

Валецька О. В., к.с.-г.н., доцент, Налобіна О. О., д.т.н., професор, Голотюк М. В., к.т.н., доцент, Пилипака Т. С., к.т.н., доцент, Колесник Т. М., к.с.-г.н., доцент, Шимко А. В., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ СИСТЕМИ У ВИРОБНИЦТВІ БІОПАЛИВА ЯК ШЛЯХ ДО СТАЛОГО РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Стаття досліджує інноваційні енергозберігаючі системи у виробництві біопального, акцентуючи їхній важливий вплив на сталий розвиток агропромислового комплексу. В умовах глобальних екологічних викликів і потреби у зменшенні негативного впливу традиційних енергетичних систем на навколишнє середовище, ефективне використання енергії стає критично важливим для аграрного сектору. У науковій роботі досліджено сучасні технології, які дозволяють зменшити енергетичні витрати і підвищити ефективність процесів виробництва біопального. Особливу увагу приділено когенераційним установкам, що дозволяють одночасно виробляти електричну та теплову енергію з біомаси, а також термічним насосам, які використовують відновлювальні джерела тепла для оптимізації температурних режимів. Досліджено важливі аспекти впровадження систем управління енергетичними ресурсами (EMS), які забезпечують моніторинг і контроль енергетичних витрат, що дозволяє знижувати споживання енергії та зменшувати витрати. Стаття також розглядає екологічні переваги інноваційних технологій. Впровадження таких систем сприяє зменшенню викидів парникових газів і забруднюючих речовин, що позитивно впливає на довкілля і відповідає міжнародним стандартам сталого розвитку. Технології газифікації біомаси, які перетворюють агропромислові відходи в синтетичний газ, а також новітні біотехнології для покращення ферментаційних процесів, також розглядаються як ключові елементи, що допомагають зменшити екологічний слід виробництва біопального. Досліджено приклади успішного впровадження цих технологій на реальних

агропромислових підприємствах, демонструючи їхній вплив на підвищення економічної ефективності та зменшення екологічного впливу. Інвестиції в інноваційні енергозберігаючі системи не лише скорочують витрати на енергію, але й сприяють покращенню екологічної ситуації в регіонах, де здійснюється виробництво біопального. Таким чином, стаття підкреслює, що інноваційні енергозберігаючі технології є критично важливими для досягнення сталого розвитку агропромислового комплексу, забезпечуючи не лише ефективне використання ресурсів, але й зменшення негативного впливу на довкілля, що відповідає сучасним екологічним і економічним вимогам.

***Ключові слова:* енергозберігаючі технології; агропромисловий комплекс; збалансоване природокористування; екологічний вплив; системи агротехнологій.**

Вступ. У сучасному світі питання енергозабезпечення та сталого розвитку стають дедалі більш актуальними через виснаження природних ресурсів, зростаючі енергетичні потреби та негативний вплив традиційних джерел енергії на навколишнє середовище. Одним із ключових викликів є залежність агропромислового комплексу (АПК) від викопного палива, яке використовується для транспортування, виробництва та переробки сільськогосподарської продукції. Високі ціни на енергоресурси та їх нестабільні поставки сприяють пошуку нових рішень, які б забезпечили енергоефективність, економічну стабільність і екологічну безпеку агропромислового сектору.

Водночас, у світлі глобальних кліматичних змін та зростаючих екологічних викликів, особлива увага приділяється альтернативним та відновлюваним джерелам енергії. Біопаливо, отримане з органічних матеріалів, таких як сільськогосподарські відходи, стає одним із перспективних напрямів. Воно має потенціал зменшити залежність від викопних видів палива, скоротити викиди парникових газів та сприяти сталому розвитку. Водночас виробництво біопалива може стати важливою частиною замкнутого циклу агровиробництва, де сировина, що використовується для виробництва біоенергії, є побічним продуктом сільськогосподарської діяльності.

Інноваційні енергозберігаючі технології в цій галузі відіграють вирішальну роль у підвищенні ефективності виробництва біопалива, що дозволяє знизити споживання енергії на різних етапах його отримання та зменшити вартість кінцевої продукції. Наприклад,



впровадження технологій термохімічного перетворення біомаси, використання ферментативних методів для покращення перетворення біомаси в біопаливо, а також застосування сучасних систем очищення біогазу дозволяють значно підвищити ефективність виробництва і знизити негативний вплив на довкілля [1; 2; 3].

Важливим є також розгляд економічного аспекту виробництва біопалива в контексті агропромислового комплексу. Використання відходів сільського господарства для виробництва енергії не тільки знижує навантаження на навколишнє середовище, але й сприяє створенню нових джерел доходу для фермерів. Це підвищує рентабельність аграрних підприємств та сприяє сталому розвитку сільських регіонів.

Таким чином, впровадження інноваційних енергозберігаючих систем у виробництво біопалива є важливим кроком на шляху до екологічно чистого та економічно ефективного агропромислового виробництва. Це сприяє зменшенню залежності від викопних джерел енергії, зниженню викидів парникових газів та забезпечує сталість розвитку аграрного сектору, що є однією з ключових вимог сучасної економіки [4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні питання розвитку альтернативних джерел енергії, зокрема біопалива, набуває дедалі більшої актуальності у зв'язку із потребою забезпечення енергетичної безпеки, скорочення залежності від імпортованих енергоресурсів та необхідності зменшення викидів парникових газів відповідно до міжнародних екологічних зобов'язань. Останніми роками було проведено ряд досліджень і опубліковано низку наукових праць, присвячених розвитку біоенергетики та енергозберігаючих технологій у виробництві біопалива.

Значна кількість досліджень присвячена аналізу потенціалу України у виробництві біомаси як сировини для біопалива. Зокрема, у роботах Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України підкреслюється значний потенціал використання відходів сільського господарства, таких як солома, кукурудзяні стебла та лушпиння соняшника, для виробництва біоетанолу та біогазу. У дослідженнях також наголошується на ролі енергетичних культур, зокрема верби та міскантуса, які можуть стати важливим джерелом біомаси для біоенергетики.

Згідно з останніми публікаціями Національної академії аграрних наук України, впровадження біопаливних технологій може

покращити енергоефективність в агропромисловому секторі, що відповідає стратегії держави щодо розвитку «зеленої енергетики». Зокрема, використання біомаси з відходів сільського господарства може забезпечити до 10% загальних енергетичних потреб країни. Дослідження економічної ефективності виробництва біопалива є важливою темою в українських наукових публікаціях. Науковці з Українського науково-дослідного інституту енергетики та енергозбереження наголошують на тому, що виробництво біопалива не лише дозволяє скоротити витрати на викопне паливо, але й створює додаткові джерела доходів для сільськогосподарських підприємств. Впровадження енергозберігаючих технологій з використанням біомаси також може допомогти малим і середнім підприємствам знизити енергетичні витрати, підвищити рентабельність виробництва та створити нові робочі місця.

Одним із прикладів є дослідження, проведені на базі аграрних підприємств у центральних та південних регіонах України, де використовуються агровідходи для виробництва біогазу. Такі проєкти дозволяють підприємствам суттєво знизити витрати на електроенергію і тепло, одночасно зменшуючи екологічне навантаження на навколишнє середовище. Значна увага в українських публікаціях приділяється інноваційним технологіям, що підвищують ефективність виробництва біопалива. Вчені з Інституту технічної теплофізики НАН України досліджують впровадження технологій термохімічного перетворення біомаси, таких як піроліз і газифікація, що дозволяє збільшити вихід енергії при переробці біомаси і зменшити викиди шкідливих речовин. Такі підходи розглядаються як перспективні для малого та середнього бізнесу в аграрній сфері.

Також у роботах науковців Київського національного університету технологій і дизайну активно вивчаються можливості зниження енергетичних витрат у процесах ферментації для виробництва біоетанолу, а також автоматизація та оптимізація виробничих процесів для підвищення загальної енергоефективності підприємств. Дослідження доводять, що впровадження нових систем управління енергоспоживанням дозволяє суттєво зменшити витрати на виробництво біопалива. Проблеми екологічної безпеки та зниження викидів парникових газів також активно обговорюються в українських наукових колах. У роботах вчених з Національного університету біоресурсів і природокористування України підкреслюється, що використання біопалива дозволяє суттєво знизити викиди CO₂ порівняно з традиційними видами палива. Це



має важливе значення для досягнення національних і міжнародних екологічних цілей.

Українські науковці також досліджують вплив біоенергетичних технологій на стан ґрунтів та водних ресурсів. Наприклад, вивчаються способи раціонального використання відходів виробництва біопалива як органічних добрив, що дозволяє не лише зменшити екологічне навантаження, але й підвищити родючість ґрунтів.

Попри значний науковий інтерес до біоенергетики та енергозберігаючих технологій, українські дослідники також акцентують на наявних проблемах. Вони включають недостатню державну підтримку, нестабільну законодавчу базу та брак інвестицій у розвиток біоенергетичних проєктів. У публікаціях наголошується на важливості розробки довгострокової стратегії розвитку відновлюваної енергетики, яка включала б економічні стимули для фермерів та підприємств агропромислового комплексу для активного впровадження біопаливних технологій.

Таким чином, наукові дослідження в Україні підтверджують значний потенціал використання інноваційних енергозберігаючих технологій у виробництві біопалива. Водночас існує потреба в покращенні державної підтримки та стимулів для розвитку біоенергетики як одного з ключових напрямів сталого розвитку агропромислового комплексу країни [6; 7; 8; 9; 10; 11].

Мета і завдання дослідження. Метою статті є проаналізувати сучасні інноваційні енергозберігаючі системи у виробництві біопалива, оцінити їх вплив на енергоефективність агропромислового комплексу та визначити перспективи впровадження цих технологій для забезпечення сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу. Одним із ключових аспектів виробництва біопалива є оптимізація використання енергії, оскільки цей процес зазвичай вимагає значних енергетичних витрат на різних етапах – від збору біомаси до переробки в паливо. Останніми роками в Україні та світі було впроваджено низку інноваційних енергозберігаючих технологій, які спрямовані на підвищення ефективності цих процесів.

Однією з таких технологій є термохімічне перетворення біомаси, зокрема піроліз та газифікація. Піроліз полягає у термічному розкладі органічної сировини в умовах обмеженого доступу до кисню, що дозволяє отримати біовугілля, біонафту і газоподібне паливо. Газифікація – це перетворення біомаси в синтетичний газ (синтез-газ) шляхом високотемпературного нагрівання в присутності кисню або водяної пари. Обидві технології мають значний потенціал для зниження витрат на енергоносії у

процесі виробництва біопалива, адже вони дозволяють використовувати частину отриманих продуктів як енергетичні ресурси для власних потреб підприємства.

Іншим перспективним напрямом є використання ферментативних технологій для підвищення виходу біоетанолу. Традиційно біоетанол виробляється шляхом ферментації рослинної сировини, такої як кукурудза або цукровий буряк. Інноваційні ферментативні підходи, що базуються на використанні спеціально розроблених ензимів, дозволяють значно підвищити ефективність переробки біомаси, зменшуючи при цьому енергетичні витрати на цей процес. Впровадження таких технологій вже демонструє суттєве підвищення продуктивності виробництва біоетанолу в багатьох країнах, зокрема в США та Бразилії.

Крім того, значна увага приділяється удосконаленню систем збору та очищення біогазу. Сучасні технології дозволяють зменшити втрати біогазу на етапі його виробництва та покращити якість отриманого продукту для подальшого використання в енергетичних установках. Зокрема, ефективні системи дегазації та компресії дозволяють збільшити обсяги отримання біогазу з органічних відходів, що сприяє енергетичній автономії аграрних підприємств.

Впровадження біопалива в агропромислового комплексі має численні переваги як для сталого розвитку, так і для економіки. Одним з основних чинників є зниження залежності агропромислових підприємств від викопних видів палива, таких як нафта та природний газ. Використання біопалива, що виробляється з місцевої сировини, зменшує потребу в імпорті енергоресурсів та знижує вартість енергоспоживання для підприємств. Це особливо важливо для країн, які мають значні обсяги сільськогосподарських відходів, як це є в Україні.

Екологічний аспект також є важливим аргументом на користь біопалива. У порівнянні з викопним паливом, біопаливо має значно менші викиди парникових газів. Наприклад, під час спалювання біодизелю виділяється на 50–70% менше вуглекислого газу, ніж при спалюванні дизельного палива, виробленого з нафти. Крім того, біопаливо є відновлюваним джерелом енергії, оскільки сировина для його виробництва може бути вирощена повторно. В Україні, де агропромисловий комплекс є однією з ключових галузей економіки, використання біопалива сприятиме зменшенню екологічного навантаження на довкілля та збереженню природних ресурсів.

Ще одним важливим аспектом є соціально-економічні переваги виробництва біопалива. Використання сільськогосподарських відходів та біомаси для отримання енергії створює нові можливості для фермерів, підвищує рентабельність аграрного виробництва та



сприяє розвитку сільських регіонів. Виробництво біопалива також може стати джерелом додаткових робочих місць у сільському господарстві та енергетичному секторі.

Оцінка економічної ефективності впровадження інноваційних систем у виробництво біопалива є важливим завданням для підприємств агропромислового комплексу. Виробництво біопалива вимагає значних інвестицій на етапі встановлення обладнання та налагодження процесів, однак у довгостроковій перспективі це дозволяє знизити операційні витрати, пов'язані з енергоспоживанням.

Дослідження, проведені на базі агропідприємств в Україні, показали, що впровадження біоенергетичних технологій дозволяє знизити витрати на енергоресурси на 15–25% залежно від типу виробництва. Крім того, підприємства, які використовують біогазові установки для переробки аграрних відходів, зазначають, що такі інновації дозволяють їм частково або повністю забезпечити себе електроенергією та теплом. Ефективне використання агровідходів не лише зменшує витрати на утилізацію, але й дозволяє отримувати додатковий дохід від продажу надлишкової енергії в енергосистему.

У контексті державної політики підтримки відновлюваних джерел енергії в Україні важливим кроком стало запровадження системи «зелених тарифів», що стимулює виробництво енергії з біомаси. Це дозволяє аграрним підприємствам швидше повернути вкладені інвестиції та забезпечити прибутковість біоенергетичних проєктів.

Незважаючи на значні переваги, розвиток біоенергетики в Україні стикається з низкою проблем. Однією з основних перешкод є недостатнє фінансування та високі початкові витрати на впровадження новітніх технологій. Відсутність стабільної державної політики та економічних стимулів також є негативним чинником, що стримує розвиток біоенергетичних проєктів.

Іншою проблемою є недостатня поінформованість аграріїв про економічні та екологічні переваги біопалива. Багато фермерів ще не повністю розуміють вигоди від впровадження біоенергетичних установок, що також стримує поширення цих технологій.

Проведені дослідження демонструють ефективність різних технологій та їхній вплив на екологію й економіку

Енергетична ефективність (EER) – показує коефіцієнт енергетичної ефективності для різних технологій виробництва біопалива. Найвищу ефективність демонструє технологія газифікації, а найменшу – ферментація (рис. 1).

Економічна рентабельність (IRR) – ілюструє зростання рентабельності проєкту біопаливних установок протягом 6 років

після впровадження. Рентабельність зростає з 0% до 65% через економію на енергоносіях та прибуток від продажу біопалива (рис. 2).

Скорочення викидів CO₂ – показує зменшення викидів парникових газів протягом 6 років використання біопаливних технологій. Спостерігається стабільне зростання скорочення викидів від 10 до 110 тонн CO₂ (рис. 3).

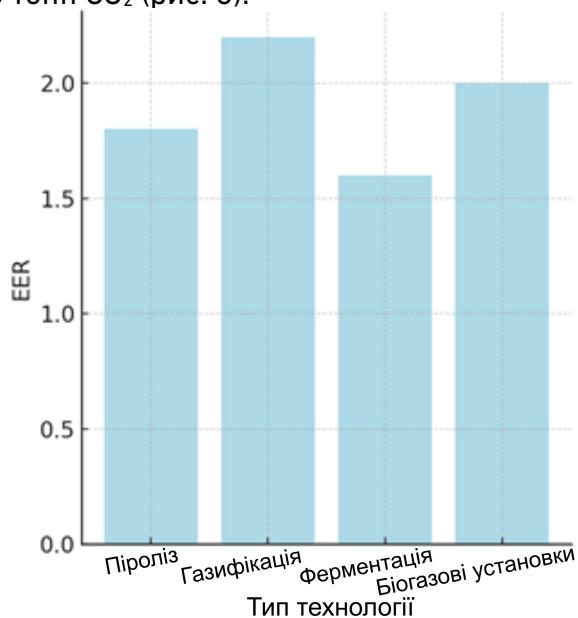


Рис. 1. Енергетична ефективність

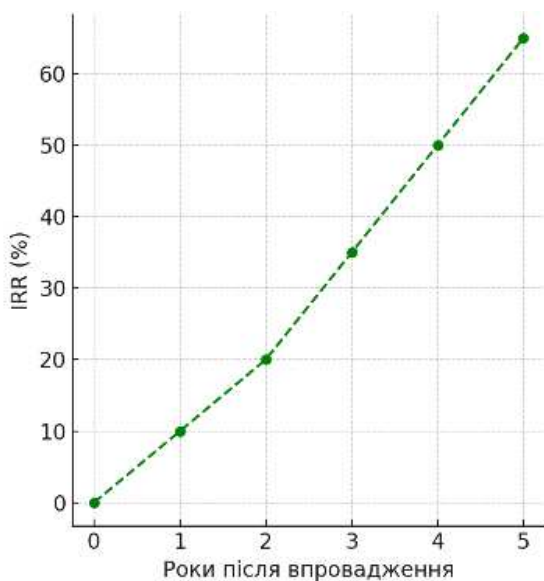


Рис. 2. Економічна рентабельність

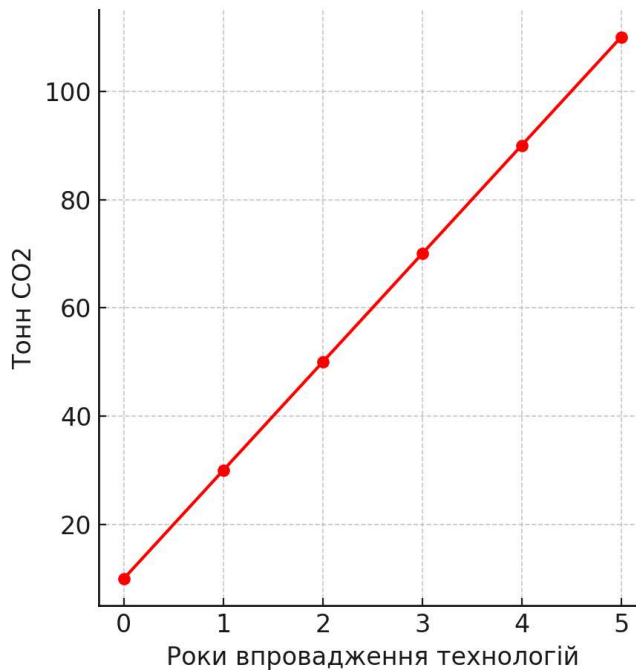


Рис. 3. Скорочення викидів CO₂

Яскравим прикладом практичних застосувань інноваційних енергозберігаючих систем у виробництві біопального і їх вплив на сталий розвиток агропромислового комплексу є:

- Когенераційні системи, які виробляють електричну та теплову енергію одночасно, дозволяють зменшити витрати енергії у виробництві біопального. Наприклад, на сучасних біопаливних заводах використовуються когенераційні установки, що працюють на відходах агропромислового виробництва (солота, деревні відходи). Це не лише підвищує ефективність використання енергії, але й зменшує викиди CO₂, оскільки використання відходів замість викопного пального є екологічно чистішим.

- Термічні насоси, які використовують відновлювальні джерела тепла для обігріву або охолодження процесів, також стають популярними у виробництві біопального. Наприклад, термічні насоси використовуються для підтримки оптимальної температури в реакторах, що дозволяє знижувати споживання електричної енергії. Це не тільки скорочує витрати на енергетичні ресурси, але й зменшує навантаження на електромережу, що має позитивний вплив на екологію.

- Інтеграція систем управління енергетичними ресурсами у виробничі процеси дозволяє оптимізувати використання енергії і зменшити витрати. Наприклад, в агропромислових комплексах, що

займаються виробництвом біопального, впроваджуються автоматизовані системи моніторингу і контролю енергетичних витрат, що дозволяє ефективно управляти споживанням енергії та знижувати енергетичні витрати.

- Газифікація біомаси є процесом перетворення органічних відходів в синтетичний газ (сингаз), який може використовуватися як джерело енергії. Впровадження таких технологій дозволяє ефективно переробляти агропромислові відходи на біопаливо, знижуючи обсяги відходів та викидів парникових газів. Це сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище і підтримує сталий розвиток.

- Використання нових біотехнологій для покращення ферментаційних процесів у виробництві біоетанолу або біогазу дозволяє зменшити споживання енергії та ресурсоємність. Наприклад, новітні ферменти і мікроорганізми, які оптимізують процеси ферментації, допомагають зменшити витрати на енергію та підвищити вихід продукції.

Зниження витрат на енергію і ресурси завдяки впровадженню інноваційних технологій сприяє підвищенню економічної ефективності виробництва. Впровадження енергозберігаючих систем допомагає зменшити викиди забруднювальних речовин і парникових газів, що має позитивний вплив на екологію. Технології, що переробляють агропромислові відходи, сприяють зменшенню обсягів відходів та покращують екологічну ситуацію в регіонах.

Дослідження підтверджує, як інноваційні енергозберігаючі системи можуть позитивно впливати на сталий розвиток агропромислового комплексу, підвищуючи ефективність виробництва та зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище.

Висновки. Впровадження сучасних енергозберігаючих технологій у виробництві біопального дозволяє значно підвищити ефективність використання енергії. Застосування таких систем, як когенераційні установки, термічні насосні системи та енергозберігаючі реактори, забезпечує оптимізацію процесів і зменшення витрат на енергоресурси. Інноваційні енергозберігаючі системи сприяють зменшенню викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин. Це допомагає зменшити екологічний слід агропромислового комплексу та сприяє покращенню якості повітря і води в регіонах, де здійснюється виробництво біопального. Інвестиції в енергозберігаючі технології не лише скорочують витрати на енергетичні ресурси, але й створюють нові можливості для



економічного зростання. Вдосконалення виробничих процесів може призвести до зниження витрат на сировину та підвищення конкурентоспроможності продукції на ринку. Інтеграція інноваційних систем у виробництво біопального сприяє досягненню цілей сталого розвитку, зокрема забезпечення сталого споживання і виробництва. Застосування енергозберігаючих технологій в агропромисловому комплексі є важливим кроком у напрямку сталого розвитку та забезпечення екологічної збалансованості. Для подальшого розвитку цієї галузі необхідно зосередити увагу на вдосконаленні технологій та зниженні їх вартості. Рекомендується також провести додаткові дослідження щодо інтеграції нових технологій у різні сегменти агропромислового комплексу та оцінити їх вплив на довгострокову економічну і екологічну стійкість.

1. Калетнік Г. М., Гончарук І. В. Економічні розрахунки потенціалу виробництва відновлювальної біоенергії у формуванні енергетичної незалежності агропромислового комплексу. *Економіка АПК*. 2020. № 9. С. 6–16.
2. Наукове обґрунтування розподілу показників якості соломи та трости льону олійного на класи сортності / Налобіна О. О., Головенко Т. М., Голотюк М. В., Ружанські П., Шовкомуд О. В. *Сільськогосподарські машини* : зб. наук. ст. Луцьк, 2020. Вип. 44. С. 102–122.
3. Гончарук І. В. Розвиток підприємницької діяльності у виробництві біопалива: теоретичний аспект. *Економіка АПК*. 2013. № 6. С. 126–129.
4. Holotiuk M. V., Shymko A. V., Shovkomyd O. V., Martyniuk V. L. Ensuring the efficiency of the system of technical maintenance and repair of transport and technological machines. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2023. Vol. 99, No. 1. Pp. 5–17.
5. Дегодюк С., Дегодюк Е., Літвінова О., Кириченко А. Стратегія застосування соломистих решток для удобрення та енергетичних потреб в Україні. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2013. № 17(1). С. 205–211.
6. Analytical investigation of the interaction of the sunflower stem with the lateral surface of the reaper lifter / Nalobina O. O., Gerasymchuk O. P., Puts V. S., Martyniuk V. L., Shovkomyd O. V., Vasylichuk N. V., Bundza O. Z., Holotiuk M. V., Serilko D. L. *INMATEH – Agricultural Engineering*. Bucharest, 2018. Vol. 55, No. 2. P. 171–180.
7. Гончарук Я. В. Перспективи розвитку енергозабезпечуючих кооперативів на селі. *Економіка АПК*. 2019. № 11. С. 105–114.
8. Honcharuk I. V., Vovk V. Yu. Waste-free technology's for the production of biofuels from agricultural waste as a component of energy security of enterprises. *Development of scientific, technological and innovation space in Ukraine and EU countries* : collective monograph. Riga, Latvia : Publishing House "Baltija Publishing", 2021. P. 142–165.
9. Пришляк Н. В., Токарчук Д. М., Паламаренко Я. В. Рекомендації з вибору оптимальної сировини для виробництва біогазу на основі експериментальних даних щодо енергетичної цінності відходів. *Інвестиції: практика та досвід*. 2020. № 24. С. 58–66.
10. Фурман І. В., Ратушняк Н. О. Перспективи виробництва

біопалив в умовах реформування земельних відносин. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2021. № 3(57). С. 53–68.

11. Мазур К. В., Гонтарук Я. В. Тенденції та умови ефективного функціонування сировинної бази підприємств АПК. *The scientific heritage*. 2020. № 49. Р. 5. Р. 29–39.

REFERENCES:

1. Kaletnik H. M., Honcharuk I. V. Ekonomichni rozrakhunky potentsialu vyrobnytstva vidnovliuvalnoi bioenerhii u formuvanni enerhetychnoi nezalezhnosti ahropromysloвого комплексу. *Економіка АПК*. 2020. № 9. С. 6–16.
2. Naukove obgruntuvannya rozpodilu pokaznykiv yakosti solomy ta tresty lonu oliinoho na klasy sortnosti / Nalobina O. O., Holovenko T. M., Holotiuk M. V., Ruzhanski P., Shovkomud O. V. *Silskohospodarski mashyny* : zb. nauk. st. Lutsk, 2020. Vyp. 44. S. 102–122.
3. Honcharuk I. V. Rozvytok pidpriemnytskoi diialnosti u vyrobnytstvi biopalyva: teoretychnyi aspekt. *Економіка АПК*. 2013. № 6. С. 126–129.
4. Holotiuk M. V., Shymko A. V., Shovkomyd O. V., Martyniuk V. L. Ensuring the efficiency of the system of technical maintenance and repair of transport and technological mashines. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2023. Vol. 99, No. 1. Pp. 5–17.
5. Dehodiuk S., Dehodiuk E., Litvinova O., Kyrychenko A. Stratehiia zastosuvannya solomystykh reshtok dlia udobrennia ta enerhetychnykh potreb v Ukraini. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. 2013. № 17(1). С. 205–211.
6. Analytical investigation of the interaction of the sunflower stem with the lateral surface of the reaper lifter / Nalobina O. O., Gerasymchuk O. P., Puts V. S., Martyniuk V. L., Shovkomyd O. V., Vasylchuk N. V., Bundza O. Z., Holotiuk M. V., Serilko D. L. *INMATEH – Agricultural Engineering*. Bucharest, 2018. Vol. 55, No. 2. P. 171–180.
7. Hontaruk Ya. V. Perspektyvy rozvytku enerhozabezpechuiuchykh kooperatyviv na seli. *Економіка АПК*. 2019. № 11. С. 105–114.
8. Honcharuk I. V., Vovk V. Yu. Waste-free technology's for the production of biofuels from agricultural waste as a component of energy security of enterprises. *Development of scientific, technological and innovation space in Ukraine and EU countries* : collective monograph. Riga, Latvia : Publishing House "Baltija Publishing", 2021. P. 142–165.
9. Pryshliak N. V., Tokarchuk D. M., Palamarenko Ya. V. Rekomendatsii z vyboru optymalnoi syrovyny dlia vyrobnytstva biohazu na osnovi eksperymentalnykh danykh shchodo enerhetychnoi tsinnosti vidkhodiv. *Investytsii: praktyka ta dosvid*. 2020. № 24. С. 58–66.
10. Furman I. V., Ratushniak N. O. Perspektyvy vyrobnytstva biopalyv v umovakh reformuvannya zemelnykh vidnosyn. *Економіка, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*. 2021. № 3(57). С. 53–68.
11. Mazur K. V., Hontaruk Ya. V. Tendentsii ta umovy efektyvnoho funktsionuvannya syrovynnoi bazy pidpriemstv АПК. *The scientific heritage*. 2020. № 49. Р. 5. Р. 29–39.

Valetska O. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Nalobina O. O., Doctor of Engineering, Professor, Holotyiuk M. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Pylypaka T. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Kolesnyk T. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Shymko A. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

INNOVATIVE ENERGY SAVING SYSTEMS IN BIOFUEL PRODUCTION AS A WAY TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE AGRICULTURAL COMPLEX

The article examines innovative energy-saving systems in the production of biofuel, emphasizing their important impact on the sustainable development of the agro-industrial complex. In the conditions of global environmental challenges and the need to reduce the negative impact of traditional energy systems on the environment, the efficient use of energy becomes critically important for the agricultural sector. In the scientific work, a number of modern technologies that allow reducing energy costs and increasing the efficiency of biofuel production processes have been investigated. Particular attention is paid to cogeneration plants, which allow the simultaneous production of electrical and thermal energy from biomass, as well as to heat pumps, which use renewable heat sources to optimize temperature regimes. Important aspects of the implementation of energy resource management systems (EMS), which provide monitoring and control of energy costs, which allow to reduce energy consumption and reduce costs, have been studied. The article also considers the environmental benefits of innovative technologies. The implementation of such systems contributes to the reduction of emissions of greenhouse gases and pollutants, which has a positive effect on the environment and meets international standards of sustainable development. Biomass gasification technologies, which convert agro-industrial waste into synthetic gas, as well as new biotechnologies to improve fermentation processes, are also seen as key elements to help reduce the environmental footprint of biofuel production. Examples of successful implementation of these technologies at real agro-industrial enterprises were studied, demonstrating their impact on increasing economic efficiency and reducing environmental impact. Investments in innovative energy-saving systems not only reduce energy costs, but

also contribute to improving the environmental situation in regions where biofuel production is carried out. Thus, the article emphasizes that innovative energy-saving technologies are critically important for achieving sustainable development of the agro-industrial complex, ensuring not only the efficient use of resources, but also reducing the negative impact on the environment, which meets modern ecological and economic requirements.

***Keywords:* energy-saving technologies; agro-industrial complex; balanced nature management; environmental impact; systems of agricultural technologies.**