

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-120>

УДК 338.432:620.925

ВИРОБНИЦТВА БІОМЕТАНУ НА ЦУКРОВИХ ЗАВОДАХ ЯК НАПРЯМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

BIOMETHANE PRODUCTION AT SUGAR FACTORIES AS A WAY OF ENSURING ENERGY SECURITY OF THE STATE

Бондаренко Валерій Михайлович

доктор економічних наук, професор,
Вінницький торговельно-економічний інститут
Державного торговельно-економічного університету
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6182-6760>

Гонтарук Ярослав Вікторович

кандидат економічних наук, старший викладач,
Вінницький національний аграрний університет
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7616-9422>

Шевчук Ганна Вікторівна

кандидат економічних наук, старший викладач
Вінницький національний аграрний університет
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6094-0414>

Bondarenko Valerii

Vinnitsia Trade and Economic Institute
State University of Trade and Economics

Gontaruk Yaroslav, Shevchuk Hanna

Vinnitsia National Agrarian University

Визначено необхідність розвитку виробництва біогазу на цукрових заводах з метою реалізації в подальшому біометану на ринку енергоносіїв. Досліджено обсяги вирощування цукрових буряків та потенційний об'єм виробництва біометану з відходів цукрової галузі. Запропоновано модель виробничого біоенергетичного кластеру на базі цукрового заводу. Констатовано необхідність розвитку переробки відходів сільського господарства та доцільність реалізації біометану. Визначено основні напрями подальшого розвитку виробництва біопалив на базі цукрових заводів шляхом створення біоенергетичних кластерів. Визначено, що формування відповідних біоенергетичних кластерів дасть можливість вирішити значну кількість проблем в АПК, а саме: зменшити собівартість цукру; створити додаткові робочі місця в сільській місцевості; збільшити ВПП держави; підвищити енергетичну незалежність та покращити зовнішньоторговельний баланс України; частково забезпечити промислові підприємства біометаном; сприяти розвитку виробництва біогазових установок, що в свою чергу дасть поштовх для розвитку нових біогазових технологій; забезпечити сільське господарство органічним добривом – дигестатом; зменшити рівень забруднення стічними водами водних ресурсів України; дати поштовх розвитку спиртової галузі на інноваційній основі.

Ключові слова: біогаз, біометан, цукрові заводи, стратегія, технології, сільське господарство, дигестат.

The purpose of the article is to study the prospects of biogas production in Ukraine in order to ensure the country's energy security. The need for the development of biogas production at sugar factories in order to sell biomethane on the energy market in the future has been determined. The volume of sugar beet cultivation and the potential volume of biomethane production from sugar industry waste were studied. A model of a production bioenergy cluster based on a sugar factory is proposed. The need for the development of agricultural waste processing and the expediency of biomethane implementation have been established. The main directions of further development of biofuel production on the basis of sugar factories through the creation of bioenergy clusters have been determined. It was

determined that the formation of appropriate bioenergy clusters will provide an opportunity to solve a significant number of problems in the agricultural sector, namely: reduce the cost of sugar; create additional jobs in rural areas; to increase the GDP of the state; increase energy independence and improve Ukraine's foreign trade balance; partially provide industrial enterprises with biomethane; promote the development of the production of biogas plants, which in turn will give impetus to the development of new biogas technologies; to provide agriculture with organic fertilizer – digestate; to reduce the level of sewage pollution of water resources of Ukraine; to give impetus to the development of the alcohol industry on an innovative basis. It has been proven that the following measures should be taken to increase the production and use of biomethane at sugar factories: reorientation of existing biogas plants to biomethane production; establishment of cooperation with producers of agricultural products focused on the purchase of waste of this sector of the economy for biogas production; apply biomethane liquefaction technologies for use in transport; gradual accession of Ukraine to the European biomethane trading system. It was determined that the high cost of modernization is a limiting factor for the development of biomethane production at sugar factories. However, through the use of state grants, subsidies aimed at the creation of biomethane production and increasing fines for CO₂ emissions, it is possible to increase the production of this type of biofuel in the short term.

Key words: biogas, biomethane, sugar factories, strategy, technologies, agriculture, digestate.

Постановка проблеми. З перших днів війни Україна рішуче заявила про відмову від енергоресурсів з країни-агресора. Росія, у відповідь, розпочала «газову війну», а саме зупинила транзит газу до ЄС через ГВС «Сохранівка», згодом відбувалися диверсії на магістральних газопроводах «Північний потік 1» та «Турецький потік». В умовах рекордного зменшення імпорту газу та різкого подорожчання енергоносіїв використання потенціалу біомаси для виробництва біометану є нагальним питанням для забезпечення енергетичної безпеки держави, а створення відповідних виробництв на базі цукрових заводів можливе в короткостроковій перспективі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий внесок у дослідження тематики розвитку виробництва біогазу в сучасних умовах зробили вчені-економісти: Г. М. Калетнік [1], І. В. Гончарук [4; 5; 7], Я. В. Гонтарук, В. Ю. Вовк [7] та інші. Незважаючи на отримані чисельні наукові здобутки в сфері освоєння виробництва біогазу необхідним є дослідження перспектив виробництва біометану на цукрових заводах з метою забезпечення енергетичної безпеки держави, що зумовлює актуальність дослідження.

Мета дослідження. Дослідження перспектив виробництва біогазу в Україні з метою забезпечення енергетичної безпеки держави.

Виклад основного матеріалу дослідження. Біометан як близький аналог природного газу може використовуватися для виробництва тепла та електроенергії, як паливо для транспорту, а також як сировина для хімічної промисловості. Крім того, виробництво біометану відповідає ідеї циркулярної економіки, оскільки вона перетворює побічні продукти сільськогосподарства чи побутові відходи на забезпечення енергією переробка поживних речовин на сільськогосподарській землі.

Перетворення біогазу на біометан може стати головним джерелом забезпечення енергетичної безпеки держави в середньостроковій перспективі.

Буряковий жом є побічним продуктом цукрової галузі та є основною сировиною для виробництва біогазу на відповідних заводах. Зважаючи на низьку собівартість даної сировини та відсутності витрат на перевезення до місця переробки є оптимальною основою для виробництва біогазу.

На думку Г. М. Калетнік, виробництво біопалив із біомаси розв'язало б проблему не тільки енергетичної безпеки, а й стабілізувало б діяльність аграрного сектору економіки. Це для України є також актуальним, особливо для цукрової галузі [1, с. 174].

Виробництво біогазу на сьогодні здебільшого орієнтоване на виробництво електроенергії з подальшою реалізацією за «зеленим тарифом» ДП «Гарантований покупець», проте більш економічно доцільним слід вважати саме реалізацію біометану на ринку енергоносіїв.

За підсумками 2022 року в Україні було побудовано та введено в експлуатацію 68 промислових біогазових станцій, загальна потужність галузі досягла 105 МВт, а сумарне виробництво газу досягло 230 млн кубометрів. Введені в 2020 році біогазові станції класифікуються за видами сировини наступним чином:

- 28 станцій виробляють біогаз з агросировини;
- 27 станцій працюють на біогазі полігонів твердих побутових відходів;
- 9 станцій виробляють біогаз в результаті анаеробної очистки промислових стічних вод, ще на одній з опадів господарсько-побутових стічних вод;
- 3 станції призначені для виробництва генераторного газу (класифікуються як біогазові станції).

В 2022 році загальне споживання природного газу в Україні за даними Асоціації газовидобувних компаній України становило понад 20,8 млрд м³ при власному видобутку 18,5 млрд м³ та імпорті в обсязі 1,54 млрд м³ (табл. 1).

Таблиця 1
Структура постачання природного газу в Україні в 2022 році, млрд м³

Споживання	Видобуток	Імпорт
20,8	18,5	1,54

Джерело: сформовано на основі даних [2]

На даний час в правовому полі прийнято Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про альтернативні види палива» щодо розвитку виробництва біометану» № 5464 від 05.05.2021 р. Закон вирішив дві основні задачі: законодавчо врегулював поняття біометану та було створено електронну систему облікових записів «Реєстр біометану» орієнтовану на забезпечення доступу до реалізації даного виду продукції на ринку енергоносіїв [3].

Вирощування цукрових буряків мало чітку тенденцію до зростання та в 2021 році становило понад 1,8 млн т, в тому числі 10,3 млн т. було вирощено сільськогосподарськими підприємствами (табл. 2).

В 2022 році працювало 23 цукрових заводів, що забезпечили виробництво 1,33 млн т.

цукру. В тому числі за рахунок виробництва 542,7 тис. т. жому в розрахунку з планової виходу біогазу 64м³/т. та в процесі очищення від вуглекислого газу можна отримати понад 20,8 млрд м³ біометану (табл. 3).

І. В. Гончарук у зазначає, що використання біогазових установок в Україні є перспективним для розв'язання проблем утилізації відходів, поліпшення екологічної ситуації, підвищення родючості ґрунтів, зменшення енергозалежності та розвитку сільських територій [5, с. 20].

Найбільшої ефективності цукрові заводи можуть досягти створивши на власній матеріально-технічній базі біогазові виробництва орієнтовані на переробку власної побічної продукції (мелюса, жом) та відходів сільського господарства (відходи продукції рослинництва та тваринництва).

Для стабільного виробництва біогазу та його використання необхідно враховувати низку аспектів в Україні, а саме:

- виробництво біогазу має базуватися на відходах сільського господарства, тваринному гної та органічних відходах;
- транспортні відстані для перевезення сировини повинні бути мінімізовані;
- когенерація та подальше використання відпрацьованого тепла електростанцій що працюють на біогазі є кращими ніж виробництво електроенергії;
- використання рекуперації тепла може сприяти біоекономії, наприклад, від теплиць, пива та виробництво етанолу;

Таблиця 2
Виробництво цукрових буряків за категоріями господарств, тис. т

2015 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.	2021 р.	Відхилення, +/-
Господарства усіх категорій					
10330,8	13967,7	10204,5	9150,2	10853,9	523,1
Підприємства					
9553,8	13316,6	9658,3	8627,1	10353,7	799,9
у т.ч. фермерські господарства					
618,9	961,2	459,7	422,5	517,1	-101,8
Господарства населення					
777,0	651,1	546,2	523,1	500,2	-276,8

Джерело: сформовано на основі даних [4]

Таблиця 3
Потенційний обсяг виробництво біогазу та біометану на цукрових заводах України

Обсяги вирощування цукрових буряків, тис. т	Виробництво жому, тис. т	Потенційний вихід біогазу, млрд м ³	Потенційний вихід біометану, млрд м ³
10853,9	542,7	34,7	20,8

Джерело: власні дослідження

– управління дигестатом є дуже важливим моментом його необхідно використовувати як добриво;

– дигестат можна використовувати як добриво без будь-якої обробки після його вивантаження з метантенка (однак, якщо його необхідно зберігати або транспортувати, обробка дигестату зменшує його об'єм, що слід враховувати при проектуванні біогазової установки);

– біогаз містить вуглекислий газ який можна використовувати як хімічне джерело і як товар, що покращить економічні показники біогазових виробництв;

– анаеробні реактори можна інтегрувати в заводи з переробки цукру та біоетанолу. Даний варіант може бути вирішенням проблеми постачання субстрату та використання енергії з біогазу.

Принципова схема функціонування модернізованих цукрових заводів має в себе включати досить великий обсяг високотехнологічного обладнання. Пропонується щоб побічна продукція з цукрового заводу передавалася на біогазовий реактор. Після переробки частина біогазу подавалася на власну електростанцію для забезпечення потреб виробництва та здійснення процесу електролізу для виробництва «зеленого» водню. Установка з очищення біогазу очищувала даний продукт від вуглекислого газу та транспортувала на подальшу переробку для створення синтетичного метану. Очищений біометан та синтетичний газ через насосні станції реалізувався в загальну ГТС України. Таким чином цукрові заводи зможуть стати не споживачами газу, а його виробниками (рис. 1) [6, с. 73].

Як зазначає І. В. Гончарук для України стимулом та перевагою виробництва біометану є те, що вона має потужну транзитну газову систему, яка підключена до газової мережі Європи. Основними структурними елементами газотранспортної системи України є магістральні та газорозподільні трубопроводи, газоперекачувальні та газорозподільні станції, а також підземні сховища природного газу [7, с. 67].

Слід зауважити, що на період військового стану в Україні заборонено експорт природного газу, але біометан не підпадає під дані обмеження та може реалізуватися в тому числі на експорт. Це дасть можливість при повному використанні потужностей цукрової галузі спрямовувати частину біометану та синтетичного метану на експорт.

Слід зауважити, що 2 серпня 2022 року НКРЕКП прийняла Постанову про зниження вимог до молярної частки кисню в природному газі з 0,02 моль.% до 0,2 мол.%, що має забезпечити доступ біогазу до газотранспортної системи (ГТС) та до 1,0 мол.% – для доступу біогазу до газорозподільних систем (ГРС). Цією постановою Регулятор вніс зміни до Кодексу газотранспортної системи та Кодексу газорозподільних систем [2]. Відповідне рішення спростило доступ виробників біометану до ринку енергоносіїв.

У зв'язку з наявністю надлишкової теплової енергії при реалізації запропонованої Я. В. Гончаруком принципової схеми модернізації цукрових заводів доцільним було б її удосконалити спрямувавши на розвиток виробництва біоетанолу на відповідних комплексах (рис. 2).

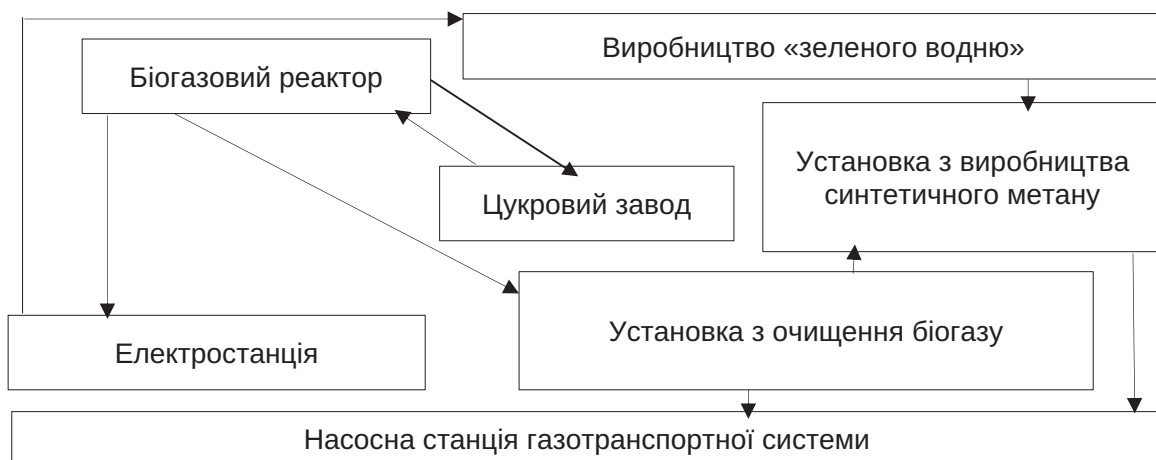


Рис. 1. Принципова схема функціонування модернізованих цукрових заводів

Джерело: [6, с. 73]

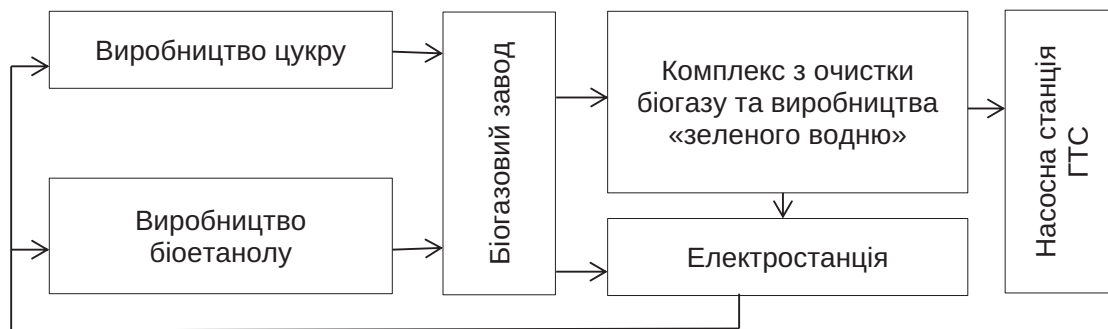


Рис. 2. Схема функціонування виробничого біоенергетичного кластеру на базі цукрового заводу

Джерело: власна розробка

Створення виробництва біоетанолу дасть можливість використати теплову енергію що залишається невикористаною під час роботи електростанції. Слід зауважити, що відповідне виробництво сприятиме збільшенню виробництва біогазу за рахунок використання спиртової барди в комплексі з буряковим жомом.

Формування відповідних біоенергетичних кластерів дасть можливість вирішити значну кількість проблем в АПК, а саме:

- зменшити собівартість цукру;
- створити додаткові робочі місця в сільській місцевості;
- збільшити ВПП держави;
- підвищити енергетичну незалежність та покращити зовнішньоторговельний баланс України;
- частково забезпечити промислові підприємства біометаном;
- сприяти розвитку виробництва біогазових установок, що в свою чергу дасть поштовх для розвитку нових біогазових технологій;
- забезпечити сільське господарство органічним добривом – дигестатом;
- зменшити рівень забруднення стічними водами водних ресурсів України
- дати поштовх розвитку спиртової галузі на інноваційній основі.

Світове виробництво біогазу зростає, сьогодні Німеччина виробляє 0,651 тис. тон нафтового еквіваленту (далі – т.н.е.) біогазу на 1000 га ріллі, тоді як для всієї України ЄС це значення становить 0,239 тис. т.н.е. Україна виробляє лише 0,001 тис. т.н.е., що свідчить про значний потенціал збільшення виробництва біогазу.

Слід зауважити, що біогаз в своєму складі має 60% метану та близько 40% вуглекислого газу. Здебільшого на діючих біогазових заводах біогаз спалюють з метою виробни-

цтва електроенергії з подальшою реалізацією по «зеленому тарифу». Проте зменшення закупівельних цін на електроенергію з відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) робить даний спосіб менш прибутковим. Слід зауважити, що частково тепло від спалювання використовується при виробництві цукру та обігріву приміщень заводів проте більшість теплової енергії втрачається. Тому доцільно на базах потужних цукрових заводів створювати комплекс з виробництва цукру з послідовною переробкою побічної продукції на біогаз, а надлишкове тепло використовувати не лише для виробництва цукру але й створювати виробництва спирту. Знову ж таки це забезпечить більш повне використання теплової енергії та замкнутий цикл виробництва. А барда, яка утворюватиметься при виробництві спирту виступатиме сировиною для виробництва біогазу. Невирішеним залишається питання створення при виробництві біогазу досить значного обсягу вуглекислого газу, що має негативний вплив на довкілля. Невикористаний біогаз для виробництва продукції подібних комплексів слід очищувати від CO₂ та реалізовувати через газотранспортну систему. Очищений біогаз до 96% вмісту метану класифікується як біометан та може бути реалізований через ГТС [6, с. 71].

Слід зауважити, що на сьогодні спостерігається бум інформації щодо перспектив розвитку виробництва «зеленого» водню. Розвиток водневих технологій за умов підтримки ЄС є одним з важливих напрямків розвитку ринку енергоносіїв України проте біометан має не менші перспективи.

Насамперед слід зауважити, що при транспортуванні 1м³ біометану в наявній в Україні газотранспортній системі він передає в три рази більше енергії, ніж 1м³ водню. Це одна з основних переваг біометану,

яка дає можливість зменшити вартість транспортування. ГТС України на 100% готова до транспортування біометану та його енергетичного використання, оскільки біометан є повним аналогом природного газу. Не потребують модернізації газопроводи, газові котли, газові двигуни, газові електростанції та інше енергетичне обладнання, яке було спроектоване для роботи на природному газі. Кошти які планується вкладати в модернізацію ГТС України, більш доцільно використати для інвестування у виробництво біогазу з його подальшим очищенням до біометану [6, с. 72].

Вартість біометану є конкурентною до вартості «зеленого» водню на найближчу перспективу. На сьогодні середня вартість «зеленого» водню становить біля 7 дол. США/кг з перспективою її зменшення до 3 \$/кг до 2030 р., 2 \$/кг до 2050 року, тоді як середня вартість біометану на сьогодні становить 700 \$/1000 м³ з перспективою її зменшення до 650 дол. США/кг до 2030 р., 600 \$/1000 м³ до 2050 р. і у майбутньому до 500 дол. США/1000 м³. Іншими словами, на сьогодні біометан приблизно втричі дешевше «зеленого» водню. У 2050 році очікується їх зрівняння по вартості, і лише при зниженні вартості «зеленого» водню нижче за 2 \$/кг він може стати дешевшим за біометан

Україна може сама вирішити свої енергетичні питання (особливо у харчовій промисловості) шляхом використання відновлюваних джерел енергії, включаючи біогаз.

Органічні ресурси, такі як сільськогосподарські залишки та промислові відходи повинні використовуватися як субстрати в комерційних біогазових установках повинні бути інтегровані в заводи з переробки (цукру та етанолу тощо). Біогазова промисловість має бути частиною управління відходами.

Фактичні інвестиційні витрати для біогазових систем становлять 1600 дол. США/кВт, що майже так само, як і для сонячної та вітрової енергетики, але скориговані інвестиційні витрати є найнижчими серед установок, що працюють на екологічно чистій енергії.

Витрати на виробництво електроенергії на біогазових установках є дорожчими, ніж інші зелені технології, такі як вітер і біомаса, тому заміна нафтового транспортного палива є найбільшою вигідне використання біогазу. Доцільно використовувати технології очищення біогазу, оскільки вони забезпечують найнижчу собівартість виробництва біометану. Очищення від вуглекислого газу (побічного продукту виробництва біогазу).

Біогазові установки потужністю понад 2000 м³/год є економічно доцільнішими через низькі питомі інвестиції і допустимі витрати виробництва. Ці заводи можуть виробляти конкурентоспроможні енергетичні ресурси, такі як електроенергія та біометан.

Держава і місцеві органи влади повинні заохочувати науково-дослідні установи до розробки технологій та просування розвитку біогазових технологій на підприємствах харчової промисловості України.

Для збільшення виробництва та використання біометану на цукрових заводах необхідно вжити наступні заходи: переорієнтація існуючих біогазових заводів на виробництво біометану; налагодження співпраці з виробниками сільськогосподарської продукції орієнтованої на закупівлі відходів даного сектору економіки для виробництва біогазу; застосування технології зрідження біометану для використання в транспорті; поступове приєднання України до Європейської системи торгівлі біометаном.

Висновки. Розвиток виробництва біометану на цукрових заводах дасть можливість:

- зменшити обсяг імпорту природного газу та частково реалізувати надлишки на ринку енергоносіїв;
 - дати поштовх розвитку високотехнологічного виробництва обладнання для біогазових заводів;
 - створити додаткові робочі місця на підприємствах цукрової галузі;
 - забезпечити сільськогосподарських виробників органічними добривами (дигестатом);
 - зменшити собівартість виробництва біометану в разі використання розробленої схеми функціонування виробничого біоенергетичного кластеру на базі цукрового заводу.
- В той же час, виробництво біогазу на цукрових заводах України зможе дати наступні ефекти для економіки:
- підвищити енергетичну незалежність держави;
 - знизити витрати цукрових заводів на енергоносії;
 - покращити екологічний стан водних ресурсів області;
 - знизити обсяг викидів парникових газів;
 - забезпечити сільськогосподарських виробників дигестатом.

Стимулюючим фактором для розвитку виробництва біометану на цукрових заводах є висока вартість модернізації. Проте, шля-

хом застосування державних грантів, дотацій спрямованих на створення біометанових виробництв та збільшенням штрафних санкцій за викиди CO₂ можливо досягти нарощування виробництва даного виду біопалива в короткостроковій перспективі.

цій за викиди CO₂ можливо досягти нарощування виробництва даного виду біопалива в короткостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Калетник Г. М. Диверсифікація розвитку виробництва біопалив – основа забезпечення продовольчої, енергетичної, економічної та екологічної безпеки України. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11. С. 169–176. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811&21>.
2. Річний звіт Асоціації газовидобувних компаній України. URL: https://www.agpu.org.ua/images/pdf/Annual_Report-2022.pdf (дата звернення: 20.04.2023).
3. Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про альтернативні види палива» щодо розвитку виробництва біометану» № 5464 від 05.05.2021 р. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=71839 (дата звернення: 20.04.2023).
4. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 20.10.2023).
5. Гончарук І. В. Виробництво біогазу в аграрному секторі – шлях до підвищення енергетичної незалежності та родючості ґрунтів. *Агросвіт*. 2020. № 15. С. 18–29. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.15.18>
6. Гончарук Я.В. Перспективи виробництва біогазу на цукрових заводах України. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2022. Випуск 1 (34). С. 69–75. DOI: <https://doi.org/10.32782/easterneurope.34-12>
7. 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: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-2-10>
8. Honcharuk I., Tokarchuk D., Gontaruk Y., Hreshchuk H. Bioenergy recycling of household solid waste as a direction for ensuring sustainable development of rural areas. *Polityka Energetyczna-Energy Policy Journal*. 2023. Volume 26. Issue 1. P. 23–42 DOI: <https://doi.org/10.33223/epj/161467>

REFERENCES:

1. Kaletnik G. M. (2018). Dyversyfikatsiia rozvytku vyrobnytstva biopalyv – osnova zabezpechennia prodovolchoi, enerhetychnoi, ekonomichnoi ta ekolohichnoi bezpeky Ukrainy [Diversification of the development of biofuel production is the basis for ensuring Ukraine's food, energy, economic and environmental security]. *Visnyk ahrranoi nauky*, no. 11, pp. 169–176. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811&21>
2. Richnyi zvit Asotsiatsii hazovydobuvnykh kompanii Ukrainy [Annual report of the Association of Gas Production Companies of Ukraine]. URL: https://www.agpu.org.ua/images/pdf/Annual_Report-2022.pdf (data zvernennia: 20.04.2023).
3. Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do Zakonu Ukrainy «Pro alternatyvni vydy palyva» shchodo rozvytku vyrobnytstva biometanu» № 5464 vid 05.05.2021 r [Law of Ukraine "On Amendments to the Law of Ukraine "On Alternative Fuels" Regarding the Development of Biomethane Production" No. 5464 of 05/05/2021]. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=71839 (data zvernennia: 20.04.2023).
4. Ofitsiynyi sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy [Official website of the State Statistics Service of Ukraine]. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (data zvernennia: 20.04.2023).
5. Honcharuk I. V. (2020). Vyrobnytstvo biohazu v ahrronomu sektori – shliakh do pidvyshchennia enerhetychnoi nezalezhnosti ta rodiuchosti gruntiv [Biogas production in the agricultural sector is a way to increase energy independence and soil fertility]. *Ahrosvit*, no. 15, pp. 18–29. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.15.18>
6. Hontaruk Ya. V. (2022). Perspektyvy vyrobnytstva biohazu na tsukrovyykh zavodakh Ukrainy [Prospects for biogas production at sugar factories in Ukraine]. *Skhidna Yevropa: ekonomika, biznes ta upravlinnia*. Vypusk 1 (34), pp. 69–75. DOI: <https://doi.org/10.32782/easterneurope.34-12>
7. Honcharuk I. V., Vovk V. Iu. (2022). 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*, № 2 (37), pp. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-2-10>
8. Honcharuk I., Tokarchuk D., Gontaruk Y., Hreshchuk H. (2023). Bioenergy recycling of household solid waste as a direction for ensuring sustainable development of rural areas. *Polityka Energetyczna-Energy Policy Journal*. Volume 26. Issue 1. P. 23–42.