

# ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 620.925:658.567:631.115.11(075.8)  
JEL Classification: O13; P45; P51; R34; O 33

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК: ВІТЧИЗНЯНИЙ ТА ЗАКОРДОННИЙ ДОСВІД<sup>1</sup>

©2023 ПАЛАМАРЕНКО Я. В., ЧІКОВ І. А.

УДК 620.925:658.567:631.115.11(075.8)  
JEL Classification: O13; P45; P51; R34; O 33

Паламаренко Я. В., Чіков І. А.

### Оцінка ефективності функціонування біогазових установок: вітчизняний та закордонний досвід

Питання переробки відходів основного виробництва зазнає зростаючої актуальності та важливості у контексті сталого розвитку й охорони навколишнього середовища. У сучасному світі, де питання екології та збереження природних ресурсів стають надзвичайно важливими, виробники та споживачі стикаються з необхідністю знаходити нові інноваційні підходи до управління відходами та зменшення негативного впливу промислових процесів на навколишнє середовище. Отже, використання біогазових установок є одним із перспективних рішень у цьому напрямку. Ці установки відіграють важливу роль у зменшенні викидів парникових газів, використанні відходів сільського господарства, покращенні виробничого циклу та сприяють створенню більш стійких та екологічно чистих виробничих процесів. Ця стаття розкриває значущість біогазових установок як інноваційного рішення для вирішення питань переробки органічних відходів та створення більш сталого виробництва. У статті розглянуто актуальне питання оцінки ефективності функціонування біогазових установок, базуючись на вітчизняному та закордонному досвіді. Аналіз ефективності функціонування біогазових установок проводиться на основі зіставлення вітчизняного та міжнародного досвіду. Так, авторами визначено, що для забезпечення комплексної оцінки ефективності функціонування біогазових установок необхідно ґрунтовно проаналізувати технічні параметри, технологічні рішення, економічні аспекти й екологічні показники. Пропонований багатокритеріальний підхід дозволить отримати вичерпну й об'єктивну оцінку функціонування біогазових установок, враховуючи більшість ключових аспектів їхньої ефективності. Це надасть можливість визначити оптимальні напрямки вдосконалення цих установок з метою досягнення максимально можливого рівня продуктивності та сталості їхньої роботи. Крім того, цей підхід сприятиме прийняттю обґрунтованих управлінських рішень і досягнення загальної мети в сучасній енергетичній парадигмі. Авторами запропоновано здійснювати оцінку ефективності функціонування біогазових установок за допомогою побудови моделі на основі методів нечіткої логіки. Цей підхід дозволяє враховувати неоднозначність і невизначеність вхідної інформації, що дозволяє узгоджувати різні критерії та параметри, враховуючи їхню непередбачуваність і залежність від багатьох факторів. Результати роботи цієї моделі дозволяють вибрати оптимальну біогазову установку, яка відповідає умовам та вимогам сьогодення.

**Ключові слова:** відходи сільського господарства, оптимальні технології, біогаз, біогазові установки, відновлювальна енергія, ефективність, нечіткі множини.

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-323-336>

Рис.: 4. Табл.: 7. Формул: 2. Бібл.: 14.

**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](mailto:yannetlamar.sun@gmail.com)

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

Researcher ID: M-1738-2018

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

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

E-mail: [ilya95chikov@gmail.com](mailto:ilya95chikov@gmail.com)

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

Researcher ID: T-3922-2018

<sup>1</sup> 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).

UDC 620.925:658.567:631.115.11(075.8)

JEL Classification: O13; P45; P51; R34; O 33

**Palamarenko Y. V., Chikov I. A. Assessing the Efficiency of Biogas Plants: The National and Foreign Experience**

The issue of recycling waste from the main production is experiencing growing relevance and importance in the context of sustainable development and environmental protection. In today's world, where environmental issues and conservation of natural resources are becoming extremely important, manufacturers and consumers are faced with the need to find new innovative approaches to waste management and reducing the negative impact of industrial processes on the environment. Therefore, the use of biogas plants is one of the promising solutions in this direction. These plants play an important role in reducing greenhouse gas emissions, using agricultural waste, improving the production cycle, and contributing to more sustainable and environmentally friendly production processes. This article reveals the importance of biogas plants as an innovative solution for addressing the issues of organic waste recycling along with creating more sustainable production. The article discusses the topical issue of assessing the efficiency of biogas plants, based on both domestic and foreign experience. The analysis of the efficiency of biogas plants is carried out on the basis of a comparison of domestic and international experience. Thus, the authors determine that in order to ensure a comprehensive assessment of the efficiency of biogas plants, it is necessary to thoroughly analyze technical parameters, technological solutions, economic aspects, and environmental indicators. The proposed multi-criteria approach will allow to obtain an exhaustive and objective assessment of the functioning of biogas plants, taking into account most of the key aspects of their efficiency. This will make it possible to determine the optimal areas for improving these plants in order to achieve the highest possible level of productivity and consistency of their operation. Further on, this approach will contribute to making sound managerial decisions and thus achieving a common goal in the modern energy paradigm. The authors propose to assess the efficiency of biogas plants by building a model based on fuzzy logic methods. This approach allows to take into account the ambiguity and uncertainty of incoming information, which gives the possibility to agree on different criteria and parameters, taking into account their unpredictability and dependence on many factors. The results of this model help in choosing the optimal biogas plant that meets the conditions and requirements of today.

**Keywords:** agricultural waste, optimal technologies, biogas, biogas plants, renewable energy, efficiency, fuzzy sets.

**Fig.:** 4. **Tabl.:** 7. **Formulae:** 2. **Bibl.:** 14.

**Palamarenko Yana V.** – Candidate of Sciences (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:** M-1738-2018

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

**Chikov Illia A.** – PhD, 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:** T-3922-2018

**Вступ.** Сьогодні технології переробки біологічної сировини знайшли широке застосування для вирішення проблеми екологічно безпечної утилізації органічних відходів, зменшення забруднення навколишнього середовища та отримання альтернативної енергії. Однією з основних тенденцій розвитку забезпечення енергонезалежності агропромислового комплексу є пошук найбільш оптимальних технологій переробки органічних відходів з використанням комплексних засобів утилізації біомаси за рахунок метанового збродження з наступним отриманням біогазу. Відповідно до цього критерії для вибору найбільш оптимальних технологій у тій чи іншій галузі визначаються її специфікою та масштабами екологічного впливу на довкілля. У статті обговорюється застосування еколого-еко-номічних критеріїв у життєвому циклі біогазової установки. Досліджено, що в сучасному світі глобальні проблеми забруднення довкілля, використання невідновлюваних ресурсів та змін клімату потребують негайних заходів для забезпечення екологічної стабільності та збалансованого розвитку. Саме тому біотехнології мають великий потенціал для вирішення економіко-екологічних проблем. Таким чином, у зв'язку зі зростанням інтересу до використання біогазу та зростанням числа виробників у цій сфері питання оцінки ефективності функціонування та вибір оптимальної біогазової установки стає є одним із найбільш актуальних на сьогодні,

ніж будь-коли. Правильний вибір сприятиме подальшому розвитку використання альтернативних джерел енергії та сприяє збереженню навколишнього середовища для майбутніх поколінь. При цьому розвиток сучасних технологій та зростаюча майбутня екологічна невизначеність стали невід'ємною частиною нашого життя. У цьому контексті оцінка ефективності функціонування біогазових установок, які перетворюють органічний матеріал у відновлювану енергію, здійснюється з метою подолання викликів, пов'язаних зі забрудненням довкілля та забезпеченням сталого енергетичного виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато вчених-економістів, які займаються дослідженням проблем антропогенного впливу на довкілля та пошуку шляхів їх вирішення, проводять численні дослідження щодо розміщення відходів, шкідливих викидів у атмосферне повітря та раціонального використання природних ресурсів, забезпечення безвідходного виробництва та вивчення можливих шляхів їх вирішення: І. В. Гончарук, Т. В. Ємчик (Гончарук), Г. В. Панцирева, В. Ю. Вовк, С. Д. Верхолюк, Н. В. Пришляк, Д. М. Токарчук, С. В. Березюк, Д. В. Тітов, С. В. Козловський, Г. Ф. Мазур та інші.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Сьогодні проблема утилізації відходів сільськогосподарства (тваринницьких та птахівницьких комп-

лексів тощо) та її вирішення шляхом переробки відходів основного виробництва є особливо актуальною та вимагає комплексного підходу до її розв'язання, що дозволить не лише покращити екологічний стан навколишнього середовища, але також і отримати суттєву економічну вигоду від використання сучасних біотехнологій. Зазначене зумовлює реальну потребу у впровадженні інноваційних енергозберігаючих технологій, орієнтованих на виробництво саме біогазу та органічних добрив, які можна отримати шляхом переробки органічних відходів [14].

В альтернативній енергетиці особливе місце займає переробка біомаси метановим бродинням з отриманням біогазу, який містить близько 70 % метану. Надзвичайно важливою є утилізація біомаси в сільському господарстві, де на різні технологічні потреби витрачається велика кількість палива та безперервно зростає потреба у високоякісних органічних добривах. Своєю чергою, біомаса дозволяє отримати сьому частину світового об'єму палива, а по кількості отриманої енергії займає поряд із природним газом третє місце. Своєю чергою, цей газ з органічної біомаси, незалежно від походження, становить істотну конкуренцію традиційному паливу за рахунок низької вартості біомаси. Аналіз наукової літератури показав, що Україна має великий сільськогосподарський потенціал для виробництва альтернативних джерел енергії. З огляду на це, питання виробництва й споживання біогазу є надзвичайно актуальним, адже енергетична безпека країни практично повністю залежить від імпорту традиційних джерел енергії [1].

Тому в умовах сьогодення запобігання майбутнім екологічним кризам є неможливим без використання нових біотехнологій з метою очищення стокових вод, переробки як твердих, так і рідких відходів сільського господарства та промислового виробництва, підвищення ефективних способів біологічного відновлення забрудненості ґрунтів, заміни агрохімікатів на нові органічні добрива тощо.

**Мета** дослідження – розробка методики оцінки ефективності функціонування біогазових установок на основі вітчизняного та закордонного досвіду з використанням відходів агропромислового комплексу за декількома критеріями з урахуванням фактору обмеженості вхідної інформації. Також за допомогою аналізу літературних джерел виявлено загальні конструктивні особливості пристроїв зі збору та відведення біогазу та фільтрату з відходів сільськогосподарського господарства відповідно, а також визначено критерії, що дозволяють вибрати найкращі з цих установок. Вперше для оцінки ефективності таких пристроїв застосовано теорію нечітких множин.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сільськогосподарські відходи та побічні продукти є одними з найбільш важливих екологічних проблем в сучасному світі. Фактори, що спричиняють утворення сільськогосподарських відходів, включають неправильну обробку землі, малоефективне застосування отрутохімікатів і мінеральних добрив, транспортні та промислові забруднення і споживачьке ставлення до землі. До таких продуктів відносять відходи тваринного походження, такі як гній та трупні тварин, а також відходи харчової переробки та врожаю, наприклад, стебла кукурудзи, краплі та відбирання з фруктів та овочів. Особливо небезпечними є свіжий гній ВРХ

та свиней, а також пташиний послід, які можуть виробляти шкідливі речовини і гази, такі як аміни, аміак, нітрати та інші, якщо не зберігати їх у відповідних умовах. Також до цих відходів відносяться небезпечні та навіть токсичні продукти, такі як пестициди, інсектициди та гербіциди. Ці продукти мають негативний вплив на навколишнє середовище, а тому для зменшення впливу сільськогосподарських відходів на довкілля необхідно розробляти та впроваджувати ефективні методи їх переробки та утилізації [13].

У сільському господарстві відходи можуть містити небезпечні хімічні речовини, які можуть потрапити до ґрунту та джерел води, що може призвести до забруднення продуктів харчування та посилення ризику захворювання на онкологічні захворювання. Водночас аграрний сектор економіки може стати одним з основних засобів боротьби з негативним впливом на екосистему. Застосування біотехнологій, екологічної техніки та методів землеробства, таких як агроекологічні системи, переробка біомаси на екологічно чисте паливо тощо, можуть значно знизити негативний вплив аграрного сектора на довкілля. Оптимізація функціонування галузі аграрного виробництва має великий потенціал для зменшення негативного впливу на довкілля, але, на жаль, не завжди застосовуються ефективні методи та технології.

Для України питання забруднення від сільського господарства є вкрай важливим, оскільки агропромисловий комплекс має ключову роль у розвитку економіки країни. Аграрний сектор є важливою складовою економіки України та має високий пріоритет у розширенні зовнішньоекономічних відносин. Збільшення виробництва аграрної продукції веде до створення додаткових експортних можливостей для країни. Також аграрний сектор визначається як ключовий у забезпеченні доходної частини державного та місцевих бюджетів, та є основним джерелом валютних надходжень у країну як експортно-орієнтована складова національної економіки.

Разом із позитивними результатами функціонування аграрного сектора економіки України, зокрема, постійним зростанням обсягів виробництва сільськогосподарської продукції протягом 2014–2020 років, спостерігається стабільне збільшення обсягів накопичення сільськогосподарських відходів як у спеціально відведених місцях, так і у неналежних для зберігання відходів місцях (рис. 1). Це може призвести до негативного впливу на довкілля, здоров'я населення та економіку країни в цілому. Крім того, це може створити проблеми для місцевої влади та призвести до необхідності виділення додаткових коштів на збір та обробку відходів. У результаті – проблема неправильної утилізації відходів стає все більш актуальною і потребує негайного вирішення [3].

З даних видно, що обсяг сільськогосподарських відходів в країні за період з 2010 по 2020 рр. коливався від 5,3 млн т до 12,4 млн т, що становило від 1,2 % до 2,8 % від загальної кількості утворених відходів. Найбільший обсяг сільськогосподарських відходів був зафіксований у 2011 р. (12,4 млн т), а найменший – у 2020 р. (5,3 млн т).

Проведений аналіз рис. 1 показав, що в загальних масштабах обсяг утворених відходів поступово зменшувався до 2014 р., а потім почав зростати до 2019 року, коли

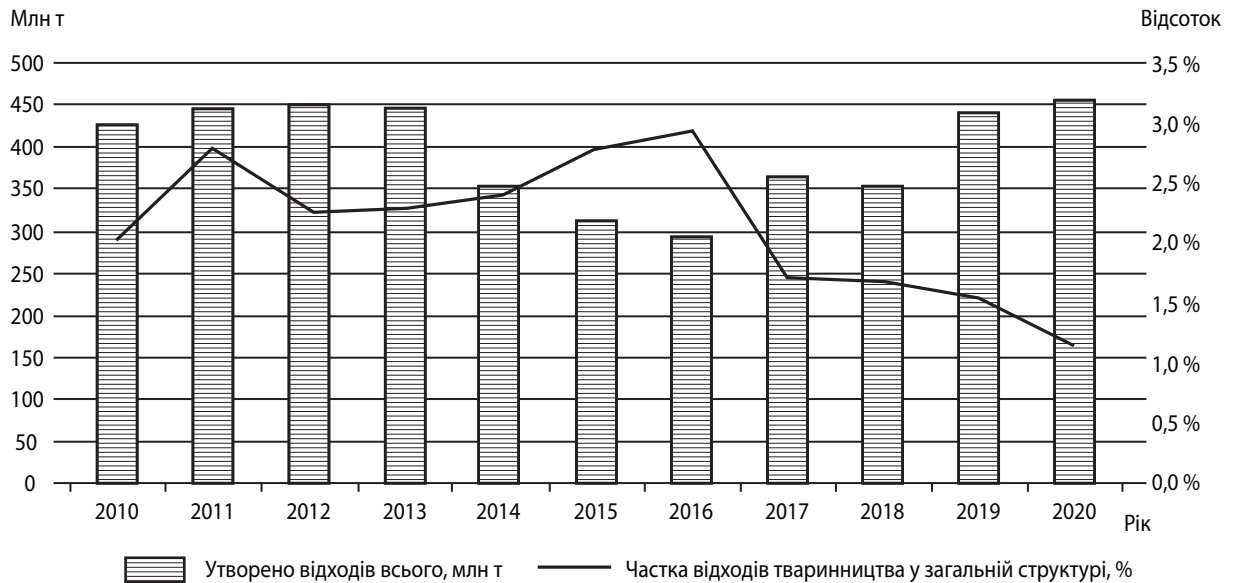


Рис. 1. Обсяги утворення відходів сільського господарства (рослинництва і тваринництва), 2010–2020 рр., млн т

Джерело: побудовано авторами на основі [2]

досяг піку в 441,5 млн т, але знову зменшився у 2020 р. до 456,4 млн т. Таким чином, протягом останніх років сільськогосподарські відходи в середньому становили близько 2,1 % від загальної кількості відходів, що утворюються в Україні. В цілому можна зробити висновок, що сільськогосподарські відходи не є найбільшим джерелом утворення відходів у країні, але їх негативний вплив на довкілля та здоров'я населення не можна ігнорувати.

В Україні ця тенденція посилюється необхідністю подолання енергетичного дефіциту, зменшення залежності від імпорту нафти та наявності потужного природно-ресурсного потенціалу. Підвищення вартості традиційних джерел енергії, зростаючий дефіцит енергетичних ресурсів та негативний вплив на навколишнє середовище споживання викопних видів палива є головними рушійними силами, що спричиняють постійне зростання обсягів виробництва біопалива в усьому світі. Задля подальшого розвитку економіки відповідно до світових стандартів розвиток біоенергетики має особливо важливе значення для України. На сучасному етапі розвитку держави близько 245 виробництво біопалив виступає одним з головних каталізаторів нових глобальних тенденцій в агропромисловому комплексі України [6].

Отже, особливу увагу слід приділити: забезпеченню раціонального використання природних ресурсів завдяки ефективному поводженню з відходами; формуванню концепції ресурсозберігаючого аграрного сектору за рахунок розроблення і впровадження біоорганічних технологій вирощування сільськогосподарських культур для виробництва біопалив з агробіомаси та відходів галузі тваринництва, забезпеченню енергетичної незалежності галузі та формуванню продовольчої безпеки нашої держави [4].

Зазначимо, що аграрний сектор чи не найбільше з усіх галузей економіки країни потерпає від змін клімату, проте, він теж не є екологічним і впливає на зміну клімату.

Агропромисловий комплекс є значним джерелом викидів парникових газів за рахунок використання викопних видів палива, спалювання рослинних решток на полях, недотримання норм утилізації відходів продукції рослинництва і тваринництва, харчових відходів, принципів землекористування тощо. Вирішити окреслені проблеми можна шляхом впровадження екологічно безпечних технологій виробництва і використання біопалив у агроформуваннях. Такі технології не лише сприяють зменшенню викидів вуглекислого газу, а й забезпечують енергетичну незалежність підприємства та галузі, підвищують родючість ґрунту і рентабельність виробництва сільськогосподарської продукції загалом [5]. Проблема утилізації відходів сільського господарства (тваринницьких та птахівницьких комплексів тощо) є дуже актуальною, і вона набула особливої важливості у світі європейського досвіду. Європейські країни вже декілька десятиліть активно займаються вирішенням цієї проблеми і впроваджують передові практики та технології, що мають значний потенціал для покращення утилізації сільськогосподарських відходів та відновлення екологічної стабільності.

Один із ключових аспектів європейського досвіду полягає в розвитку і підтримці біогазових установок та біореакторів, які переробляють органічні відходи у біогаз і біодобрива. Біогаз виробляється через анаеробний розклад органічного матеріалу та може бути використаний для генерації електроенергії та тепла. Біодобрива, отримані з відходів, можуть бути використані для покращення родючості ґрунту та підвищення врожайності.

Варто до уваги брати досвід ЄС, який показує, що у більшості європейських країн фермерські господарства встановлюють біогазові установки потужністю у 50–100 кВт, це вигідно і є масовим явищем. Причина такого парадоксу дуже проста – вона полягає у рівні стимулювання біогазового напрямку (табл. 1).

Стимулювання розвитку виробництва біогазу у країнах ЄС

Стимул	Україна	Країни ЄС
Дешеві кредити на будівництво біогазових установок	Валютні банківські кредити для будівництва біогазових станцій переважно вітчизняні банки дають під високі відсотки. Під невеликі відсотки видають кредити лише під об'єкти великої потужності з коротким терміном окупності. Банки надають кредити в середньому під від 3,3 % до 7,5 % на рік	У більшості європейських країн фермерські господарства встановлюють біогазові установки потужністю у 50–100 кВт. Це є масовим явищем, тому що середня ставка за кредитами на біогазові й біометанові станції становить 0,5 % річних. Але на місцевому рівні вона може бути встановлена і нижче
Високий «зелений» тариф на продаж електроенергії, виробленої з біогазу	«Зелений» тариф на електричну енергію з біогазу становить 12,38 євроцента/кВт год. З 1 січня 2020 року згідно із законодавством очікується його зниження на 10 %, а з 1 січня 2025 року – ще на 10 %	У європейських країнах діє «зелений» тариф на електрику з біогазу, встановлюють його у диференційованому вигляді – найвищий тариф видається для установок малої потужності. Так, наприклад, у Німеччині «зелений» тариф на електроенергію з біогазу становить 0,134–0,237 євро за 1 кВт/год; в Австрії – 0,156–0,186; у Франції – 0,15–0,175
Премії за продаж біометану (тобто очищеного біогазу) у розподільчі мережі низького тиску	В Україні відсутні премії за продаж очищеного біогазу	У Німеччині діє технологічний бонус у розмірі 0,03 євро за 1 кВт/год у разі, якщо біогаз очищується; в Австрії – 0,02 євро за 1 кВт/год. В Італії існує премія за біометан до ринкової ціни на природний газ у розмірі 0,796 євро за 1 куб. м; у Данії – 0,735 євро за 1 куб. м; у Великій Британії є премія на електроенергію у розмірі 0,1–0,116 євро за 1 кВт/год і за біометан у розмірі 0,56 євро за 1 куб. м. У Франції є «зелений» тариф на електроенергію з біогазу – 0,15–0,175 євро за 1 кВт/год, тариф на біометан для аграрних підприємств – 0,85–1,25 євро за 1 куб. м. У Нідерландах функціонує п'ять категорій тарифу на біометан – від 0,483 до 1,035 євро за 1 куб. м

Джерело: сформовано на основі [7]

В Україні встановлений найнижчий «зелений» тариф для електроенергії, що виробляється з використанням біогазу, і цей тариф не враховує розмір потужності установки. Водночас як у багатьох європейських країнах діють «зелені» тарифи, які застосовуються у диференційованому порядку, при цьому найвищий тариф надається установкам малої потужності. Ця практика дозволяє сприяти розвитку менших біогазових проєктів і забезпечує більшу стимуляцію для екологічно чистої енергетики у всіх розмірах.

Європейський досвід показує важливість стимулів і регулюючих механізмів для підтримки утилізації відходів у сільському господарстві. Це може включати в себе фінансові пільги, субсидії та інші заходи, що стимулюють сільські господарства до активної участі в програмах відновлення та збереження навколишнього середовища.

Продовжуючи мову про досвід України та країн ЄС у сфері виробництва біогазу, у табл. 2 і табл. 3 наведено технічні характеристики біогазових установок для утилізації сільськогосподарських відходів: пташиного посліду, гною великої рогатої худоби та свиней, а також змішаного субстрату – гною та відходів зернових.

Зазначимо, що біогазові установки, призначені для домашніх господарств, зменшують викиди парникових газів за рахунок зменшення використання палива на основі біомаси. Біогаз утворюється за допомогою проце-

су анаеробного зброджування, за якого мікроорганізми руйнують органічні матеріали в умовах відсутності кисню. Для отримання біогазу біологічні відходи завантажуються до реактора, де вони зброджують протягом приблизно 8 тижнів.

У процесі бродіння у безкисневому середовищі утворюється біогаз, що потім витягується через клапан, розташований у верхній частині бродильного резервуару. Побудований під землею, бродильний реактор може працювати більше 20 років. Анаеробне перетворення органічних відходів, окрім можливості отримання енергії та органічних добрив, має ряд соціальних та екологічних переваг. Узагальнення позитивних аспектів використання індивідуальних біогазових установок наведено на рис. 2.

Біогаз сприяє зменшенню негативних зовнішніх впливів, пов'язаних із органічними відходами, такими як забруднення ґрунтових вод та ґрунтів, зменшує викиди забруднюючих речовин у повітря, таких як діоксини та фурані, а також метану, що є парниковим газом.

Вміст азоту в рідині після анаеробного розщеплення збільшується порівняно з неочищеним тваринним гноєм, таким чином, він може використовуватися як органічне добриво. Біогазові реактори, що побудовані з наявних матеріалів місцевими працівниками, надають додаткові можливості для працевлаштування.

Таблиця 2

## Характеристика установок для утилізації відходів з отриманням біогазу Німеччини

Показник	«ZORGBiogasAG, Німеччина	Biogasanlage Neustadt, Німеччина	WELtek BioPower, Німеччина
Продуктивність по переробки відходів, т/доба	196	659	110
Субстрат	Рослинні залишки	Послід	Зернові доходи
Споживана електроенергія, кВт/рік	69885	75222	25014
Споживана тепла енергія, кВт/рік	39880	42890	605887
Отримання теплової енергії, тис. кВт/рік	29850	185993	1346910
Отримання електричної енергії, тис. кВт/рік	29803	58779	1744508
Одержання добрив			
у рідкому вигляді, м <sup>3</sup> /рік	59500	196850	250985
у твердому вигляді, т/рік	12960	5899	11785
Отримання біогазу, м <sup>3</sup> /добу	25900	35608	1295

Джерело: сформовано автором на основі опрацьованої літератури

Таблиця 3

## Характеристика установок для утилізації відходів з отриманням біогазу України

Показники	БГУ корпорації «Агро-овен»	БГУ ТзОВ «Гудвеллі Україна»	БГУ на птахофабриці «Оріль-лідер»	БГУ ТОВ «Теофіпольська енергетична компанія»	БГУ ВП «Біогаз Ладизжин»
	А	Б	В	Г	Д
Потужність	0,16 МВт	1,3 МВт	5,7 МВт	5,1-10,5 МВт	12 МВт
Наявність «зеленого» тарифу	ні	так	так	так	ні
Сировина	гній свиней, жирові відходи забою птиці	гній свиней, кукурудзяний силос	курячий послід птахофабрики, силос сорго, стічнавода очисних споруд	буряковий жом, кукурудзяний, силос, свинячий гній	курячий послід, гній ВРХ, силос, флотаційний шлам
Призначення	установка призначена для обробки 80 т/добу гнойових стічних вод зі свиноферми з поголів'ям 15 тис. свиней	використання 15 % від виробленої енергії на обслуговування потреб заводу, решта – продається державі	електропостачання для 15000 квартир і теплове забезпечення 1 500 квартир)	90 % енергії, яка виробляється, спрямовується до НАК «Укренерго»	переробка курячого посліду – 460 т/добу; силосу – 60 т/добу; гною ВРХ – 60 т/добу; флотаційного шламу – 160 м <sup>3</sup> /добу

Джерело: сформовано автором на основі опрацьованої літератури

Наведемо дані по генерації біогазу по станом на 2022 р. (табл. 4). Проведене дослідження показало, що у сучасних умовах ефективна діяльність підприємств агропромислового комплексу, враховуючи зміни зовнішнього середовища, можлива лише за умов здійснення випереджувальних заходів, спрямованих на збереження його життєздатності, конкурентоспроможності та автономію, тобто за умов постійного стратегічного та інноваційного розвитку спрямованого на енергозберігаючі технології з замкнутим циклом виробництва та переробки, в тому числі і відходів на біогазових установках [12].

Отже, загальна оцінка біогазової установки базується на балансуванні цих чотирьох груп показників: технічних, технологічних, економічних, екологічних. Технічні показники визначають стан і функціональність обладнання біогазової установки.

Вони характеризують надійність, продуктивність і ефективність технічних процесів. Це включає в себе роботу генеруючих установок, споживану енергію, а також мінімізацію ймовірності появи несправності та витрат на обслуговування відповідно.

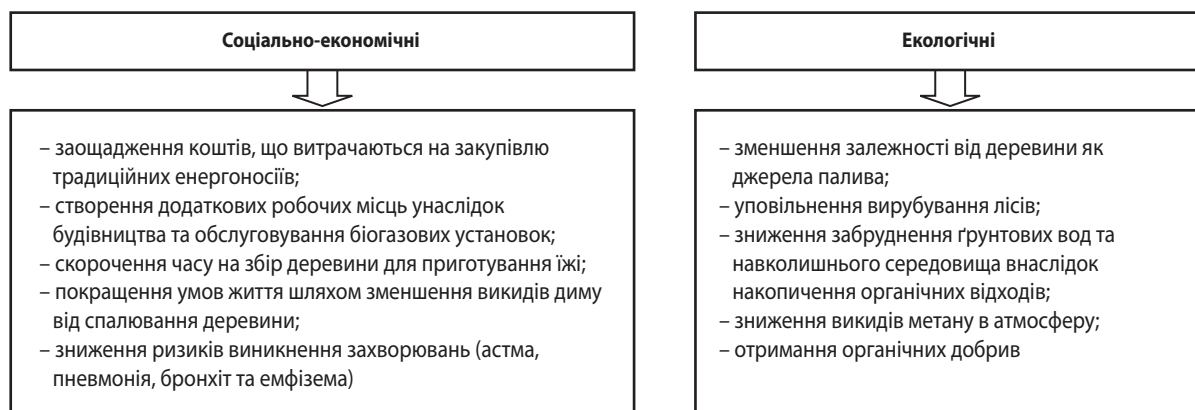


Рис. 2. Позитивні фактори будівництва індивідуальних біогазових установок

Джерело: узагальнено авторами на основі опрацьованої літератури [7]

Таблиця 4

Дані по роботі біогазових компаній в Україні, 2022 р.

Регіони	Компаній	Об'єктів	Виробництво електроенергії 2022 р. (млн Вт-год)	Встановлена потужність (МВт)
Волинська	1	1	0	0,33
Рівненська	3	3	1,632	1,284
Миколаївська	3	3	0,274	1,589
Закарпатська	2	2	1,192	1,644
Тернопільська	2	2	3,839	1,726
Івано-Франківська	2	2	5,043	1,826
Полтавська	2	1	3,118	1,848
Харківська	2	1	0	1,908
Житомирська	2	2	0,434	2,564
Запорізька	2	1	2,546	3,201
Донецька	4	2	2,007	3,673
Херсонська	2	2	5,77	3,965
Одеська	2	2	10,982	6,199
Кіровоградська	2	2	13,638	6,639
Черкаська	2	2	15,92	8,1
Київська	8	7	11,349	10,87
Чернігівська	5	4	17,862	11,303
Дніпропетровська	5	4	13,123	12,236
Вінницька	4	4	35,418	18,829
Хмельницька	6	3	39,496	27,485

Джерело: сформовано авторами на основі даних [11]

Технологічні показники відображають рівень використання передових методів ферментації, очищення газу, моніторингу та керування процесами. Технологічні показники є важливими для забезпечення оптимального функціонування біогазової установки, збільшення виходу біогазу

та підвищення якості продукту, що виробляється, що, своєю чергою, впливає на прибутковість проекту.

Економічні показники оцінюють фінансову ефективність біогазової установки. Це включає в себе вартість виробництва біогазу, прибутковість, амортизацію обладнан-

ня, витрати на паливо, обслуговування, встановлення та налаштування. Може також включати розрахунки терміну окупності та прибутковості інвестицій.

Екологічні показники відображають вплив біогазової установки на навколишнє середовище. Це включає викиди парникових газів, використання відновлюваних джерел сировини і споживання ресурсів.

Важливо враховувати всі аспекти, щоб забезпечити максимальну ефективність і сталість управління біогазовими установками, які враховують потреби споживачів, вимоги технологічних стандартів, економічні обмеження та екологічну (соціальну) відповідальність.

Для оцінки ефективності функціонування біогазових установок в пропонуємо використовувати методи нечіткої логіки. Методи теорії нечітких множин досить широко використовуються майже у всіх прикладних галузях, у тому числі й дослідженнях екологічного спрямування. Так, наприклад, Гончарук І. В. використовує методи нечіткої логіки при розробці економіко-математичної моделі оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності агропромислового комплексу України [9]. Козловський С. В. та Мазур Г. Ф. [10] пропонують використовувати інструментарій нечітких множин для прогнозування рівня економіко-політичного стимулювання агропромислового виробництва України.

Застосування методу нечіткої логіки в оцінці ефективності функціонування біогазових установок відкриває можливість більш точно й об'єктивно оцінити їхню ефективність, враховуючи різноманітність та невизначеність вихідних даних та критеріїв оцінки. У контексті зазначеного, ми виділяємо ряд переваг від використання цього методу:

- можливість моделювати «нечіткі» дані – експлуатація біогазових установок може характеризуватися параметрами або величинами, які важко чітко та однозначно визначити та інтерпретувати через вплив різного роду факторів. У традиційному підході до моделювання даних використовується концепція чітких множин, які мають конкретне визначення, а її елементи можуть мати або не мати приналежність до досліджуваної множини. Основною перевагою нечіткої логіки є можливість моделювати «нечіткі» дані в рамках деякої множини, яка не має чіткого визначення, а її елементи мають певну ступінь приналежності до цієї самої множини;
- прийняття рішень на основі нечітких правил – застосування методу нечіткої логіки дозволяє створити нечіткі правила прийняття рішень, які враховують нечіткість і невизначеність вихідних даних;
- агрегація нечітких даних – на основі інструментарію нечіткої логіки можна агрегувати інформацію з різних джерел, щоб отримати комплексні оцінки ефективності. Це допомагає зробити оцінку більш повною та об'єктивною;
- аналіз чутливості – застосування методів нечіткої логіки дозволяє проводити аналіз чутливості з метою визначення рівня впливу тих чи інших па-

раметрів або факторів на результуючу оцінку. Це допомагає ідентифікувати ключові аспекти, які можуть бути покращені для підвищення ефективності установки;

- прийняття рішень в умовах невизначеності – біогазові установки зазвичай функціонують в умовах невизначеності, де прийняття рішень ускладнене або навіть неможливе через обмежену або неповну інформацію про фактори, які впливають на функціонування системи. Застосування методів нечіткої логіки у цьому контексті дозволяє врахувати невизначеність даних і адаптувати оцінки та стратегії до умов середовища функціонування предмета дослідження.

Загалом використання нечітких множин у оцінці біогазових установок допомагає зробити процес оцінки більш гнучким, об'єктивним та здатним адаптуватися до невизначеності та динамічних змін під час експлуатації. Це сприяє розвитку більш сталих та ефективних рішень у сфері виробництва біогазу та використання відновлюваної енергії. Зазначене обґрунтовано з ряду причин, зокрема:

- 1) оцінка виходу біогазу – моделі, побудовані методами нечіткої логіки, можуть враховувати різні параметри, які впливають на видобуток біогазу, такі як температура, вологість, склад сировини, інтенсивність процесів бродіння тощо. Вони дозволяють визначити ступінь ефективності установки залежно від цих факторів;
- 2) оптимізація робочих параметрів – моделі можуть бути використані для підбору оптимальних значень параметрів, таких як температура, тиск, час резиденції тощо. За допомогою нечіткої логіки можна визначити, які значення параметрів призводять до найкращої продуктивності;
- 3) прогнозування ризиків і відмов – моделі можуть слугувати для передбачення можливих ризиків у роботі біогазової установки на основі минулих даних та поточних умов.

У зв'язку з поставленою метою дослідження виконаємо постановку задачі із застосуванням нечітких множин щодо оцінки ефективності функціонування біогазових установок за такими пріоритетними показниками, а саме технічними, технологічними, економічними, екологічними.

Введемо лінгвістичну змінну  $EBP$  = «Оцінка біогазової установки». Для даної лінгвістичної змінної універсальною множиною значень пропонуємо відрізок  $[0; 1]$ . Множиною значень змінної  $EBP$  є терм-множина  $E^* = \{E_1, E_2, E_3\}$ , де  $E_1$  = «Низька оцінка»;  $E_2$  = «Середня оцінка»;  $E_3$  = «Висока оцінка». Кожний терм  $E_i$  із терм-множини  $E^*$  є назвою нечіткої підмножини на відрізку  $[a; b]$ , яка безпосередньо і описує рівень ефективності функціонування біогазової установки.

Для опису вихідних термів  $E^*$  нами пропонується використати кусково-лінійні функції належності. Кусково-лінійні функції належності можна подати у вигляді «кускової» функції, яка приймає значення в інтервалі  $[0, 1]$ . Ця функція оцінює, наскільки елемент належить до нечіткої множини. Вона може бути розбита на кілька ліній-



них сегментів, кожен з яких відповідає певному ступеню належності. Найбільш часто вживаним функціями належності при моделюванні нечітких моделей із невеликою кількістю термів є трапецієподібна та трикутна функції належності.

Трикутна функція належності – це функція, яка описує ступінь належності точки до деякої нечіткої множини. Вона має вигляд трикутника, вершини якого розташовані на трьох точках:  $a$  – точка з мінімальним значенням функції належності;  $b$  – точка з максимальним значенням функції належності;  $c$  – точка, яка ділить трикутник навпіл. Трикутна функція належності має вигляд (1) [8]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & x > c, \end{cases} \quad (1)$$

де  $a, b, c$  – деякі числові параметри, які характеризують межі лінгвістичного терму, упорядковані відношенням  $a \leq b \leq c$ .

Трапецієподібна функція належності, як і трикутна, часто використовується для опису нечітких множин, які мають чітке центральне значення. Однак, на відміну від останньої, вона дозволяє описати нечіткі множини, які мають асиметричну форму (мають чіткі мінімальне і максимальне значення). Ця функція належності задається таким чином (2) [8]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d, \\ 0, & x > d, \end{cases} \quad (2)$$

де  $a, b, c, d$  – деякі числові параметри, які характеризують межі лінгвістичного терму, упорядковані відношенням  $a \leq b \leq c \leq d$ .

Таким чином, для опису вихідних термів  $E_1$  та  $E_3$  нами обрано трапецієподібну функцію належності, а для терму  $E_2$  – трикутну. Для наочного представлення функцій належності пропонуємо такі параметри ключових точок термів  $E_i$  терм-множини  $E^*$  (табл. 5).

Таблиця 5

Параметри тривірневого класифікатора

Лінгвістична змінна	Терм-множина	Параметри ключових точок термів	Тип функції належності
Оцінка біогазової установки	Низька оцінка	[0; 0; 0,15; 0,35]	Трапецієподібна
	Середня оцінка	[0,25; 0,5; 0,75]	Трикутна
	Висока оцінка	[0,65; 0,8; 1; 1]	Трапецієподібна

Джерело: розроблено авторами

Терми задаються нечіткими множинами, які описуються за допомогою функцій належності. У пропонуваній моделі вони будуються на основі емпіричних даних і залежно від їх «природи» характеризуються трикутною або трапецієподібною функцією. Слід зазначити, що параметри функцій належності термів лінгвістичної змінної  $EBP$  залежать від пристроїв, що використовуються для збору фільтрату і біогазу та лягають в основу побудови оціночної моделі установки загалом.

На основі збору інформації  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  про технічні характеристики окремих пристроїв будується загальна інтегральна оцінка за всіма термами. Після дефазифікації отриманих результатів експерту надходить конкретна оцінка ефективності функціонування установки у лінгвістичній інтерпретації.

Отже, для побудови системи нечітких оцінок для оцінки ефективності функціонування біогазових установок визначимо таку множину часткових показників (технічних, технологічних, економічних, екологічних)  $X^* = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$ , які істотно впливають на загальну оцінку біогазової установки (табл. 6).

Зазначимо, що кількість факторів та їх зміст у цій роботі є умовним прикладом. Оскільки основною метою

дослідження є демонстрація можливостей застосування методів нечіткої логіки для оцінювання ефективності функціонування біогазової установки і цей масив критеріїв може бути доповнений новими факторами або змінений на інші відповідно до цілей дослідження. Згідно з наведеною конфігурацією проілюструємо функції належності, використовуючи пакет інструментів «Fuzzy Logic Toolbox» за алгоритмом нечіткого виведення Мамдані програмного комплексу «MATLAB» (рис. 3).

У загальному вигляді модель оцінки оцінювання ефективності функціонування біогазової установки, побудована методами нечіткої логіки, буде мати п'ять входів і один вихід (рис. 4).

За описаним принципом будується експертна система оцінки ефективності функціонування біогазових установок за окремими показниками. Для кожної окремої установки  $BP_p$ , яку можна описати частковими показниками  $X_p$ , будується власна матриця значень функцій належності:

$$EBP = \left\| E_k^{(X_n)} \right\|_{k=1,3}^{n=1,5}$$

де  $E_k$  – вихідне значення терм-множини  $E^*$ ;  
 $X^n$  – вхідне значення терм-множини;

Система нечітких оцінок для оцінки ефективності функціонування біогазових установок

Змінна	Критерій	Терм-множина	Параметри ключових точок термів	Тип функції приналежності
$X_1$	Ефективність збору біогазу, од	Низька ефективність	$\mu_1 = [0; 0; 0,15; 0,35]$	Трапецієподібна
		Середня ефективність	$\mu_2 = [0,25; 0,5; 0,75]$	Трикутна
		Висока ефективність	$\mu_3 = [0,65; 0,8; 1; 1]$	Трапецієподібна
$X_2$	Ефективність збору фільтрату, од	Низька ефективність	$\mu_1 = [0; 0; 0,15; 0,35]$	Трапецієподібна
		Середня ефективність	$\mu_2 = [0,25; 0,5; 0,75]$	Трикутна
		Висока ефективність	$\mu_3 = [0,65; 0,8; 1; 1]$	Трапецієподібна
$X_3$	Вартість біогазової установки, %	Низька вартість	$\mu_1 = [0; 0; 0,15; 0,25]$	Трапецієподібна
		Помірна вартість	$\mu_2 = [0,15; 0,25; 0,45; 0,55]$	Трапецієподібна
		Середня вартість	$\mu_3 = [0,45; 0,55; 0,75; 0,85]$	Трапецієподібна
		Висока вартість	$\mu_4 = [0,75; 0,85; 1; 1]$	Трапецієподібна
$X_4$	Простота конструктиву біогазової установки, %	Низький рівень	$\mu_1 = [0; 0; 0,15; 0,25]$	Трапецієподібна
		Середній рівень	$\mu_2 = [0,15; 0,25; 0,45; 0,55]$	Трапецієподібна
		Високий рівень	$\mu_3 = [0,45; 0,55; 0,75; 0,85]$	Трапецієподібна
$X_5$	Рівень автоматизації роботи біогазової установки, %	Низький рівень	$\mu_1 = [0; 0; 0,15; 0,35]$	Трапецієподібна
		Середній рівень	$\mu_2 = [0,25; 0,5; 0,75]$	Трикутна
		Високий рівень	$\mu_3 = [0,65; 0,8; 1; 1]$	Трапецієподібна

Джерело: розроблено авторами

$X_i^*$ ;  $n$  – кількість термів вхідних показників;

$k$  – кількість термів вихідної оцінки.

Розрахунок значення функції приналежності по результирующей терм-множині буде розглядатися як перетин наявних множин [9]:

$$X = X_1 \cap X_2 \cap X_3 \cap X_4 \cap X_5,$$

$$\mu_{E_k} = \sum_{i=1}^n \lambda_i * \mu_{E_k}(X_i).$$

За результатами розрахунків отримується результативна оцінка біогазових установок:

$$E = \begin{cases} E_1 = \text{висока оцінка установки з функцією приналежності } \mu_{E_1}(X) \\ E_2 = \text{середня оцінка установки з функцією приналежності } \mu_{E_2}(X) \\ E_3 = \text{низька оцінка установки з функцією приналежності } \mu_{E_3}(X) \end{cases}$$

Використовуючи описану вище технологію нечітких оцінок, виконаємо порівняльний аналіз розглянутих біогазових установок у табл. 3. Запишемо результати розрахунку нечітких оцінок показників  $X_1 - X_5$  пристроїв, що порівнюються (табл. 7).

Отже, оцінка ефективності функціонування біогазових установок здійснюється відповідно до отриманих значень функцій приналежності. Так, установка А характеризується наступними значеннями функцій приналежності 0,013; 0,151; 0,262; 0,948; 0,714; установка Б – 0,265; 0,481; 0,523; 0,313; 0,785; В – 0,455; 0,372; 0,674; 0,494; 0,452; установка Г – 0,694; 0,599; 0,779; 0,592; 0,264; установка Д – 0,852; 0,761; 0,891; 0,254; 0,321.

Таким чином, можна стверджувати, що установка А, Б, В – мають середню оцінку ефективності функціонування (міра впевненості у цьому твердженні становить 0,647, 0,721 та 0,701 відповідно); установка Г та Д – високу оцінку ефективності (міра впевненості у цьому твердженні становить 0,858 та 0,937 відповідно). Розроблена система визначення оцінки ефективності функціонування біогазових установок, яка дозволяє визначити інтегральну характеристику їх якості у формі традиційних значень з метою вибору найбільш оптимального пристрою. Це забезпечується шляхом порівняння декількох пристроїв і формування векторів нечітких оцінок, що характеризують можливості різних станів якості установки.

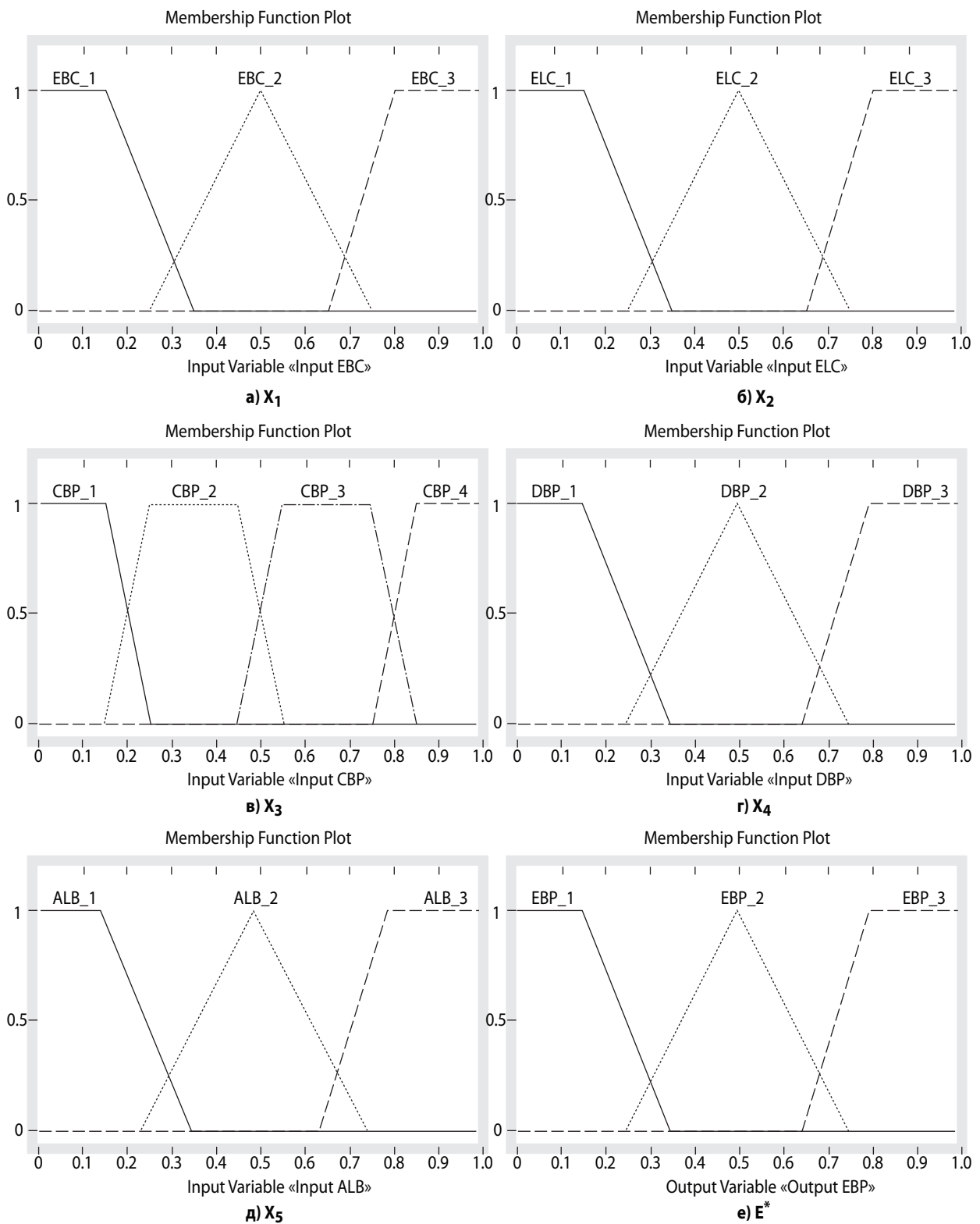


Рис. 3. Границі лінгвістичних терм-множин оціночних критеріїв

Джерело: розроблено авторами

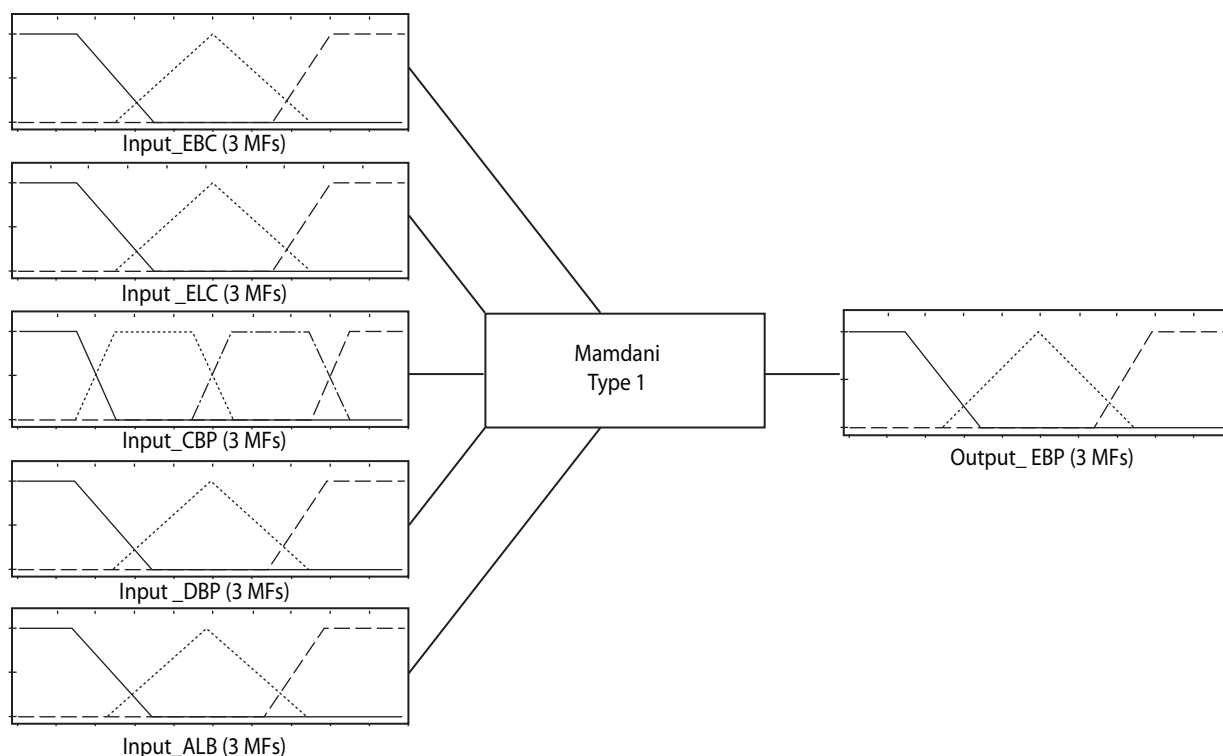


Рис. 4. Модель оцінки оцінювання ефективності функціонування біогазових установок

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 7

Порівняння таблиць показників біогазових установок А–Д

Критерій	Біогазові установки				
	А	Б	В	Г	Д
Ефективність збору біогазу, од.	0,013	0,265	0,455	0,694	0,852
Ефективність збору фільтрату, од.	0,151	0,481	0,372	0,599	0,761
Вартість біогазової установки, %	0,262	0,523	0,674	0,779	0,891
Простота конструктиву біогазової установки, %	0,948	0,313	0,494	0,592	0,254
Рівень автоматизації роботи біогазової установки, %	0,714	0,785	0,452	0,264	0,321
Інтегральна оцінка	0,647	0,721	0,701	0,858	0,937

Джерело: розроблено авторами

**Висновки.** Отже, сфера біотехнологій є однією із найбільш пріоритетних та технологічно розвинених галузей наук. Впровадження передових технологій у якості біоінновацій на основі результатів фундаментальних дослідження біологічних та молекулярно-біологічних напрямів біоекономіки лягли в основу нового вектора розвитку економіки – біоекономіки як такої, яка ґрунтується на знаннях в науці, технологіях та інноваціях, спрямованих на сталий розвиток. Біотехнології можуть стати потужним інструментом для вирішення проблем забруднення довкілля та збереження біорізноманіття. Застосування біотехнологій може зменшити використання хімічних речовин і мінеральних добрив, а також допомогти відновити забруднені ділянки землі та води. Впровадження біотехнологій в еко-

номіку є необхідним кроком для забезпечення сталого майбутнього та збереження нашого навколишнього середовища.

Завдяки використанню біотехнологій у сфері економіки ми маємо можливість реалізувати перспективи сталого розвитку та створити світ, де економічний прогрес і природоохоронні цінності гармонійно поєднуються.

Біогазові установки є ключовим елементом переходу до виробництва чистої, відновлюваної енергії. Вони забезпечують можливість використання органічних відходів для виробництва газу, що, своєю чергою, може слугувати джерелом енергії для домогосподарств та підприємств.

Однак оцінка ефективності функціонування біогазової установки вимагає ґрунтового аналізу та врахування

численних технічних (надійність і продуктивність установок), технологічних (очищення та обробки біогазу), економічних (витрати та прибутковість проекту) та екологічних (мінімізація негативного впливу на навколишнє середовище) аспектів.

р біогазової установки може вплинути на ефективність виробництва біогазу, його конкурентоспроможність на ринку енергетики, а також на загальний внесок у збереження навколишнього середовища.

Отже, для визначення найбільш оптимальних технологій необхідно вибрати таку технологію, технічні заходи чи управлінські рішення, які є найбільш дієвими для досягнення загального високого рівня охорони навколишнього середовища. Тут можуть виникнути ситуації, у яких незрозуміло, яка саме технологія забезпечуватиме найвищий рівень охорони довкілля. Тому виникає необхідність проведення порівняльної оцінки варіантів технологій для вибору найбільш оптимальної.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Паламаренко Я. В. Сучасний стан та перспективи розвитку біогазової галузі України. *Інвестиції: практика та досвід*. 2019. № 21. С. 54–62.  
DOI: 10.32702/2306-6814.2019.21.54
2. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua>
3. Чіков І. А., Тітов Д. В. Екологічна збалансованість та інновації: роль біотехнологій у сучасних реаліях. *Агросвіт*. 2023. № 14. С. 37–45.  
DOI: 10.32702/2306-6792.2023.14.37
4. Гончарук І. В., Панцирева Г. В., Вовк В. Ю., Верхолюк С. Д. Дослідження екологічної безпеки та економічної ефективності дигестату як біодобрива. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 2. С. 86–92.  
DOI: 10.33730/2310-4678.2.2023.282744
5. Гончарук І. В. Виробництво біогазу в аграрному секторі – шлях до підвищення енергетичної незалежності та родючості ґрунтів. *Агросвіт*. 2020. № 15. С. 18–29.  
DOI: 10.32702/2306-6792.2020.15.18
6. Пришляк Н. В., Паламаренко Я. В., Березюк С. В. Стратегічне управління інноваційним розвитком взаємопов'язаних галузей з виробництва біопалива. Вінниця : ТОВ «Друк», 2020. 404 с. URL: <http://repository.vsu.org/getfile.php/25496.pdf>
7. Пришляк Н. В., Токарчук Д. М., Гончарук І. В. та ін. Сучасний стан виробництва біогазу в Україні: інформаційно-аналітичний огляд. Вінниця : ТОВ «Консоль», 2019. 118 с.
8. Заде Л. А. Поняття лінгвістичної змінної та його застосування до прийняття наближених рішень. Київ : Світ, 1976. 287 с.
9. Гончарук І. В. Моделювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності агропромислового комплексу України на засадах сталого розвитку. *Ефективна економіка*. 2020. № 10. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8254>  
DOI: 10.32702/2307-2105-2020.10.55
10. Козловський С. В., Мазур Г. Ф. Моделювання та прогнозування рівня державного стимулювання агропромислового виробництва в Україні на основі теорії нечіткої логіки. *Економіка та держава*. 2017. № 9. С. 8–15.
11. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://saee.gov.ua/uk>
12. Паламаренко Я. В. Сучасні підходи до оцінювання рівня стратегічного розвитку підприємства. *Ефективна економіка*. 2020. № 5. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7902>  
DOI: 10.32702/2307-2105-2020.5.80

DOI: 10.32702/2307-2105-2020.5.80

13. Паламаренко Я. В., Чіков І. А. Дослідження перспектив використання агробіомаси в напрямку забезпечення екологічної та енергетичної незалежності підприємств АПК. *Бізнес Інформ*. 2023. № 5. С. 98–112.  
DOI: 10.32983/2222-4459-2023-5-98-112

14. Chikov I., Radko V., Marshalok M., Tepluk M., Petrenko O., Sharko I, Sitkovska A. Economic Development of Agricultural Food Enterprises on an Innovative Basis. *Financial and credit activity-problems of theory and practice*. 2022. Vol. 1 (42). P. 98–106.

## REFERENCES

Chikov, I. A., and Titov, D. V. "Ekolohichna zbalansovanist ta innovatsii: rol biotekhnologii u suchasnykh realiakh" [Ecological Balance and Innovation: The Role of Biotechnology in Modern Realities]. *Ahrosvit*, no. 14 (2023): 37-45.

DOI: 10.32702/2306-6792.2023.14.37

Chikov, I. et al. "Economic Development of Agricultural Food Enterprises on an Innovative Basis". *Financial and credit activity-problems of theory and practice*, vol. 1 (42) (2022): 98-106.

Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. <https://www.ukrstat.gov.ua>

Derzhavne ahentstvo z enerhoefektyvnosti ta enerhozberzhennia Ukrainy. <https://saee.gov.ua/uk>

Honcharuk, I. V. "Modeliuvannia ta prohnozuvannia rivnia enerhetychnoi nezalezhnosti ahropromyslovoho kompleksu Ukrainy na zasadakh staloho rozvytku" [Modeling and Forecasting the Level of Energy Independence of the Agro-industrial Complex of Ukraine on the Basis of Sustainable Development]. *Efektivna ekonomika*, no. 10 (2020).

DOI: 10.32702/2307-2105-2020.10.55

Honcharuk, I. V. "Vyrobnytstvo biohazu v ahroaromomu sektori - shliakh do pidvyshchennia enerhetychnoi nezalezhnosti ta rodiiuchosti gruntiv" [Biogas Production in the Agricultural Sector Is a Way to Increase Energy Independence and Soil Fertility]. *Ahrosvit*, no. 15 (2020): 18-29.

DOI: 10.32702/2306-6792.2020.15.18

Honcharuk, I. V. et al. "Doslidzhennia ekolohichnoi bezpeky ta ekonomichnoi efektyvnosti dyhestatu yak biodobryva" [Study of Ecological Safety and Economic Efficiency of Digestate as a Biofertilizer]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, no. 2 (2023): 86-92.

DOI: 10.33730/2310-4678.2.2023.282744

Kozlovskiy, S. V., and Mazur, H. F. "Modeliuvannia ta prohnozuvannia rivnia derzhavnogo stymuliuvannia ahropromyslovoho vyrobnytstva v Ukraini na osnovi teorii nechitkoi lohiky" [Modeling and Forecasting the Level of State Stimulation of Agro-industrial Production in Ukraine Based on the Theory of Fuzzy Logic]. *Ekonomika ta derzhava*, no. 9 (2017): 8-15.

Palamarenko, Ya. V. "Suchasni pidkhody do otsiniuvannia rivnia strateichnogo rozvytku pidpriemstva" [Modern Approaches to Assessing the Level of Strategic Development of an Enterprise]. *Efektivna ekonomika*, no. 5 (2020).

DOI: 10.32702/2307-2105-2020.5.80

Palamarenko, Ya. V. "Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku biohazovoi haluzi Ukrainy" [The Current State and Prospects for the Development of the Biogas Industry in Ukraine]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, no. 21 (2019): 54-62.

DOI: 10.32702/2306-6814.2019.21.54

Palamarenko, Ya. V., and Chikov, I. A. "Doslidzhennia perspektiv vykorystannia ahrobiomasy v napriamku zabezpechennia

ekolohichnoi ta enerhetychnoi nezalezhnosti pidpriemstv APK" [A Study on Prospects for the Use of Agrobiomass in the Direction of Ensuring Environmental and Energy Independence of Agricultural Enterprises]. *Biznes Inform*, no. 5 (2023): 98-112.

DOI: 10.32983/2222-4459-2023-5-98-112

Pryshliak, N. V. et al. *Suchasnyi stan vyrobnytstva biohazu v Ukraini: informatsiino-analitychnyi ohliad* [The Current State of Biogas Production in Ukraine: An Informational and Analytical Review]. Vinnytsia: TOV «Konsol», 2019.

Pryshliak, N. V., Palamarenko, Ya. V., and Bereziuk, S. V. "Stratichne upravlinnia innovatsiinym rozvytkom vzaiemopoviazanykh haluzei z vyrobnytstva biopalyva" [Strategic Management of In-

novative Development of Interrelated Branches of Biofuel Production]. Vinnytsia : TOV «Druk», 2020. <http://repository.vsau.org/get-file.php/25496.pdf>

Zade, L. A. *Poniattia linhvistychnoi zminnoi ta yoho zastosuvannia do pryiniattia nablyzhenykh rishen* [The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Making Approximate Decisions]. Kyiv: Svit, 1976.

Стаття надійшла до редакції 06.08.2023 р.