

УДК 338.432:620.952
 JEL: O13; P18; P48; Q18; Q57; R11
 DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-5-98-112>

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ АГРОБІОМАСИ В НАПРЯМКУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ АПК

©2023 ПАЛАМАРЕНКО Я. В., ЧІКОВ І. А.

УДК 338.432:620.952
 JEL: O13; P18; P48; Q18; Q57; R11

Паламаренко Я. В., Чіков І. А. Дослідження перспектив використання агробіомаси в напрямку забезпечення екологічної та енергетичної незалежності підприємств АПК

У статті проведено дослідження, що вказує на важливість біоенергетики як одного з основних напрямів відновлюваної енергетики. Біоенергетика займає провідну позицію на світовому ринку та відіграє значну роль у заміщенні викопних палив і зменшенні викидів парникових газів. Біоенергетика, зокрема використання агробіомаси, має великий потенціал в Україні для виробництва енергії. Однак наразі розвиток біоенергетики в країні відстає від європейського рівня. Для того, щоб сприяти розвитку цієї галузі, необхідно використовувати доступні ресурси агробіомаси та впроваджувати сучасні технології виробництва енергії. Також визначено, що для розвитку біоенергетики в Україні важливо створити сприятливе законодавче середовище та інфраструктуру. Необхідно залучати інвестиції в галузь, підтримувати дослідження та розвиток нових технологій, а також навчати фахівців, які зможуть ефективно впроваджувати біоенергетичні проекти. У рамках дослідження виявлено, що одним зі способів використання агробіомаси для виробництва енергії є вирощування енергетичних культур, таких як солома, стебла кукурудзи та соняшнику, кукурудзяний силос, органічні складові побутових відходів, осад стічних вод і відходи тваринницьких підприємств. Для оптимального використання агробіомаси необхідно враховувати екологічні та соціально-економічні аспекти, забезпечувати сталість поставок сировини та розробляти ефективні технології виробництва. У роботі наведено дані щодо споживання відновлюваної теплої енергії в Україні протягом 2007–2024 рр. Описано різні види та методи виробництва енергії з агробіомаси, а також наведено класифікацію технологій поетапного перетворення агробіомаси на енергетичні продукти. Також у роботі розглянуто методичку економічної ефективності використання відходів для виробництва біопалива порівняно з їх традиційним використанням на рівні держави. Висвітлено переваги та недоліки енергетичного використання агробіомаси, а також розглянуто різні види виробництва біопалива та використовувані для цього сировина.

Ключові слова: агробіомаса, біоенергетика, відходи, сільське господарство, переробка, біопаливо.

Рис.: 5. **Табл.:** 2. **Бібл.:** 29.

Паламаренко Яна Вікторівна – кандидат економічних наук, доцент, старший викладач кафедри економіки та підприємницької діяльності, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, Вінниця, 21008, Україна)

E-mail: yannetlamar.sun@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9972-4313>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/M-1738-2018>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57224954956>

Чіков Ілля Анатолійович – доктор філософії з економіки, старший викладач кафедри комп'ютерних наук та економічної кібернетики, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, Вінниця, 21008, Україна)

E-mail: ilya95chikov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2128-5506>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/T-3922-2018>

UDC 338.432:620.952

JEL: O13; P18; P48; Q18; Q57; R11

Palamarenko Ya. V., Chikov I. A. A Study on Prospects for the Use of Agrobiomass in the Direction of Ensuring Environmental and Energy Independence of Agricultural Enterprises

The article conducts a study indicating the importance of bioenergy as one of the main directions of renewable energy. Bioenergy occupies a leading position in the global market and plays a significant role in replacing fossil fuels and reducing greenhouse gas emissions. Bioenergy, in particular the use of agrobiomass, has great potential in Ukraine for energy production. However, now the development of bioenergy in the country lags behind the European level. In order to facilitate the development of this industry, it is necessary to use the available agrobiomass resources and introduce modern energy production technologies. It is further defined that for the development of bioenergy in Ukraine it is important to create a favorable legislative environment and infrastructure. It is necessary to attract investment in the industry, support research and development of new technologies, as well as have specialists trained who can effectively implement bioenergy projects. The study revealed that one of the ways to use agrobiomass for energy production is to grow energy crops such as straw, corn and sunflower stalks, corn silage, organic components of household waste, sewage sludge and waste from livestock breeding enterprises. For optimal use of agrobiomass, it is necessary to take into account environmental and socioeconomic aspects, ensure the sustainability of raw material supplies and develop efficient production technologies. The publication provides data on the consumption of renewable heat energy in Ukraine during 2007–2024. Different types and methods of energy production from agrobiomass are described and a classification of technologies for the gradual transformation of agrobiomass into energy products is presented. The publication also considers the methodology of economic efficiency of waste use for biofuel production in comparison with their traditional use at the State level. The advantages and disadvantages of energy use of agrobiomass are highlighted, as well as different types of biofuel production and raw materials used for this purpose are considered.

Keywords: agrobiomass, bioenergy, waste, agriculture, processing, biofuels.

Fig.: 5. **Tabl.:** 2. **Bibl.:** 29.

Palamarenko Yana V. – PhD (Economics), Associate Professor, Senior Lecturer of the Department of Economics and Entrepreneurship, Vinnytsia National Agrarian University (3 Soniachna Str., Vinnytsia, 21008, Ukraine)

E-mail: yannetlamar.sun@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9972-4313>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/M-1738-2018>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57224954956>

Chikov Illia A. – PhD (Economics), Senior Lecturer of the Department of Computer Science and Economic Cybernetics, Vinnytsia National Agrarian University (3 Soniachna Str., Vinnytsia, 21008, Ukraine)

E-mail: ilya95chikov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2128-5506>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/T-3922-2018>

Останні декілька десятиліть світ стикається зі складними проблемами, пов'язаними з екологією та енергетикою. Зміна клімату, зростання використання невідновлюваних джерел енергії та забруднення навколишнього середовища стають глобальними викликами для людства. У такому контексті використання агробіомаси як альтернативного джерела енергії та способу забезпечення екологічної та енергетичної незалежності підприємств агропромислового комплексу набуває великого значення. Агробіомаса, що включає в себе рослинні залишки, деревину, тваринні відходи та інші органічні матеріали, може стати джерелом сталої та відновлюваної енергії, а також зменшити відходи та негативний вплив на навколишнє середовище. Проте досягнення цієї перспективи вимагає серйозних досліджень, впровадження новітніх технологій і спільних зусиль від уряду, наукових установ і підприємств АПК. У даному науковому дослідженні буде проаналізовано потенціал використання агробіомаси для забезпечення екологічної та енергетичної незалежності підприємств АПК, а також будуть запропоновані стратегії впровадження даного напрямку в практику.

Дослідники в Україні та за кордоном демонструють значний інтерес до проблем виробництва та використання біогазу, що отримується з агробіомаси. Особливої уваги заслуговують наукові праці представників наукової школи Вінницького національного аграрного університету. Зокрема, Г. Калетнік, І. Гончарук та Ю. Охота приділяють особливу увагу необхідності розвитку безвідходного виробництва в Україні [1]. Вони розглядають безвідходне виробництво як ефективний інструмент, спрямований на забезпечення енергетичної автономії сільськогосподарських підприємств. Дослідження вказують на значущість цього підходу для забезпечення сталого розвитку аграрного сектора та зменшення відходів виробництва.

І. Гончарук особливу увагу зосереджує на проблемах і перспективах розвитку виробництва біопа-

лива, і, своєю чергою, на підходах до розбудови біоенергетичної галузі й активізації розвитку підприємницької діяльності у виробництві біопалива [2].

Т. Ємчик (Гончарук) у своїх дослідженнях ґрунтовно аналізує сучасні аспекти використання біомаси в Україні та визначає їх переваги та недоліки. Автор ретельно досліджує перспективи використання біомаси й обговорює реалістичні цілі та сценарії її виробництва. Окрім цього, проводить аналіз стану інституційного середовища аграрного сектора України з точки зору підвищення його конкурентоспроможності на європейському та світовому ринках [3].

Наукові дослідження вітчизняних учених демонструють значний прогрес у сфері виробництва біопалива та використання агробіомаси. Результати цих досліджень свідчать про ґрунтовні напрацювання в цих галузях. Однак напрям використання агробіомаси в контексті забезпечення екологічної та енергетичної незалежності підприємств агропромислового комплексу залишається недостатньо дослідженим. Ця сфера вимагає додаткових наукових досліджень, впровадження інноваційних технологій та уваги з боку уряду та бізнесу. Розширення досліджень у цьому напрямку може допомогти виявити нові можливості та поліпшити ефективність використання агробіомаси як джерела енергії. Подальші наукові дослідження дозволять розробити та впровадити оптимальні методи та технології виробництва біопалива з агробіомаси, що сприятиме сталому розвитку та енергетичній незалежності країни.

Основна мета статті полягає в оцінці переваг, обмежень і можливостей використання агробіомаси для виробництва енергії, а також у розробці стратегій і рекомендацій для підприємств аграрного сектора з метою забезпечення їх екологічної й енергетичної незалежності. Цілі передбачають вивчення економічних, екологічних і соціальних аспектів використання агробіомаси, а також аналіз законодавства та регуляторного середовища, що впливають на розвиток цього сектора. Результати дослідження є базисом щодо розуміння потенціалу агробіомаси для забезпечення енергетичних потреб підприємств аграрного сектора та зменшення їх залежності від викопних палив.

Згідно з останніми дослідженнями, до 2050 року наш світ стикнеться з викликом забезпечення

Стаття включає результати досліджень відповідно до НДДКР «Розробка біоорганічних технологій вирощування сільськогосподарських культур для виробництва біопалив і забезпечення енергонезалежності АПК» Вінницького національного аграрного університету (номер державної реєстрації 0123U100311).

населення достатньою кількістю енергії та гострою проблемою щодо збереження природних ресурсів. За оцінками, до цього часу на планеті проживатиме більше 9 млрд людей, а до кінця століття ця цифра збільшиться ще на 1–2 млрд. У зв'язку з цим виникає потреба в пошуку нових джерел енергії, які були б екологічно чистими та забезпечували енергетичну незалежність підприємств, зокрема в сільському господарстві. Зважаючи на зростання населення на земній кулі та вичерпання викопних видів палива, використання відновлюваних джерел енергії є пріоритетним питанням сьогодення в контексті забезпечення екологічної й енергетичної незалежності підприємств АПК.

Одним із перспективних напрямків є використання агробіомаси, яка є відновлювальним джерелом енергії та може забезпечити енергетичну незалежність підприємств аграрного сектора. Використання агробіомаси може стати важливим чинником для забезпечення екологічної та енергетичної незалежності підприємств аграрного сектора. Крім того, використання агробіомаси може стати економічно вигідним для підприємств, що займаються виробництвом сільськогосподарської продукції, забезпечуючи їм додаткові джерела доходу та сприяючи зменшенню відходів від сільськогосподарської діяльності. Проте для реалізації потенціалу агробіомаси необхідні додаткові наукові дослідження у сфері біоенергетики та розвиток відповідної інфраструктури. Таким чином, дослідження можливостей використання агробіомаси має велике значення для забезпечення екологічної й енергетичної незалежності різних галузей економіки. Результати дослідження можуть бути корисними для формування державної політики в галузі енергетики та забезпечення сталого розвитку аграрного сектора. Також вони можуть сприяти розвитку технологій виробництва та використання агробіомаси.

Україна, як і багато інших країн, стикається зі складними економічними й екологічними викликами. Українська економіка залишається залежною від імпорту енергоресурсів та знаходиться під впливом світових економічних і політичних турбулентностей. Крім того, промисловість України зберігає ознаки структурної кризи та значної енергозалежності.

Розвиток промисловості є важливим фактором для підвищення економічного потенціалу країни та її конкурентоспроможності на міжнародному ринку. Промислові підприємства відіграють ключову роль у забезпеченні зайнятості та збільшенні доходів населення, а також в утриманні соціальних програм і розвитку інфраструктури.

Енергетична залежність держави впливає на зовнішню політику та торгівлю, знижуючи її економічний потенціал [4]. Нестача власної сировинної бази енергоресурсів стає серйозним обмеженням

для економічного розвитку країни, тому що змушує її купувати енергоресурси на зовнішньому ринку. Це не тільки підвищує вартість продукції, але й робить її менш конкурентоспроможною на міжнародному ринку. Крім того, висока залежність від імпорту енергоресурсів може стати причиною енергетичної кризи в разі коливань цін або геополітичних конфліктів.

Тому для забезпечення стійкого економічного розвитку країни необхідно забезпечувати наявність власної сировинної бази енергоресурсів та розвивати відповідні галузі промисловості. Це дозволить підвищити конкурентоспроможність продукції та збільшити ступінь економічної незалежності країни, а також знизити ризик енергетичної кризи та поліпшити зовнішню політику та торгівлю.

З кожним роком людуство відчуває все більший тиск на енергетичні ресурси. Зростання населення та розвиток економіки зумовлює збільшення попиту на енергію, тоді як запаси викопних видів палива постійно зменшуються. Це призводить до збільшення залежності від імпорту енергетичних ресурсів та загострення проблем екології, пов'язаних з викидами в атмосферу шкідливих речовин. Відповідно, використання відновлюваних джерел енергії стає найбільш ефективним і перспективним шляхом для забезпечення енергетичних потреб людства.

Таким чином, використання біопалива дасть змогу вирішити низку стратегічно важливих державних завдань, таких як: зменшення забруднення навколишнього середовища; енергетична безпека та незалежність від імпортованих енергоресурсів; розвиток сільськогосподарської продукції та, відповідно, попиту на неї; створення нових робочих місць, а також збільшення фінансових надходжень у бюджет країни [5]. Проте наразі важливим залишається аналіз та оцінювання еколого-економічної ефективності як інтегрального показника діяльності в умовах переходу до сталого розвитку, де найкращим варіантом буде використання відновлюваних джерел енергії [6].

Сьогодні біоенергетика складає приблизно десяту частину загального обсягу первинної енергії у світі. Вона залишається найбільшим відновлювальним джерелом тепла і, згідно з прогнозами, зросте на 12% (1,7 ЕДж) у період 2019–2024 рр. Однак, на жаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні істотно відстають від європейських – близько 11% первинної енергії постачається за рахунок біоенергетики, що складає 65% загального внеску всіх відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [7]. Тоді як, за даними Міністерства енергетики та захисту довкілля України, у 2020 р. біоенергетика складала лише 2,7% від загального обсягу виробництва електроенергії в країні. Для вирішення проблем галузі необхідно здійснити зміни в багатьох сферах: політичній, економічній і соціальній. Власне, розвиток біоенергетики в Україні по-

требує значних інвестицій. Окрім цього, необхідно щоб розроблялися інституційні механізми сприяння збільшенню виробництва біоенергії та створенню сприятливих умов для розвитку цієї галузі.

У 2018 р. стан розвитку біоенергетики, переважно у промисловості та житловому секторі, становив понад 2/3 світового споживання відновлюваного тепла. Прогнозується, що біоенергетика сприятиме збільшенню обсягу використання відновлюваної теплової енергії, з прогнозованим зростанням на 12% протягом 2019–2024 рр. Зокрема, більше 2/3 цього зростання очікується у промисловому секторі. Внаслідок цього світове виробництво біопалива у 2018 р. зросло на 10 млрд л, досягнувши рекордних 154 млрд л, або 7% річного приросту. Це удвічі більше, ніж у 2017 р. і є найвищим приростом за п'ять років. Очікується, що виробництво збільшиться на 25% до 2024 р., за рахунок зростання ринків біопалива в Бразилії, США та особливо в Китаї [8]. Окрім цього, згідно з даними Міжнародної енергетичної агенції (МЕА), у 2021 р. біоенергетика займає 10% усього світового енергетичного ринку, що є досить значною цифрою та свідчить про величезний потенціал розвитку цієї галузі.

Вважається, що виробництво біопалива в найближчі роки буде максимально вигідним для української економіки. Виготовлення готового продукту є набагато вигіднішим для України, ніж експорт сировини, в основному в Польщу та Німеччину [5]. Протягом останніх 20 років постачання первинної енергії з біомаси та біопалив у світі збільшилося на 1/3 і становить близько 10% загального постачання первинної енергії (ЗППЕ), або майже 70% ЗППЕ з відновлюваних джерел.

Відомо, що біопаливо – це паливо, отримане з відновлюваних джерел енергії, таких як агробіомаса, лісові відходи та відходи промисловості. Агробіомаса, своєю чергою, – це біомаса, отримана із сільськогосподарських відходів, таких як солома, кореневища, відходи зернових культур тощо. У цьому контексті зауважимо, що агробіомаса є одним із перспективних джерел відновлювальної енергії, що може бути отримано з відходів сільськогосподарської продукції, таких як солома, рослинні відходи та інші рослинні матеріали. Україна, з великим обсягом вирощування зернових культур та інших рослин, має значний потенціал для використання твердої біомаси як джерела енергії. Використання агробіомаси в енергетичних процесах сприяє зменшенню викидів шкідливих газів, таких як вуглекислий газ і сірководень, які призводять до парникового ефекту та забруднення атмосфери. Крім того, агробіомаса може бути використана для отримання біопалива, яке є відновлюваною альтернативою викопних палив. Це сприяє зниженню залежності від імпорту традиційних енергетичних ресурсів та забезпечує більшу енергетичну незалежність країни.

Зростання зацікавленості у використанні агробіомаси відкриває широкі можливості для заміщення традиційних вуглеводневих палив, таких як нафта та природний газ, більш сталими та екологічно безпечними джерелами енергії. Розвиток сектора агробіомаси в енергетиці має позитивний вплив на економіку, забезпечуючи нові робочі місця та стимулюючи розвиток сільського господарства. Крім того, використання агробіомаси сприяє оптимізації утилізації сільськогосподарських відходів та використанню земельних ресурсів для вирощування енергетичних культур.

Україна має значний потенціал для використання твердої біомаси, зібраної зі зернових культур і рослинних відходів, як джерела енергії. Щорічно збирається близько 50 млн т зернових культур, які можуть бути використані для отримання біопалива. Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал твердої біомаси в Україні становить 18 млн т нафтового еквіваленту і дозволяє щорічно заощаджувати близько 22 млрд м³ природного газу.

Агробіомаса, яка є одним із видів енергетичної біомаси, відіграє важливу роль у виробництві енергії та нових видів палив. За походженням агробіомасу можна поділити на три типи: тваринного походження, рослинного походження та мікробного походження. Кожен із цих типів має свої особливості та потенціал для використання в енергетичних процесах (рис. 1).

Так, джерелом для отримання біогазу можуть служити найрізноманітніші види біомаси рослинного та тваринного походження. Біомаса тваринного походження – це все, з чого складаються та що виділяють у процесі життєдіяльності тварини. Біогаз можна отримувати з їх екскрементів, крові та з будь-яких частин тіла. При цьому, органічна складова стічних вод усіляких очисних споруд може мати як тваринне, так і рослинне походження, залежно від їх початкового джерела. Так само, як і похована в товщі полігонів побутових відходів органічна біомаса, яка служить джерелом різновиду біогазу – звалищного газу.

Біомаса рослинного походження утворюється з органічних матеріалів рослин. Ці органічні матеріали включають стебла, листя, гілки, корені, а також рослинні залишки та відходи, що утворюються під час розкладання рослинного матеріалу. Біомаса рослинного походження є цінним джерелом відновлюваної енергії, оскільки може бути використана для виробництва біопалива, біогазу, тепла та електроенергії. Використання біомаси сприяє зменшенню залежності від вичерпних природних ресурсів, а також зниженню негативного впливу на довкілля шляхом заміщення викопних палив і зниження викидів шкідливих речовин у атмосферу.

Виробництво біопалива третього покоління, яке базується на використанні біомаси водоростей, є ще одним важливим аспектом, на який слід звер-



Рис. 1. Види енергетичної біомаси

Джерело: авторська розробка.

нути увагу. Використання біомаси водоростей у процесі виробництва біопалива третього покоління має значний потенціал і привабливі переваги. Цей підхід дозволяє ефективно використовувати ресурси водоростей, які є джерелом масел, протеїнів, вуглеводів і можуть бути використані для виробництва різноманітних енергетичних продуктів. Зокрема, використання водоростей як сировини для біопалива третього покоління є перспективним з точки зору великого обсягу виходу продукту, швидкого росту водоростей та економічної доцільності. Потенціал водоростей у перетворенні сонячної енергії та вуглекислого газу в біопаливо, високий вміст олії в мікрободоростях, а також їх здатність до росту в різних типах води роблять цей напрямок досліджень перспективним у забезпеченні екологічної й енергетичної незалежності підприємств аграрного сектора [9].

Використання біопалива дозволить знизити залежність викопних ресурсів від навколишнього середовища шкідливих вуглеводнів та скоротити викиди діоксиду вуглецю (CO_2), що є однією з найбільш впливових проблем сучасності. Зростання концентрації CO_2 в атмосфері призводить до зміни клімату, глобального потепління та інших серйозних проблем. У цьому контексті використання біопалива може стати важливим інструментом для зниження викидів CO_2 та зменшення залежності від викопних палив.

Далі наведено динаміку викидів CO_2 на людину, де загалом спостерігаються деякі поліпшення в контексті «портрета» екологічного стану середовища, однак наявність надзвичайно великих викидів CO_2 , що перевищують допустиму норму на людину в рік, не дає підстав для оптимізму щодо стану довкілля (рис. 2).

Варто зауважити, що «нормальним» рівнем обсягу викидів CO_2 можна вважати показник на рівні 2,7 т на людину на рік [11]. Цей показник був обчислений Університетом природних ресурсів і наук про життя у Відні. Згідно з результатами, дотримання цілі з викидів 2,7 т CO_2 на душу населення щорічно дозволило би обмежити глобальне потепління до 2 °C до 2050 р. Це є одним із ключових етапів боротьби зі зміною клімату, оскільки зменшення викидів CO_2 є найбільш ефективним способом зниження впливу людської діяльності на кліматичні зміни.

Таким чином, біопаливо може стати важливим інструментом у зниженні викидів вуглецю та інших шкідливих газів у повітря. Використання біопалива дозволяє зменшити залежність від викопних ресурсів та вуглеводнів, що сприяє скороченню викидів CO_2 . Оскільки рослинні матеріали, що використовуються для виробництва біопалива, поглинають CO_2 з повітря в процесі росту, то їх використання як палива може допомогти в боротьбі зі зміною клімату.

Розрізняють декілька видів біопалива, таких як тверде, рідке, газоподібне біопаливо та інші вторинні відходи. Кожен вид біопалива має свої переваги та недоліки, тому важливо розглядати кожен вид окремо та здійснювати раціональний підбір залежно від специфіки виробництва та енергетичних потреб:

- 1) *тверде біопаливо*: з деревних матеріалів – деревина, тріска, тирса, кора дерев; брикети, гранули; біомаса; відходи життєдіяльності людини та відходи виробництва;
- 2) *рідке біопаливо*: біодизель з рослинних жирів; біоетанол із рослинних крохмалів і цукрів; метанол; біобутанол;

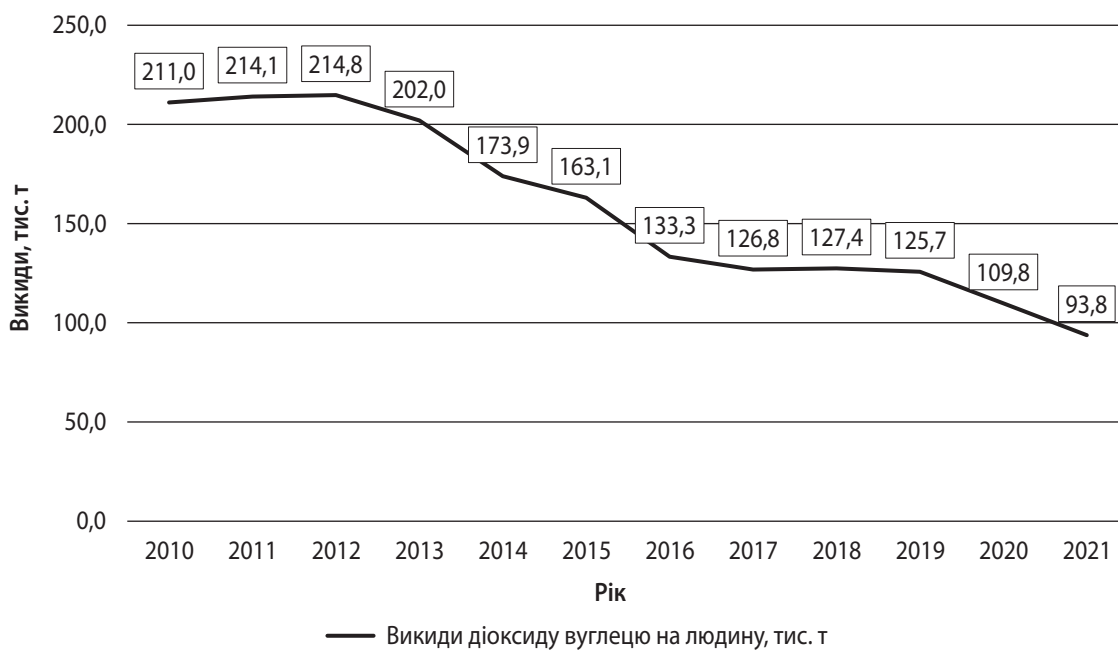


Рис. 2. Динаміка викидів CO₂ на людину в Україні, тис. т, 2010–2021 рр.

Джерело: розраховано та побудовано авторами на основі даних [10].

- 3) *газоподібне біопаливо*: біогаз, біоводень, метан;
- 4) *інші вторинні відходи*: муніципальні та промислові.

За результатами аналізу наукових джерел було виявлено, що біогаз утворюється шляхом анаеробної ферментації органічних відходів, які включають в себе тваринні та людські відходи. Наприклад, цей процес може відбуватися за допомогою бактерій при переробці органічних матеріалів, що виробляються в сільськогосподарській діяльності, таких як птахоферми, свиноферми, корівники, рибні цехи, млини, молокозаводи та інші. Окрім виробництва біогазу, такий процес також дає можливість отримувати екологічно чисті добрива [12].

Нами було проведено дослідження виходу біогазу із сумішевого субстрату: гній свиней з додаванням кукурудзяного силосу. Дослідження проводилися на базі діючої біогазової установки, що з 2014 р. функціонує на одному з підприємств Вінницької області, яке займається вирощуванням свиней (рис. 3).

Підприємство використовувало для виробництва біогазу лише гній свиней. Принцип роботи даної біогазової установки дуже простий. Зі свинарників рідкий гній стікає в центральну трубу, після чого потрапляє в накопичувач і звідти – у біогазовий реактор. Об'єм накопичувача становить 80 м³. Далі за допомогою насоса, що обладнаний перемішувачем, субстрат подається до біогазового реактора. Свіжий субстрат подається до біогазового реактора 6 днів на тиждень в об'ємі 50–70 м³. Об'єм біогазового реакто-

ра становить 600 м³. При цьому біогазова установка здатна продукувати щодня 500–600 м³ біогазу [13].

Біогаз з полігонів поховання твердих побутових відходів – перспективне джерело тепла та електроенергії. Одна тонна такого біопалива дає від 100 до 200 м³ біологічного газу. Метан складає до 60% його вмісту.

Україна, згідно з останніми дослідженнями, має значний потенціал біомаси та органічних відходів для виробництва енергії [3]. Використання біомаси є одним із найбільш перспективних способів отримання енергії. Зокрема, відходи сільськогосподарського виробництва, такі як солома, стебла кукурудзи та соняшнику, мають великий потенціал для виробництва біопалива. Використання цих відходів забезпечує зменшення кількості відходів на полі, а також зниження залежності від імпортованих енергетичних ресурсів. Крім того, відходи сільськогосподарського виробництва є одним із найбільших джерел енергетичної біомаси, що підтверджує високий потенціал їх використання для отримання електроенергії та тепла. Такі відходи не лише знижують викиди шкідливих речовин, але також допомагають зменшити негативний вплив на довкілля.

Цінним джерелом сировини для виробництва біоетанолу та біогазу є цукроносні та крохмаленосні культури (цукрові та кормові буряки, цукрове та зернове сорго тощо). Найбільш ефективною традиційною для України цукроносною культурою для виробництва біоетанолу є цукрові буряки, з одного гектара яких (за урожайності 60 т/га) можна отримати понад 4,3 т біоетанолу. Не менш ефективною та перспектив-



(а) Біогазовий реактор



(б) Лагуна

Рис. 3. Біогазова установка – база проведення досліджень: біогазовий реактор (а); лагуна (б)

Джерело: сформовано авторами на основі опрацьованої літератури.

ною культурою в умовах України для виробництва біоетанолу та біогазу є цукрове та зернове сорго, яке, на відміну від цукрових буряків, можна вирощувати в південних посушливих регіонах України. З одного гектара посівів цукрового сорго можна збирати понад 100 т/га цукромісткої біомаси з цукристістю соку до 20% [14].

Виробництво біопалива завжди залишається в полі зору науковців та викликає дискусії між його прихильниками та противниками. Позитивними сторонами виробництва біопалива є зменшення енергетичної залежності, створення нових робочих місць, поліпшення екології тощо. Проте використання сировини першого покоління для виробництва біопалива викликає супротив громадських організацій та державних інститутів ряду країн, вмотивований можливою конкуренцією між продовольством і паливом та негативним впливом на продовольчу безпеку країн [15].

Ринок виробництва енергії з біопалива є новим сектором економічної діяльності, що створює нові робочі місця, сприяє зростанню регіонального валового продукту та загальному «озелененню» економіки. Використання біопалива зменшує кількість відходів та сміття в містах, а у випадку використання біогазу – приводить до утилізації небезпечних відходів з полігонів ТПВ, що сприяє очищенню засмічених територій, поверненню біорізноманіття, загальному поліпшенню екології [16]. Основними чинниками збільшення виробництва рідких видів біопалива є ціновий (в останнє десятиліття відбулося значне зростання світових цін на нафту і нафтопродукти) та екологічний (рідке біопаливо, навіть у разі використання його як добавки до звичайного бензину та дизельного палива, має очевидні екологічні переваги порівняно з традиційними видами палива; привабливі екологічні характеристики рідкого біопалива є основою для

державної підтримки його виробництва та використання навіть в умовах низьких цін на нафтопродукти і біологічну сировину) (рис. 4).

Розвиток економіки виробництва біопалива дійсно може бути віднесений до галузевої, або вертикальної, економіки, що означає, що вона фокусується на конкретній галузі виробництва. Економіка біопалива залежить від факторів, пов'язаних з аграрним сектором, промисловістю, технологіями вирощування та переробки біомаси, а також ринковими умовами та регулюванням.

Великою мірою розвиток цієї галузі ґрунтується на практичних аспектах, таких як вирощування біомаси, її збір, переробка та виробництво біопалива. Галузеві економічні чинники, такі як вартість сировини, витрати на технології, дослідження та розвиток, а також внутрішні та зовнішні ринкові умови мають суттєвий вплив на ефективність і прибутковість виробництва біопалива.

Потенціал виробництва біопалива на сільськогосподарському підприємстві доречно встановити виходячи із потреби в ньому. Відповідно до потреб слід розрахувати економічний потенціал виробництва біопалива з агробіомаси та, за необхідності, спланувати структуру посівних площ, забезпечивши відповідну площу вирощування енергетичних культур. Потреби в біопаливі можна визначити виходячи із питомих витрат відповідних видів палива на окремі види робіт в аграрному виробництві [6].

При оцінці потенціалу варто враховувати декілька факторів: *по-перше*, необхідно визначити обсяг сировини, яка доступна на сільськогосподарському підприємстві для виробництва біопалива. Це можуть бути різноманітні біомаса, включно з рослинними залишками, тваринними відходами або іншими відновлюваними ресурси. *По-друге*, слід враховувати технологічні можливості та інфраструктуру підпри-

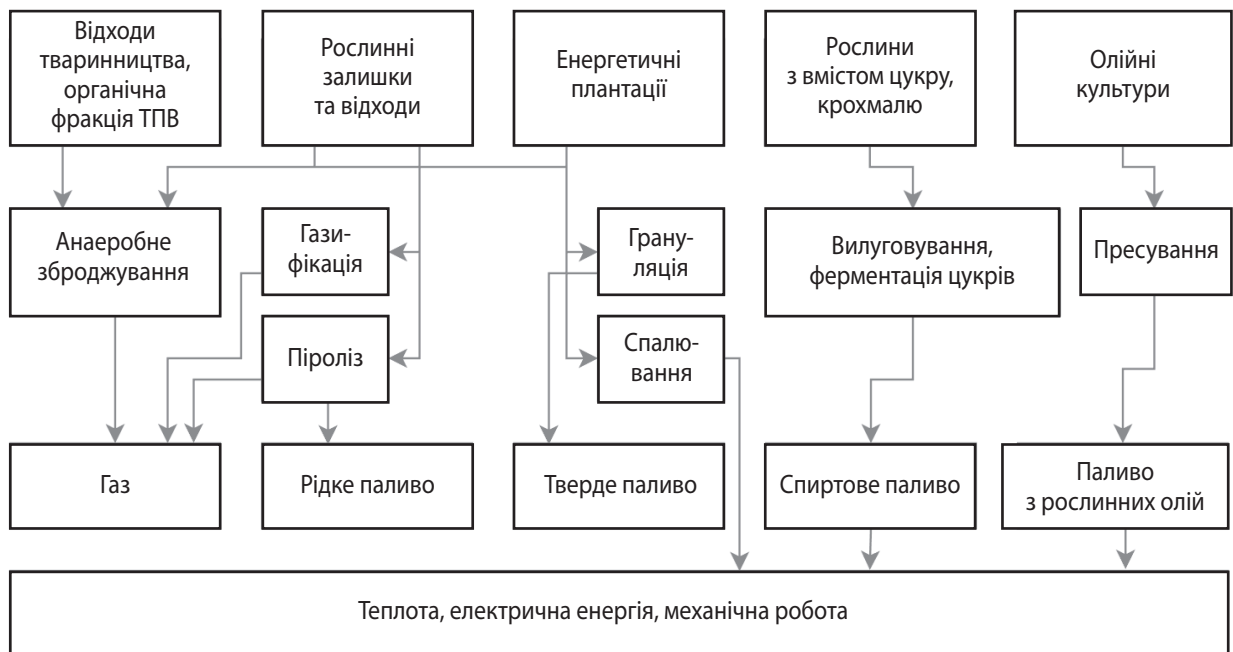


Рис. 4. Види біомаси та способи виробництва енергії з біомаси

Джерело: сформовано авторами на основі [5].

емства. Наявність необхідного обладнання та вміння виробляти біопаливо також впливають на потенціал виробництва. *По-третє*, слід враховувати економічну доцільність виробництва біопалива. Оцінка витрат та можливостей отримання прибутку є важливими критеріями для прийняття рішення про виробництво біопалива на сільськогосподарському підприємстві.

Крім того, важливим фактором є попит на біопаливо. Якщо на ринку є стабільний і зростаючий попит на цей вид енергії, це може стимулювати сільськогосподарське підприємство до розширення виробництва біопалива.

Метод економічної ефективності використання відходів на виробництво біопалива порівняно з їх традиційним використанням на рівні держави передбачає п'ять етапів (рис. 5).

Однією з головних переваг енергетичного використання агробіомаси є її мультиваріантність як за технологіями перетворення енергії, так і за способами її кінцевого використання. Біомасу можна використовувати в енергетичних цілях шляхом безпосереднього спалювання (деревна тріска, тюки соломи, гранули, брикети), а також у переробленому вигляді рідких (ефіри ріпакової олії, спирти, рідкі продукти піролізу) або газоподібних біопалив (біогаз із відходів сільського господарства та рослинництва, осадів стічних вод, органічної частини твердих побутових відходів, продукти газифікації твердих палив).

Біомаса та біопалива можуть використовуватись як альтернатива викопним паливам у виробництві тепла, електроенергії та транспорті [17]. Це має декілька переваг:

- 1) *використання відновлюваних джерел енергії*. Біологічні матеріали, що використовуються в біомасі, є відновлюваними ресурсами, які можуть бути вирощені або відновлені;
- 2) *зменшення викидів вуглецю*. Використання біоенергетики може зменшити залежність від використання вугілля та нафти, сприяючи зниженню викидів парникових газів;
- 3) *розвиток сільського господарства*. Використання біомаси може сприяти розвитку сільського господарства, особливо в країнах з розвинутим аграрним сектором.

Однак існують також певні *недоліки*:

- 1) витрати та складнощі зі збиранням і переробкою біомаси, особливо при транспортуванні на великі відстані;
- 2) конкуренція з продукцією харчової промисловості за використання землі та інших ресурсів;
- 3) виробництво деяких видів біопалива може призвести до зменшення біорізноманіття та забруднення водних ресурсів, якщо не будуть вжиті відповідні заходи для управління відходами й охорони навколишнього середовища.

Як зазначалося вище, темпи розвитку біоенергетики в Україні істотно відстають від європейських. Розвиток біоенергетики в Україні поряд із вирішенням питань економічної безпеки та економічної незалежності сприятиме підвищенню екологічної безпеки та зменшенню негативного впливу на навколишнє природне середовище [18].

Один із основних законодавчих актів у цій сфері – Закон України «Про відновлювану енерге-

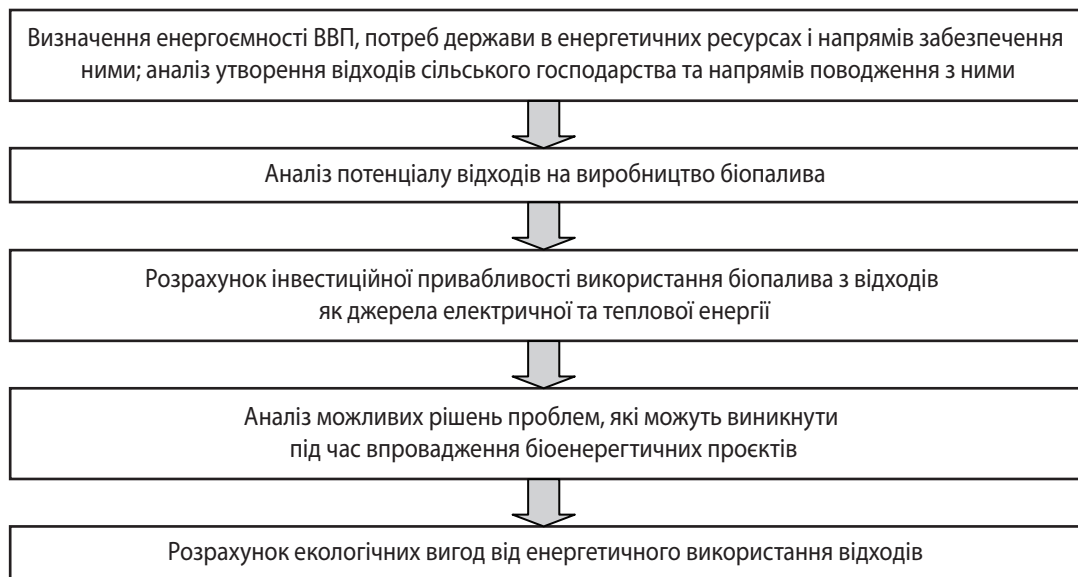


Рис. 5. Основні етапи та характеристика методу економічної ефективності використання відходів на виробництво біопалива на рівні держави [13]

тику», прийнятий у 2015 р. Цей закон містить низку положень, що стосуються використання біомаси в біоенергетиці, зокрема визначає порядок створення відповідних виробництв та їх регулювання. У законі вказано, що біомаса – 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 [18].

Також важливими нормативно-правовими актами є: Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива», який був прийнятий у 2009 р. Цей закон встановлює правила та стандарти для виробництва біопалива з використанням біомаси, а також забезпечує його дотримання [19]; Закон України «Про альтернативні джерела енергії», прийнятий у 2003 р., який також містить положення, що стосуються використання біомаси для виробництва енергії [20].

Окремої уваги заслуговує питання виробництва біометану. Україна має значний потенціал для виробництва біометану, який можна отримати з різних видів органічних відходів, таких як соломка, стебла кукурудзи та соняшнику, кукурудзяний силос, органічні складові побутових відходів, осад стічних вод і відходи тваринницьких підприємств. За даними Біоенергетичної асоціації України, потенційно в країні є можливість виробляти до 10 млрд м³ біометану на рік. Це дозволить зменшити залежність від імпорту палива, щорічний обсяг якого

в середньому становить від 9 до 10 млрд м³, а також знизити викиди парникових газів [3].

Україна розвиває ринок біометану, який може значно сприяти енергетичній незалежності країни. За останні 5 років кількість біогазових установок в Україні збільшилась у 3 рази – з 21 одиниці у 2017 р. до 60 одиниць у 2021 р. Виробництво біогазу за цей період також зросло – із 45 млн м³ до 267 млн м³. З цієї кількості потенціал біометану складає близько 160 млн м³, який може бути використаний для енергетичних потреб. Розвиток виробництва біометану в Україні обмежений економічними та правовими факторами, які впливають на умови його зростання. Однак у 2021 р. Верховна Рада України ухвалила Закон № 1820-IX «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку виробництва біометану», що може сприяти розвитку цього напрямку в енергетиці [21].

Як зазначають І. Гончарук і В. Вовк, в Україні існують ряд законодавчих перешкод, які обмежують можливості розвитку виробництва біометану. Зокрема, на законодавчому рівні не було затверджено Технічний регламент природного газу, який би дозволяв розширити допустиму частку вмісту кисню (O₂) в біометані. Крім того, не було введено в дію реєстр біометану, який би допоміг забезпечити прозорість походження виробленого палива та дозволив би експортувати його через газотранспортні системи в інші країни [22].

Однак є і передумови для успішного запровадження ринку біометану, які пов'язані з необхідністю диверсифікації джерел постачання енергоресурсів, забезпечення енергетичної незалежності економіки України, заміщення придбання та споживання природного газу з Росії, з підтриманням функцій газотранспортної системи України та внеску

в зобов'язання України зі скорочення викидів парникових газів. Також важливо враховувати економічну доцільність заміщення викопних видів енергоресурсів біометаном при високій ціні на природний газ і наявність розвиненої газорозподільчої та газотранспортної систем з можливістю накопичення газу в підземних сховищах. Економічно вигідно це буде і з огляду на наявність значного парку автомобільної техніки, яку можна перевести на споживання біометану, та власного флоту і портів зі значним товаропотоком, які є потенційними споживачами біометану.

У цілому, правова база біоенергетики в Україні має на меті стимулювати розвиток використання відновлюваної енергії з використанням біомаси та забезпечити дотримання відповідних правил і стандартів.

У табл. 1 наведено світові показники виробництва біопалива у 2021 р., його переваги та ризики.

Щодо обґрунтування переваг і ризиків, то з цієї метою було зібрано звіти міжнародних організацій, таких як Міжнародне агентство з відновлювальної енергетики (IRENA), Міжнародне агентство з енергетики (IEA) та організація «Дерев'яна енергетика в Європі» (Bioenergy Europe), які систематично моніторять та аналізують дані із сектора біоенергетики. Попри це, загалом можна стверджувати, що біоенергетика є важливою складовою енергетичного міксу, яка допомагає зменшити залежність від невідновлювальних джерел енергії та знизити викиди парникових газів, сприяє розвитку місцевих економік і створенню нових робочих місць.

За даними Міжнародної агенції з відновлюваної енергії (IRENA), біоенергетика може становити до

60% від загального потенціалу відновлюваної енергії у світі до 2050 р. Біоенергетика може забезпечувати енергію для виробництва електроенергії та тепла, а також може бути використана для виробництва біопалива для транспорту.

Крім того, біоенергетика може бути корисною для розвитку сільського господарства, оскільки вона може допомогти утилізувати сільськогосподарські відходи та забезпечити додатковий прибуток для сільськогосподарських господарств [24].

Експерти UABIO визначили основні заходи, які передбачені Стратегією сталого розвитку енергетики та промисловості України, що стосуються сфери біоенергетики. Короткострокові заходи включають запровадження аукціонної моделі підтримки відновлюваної енергетики. Середньострокові заходи передбачають розвиток «зеленої» енергетики та збільшення використання біомаси в генерації електро- та теплоенергії. Довгострокові заходи включають оптимізацію структури генеруючих потужностей, розвиток логістичної системи для збирання, транспортування та переробки біомаси та стимулювання виробництва енергетичного устаткування в Україні, зокрема для водневої енергетики.

Але важливим є те, що для досягнення цих результатів частка відновлювальних джерел енергії в загальному первинному постачанні енергії має бути на рівні 12% у 2025 р. (табл. 2).

За вказаними в завданні критеріями, у 2025 р. має бути досягнуто загальну частку відновлювальних джерел енергії на рівні 12%. З цієї загальної частки біоенергетика має забезпечити 6,9%, а сонячна та вітрова енергія – 2,4%. Частка гідроенергетики та тер-

Таблиця 1

Переваги та ризики виробництва біопалива

Країна	Обсяг виробництва біопалива (млн т)	Переваги	Ризики
США	26,1	Зменшення залежності від імпорту нафти, збільшення екологічної безпеки, створення нових робочих місць	Коливання цін на сировину, конкуренція з іншими відновлювальними джерелами енергії
Бразилія	18,3	Зменшення залежності від імпорту нафти, збільшення екологічної безпеки, зменшення викидів парникових газів	Відсутність ефективної регулятивної політики, зміни кліматичних умов
Європейський Союз	15,2	Зменшення залежності від імпорту нафти, збільшення екологічної безпеки, сприяння розвитку місцевих економік	Зменшення дотацій на розвиток біопалива, конкуренція з іншими відновлювальними джерелами енергії
Аргентина	2,3	Зменшення залежності від імпорту нафти, збільшення екологічної безпеки, створення нових робочих місць	Відсутність ефективної регулятивної політики, коливання цін на сировину

Джерело: складено на основі [23].

мальної енергії становитимуть по 1,1% від загальної частки відновлювальної енергії.

Таблиця 2

Частка відновлювальних джерел енергії в загальному первинному постачанні енергії на рівні 12% у 2025 р.

Вид енергії	Частка в загальному первинному постачанні енергії, %	Частка відновлювальних джерел енергії, %
Енергія біомаси, відходів та біопалива	6,9	57,5
Сонячна та вітрова енергія	2,4	20,0
Гідроенергетика	1,1	9,2
Термальна енергія	1,1	9,2
Разом	11,5	95,9

Джерело: складено на основі [25].

Таким чином, за даними табл. 2, відновлювальні джерела енергії будуть забезпечувати понад 95% загальної частки, яка має бути досягнута у 2025 р., з біоенергетики припаде близько 57,5%, із сонячної та вітрової енергії – 20%, а гідроенергетика та термальна енергія доповнять решту. Використання відновлювальних джерел енергії допоможе зменшити залежність від невідновлювальних джерел енергії та сприятиме зменшенню викидів парникових газів.

Отже, переробка агробіомаси на біопаливо має великий потенціал для досягнення сталого розвитку, забезпечуючи відновлювану енергію та допомагаючи зменшити негативний вплив на довкілля, а також сприяючи розвитку економіки та сільського господарства.

В Україні є всі передумови для організації широкомасштабного виробництва біопалив, проте їх частка в енергетичному балансі країни залишається незначною. Проблема виробництва та використання біопалив є багатогранною, тому шляхи її вирішення лежать у кількох площинах. *По-перше*, це пошук і створення найефективніших джерел біопалив (переважно рослинних ресурсів). *По-друге*, розроблення сучасних технологій перетворення сировини на потрібні види біопалив, а також використання побічних продуктів. *По-третє*, пошук і опрацювання ефективних технологій отримання енергії, забезпечення економічного та нормативного супроводу використання біопалив [26]. В аграрному секторі економіки України з давніх часів чільне місце посідали зернобобові, олійні культури та цукрові буряки. Вони не лише забезпечували внутрішні потреби, але й формували експортний потенціал країни. Ці сільськогосподарські культури є ефективною сировиною для виробництва біопалив [27].

Майже всі ці рослини, крім сої та пшениці, становлять небезпеку для ґрунту. Біопаливо можна також отримати з ятрофи, олійної пальми, прутівидного проса, цукрової тростини та цукрового сорго. Але ці рослини в Україні не вирощують. Минулого року лідером із виробництва біопалива стали США (36,9 млн т), на другому місці – Бразилія (18,5 млн т), на третьому – Німеччина (3,3 млн т). За 17 років у світі істотно збільшилася кількість виробленого біопалива: у 2000 р. було лише 9,2 млн т, у 2017 р. – уже 84,1 млн т [28].

Незважаючи на складну ситуацію у світі, який почавши оговтуватися після пандемії коронавірусу, зіткнувся з новим викликом – повномасштабним військовим вторгненням Росії в Україну, ринок біопалива, зокрема біодизеля, продовжує розвиватися. Висока волатильність цін на рослинні олії, зниження пропозиції соняшникової олії на світовому ринку після практично повного випадання з нього ключового постачальника (України), інфляція та стурбованість щодо продовольчої безпеки породили безліч суперечок щодо доцільності розвитку біопаливної галузі в умовах, що склалися. Однак мала місце і думка про необхідність подальшого зниження залежності від традиційних видів палива. На даний момент здається, що важливість збереження «зеленого» курсу переважила існуючі побоювання, і світове виробництво біодизеля у 2023 р. може зрости, зокрема в таких ключових країнах, як США, ЄС, Індонезія та Аргентина.

Аналітики також відзначають, що позитивний ефект від підвищення вимог до використання біодизеля в ряді країн Євросоюзу і відновлення після пандемії зіткнувся з високими цінами на паливо через дисбаланс попиту/пропозиції та російське військове вторгнення в Україну.

У 2023 р. аналітики очікують збільшення виробництва біодизеля в США – до 11,1 млн т проти 10,1 млн т у 2022 р. При цьому обсяги споживання соєвої олії у виробництві продукту можуть збільшитися до близько 5–5,1 млн т. У Бразилії обсяги виробництва біодизеля можуть збільшитися до 6,67 (5,53) млн т, але з урахуванням того, що біопаливний мандат буде підвищено з 10% до 15% у квітні поточного року.

Мікробіологічний метод безвідходного виробництва, який базується на анаеробному зброджуванні, є найрозповсюдженішим у світі для отримання біогазу. Одним із цінних результатів цього процесу є високоякісні органічні добрива. У Європі лідером у виробництві біогазу є Німеччина, проте лише 7% з них постачається в газопроводи, а решта використовується на місці виробництва. У майбутньому до 10–20% використовуюваного природного газу в країні може бути замінено біогазом.

За даними Держстату України, у структурі виробництва енергії з відновлюваних джерел у 2019 р.

біоенергетика мала найвагомішу частку – 79,3%. Так, обсяг «загального постачання первинної енергії з біопалива та відходів» становив 3362 тис. т н. е., що еквівалентно заміщенню 4,2 млрд м³ на рік природного газу (понад 13% загального споживання природного газу в Україні).

Перспективи біоенергетики окреслені в «Дорожній карті розвитку біоенергетики до 2050 року та плані дій до 2025 року», розроблених за підтримки програми ЄБРР (табл. 3).

Дана табл. 3 містить прогноз розвитку біоенергетики до 2050 р. в Європі. За цим прогнозом, встановлена потужність біоенергетики в Європі збільшуватиметься з 8 206 МВт_т у 2020 р. до 49 655 МВт_т у 2050 р. Також передбачається зростання споживання біопалива – від 3,77 млн т у 2020 р. до 20,28 млн т у 2050 р.; заміщення природного газу – з 4,34 млрд м³ у 2020 р. до 19,92 млрд м³ у 2050 р.; заміщення бензину та дизпального палива – з 0,17 млн т у 2020 р. до 1,23 млн т у 2050 р. Прогноз також передбачає збільшення інвестицій в біоенергетику – з 1,52–2,52 млрд євро у 2020 р. до 19,7–31,81 млрд євро у 2050 р., та створення нових робочих місць – з 16 900 од. у 2020 р. до 162 700 од. у 2050 р. Крім того, прогноз передбачає скорочення викидів CO₂ – з 8,9 млн т на початку прогнозованого періоду до 54,4 млн т у 2050 р. У цілому, дані табл. 3 передбачають значне зростання розмірів інфраструктури біоенергетики в Європі та збільшення її внеску в забезпечення енергетичної безпеки та зниження викидів парникових газів.

IRENA припускає, що ВДЕ можуть становити 60% і більше від загального обсягу кінцевого споживання енергії багатьох країн. Наприклад, Китай може збільшити частку ВДЕ у споживанні енергії з 7% у 2015 р. до 67% у 2050 р. У ЄС ця частка може зрости від 17% до понад 70%. В Індії та США обсяги енергії з ВДЕ в загальному енергоспоживанні можуть досягти 2/3 і більше. За прогнозами IRENA, біоенергетика відіграватиме ключову роль у реалізації «зеленого» енергетичного переходу та скороченні викидів парникових газів у світі. За оцінками IRENA, частка біомаси в кінцевому споживанні відновлюваної енергії складатиме майже половину у 2030 р. і 40% у 2050 р. [29].

Для досягнення більш ефективних і стабільних біоенергетичних процесів можна впровадити такі заходи:

- 1) оптимізація умов культивування мікроорганізмів, які беруть участь у біоенергетичних процесах, шляхом контролю температури, рН, концентрації глюкози та інших факторів;
- 2) використання ефективних механізмів для збирання й очищення біомаси, що дозволяє зменшити втрати при транспортуванні та зберіганні;
- 3) впровадження інноваційних технологій, таких як ферментаційні технології, газифікація, піроліз, що сприяють збільшенню виробни-

Таблиця 3

Показники дорожньої карти розвитку біоенергетики до 2050 р. [18]

Рік	Встановлена потужність		Споживання біопалива, млн т н. е.	Заміщення природного газу, млрд м ³	Зміщення бензину та дизпального, млн т	Скорочення викидів CO ₂ , млн т/рік	Інвестиції, млрд євро		Створення робочих місць, одиниць
	МВт _т	МВт _{ен}					Мінімум	Максимум	
2020	8 206	202	3,77	4,34	0,17	8,90	1,52	2,52	16 900
2025	12 276	844	5,83	6,35	0,25	14,31	3,73	6,06	31 400
2030	19 087	1 846	8,57	9,11	0,39	21,35	7,07	11,44	54 300
2035	30 237	2 804	12,01	12,62	0,50	30,37	10,78	17,43	86 200
2040	39 338	3 609	15,13	15,77	0,67	38,66	14,15	22,85	115 400
2045	45 351	4 299	17,64	17,98	0,96	45,79	16,94	27,38	139 000
2050	49 655	5 230	20,28	19,92	1,23	54,40	19,70	31,81	162 700

- цтва біогазу, біодизеля та інших видів біопалива;
- 4) модернізація систем контролю та управління біоенергетичними процесами, що дозволяє забезпечити високу якість виробництва та зменшити кількість відходів;
 - 5) розвиток науково-технічного потенціалу в галузі біоенергетики для розробки нових методів та технологій, спрямованих на підвищення ефективності та стабільності біоенергетичних процесів.

ВИСНОВКИ

Економічна й енергетична нестабільність у більшості країн світу зумовлюють перегляд енергетичних стратегій і розробку нових законодавчих і фінансових механізмів розвитку нетрадиційних відновлювальних джерел енергії. У результаті дослідження було встановлено, що біоенергетика має великий потенціал для забезпечення сталого розвитку та зменшення залежності від викопних видів палива. Питання важливості виробництва та споживання біологічних видів палива пов'язані з обмеженістю світових запасів викопних енергетичних ресурсів, а також забрудненням навколишнього середовища внаслідок їх використання. Дослідження показали, що основними факторами, які спонукають світову спільноту до виробництва біологічного палива, є ціновий та екологічний. Найважливішою та найціннішою особливістю біопалива є його відновлюваний характер, що створює можливості для аграрного сектора виступати його виробником і споживачем [27].

В Україні існує необхідність підвищення ефективності управління відходами сільськогосподарських підприємств відповідно до європейських і загальносвітових тенденцій. Перспективним напрямом є використання сільськогосподарських відходів на енергетичні цілі – виробництво біопалива. Отримання біогазу із сільськогосподарських відходів дає можливість частково вирішити низку проблем, що стоять перед АПК країни:

- ✦ *економічну* – збільшення конкурентоздатності аграрної продукції завдяки зменшенню витрат на енергоносії при її виробництві;
- ✦ *енергетичну* – власне виробництво палива, забезпечення енергетичної незалежності аграрних підприємств;
- ✦ *агрохімічну* – отримання екологічно чистих добрив;
- ✦ *екологічну* – утилізація органічних відходів, які завдають шкоди навколишньому середовищу;
- ✦ *фінансову* – зниження витрат на утилізацію органічних відходів і придбання традиційних енергоносіїв;
- ✦ *соціальну* – створення нових робочих місць.

Отже, розвиток переробки агробіомаси для виробництва біопалива є важливим кроком для забезпечення сталого розвитку та зменшення залежності від викопних видів палива. Для підвищення ефективності та стабільності біоенергетичних процесів рекомендується:

- ✦ впровадження оптимізації умов культивування мікроорганізмів;
- ✦ використання ефективних механізмів збирання й очищення біомаси;
- ✦ застосування інноваційних технологій;
- ✦ модернізація систем контролю та управління біоенергетичними процесами;
- ✦ розвиток науково-технічного потенціалу в цій галузі.

Враховуючи потенціал агробіомаси та прийняття відповідних заходів, можна прогнозувати зменшення залежності від викопних палив і позитивний вплив на навколишнє середовище. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Kaletnik G., Honcharuk I., Okhota Yu. The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Vol. 11. Iss. 3. P. 513–522. DOI: [https://doi.org/10.14505//jemt.v11.3\(43\).02](https://doi.org/10.14505//jemt.v11.3(43).02)
2. Гончарук І. В. Розвиток підприємницької діяльності у виробництві біопалива: теоретичний аспект. *Економіка АПК*. 2013. № 6. С. 126–129. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/21099.pdf>
3. Honcharuk T. V. Strategic potential of biomass in Ukraine – guarantee of the state's economic development. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2017. № 8. С. 36–44.
4. Корінчук Д. М. Шляхи підвищення енергоємності біопалива на основі торфу і біомаси. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Хімія, технологія речовин та їх застосування»*. 2013. № 761. С. 162–168. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4319/korinchuk.pdf>
5. Бабина О. М. Роль біоенергетики у розвитку аграрного сектору України. *Причорноморські економічні студії*. 2018. Вип. 30-1. С. 28–32. URL: http://bses.in.ua/journals/2018/30_1_2018/8.pdf
6. Пришляк Н. В. Методичні підходи до визначення еколого-економічної ефективності виробництва біопалив із агробіомаси. *Агросвіт*. 2021. № 12. С. 58–67. DOI: [10.32702/2306-6792.2021.12.58](https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.12.58).
7. Гелетуха Г. Глобальні перспективи біоенергетики. *Економічна правда*. 01.09.2021. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/09/1/677373/>
8. Біоенергетика в світі. *UABIO*. 16.04.2020. URL: <https://uabio.org/bioenergy-in-the-world>
9. Тілова О. О. Водорості як альтернативне джерело енергії. *Холодильна техніка і технологія*. 2015. Т. 51. Вип. 5. С. 47–51. DOI: <https://doi.org/10.15673/0453-8307.5/2015.51937>

10. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
11. Wie hoch ist das klimaverträgliche Jahresbudget an Emissionen eines Menschen? URL: <https://boku.ac.at/nachhaltigkeit/boku-co2-kompensationssystem/faq/jahresbudget-an-emissionen>
12. Гончарук І. В. та ін. Напрями вдосконалення вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо / Гончарук І. В., Ємчик Т. В., Купчук І. М., Телекало Н. В., Гончарук Я. В. *Таврійський науковий вісник. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2022. № 125. С. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125.4>
13. Паламаренко Я. В. Сучасний стан та перспективи розвитку біогазової галузі України. *Інвестиції: практика та досвід*. 2019. № 21. С. 54–62. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2019.21.54>
14. Гришук Н. В., Бабійчук В. Ф. Ринок біопалив як елемент сталого розвитку аграрного сектору економіки України. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2017. № 7. С. 118–127.
15. Пришляк Н. В., Токарчук Д. М., Паламаренко Я. В. Забезпечення енергетичної та екологічної безпеки держави за рахунок біопалива з біоенергетичних культур і відходів : монографія. Вінниця : Консоль, 2019. 248 с.
16. Пришляк Н. В., Паламаренко Я. В. Організаційно-економічні аспекти формування стратегії виробництва біопалив. *Економіка та держава*. 2021. № 6. С. 95–104. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.6.95>
17. Вовк В. Ю. Економічна ефективність використання безвідходних технологій в АПК. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2020. № 4. С. 186–206. DOI: [10.37128/2411-4413-2020-4-13](https://doi.org/10.37128/2411-4413-2020-4-13).
18. Лутковська С. М., Зеленчук Н. В. Розвиток біоенергетики в Україні – енергетична та економічна безпека в умовах сталого розвитку. *Ефективна економіка*. 2021. № 12. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.12.2>
19. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива» від 21.05.2009 р. № 1391-VI (ред. від 28.06.2015 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-17#Text>
20. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 р. № 555-IV (ред. від 01.01.2023 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
21. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку виробництва біометану» від 21.10.2021 р. № 1820-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1820-20#Text>
22. Гончарук І. В., Вовк В. Ю. Виробництво біометану з агробіомаси в Україні: проблеми та перспективи. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2022. № 2 (37). С. 65–72. DOI: [10.37406/2706-9052-2022-2-10](https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-2-10).
23. Global Bioenergy Statistics 2020 / World Bioenergy Association. URL: <https://www.worldbioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%202020.pdf>
24. Bioenergy & biofuels. IRENA. URL: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Bioenergy-and-biofuels>
25. Біоенергетика у Стратегії сталого розвитку енергетики і промисловості України. *UAI/BO*. 28.01.2021. URL: <https://uabio.org/news/9645/>
26. Блюм Я. Б., Левчук О. М., Рахметов С. Д. Біологічні ресурси і технології для виробництва різних видів біопалив. *Вісник НАН України*. 2014. № 11. С. 64–72. URL: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/73275/10-Blum.pdf?sequence=2>
27. Гуцаленко Л. В., Фабіянська В. Ю. Стан та основні чинники розвитку виробництва біологічного палива в Україні та світі. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. № 19. С. 168–174. URL: http://bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/168_0.pdf
28. Скільки біопалива виробляють в Україні та в світі. *Слово і діло*. 03.07.2018. URL: <http://surl.li/gzoer> (дата звернення 15.04.2022).
29. Гелетуха Г. Г., Желізна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Промышленная теплотехника*. 2017. Т. 39. № 2. С. 60–64. URL: <https://keb.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/07/10-Geletukha.pdf>

REFERENCES

- Babyuna, O. M. "Rol bioenerhetyky u rozvytku ahrarnoho sektoru Ukrainy" [The Role of Bioenergy in the Development of Agrarian Sector of Ukraine]. *Prychornomorski ekonomichni studii*, iss. 30-1 (2018): 28-32. http://bses.in.ua/journals/2018/30_1_2018/8.pdf
- "Bioenergy & biofuels". *IRENA*. <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Bioenergy-and-biofuels>
- "Bioenerhetyka u Stratehii staloho rozvytku enerhetyky i promyslovosti Ukrainy" [Bioenergy in the Strategy of Sustainable Development of Energy and Industry of Ukraine]. *UAI/BO*. January 28, 2021. <https://uabio.org/news/9645/>
- Blium, Ya. B. et al. "Biologichni resursy i tekhnologii dlia vyrobnytstva ryznykh vydiv biopalyv" [Biological Resources for Production of Different Biofuel Types]. *Visnyk NAN Ukrainy*, no. 11 (2014): 64-72. <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/73275/10-Blum.pdf?sequence=2>
- "Bioenerhetyka v sviiti" [Bioenergy in the World]. *UABIO*. April 16, 2020. <https://uabio.org/bioenergy-in-the-world>
- Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
- "Global Bioenergy Statistics 2020". *World Bioenergy Association*. <https://www.worldbioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%202020.pdf>
- Heletukha, H. "Hlobalni perspektyvy bioenerhetyky" [Global Prospects of Bioenergy]. *Ekonomichna pravda*. September 01, 2021. <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/09/1/677373/>
- Heletukha, H. H., and Zheliezna, T. A. "Stan ta perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini" [State and Prospects of Bioenergy Development in Ukraine]. *Proyshlennaia teplotekhnika*, vol. 39, no. 2 (2017): 60-64. <https://keb.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/07/10-Geletukha.pdf>
- Honcharuk, I. V. "Rozvytok pidpriemnytskoi diialnosti u vyrobnytstvi biopalyva: teoretychnyi aspekt" [Development of Entrepreneurial Activity in Biofuel Produc-

- tion: Theoretical Aspect]. *Ekonomika APK*, no. 6 (2013): 126-129. <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/21099.pdf>
- Honcharuk, I. V. et al. "Napriamy vdoskonalennia vyroshchuvannia ta pererobky kukurudzy na biopalyvo" [Directions of Improving the Cultivation and Processing of Corn for Biofuels]. *Tavriyskiy naukovyi visnyk. Seriya «Silskohospodarski nauky»*, no. 125 (2022): 25-32. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125.4>
- Honcharuk, I. V., and Vovk, V. Yu. "Vyrobnytstvo biometanu z ahrobiomasy v Ukraini: problemy ta perspektyvy" [Production of Biomethane from Agrobiomass in Ukraine: Problems and Prospects]. *Podilskyi visnyk: silske gospodarstvo, tekhnika, ekonomika*, no. 2(37) (2022): 65-72. DOI: 10.37406/2706-9052-2022-2-10
- Honcharuk, T. V. "Strategic potential of biomass in Ukraine – guarantee of the state's economic development". *Ekonomika. Finansy. Menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, no. 8 (2017): 36-44.
- Hryshchuk, N. V., and Babiichuk, V. F. "Rynok biopalyv yak element staloho rozvytku ahrarnoho sektoru ekonomiky Ukrainy" [Market of the Biofuels as Part of the Sustainable Development of the Agricultural Sector of Ukraine]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, no. 7 (2017): 118-127.
- Hutsalenko, L. V., and Fabiianska, V. Yu. "Stan ta osnovni chynnyky rozvytku vyrobnytstva biolohichnoho palyva v Ukraini ta sviti" [State and Main Factors of Development Production of Biofuels in Ukraine and the World]. *Naukovi pratsi instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv*, no. 19 (2013): 168-174. http://bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/168_0.pdf
- Kaletnik, G., Honcharuk, I., and Okhota, Yu. "The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises". *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. 11, no. 3 (2020): 513-522. DOI: [https://doi.org/10.14505//jemt.v11.3\(43\).02](https://doi.org/10.14505//jemt.v11.3(43).02)
- Korinchuk, D. M. "Shliakhy pidvyshchennia enerhoiemnosti biopalyva na osnovi torfu i biomasy" [Ways to Increase the Energy Intensity of Biofuel Based on Peat and Biomass]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Seriya «Khimii, tekhnolohiia rechovyn ta yikh zastosuvannia»*, no. 761 (2013): 162-168. <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4319/korinchuk.pdf>
- [Legal Act of Ukraine] (2003). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
- [Legal Act of Ukraine] (2009). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-17#Text>
- [Legal Act of Ukraine] (2021). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1820-20#Text>
- Lutkovska, S. M., and Zelenchuk, N. V. "Rozvytok bioenerhetyky v Ukraini – enerhetychna ta ekonomichna bezpeka v umovakh staloho rozvytku" [Bioenergy Development in Ukraine – Energy and Economic Security in Conditions of Sustainable Development]. *Efektivna ekonomika*, no. 12 (2021). DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.12.2>
- Palamarenko, Ya. V. "Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku biohazovoi haluzi Ukrainy" [The Current Situation and Prospects of Development of the Biogase Industry of Ukraine]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, no. 21 (2019): 54-62. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2019.21.54>
- Pryshliak, N. V. "Metodychni pidkhody do vyznachennia ekoloho-ekonomichnoi efektyvnosti vyrobnytstva biopalyv iz ahrobiomasy" [Methodical Approaches to Determining the Ecological and Economic Efficiency of Biofuel Production from Agrobiomass]. *Ahrosvit*, no. 12 (2021): 58-67. DOI: 10.32702/2306-6792.2021.12.58
- Pryshliak, N. V., and Palamarenko, Ya. V. "Orhanizatsiino-ekonomichni aspekty formuvannia stratehii vyrobnytstva biopalyv" [Organizational and Economic Aspects of Forming a Biofuel Production Strategy]. *Ekonomika ta derzhava*, no. 6 (2021): 95-104. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.6.95>
- Pryshliak, N. V., Tokarchuk, D. M., and Palamarenko, Ya. V. *Zabezpechennia enerhetychnoi ta ekolohichnoi bezpeky derzhavy za rakhunok biopalyva z bioenerhetychnykh kultur i vidkhodiv* [Ensuring Energy and Environmental Security of the State at the Expense of Biofuel From Bioenergy Crops and Waste]. Vinnytsia: Konsol, 2019.
- "Skilky biopalyva vyrobliaiut v Ukraini ta v sviti" [How Much Biofuel is Produced in Ukraine and in the World]. *Slovo i dilo*. July 03, 2018. <http://surl.li/gzoer>
- Titlova, O. O. "Vodorosti yak alternatyvne dzherelo enerhii" [Algae as an Alternative Source of Energy]. *Kholodylna tekhnika i tekhnolohiia*, vol. 51, no. 5 (2015): 47-51. DOI: <https://doi.org/10.15673/0453-8307.5/2015.51937>
- Vovk, V. Yu. "Ekonomichna efektyvnist vykorystannia bezvidkhodnykh tekhnolohii v APK" [Economic Efficiency of Use of Waste-Free Technologies in the Agro-Industrial Complex]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, no. 4 (2020): 186-206. DOI: 10.37128/2411-4413-2020-4-13
- "Wie hoch ist das klimavertragliche Jahresbudget an Emissionen eines Menschen?" <https://boku.ac.at/nachhaltigkeit/boku-co2-kompensationssystem/faqs/jahresbudget-an-emissionen>