України та забезпечення переходу до моделі низьковуглецевого розвитку.

Проведений аналіз ресурсної бази засвідчив, що Україна має значний потенціал агробіомаси для виробництва різних видів біопалива. Найбільші обсяги формуються за рахунок побічної продукції рослинництва, зокрема кукурудзи, пшениці, соняшнику та ріпаку, сумарний річний обсяг якої становить десятки мільйонів тонн. Водночас значний енергетичний потенціал мають органічні відходи тваринництва, а також побічна продукція переробної промисловості – жом буряковий, меляса, післяспиртова барда, відходи олійно-жирового виробництва. Незважаючи на негативний вплив воєнних дій, у 2023–2025 роках спостерігається поступове відновлення обсягів утворення окремих видів агробіомаси, що створює передумови для подальшого розвитку біоенергетичного сектора.

Встановлено, що вибір напряму переробки агробіомаси має ґрунтуватися на її фізико-хімічних властивостях, територіальній концентрації, сезонності утворення та економічній доцільності використання. Органічні відходи тваринництва, післяспиртова барда, жом буряковий та інші високовологі субстрати є найбільш ефективною сировиною для виробництва біогазу і біометану, тоді як солома зернових культур, стебла кукурудзи, соняшнику, енергетичні культури та деревна біомаса доцільні для виготовлення твердого біопалива. Насіння ріпаку, соняшнику та сої є основною сировиною для виробництва біодизеля, а цукровмісна і крохмалевмісна сировина – для виробництва біоетанолу. Такий підхід забезпечує максимальний рівень використання біомаси та підвищує ефективність функціонування підприємств АПК.

Запропоновані стратегічні напрями розвитку біоенергетичних виробництв передбачають створення інтегрованих біорефінерій, у яких агробіомаса використовується комплексно з отриманням декількох видів біопалива та супутньої продукції. Реалізація таких підходів сприятиме зменшенню залежності аграрного сектора від викопних енергоносіїв, скороченню обсягів органічних відходів, підвищенню доданої вартості сільськогосподарської продукції та зниженню викидів парникових газів. У довгостроковій перспективі це створить умови для підвищення енергетичної безпеки держави, розвитку циркулярної економіки та зміцнення конкурентних позицій агропромислового комплексу України на європейському ринку. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Кириленко І. Г., Токарчук Д. М. Ефективна організація використання відходів аграрних підприємств у формуванні енергетичної та екологічної безпеки. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2020. № 2 (52). С. 66–83. DOI: https://doi.org/10.37128/2411-4413-2020-2-9
2. Шпичак О. М., Боднар О. В., Пашко С. О. Виробництво біопалива в Україні у контексті оптимального вирішення енергетичної проблеми. *Економіка АПК*. 2019. № 3. С. 13–27. DOI: https://doi.org/10.32317/2221-1055.201903013
3. Паламарчук В. Д., Логоша Р. В., Кричковський В. Ю. Особливості вирощування та продуктивності міскантусу першого року вегетації як високоенергетичної культури. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2025. Вип. 143. Ч. 2. С. 33–42. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.5
4. Гончарук І. В., Томашук І. В. Економічна ефективність енергетичної автономії АПК за рахунок використання біопалив. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2019. № 2 (42). С. 7–19. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2019_2_3

5. Коломієць Т. В. Аналіз європейського досвіду виробництва біогазу з відходів АПК. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 60.
DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-46
6. Директива Європейського парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел : Європейський Союз. URL: http://saee.gov.ua/documents/dyrektyva_2009_28
7. Medipally S. R., Yusoff F. Md., Banerjee S., Shariff M. Microalgae as Sustainable Renewable Energy Feedstock for Biofuel Production. *BioMed Research International*. 2015. March (22).
DOI: http://dx.doi.org/10.1155/2015/519513
8. Di Bartolo A., Infurna G., Tzankova Dintcheva N. A Review of Bioplastics and Their Adoption in the Circular Economy. *Polymers*. 2021.
DOI: https://www.mdpi.com/2073-4360/13/8/1229
9. Guo H., Yan C., Hu L. Editorial: Recent advances in biomass conversion to sustainable chemicals and polymers. *Frontiers in Chemistry*. 2024.
DOI: https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1475162
10. Гонтарук Я., Шевчук Г. Напрями вдосконалення виробництва та переробки продукції АПК на біопаливо. *Економіка та суспільство*. 2022. № 36.
DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-8
11. Желєзна Т. А., Драгнєв С. В., Баштовий А. І. Можливості заготівлі агробіомаси та виробництва біопалив з неї комунальними підприємствами в Україні. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. Т. 41. № 2. С. 88–96.
DOI: https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2019.12
12. Гелетуха Г., Драгнєв С., Кучерук П., Матвєєв Ю. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України. ГО «Агентство з відновлюваної енергетики». URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/01/biofin.pdf
13. Державна служба статистики України. URL: https://stat.gov.ua
14. Гончарук І. В., Панцирева Г. В., Вовк В. Ю. Оцінка біоенергетичного потенціалу АПК для забезпечення енергетичної незалежності галузі. *Проблеми економіки*. 2023. № 3 (57). С. 71–80.
DOI: https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-71-80
15. Паламарчук В. Д., Кричковський В. Ю., Рудська Н. О., Колісник О. М. Новітні технології вирощування овочевих культур та кукурудзи за використання дигестату біогазових станцій : монографія. Вінниця : Друкарня «Друк», 2023. 296 с.
16. Lohosha R., Palamarchuk V., Krychkovskyi V., Belkin I. An advanced European overview of the bioenergy efficiency of using digestate from biogas plants when growing agricultural crops. *Polityka Energetyczna*. 2024. Vol. 27. Iss. 1. P. 5–25.
DOI: https://doi.org/10.33223/epj/170758
17. Білоус-Сергєєва С. Біоекономіка та циркулярна економіка: синергія для забезпечення сталого розвитку. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Економічні науки*. 2024. № 1 (39). С. 141–150.
DOI: https://doi.org/10.31498/2225-6725.1(39).2024.319286
18. Сільське господарство як основа біоекономіки ЄС // Dossier. URL: https://www.dossier.org.ua/news/agriculture-bases-for-bioeconomy
19. Кучерук П. П. ТЕО проєктів з виробництва біогазу/біометану // Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики. 2024. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2024/05/8-Kucheruk-TEO.pdf
20. Коломієць Т. В. Розвиток виробництва біопалива в Україні під час військового стану. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 63.
DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-55
21. Фесіна Ю., Залевський П., Дорош В. Циркулярна економіка як детермінанта сталого розвитку аграрних підприємств. *Економіка та суспільство*. 2026. № 85.
DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-85-184
22. Фурман І., Ксенчин Д. Управління виробництвом біогазу з відходів підприємств АПК та домогосподарств. *Економіка та суспільство*. 2024. № 59.
DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-44
23. Kaletnik G., Pryshliak N., Tokarchuk D. Potential of Production of Energy Crops in Ukraine and Their Processing on Solid Biofuels. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22. Iss. 3. P. 59–70.
DOI: https://doi.org/10.12912/27197050/135447
24. Knight D. R., Goldsworthy M., Smith P. Are biomass feedstocks sustainable? A systematic review of three key sustainability metrics. *GCB Bioenergy*. 2024. Vol. 16. Article e13187.
DOI: https://doi.org/10.1111/gcbb.13187
25. Mignogna D., Szabó M., Ceci P., Avino P. Biomass Energy and Biofuels: Perspective, Potentials, and Challenges in the Energy Transition. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. No. 316. Article 7036.
DOI: https://doi.org/10.3390/su16167036
26. Калетнік Г. М. Перспективність та ефективність виробництва біодизельного палива в Україні з олійних культур. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2019. № 5 (45). С. 7–17. URL: https://efm.vsau.org/storage/articles/December2019/InM94EdgBghJDdmnxNHn.pdf
27. Телекало Н. В., Купчук І. М., Гонтарук Я. В. Ефективність вирощування та переробки озимого ріпаку на біодизель. *Аграрні інновації*. 2022. № 13. С. 149–154.
DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.23

REFERENCES

Bilous-Serhieieva S. (2024). Bioekonomika ta tsyrkuliarna ekonomika: synerhiia dlia zabezpechennia staloho rozvytku [Bioeconomy and circular economy: synergy for sustainable development]. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Seriia: Ekonomichni nauky*, *1 (39)*, 141–150. https://doi.org/10.31498/2225-6725.1(39).2024.319286

Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. https://stat.gov.ua

Di Bartolo A., Infurna G. & Tzankova Dintcheva N. (2021). A Review of Bioplastics and Their Adoption in the Circular Economy. *Polymers*, *8*(13), 1229. https://doi.org/10.3390/polym13081229

Dossier. Silske hospodarstvo yak osnova bioekonomiky YeS [Agriculture as the basis for the EU bioeconomy]. https://www.dossier.org.ua/news/agriculture-bases-for-bioeconomy

Fesina Yu., Zalevskyi P. & Dorosh V. (2026). Tsyrkuliarna ekonomika yak determinanta staloho rozvytku ahrarnykh pidpryiemstv [Circular economy as a determinant of sustainable development of agricultural enterprises]. *Ekonomika ta suspilstvo*, *85*. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-85-184

Furman I. & Ksenchyn D. (2024). Upravlinnia vyrobnytstvom biohazu z vidkhodiv pidpryiemstv APK ta domohospodarstv [Management of biogas production from waste of AIC enterprises and households]. *Ekonomika ta suspilstvo*, *59*. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-44

Guo H., Yan C. & Hu L. (2024). Editorial: Recent advances in biomass conversion to sustainable chemicals and polymers. *Frontiers in Chemistry*, 12. https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1475162

Heletukha H., Drahniev S., Kucheruk P. & Matvieiev Yu. (2018). Praktychnyi posibnyk z vykorystannia biomasy v yakosti palyva u munitsypalnomu sektori Ukrainy [Practical guide on the use of biomass as fuel in the municipal sector of Ukraine]. *HO «Ahentstvo z vidnovliuvanoi enerhetyky»*. https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/01/biofin.pdf

Honcharuk I. V., Pantsyreva H. V. & Vovk V. Yu. (2023). Otsinka bioenerhetychnoho potentsialu APK dlia zabezpechennia enerhetychnoi nezalezhnosti haluzi [Assessment of the bioenergy potential of AIC to ensure the energy independence of the industry]. *Problemy ekonomiky*, *3 (57)*, 71–80. https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-71-80

Honcharuk I. V. & Tomashuk I. V. (2019). Ekonomichna efektyvnist enerhetychnoi avtonomii APK za rakhunok vykorystannia biopalyv [Economic efficiency of energy autonomy of AIC due to the use of biofuels]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, *2 (42)*, 7–19. http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2019_2_3

Hontaruk Ya. & Shevchuk H. (2022). Napriamy vdoskonalennia vyrobnytstva ta pererobky produktsii APK na biopalyvo [Directions for improving the production and processing of AIC products into biofuel]. *Ekonomika ta suspilstvo*, *36*. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-8

Kaletnik H. M. (2019). Perspektyvnist ta efektyvnist vyrobnytstva biodyzelnoho palyva v Ukraini z oliinykh kultur [Prospects and efficiency of biodiesel production in Ukraine from oilseeds]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, *5 (45)*, 7–17. https://efm.vsau.org/storage/articles/December2019/InM94EdgBghJDdmnxNHn.pdf

Kaletnik G., Pryshliak N. & Tokarchuk D. (2021). Potential of Production of Energy Crops in Ukraine and Their Processing on Solid Biofuels. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, *3*(22), 59–70. https://doi.org/10.12912/27197050/135447

Knight D. R., Goldsworthy M. & Smith P. (2024). Are biomass feedstocks sustainable? A systematic review of three key sustainability metrics. *GCB Bioenergy*, 16, Article e13187. https://doi.org/10.1111/gcbb.13187

Kolomiiets T. V. (2024). Analiz yevropeiskoho dosvidu vyrobnytstva biohazu z vidkhodiv APK [Analysis of European experience in biogas production from AIC waste]. *Ekonomika ta suspilstvo*, *60*. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-46

Kolomiiets T. V. (2024). Rozvytok vyrobnytstva biopalyva v Ukraini pid chas viiskovoho stanu [Development of biofuel production in Ukraine during martial law]. *Ekonomika ta suspilstvo*, *63*. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-55

Kucheruk P. P. (2024). TEO proiektiv z vyrobnytstva biohazu/biometanu [Feasibility study of biogas/biomethane production projects]. *Prohrama upravlinnia znanniamy dlia rozvytku staloi bioenerhetyky*. https://uabio.org/wp-content/uploads/2024/05/8-Kucheruk-TEO.pdf

Kyrylenko I. H. & Tokarchuk D. M. (2020). Efektyvna orhanizatsiia vykorystannia vidkhodiv ahrarnykh pidpryiemstv u formuvanni enerhetychnoi ta ekolohichnoi bezpeky [Effective organization of agricultural enterprises' waste use in the formation of energy and environmental security]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, *2 (52)*, 66–83. https://doi.org/10.37128/2411-4413-2020-2-9

Lohosha R., Palamarchuk V., Krychkovskyi V. & Belkin I. (2024). An advanced European overview of the bioenergy efficiency of using digestate from biogas plants when growing agricultural crops. *Polityka Energetyczna*, *1*(27), 5–25. https://doi.org/10.33223/epj/170758

Medipally S. R., Yusoff F. Md., Banerjee S. & Shariff M. (2015). Microalgae as Sustainable Renewable Energy Feedstock for Biofuel Production. *BioMed Research International*, *March (22)*(2015). http://dx.doi.org/10.1155/2015/519513

Mignogna D., Szabó M., Ceci P. & Avino P. (2024). Biomass Energy and Biofuels: Perspective, Potentials,

and Challenges in the Energy Transition. *Sustainability*, *316*(16), Article 7036. https://doi.org/10.3390/su16167036

Palamarchuk V. D., Krychkovskyi V. Yu., Rudska N. O. & Kolisnyk O. M. (2023). *Novitni tekhnolohii vyroshchuvannia ovochevykh kultur ta kukurudzy za vykorystannia dyhestatu biohazovykh stantsii* [Latest technologies for growing vegetable crops and corn using digestate of biogas plants]. Drukarnia «Druk».

Palamarchuk V. D., Lohosha R. V. & Krychkovskyi V. Yu. (2025). Osoblyvosti vyroshchuvannia ta produktyvnosti miskantusu pershoho roku vehetatsii yak vysokoenerhetychnoi kultury [Features of cultivation and productivity of the first year of vegetation miscanthus as a high-energy crop]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Silskohospodarski nauky*, *143. Ch. 2*, 33–42. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.5

Shpychak O. M., Bodnar O. V. & Pashko S. O. (2019). Vyrobnytstvo biopalyva v Ukraini u konteksti optymalnoho vyrishennia enerhetychnoi problemy [Biofuel production in Ukraine in the context of optimal solution of the energy problem]. *Ekonomika APK*, *3*, 13–27. https://doi.org/10.32317/2221-1055.201903013

Telekalo N. V., Kupchuk I. M. & Hontaruk Ya. V. (2022). Efektyvnist vyroshchuvannia ta pererobky ozymoho ripaku na biodyzel [Efficiency of growing and processing winter rapeseed into biodiesel]. *Ahrarni innovatsii*, *13*, 149–154. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.23

Yevropeiskyi Soiuz. (2009, April 23). Dyrektyva Yevropeiskoho parlamentu ta Rady 2009/28/YeS vid 23 kvitnia 2009 roku pro zaokhochennia do vykorystannia enerhii, vyroblenoi z vidnovliuvanykh dzherel [Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources]. http://saee.gov.ua/documents/dyrektyva_2009_28

Zheliezna T. A., Drahniev S. V. & Bashtovyi A. I. (2019). Mozhlyvosti zahotivli ahrobiomasy ta vyrobnytstva biopalyv z nei komunalnymy pidpryiemstvamy v Ukraini [Possibilities of agromass harvesting and biofuel production from it by municipal enterprises in Ukraine]. *Teplofizyka ta teploenerhetyka*, *2*(41), 88–96. https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2019.12

Джерело фінансування: Вінницький національний аграрний університет.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Інструменти ШІ у підготовці цієї роботи не використовувалися.

Стаття надійшла до редакції / Received: 15.07.2026
Статтю прийнято до публікації / Accepted: 01.08.2026
Оприлюднено / Published: 08.10.2026