

Н. В. Пришляк,
к. е. н., доцент, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця
ORCID ID: 0000-0002-0544-1441

DOI: 10.32702/2306-6814.2021.4.47

СВІТОВИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ЯК ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ*

N. Pryshliak,
PhD in Economics, Associate Professor, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia

WORLD EXPERIENCE IN USING WASTE AS AN ENERGY SOURCE

Кожне виробництво має свої відходи, в тому числі і сільськогосподарське. Активний розвиток сільського господарства, збільшення виробництва продукції рослинництва і тваринництва для задоволення потреб населення та промисловості призводять до збільшення обсягів утворення відходів домогосподарств та зростання навантаження на навколишнє середовище. Відходи рослинництва органічного походження; відходи тваринництва і птахівництва органічного походження та відходи життєдіяльності людей створюють негативний вплив на землю, повітряний та водний басейни. Аргументи на користь біогазу і біометану лежать на перетині двох найважливіших проблем сучасного життя: вирішення проблеми зростаючої кількості органічних відходів, і необхідність скорочення глобальних викидів парникових газів. Серед сучасних підходів до утилізації органічних та рослинних відходів виділяють біоконверсію у безкисневому середовищі, або біогазову ферментацію. Це екологічно безпечний напрям переробки біовідходів з метою отримання екологічно чистого палива — біогазу. Вирішення проблеми утилізації відходів шляхом розробки сучасної технології біоконверсії сприятиме поліпшенню екологічного стану довкілля та посилення енергетичної безпеки держави. За останні десятиліття зріс інтерес до біогазу як у розвинутих країнах, так і в усьому світі. Велика кількість біоустановок використовується в Європейських країнах, Індії, Китаї, Північній та Південній Америці. Мета дослідження полягає в аналізі основних тенденцій використання відходів задля виробництва альтернативного екологічного чистого палива у світі. У статті розглянуто історію та сучасний стан виробництва біогазу в світі. У ході дослідження було проведено детальний аналіз досвіду провідних країн-лідерів у сфері розвитку біогазових технологій, зокрема країн ЄС, Китаю, США та Індії. Досліджено динаміку виробництва біогазу в країнах-лідерах у даному сегменті виробництва. Визначено основні види сировини, що використовуються для виробництва біогазу у зазначених країнах. Проаналізовано види біогазові установок, що використовуються для виробництва біогазу у Європейських країнах, Індії, Китаї, Північній та Південній Америці.

One of the main environmental problems of modern society is the constant increase in the production of organic waste. Modern society generates more and more waste each year that can be used to produce clean energy supplies with many potential benefits for sustainable development. Biogas production and use embodies the idea of a more closed economy, bringing the benefits of reducing greenhouse gas emissions, improving waste management and increasing resource efficiency. Biogas also provides an opportunity to integrate rural areas and industry to enhance energy independence. The case for biogas and biomethane lies at the intersection of two critical challenges of modern life: dealing with the increasing amount of organic waste that is produced by modern societies and economies, and the imperative to reduce global greenhouse gas emissions. This article

* Стаття включає результати досліджень відповідно до НДДКР "Розробка новітньої концепції використання відходів сільського господарства для забезпечення енергетичної автономії аграрних підприємств" Вінницького національного аграрного університету (номер державної реєстрації 0119U100786 від 19.02.2019 р.).

focuses on the background and current situation of various levels of biogas generation in the world. Arguments in favor of biogas and biomethane lie at the intersection of two major problems of modern life: solving the problem of growing amounts of organic waste, and the need to reduce global greenhouse gas emissions. Among modern approaches to the utilization of organic and vegetable waste is bioconversion in an oxygen-free environment, or biogas fermentation. This is an ecologically safe direction of biowaste processing in order to obtain environmentally friendly fuel — biogas. Solving the problem of waste disposal by developing modern bioconversion technology will help improve the ecological state of the environment and strengthen the energy security of the state. In recent decades, interest in biogas has grown both in developed countries and around the world. A large number of biological plants are used in European countries, India, China, North and South America. The study conducted a detailed analysis of the experience of leading countries in the development of biogas technologies, including the EU, China, USA and India. The dynamics of biogas production in the leading countries in this segment of production is studied. The main types of raw materials used for biogas production in these countries are identified.

*Ключові слова: біогаз, енергетика, біогазова установка, відходи, світовий досвід.
Key words: biogas, energy, biogas digester, waste, world experience.*

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасне суспільство продукує щороку все більші об'єми відходів, котрі можна використовувати для виробництва чистих енергоресурсів, що дає безліч потенційних вигод для сталого розвитку. Виробництво і використання біогазу втілює ідею більш замкнутої економіки, приносячи вигоди від скорочення викидів парникових газів, поліпшення управління відходами та підвищення ефективності використання ресурсів. Біогаз також дає можливість інтегрувати сільські території та промисловість у посилення енергетичної незалежності.

Енергозабезпеченість власного існування є однією з актуальних проблем сьогодення. Тому відновлювана енергія стала невід'ємним елементом економіки кожної країни. Аналіз світових тенденцій показує, що цей напрям продовжує поступово розвиватися, переважно за рахунок впливу екологічних і економічних факторів. Крім того, в останні десятиліття у світі відбувся значний розвиток у будівництві біогазових установок у порівнянні з використанням інших поновлюваних джерел енергії.

Однією з головних екологічних проблем сучасного суспільства є постійне збільшення виробництва органічних відходів. У багатьох країнах збалансований менеджмент відходів, а також їх запобігання і скорочення стали головними політичними пріоритетами, що представляють собою важливу частину загальних зусиль зі скорочення забруднення і викидів парникових газів, а також у напрямі щодо пом'якшення наслідків глобальної зміни клімату. Неконтрольоване скидання відходів сьогодні більше не є прийнятним, і навіть контрольоване захоронення на звалищах і спалювання органічних відходів не вважаються оптимальними методами, оскільки екологічні стандарти стають все більш суворими і націлені на рекуперацію енергії і органічних рештків.

Біогаз використовується в індивідуальних та фермерських господарствах протягом багатьох років. З 1930-х років біогазові технології почали активно вико-

ристовуватись задля знезараження стічних вод. Протягом останніх 40 років змінилося те, що виробництво біогазу досягається у значно більших масштабах з вищою ефективністю, ступенем складності та специфікацією. Значного розвитку біогазові технології досягли в Північній Америці, Європі та Азії [3; 4; 20].

З початком 21 ст. у багатьох державах зрозуміли, що виробництво біогазу може задовольняти відразу низку проблем. Він може сприяти зниженню емісії парникових газів в атмосферу (зокрема метану, що надходить в атмосферу від зберігання гною без переробки), бути джерелом відновлюваної енергії (електричної, теплової чи для транспортного сектору), може призводити до зменшення наслідків забруднення від накопичення відходів. Не менш важливо, що в процесі переробки відходи перетворюються у продукт (біогаз) та цінне органічне добриво, замикаючи цикл від ґрунту до врожаю, до продукту, до відходів і назад у ґрунт. Це розуміння призвело до швидкого зростання біогазового сектору за останні два десятиліття, чому сприяли законодавчі зміни з різними цілями, встановленими у всьому світі для поновлюваних джерел енергії та скорочення викидів парникових газів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Оскільки світ сьогодні все більше переходить на "зелені" технології, повторне використання ресурсів та ресайклінг, питання ефективного поводження з відходами активно розглядається науковцями як із позиції екології, так і з економічної точки зору [6; 24]. Відходи аграрного сектору мають свої особливості, зокрема, вони є переважно органічними і мають значний енергетичний потенціал. У роботах Г.М. Калетніка [2; 13; 14], Г.Г. Гелетуки [1; 10], Я.Б. Блюма, І.В. Гончарук [11], О.В. Ходаківської, Т.В. Ємчик, Д.М. Токарчук [19; 22], Я.В. Паламаренко, І.А. Семчук, С.В. Романчука [21], знайшли своє відображення питання використання сільськогосподарських відходів як сировини для вироб-

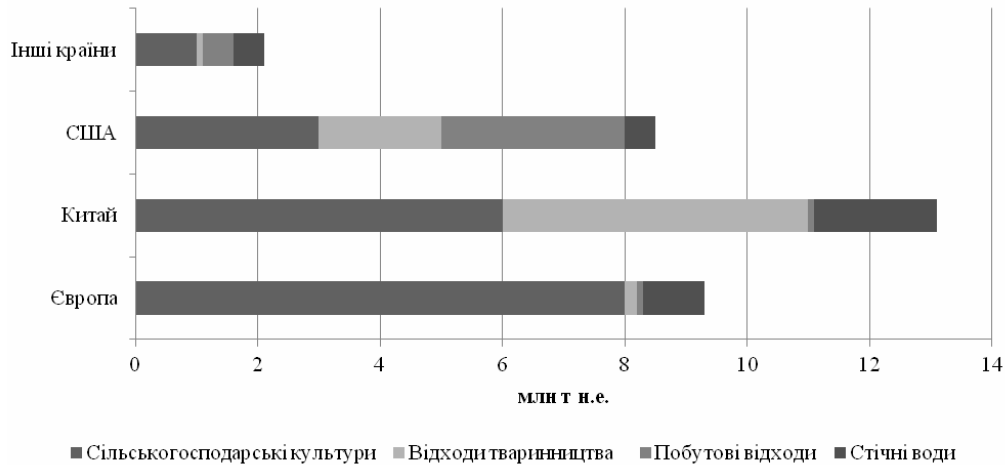


Рис. 1. Виробництво біогазу за регіоном та видом сировини у 2018 р., млн т н.е.

Джерело: сформовано за даними Міжнародного Енергетичного Агентства [12].

ництва біопалива та біогазу зокрема. Попри значний внесок науковців у дослідження проблематики виробництва біогазу необхідним є узагальнення світового досвіду його виробництва задля імплементації його в Україні з метою зменшення енергетичної залежності.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження полягає в аналізі основних тенденцій використання відходів задля виробництва альтернативного екологічного чистого палива у світі.

Під час виконання роботи використовувалися методи систематизації і селективного відбору законодавчо-нормативних актів, монографічних та спеціальних наукових публікацій вітчизняних і зарубіжних дослідників та використання функціонально-структурного, системного аналізу; статистичного, графічного та табличного, монографічного методів. Дані урядових та міжнародних організацій проаналізовано за допомогою описової статистики та графічних методів. Для узагальнення результатів дослідження та формулювання висновків використано абстрактно-логічний метод.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

В умовах кризи COVID-19 світовий ринок біогазових установок, оцінюваний в 8 мільярдів доларів США в 2020 році, за прогнозами, досягне розміру 13,8 мільярдів доларів США до 2027 року, при цьому сукупний річний темп зростання складе 8,1% протягом періоду 2020—2027 рр. Ринок біогазових установок у США оцінюється в 2,4 мільярда доларів США у 2020 році. За прогнозами, Китай, друга за величиною економіка світу, досягне прогнозованого обсягу ринку в 2,4 мільярда доларів США до 2027 року, що буде відставати від сукупних річних темпів зростання в 7,6% за аналізований період з 2020 по 2027 рік [8].

Ринок біогазу зростає за рахунок збільшення викидів парникових газів і їх руйнівного впливу на навколишнє середовище. Різні керівні органи по всьому світу вкладають значні кошти у виробництво відновлюваних джерел енергії, щоб скоротити викиди вуглецю та забезпечити стабільне і безпечне енергопостачання.

Передбачається, що підвищення обізнаності про небезпечний вплив викидів парникових газів у навко-

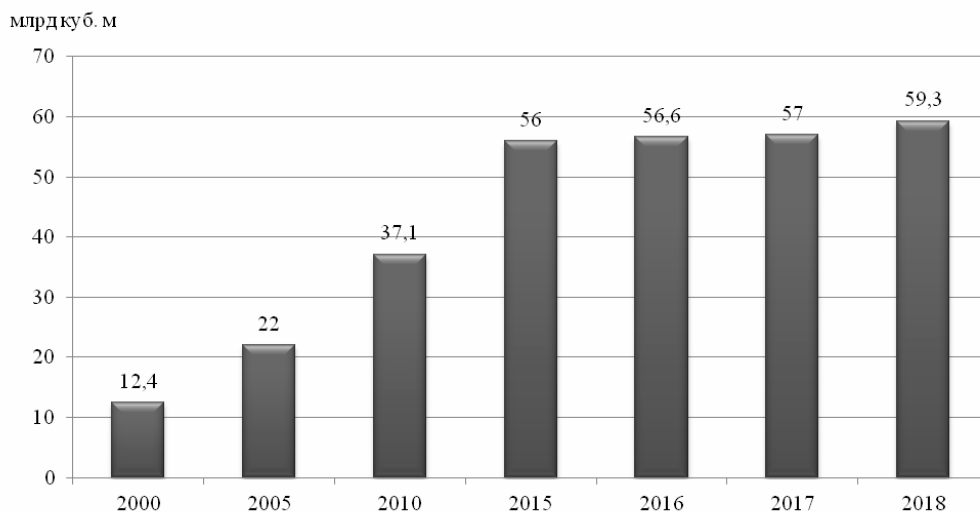


Рис. 2. Динаміка виробництва біогазу у світі, млрд м³

Джерело: сформовано за даними Світової біоенергетичної організації [23].

лише середовище має допомогти в розвитку будівництва біогазових установок для переробки органічних відходів у всьому світі.

У 2018 році у світі було вироблено 59,3 млрд м³ біогазу з еквівалентною енергоємністю 1,36 ЕДж (рис. 2). У період з 2000 по 2018 рік цей сектор зростає на 9% на рік.

Європа є світовим лідером з виробництва біогазу. У 2018 році країни ЄС виробили 30,9 млрд м³ біогазу з енергетичним еквівалентом 0,71 ЕДж. Виробництво біогазу у Європі становило більше половини світового виробництва біогазу, а країни Азії посіли друге місце з часткою 32% (19,3 млрд м³). Третє місце світового лідерства у 2018 році за темпами виробництва біогазу посіли країни Північної та Південної Америки (8,34 млрд м³).

1. Загальноєвропейські показники виробництва біогазу.

Зростання кількості європейських біогазових заводів за останнє десятиліття вказує на стійкий характер розвитку сектору. На кінець 2018 року у країнах ЄС функціонувало 18202 біогазових установок, що на 2% (на 419 одиниць) більше у порівнянні з 2017 роком установками. Загальна встановлена електрична потужність біогазових заводів становила 11,082 МВт, а загальне виробництво біогазу склало 63,511 ГВт за рік [9].

Лідерами за кількістю заводів є Німеччина (11 084 заводу) і Італія (1 655 заводів). За ними йдуть Франція (837 заводів), Великобританія (715 заводів) і Швейцарія (634 заводів).

Як показано на рисунку 3, встановлена електрична потужність сільськогосподарських біогазових установок (яка включає переробку рослинних відходів



Рис. 3. Розвиток загальної встановленої електричної потужності біогазу у залежності від сировини, МВт

Джерело: сформовано за даними Європейської біоенергетичної асоціації [9].

сільськогосподарства, гною, енергетичних культур) збільшилася на 550 МВт у 2018 році, що становить більшу частину загального приросту потужностей.

Середня встановлена потужність біогазових установок у Європейській країнах у 2018 р. становила 0,61 МВт. Загальна кількість виробленої електроенергії з біогазу у європейських країнах становить 63 511 ГВт-год.

Виробництво електроенергії з біогазу зростає у багатьох країнах, включаючи Хорватію (+234 ГВт * год), Францію (+116 ГВт * год), Сербію (+71 ГВт * год), Данію (+29 ГВт * год), Грецію (+26 ГВт * год) (рис. 4).

У більшості країн існує один домінуючий тип сировини для виробництва біогазу, хоча переважаючий тип сировини залежить від країни. Наприклад, у Німеччині, Австрії, Латвії, Угорщині та Італії енергетичні культури та сільськогосподарські відходи становлять понад 70% використаної сировини. У Бельгії, Данії та Польщі значна частина промислових органічних відходів харчової та спиртової промисловості спрямовується на виробництво біогазу. Стічні води як сировина для виробництва біогазу на очисних спорудах переважає у Швеції.

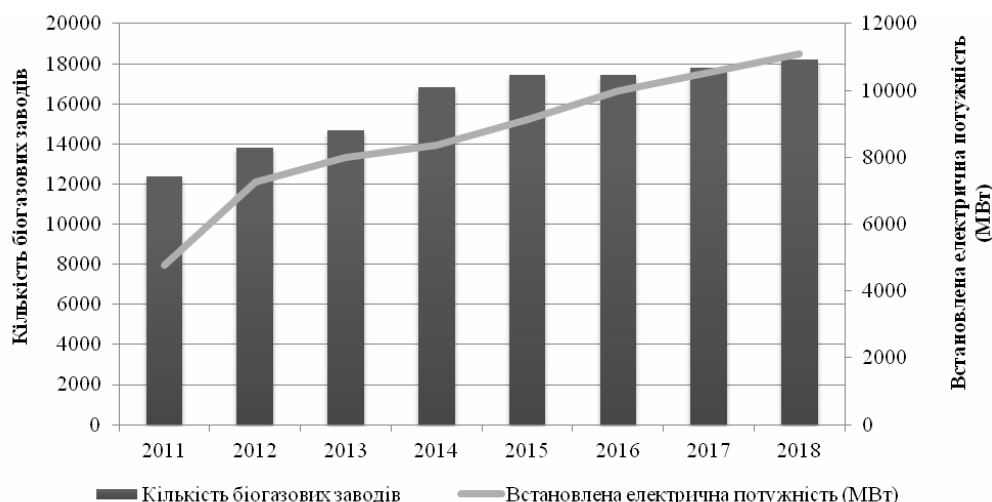


Рис. 4. Кількість біогазових установок у країнах Європи та встановлена електрична потужність

Джерело: сформовано за даними Європейської біоенергетичної асоціації [9].

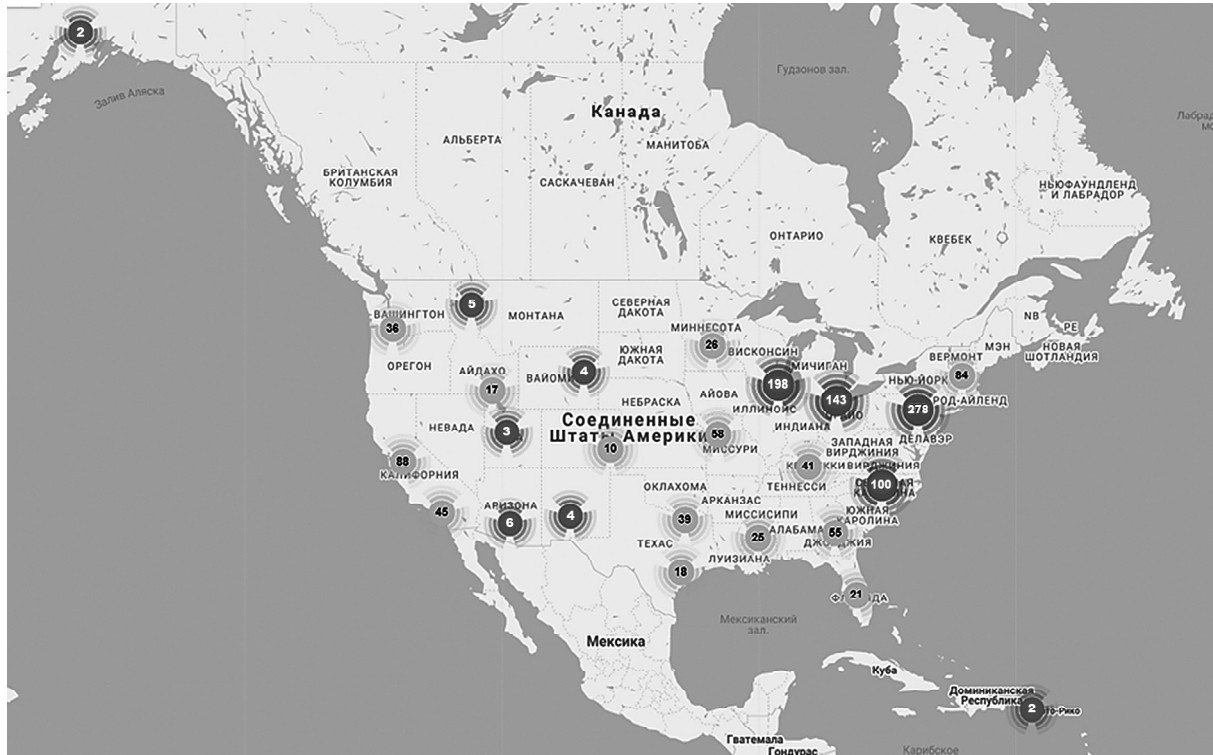


Рис. 5. Карта розміщення заводів з виробництва біогазу у США

Джерело: Американська рада з біогазу [5].

У цілому, в ЄС щорічно із біомаси отримують 14% загальної потреби в енергії. Європейський ринок біогазових установок оцінюється в 3 млрд дол. США. При цьому 75% біогазу виробляється з відходів сільського господарства, 17% — з органічних відходів приватних домогосподарств і підприємств і ще 8% — каналізаційних очисних споруд.

2. Виробництво біогазу в США

Нині в США використовуються три основних джерела промислового виробництва біогазу: стічні води, звалища і сільськогосподарські органічні відходи. Уряд США вважає, що на додаток до зниження залежності від традиційних видів палива використання біогазу в якості альтернативи може мати додаткові переваги в залежності від джерела його виробництва.

Хоча виробництво біогазу в США швидко росте, його виробничі потужності використовуються не повною мірою. Із 13 122 можливих біогазових установок нині діє тільки 2200. Серед задіяних станцій більше половини (58%) припадає на очистку стічних вод, 30% встановлені для переробки свалочного газу і 12% на фермах для утилізації відходів сільського господарства. Попри те, що більшість діючих установок знаходиться у секторі утилізації стічних вод, виробництво біогазу на звалищах є, мабуть, найбільш розвиненим джерелом біогазу в країні, оскільки 54% встановлених виробничих потужностей наразі використовуються.

У Сполучених Штатах норми Закону про чисте повітря вимагають, щоб на полігонах твердих побутових відходів була встановлена і експлуатувалася система збору та контролю звалищного газу. Деякі звалища скорочують викиди звалищного газу за рахунок уловлювання та спалювання звалищного газу. Під час спалювання метану, що отриманий зі звалищного газу утво-

рюється CO_2 , але CO_2 не є таким сильним парниковим газом, як метан. Багато звалищ збирають і доочищують звалищний газ для видалення CO_2 , водяної пари і сірководню і використовують його для вироблення електроенергії або продажу в якості заміни природного газу.

За оцінкою Управління енергетичною інформацією США (EIA), в 2019 році близько 7,3 мільйонів кубічних метрів звалищного газу було зібрано на 336 полігонах у США. У результаті когенерації вдалось отримати близько 10,5 мільярдів кіловат-годин (кВт год) електроенергії або близько 0,3% від загального обсягу споживання США електроенергії у 2019 році у США.

Багато комунальних очисних об'єктів та промислових об'єктів. Зокрема, фабрики для виробництва паперу та підприємства харчової промисловості використовують анаеробні зброджувачі як частину процесів переробки відходів. Деякі об'єкти зі знезараження стічних вод збирають та використовують біогаз, що виробляється в анаеробних зброджувачах, для підігріву реакторів, що посилює процес анаеробного перетворення та знищує патогени, а деякі використовують його для виробництва електроенергії для використання на об'єкті або для продажу. За оцінками Управління енергетичної інформації США, в 2019 році 65 таких підприємств по переробці відходів виробили в цілому близько 1 мільярда кВтг електроенергії.

Деякі молочні ферми використовують анаеробні зброджувачі для виробництва біогазу з гною та підстилки. Деякі фермери накривають свої гнойові ставки (так звані гнойові лагуни), для збору біогазу, що утворюється в лагунах. Отриманий метан можна спалювати для нагріву води і будівель, а також використовувати в якості палива в дизельних генераторах для вироблення електроенергії для ферми. За оцінками Управління енерге-

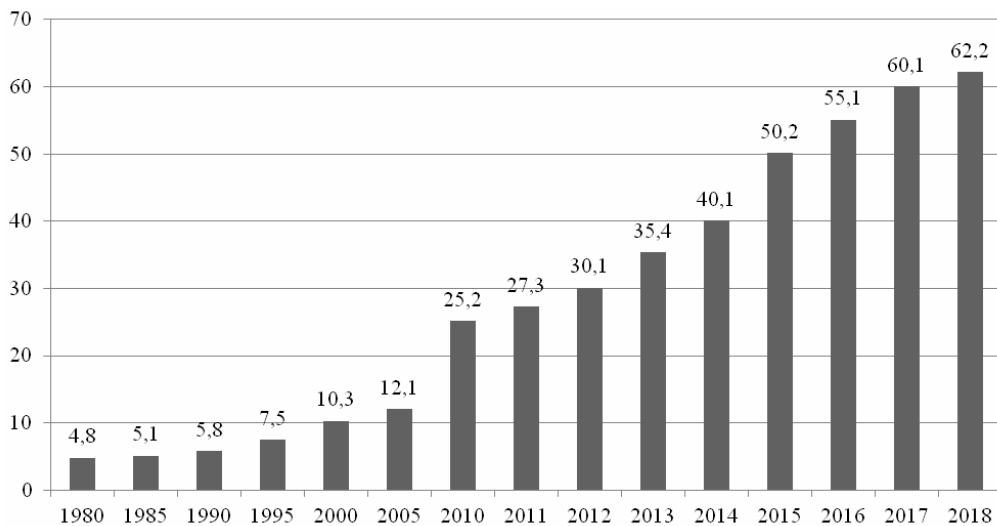


Рис. 6. Розвиток індивідуальних біогазових установок у Китаї

Джерело: сформовано за даними Світової біоенергетичної організації [23].

тичної інформації США, в 2019 році 25 великих молочних і тваринницьких підприємств у США виробили загальною близько 224 млн кВтг (або 0,2 млрд кВт · год) електроенергії з біогазу.

Більшість біогазових проектів США концентрується в штатах Нью-Йорк, Мічиган, Огайо та Північна Кароліна (рис. 5). Однак вони охоплюють лише незначну частину господарств, у яких можна було б впровадити виробництво біогазу. Так, за підрахунками американських фахівців, у середньому, стадо з 1000 корів може забезпечити паливом близько 250 кВт генеруючих потужностей, тож потенційні можливості всіх господарств США з генерації енергії з біогазу сягають 1600 МВт [5].

Альтернативний на сьогоднішній день спосіб використання біогазу — його очищення, доведення до існуючих комерційних стандартів і поставка споживачам через газопровід. Принципову можливість такої техно-

логії продемонструвала фірма Agri-Waste Energy з Міннесоти. Agri-Waste Energy має намір "брати ґній в оренду", платити фермерам за витягнутий біогаз і повертати перероблений компост для використання в якості добрив.

3. Виробництво біогазу в Китаї

Китай увійшов до числа країн — світових лідерів за обсягами інвестицій у поновлювані джерела енергії.

Швидке зростання капіталовкладень у сферу поновлюваних джерел

енергії стало наслідком вивчення Китаєм досвіду індустріалізації західних країн. Китайський уряд розпочав активно провадити курс, спрямований на розвиток технологій з низьким рівнем викиду парникових газів, що має важливе значення для подальшого розвитку країни.

Китай вважається першопрохідцем у використанні та розвитку біогазових установок. Прості біогазові установки були впроваджені на приморській території Південно-Китайського моря в кінці 19 ст.

У Китаї першу біогазову установку домашнього типу було збудовано у 1920 році. У 1970-х роках китайський уряд почав сприяти будівництву тисячі біогазових установок, щоб збільшити споживання біогазу в країні і тим самим скоротити брак енергії в сільських районах. Активне впровадження малих біогазових установок відбувалося завдяки сформованій державній Програмі, яка мала на меті газифікацію сільської місцевості.

У 2003 році у рамках національної програми добробуту за підтримки Міністерства сільського господарства Китаю біогазові установки почали ще більш активно споруджувати у сільських місцевостях. Федеральний уряд надав фінансовий грант у розмірі 2,5 млрд юанів (2003—2007 рр.) на проекти розвитку біогазу поряд з проектами інженерного удосконалення відповідно до Закону про поновлювані джерела енергії, прийнятого у 2006 році.

Нині у Китаї працює більше 60 мільйонів індивідуальних біогазових установок домашнього типу, які виробляють близько 12 мільярдів м³ біогазу в рік (рис. 6).

Китай — одна з небагатьох країн у світі, що має спеціалізований науково-дослідний інститут, яким займається науковими розробками у галузі розвитку біогазових технологій (місто Ченду, провінція Сичуань). При інституті функціонує навчальний центр із підготовки спеціалістів країн Європи, Азії і Тихоокеанського басейну.

4. Виробництво біогазу в Індії

Індія, яка є найбільшим емітером парникових газів після США та Китаю, значно прогресувала у своїх зобов'язаннях щодо просування відновлюваних джерел енергії.

Таблиця 1. Урядові ініціативи щодо сприяння розвитку біогазових технологій

Рік	Заходи та особливості ініціатив
1981	Стартувала перша Національна програма розвитку біогазових технологій. Запроваджено капітальні субсидії для встановлення індивідуальних біогазових установок. Утримання 2-3 голів великої рогатої худоби як один з необхідних критеріїв отримання урядових субсидій
1995	Запровадження Національної програми виробництва біогазу з муніципальних, промислових та сільськогосподарських відходів
2006	Запропонована програма з енергозбереження була спрямована на заохочення споживачів децентралізованого постачання енергії в сільській місцевості. Запровадження фінансових ініціатив для великих та середніх біогазових заводів
2016	Правила, що стосуються управління і поводження з твердими відходами, вперше прийняті у 2000 р. Міністерством навколишнього середовища і лісів, були переглянуті в 2016 році, розширюючи сферу їх юрисдикції. Урядом було затверджено нову тарифну політику для компаній, що займаються виробництвом і розподілом електроенергії, виробленої з відходів на інших відновлювальних джерел

Джерело: узагальнено автором на основі опрацьованої літератури [16; 17].

В Індії розвиток біогазових технологій розпочався в 1939 році, та більш активно поширення він набув у в 1960 році [15]. Біогаз набув широкого застосування в рамках програм з істотними субсидіями в період з 1985 по 1992 рік, і продовжував набувати популярності навіть після скорочення обсягів державної підтримки. Кількість біогазових установок в Індії зросла з 1,27 млн у 1990 р. до приблизно 4,54 млн у 2015 році [17; 18]. Теоретично доступний потенціал сировини для виробництва біогазу в Індії щорічно становить близько 980 млн т [15].

З 1970-х років у Індії були започатковані програми з розвитку біогазових технологій. Перша нафтова криза на початку 1970-х років зробила очевидним для індійських політиків, що традиційна енергія буде залишатися поза можливостями економічної доступності як сільського, так і значної частини міського населення [15]. Поєднання глобальної енергетичної кризи і брак місцевих енергоресурсів посилювали загрози енергетичної безпеки.

Міністерством нових та відновлюваних джерел енергії Індії започатковано Національну Програму управління біогазом і гноєм. Дана Програма була впроваджена в 1982 році з метою задоволення енергетичних потреб у сільських домогосподарствах і зараз це одна з наймасштабніших програм у сфері стимулювання виробництва біогазу у світі. Програма є собою системою Центрального сектора, яка передбачає будівництво індивідуальних біогазових установок переважно для сільських і напівміських індивідуальних господарств.

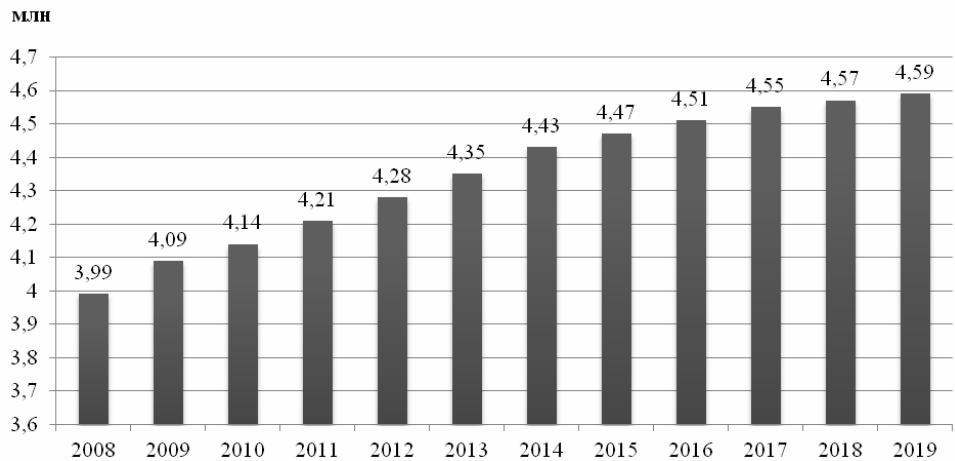


Рис. 7. Динаміка працюючих індивідуальних біогазових установок в Індії (з виробництвом біогаз до 2 м³ добу), млн

Джерело: сформовано за даними [7].

Урядові ініціативи, що були прийняті урядом Індії протягом останніх трьох десятиліть задля стимулювання розвитку індивідуальних біогазових установок наведено у таблиці 1.

Національна Програма управління біогазом та гноєм запроваджена у всіх штатах Республіки Індія. На початок 2019 року у країні було встановлено близько 4,59 млн біогазових установок для виробництва біогазу (рис. 7). Будівництво індивідуальних біогазових реакторів надає можливість домогосподарствам стати самостійними виробниками екологічно чистого палива та добрив з високим вмістом органічних речовин. Водночас Міністерство надає субсидії на будівництво біогазових установок сімейного типу.

Окрім індивідуальних біогазових установок, 400 біогазових електростанцій на основі великих та середніх біогазових заводів були побудовані потужністю близько 5.5 МВт. Майже половини з цих станцій під'єднана до центральної електромережі (рис. 8).

Нині загальний обсяг виробництва біогазу в Індії становить 2,07 млрд м³/рік. Це досить мало в порівнянні з

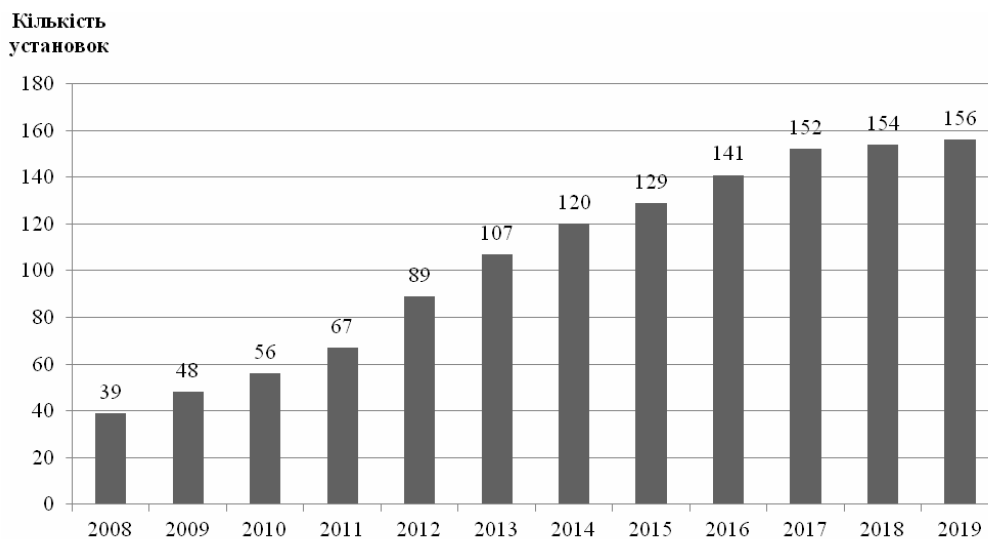


Рис. 8. Динаміка працюючих біогазових установок, що постачають електричну енергію до центральної електромережі (потужністю понад 250 кВт)

Джерело: сформовано за даними [7].

його потенціалом, який, за оцінками, знаходиться в діапазоні 29—48 млрд м³/рік.

ВИСНОВКИ

Результати проведеного аналізу зарубіжного досвіду переробки відходів сільськогосподарської продукції на біогаз засвідчують постійне зростання обсягів виробництва біогазу, що зумовлено його соціально-економічну, екологічну та енергетичну ефективність.

У кожній частині світу є значні можливості для виробництва біогазу. Згідно з прогнозами міжнародних організацій доступність сировини для виробництва біогазу зростає на 40% у період до 2040 року.

Найбільші можливості розвитку біогазових технологій відкриваються в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні, де споживання і импорт природного газу швидко зросли в останні роки, а також значні можливості існують у Північній і Південній Америці, Європі та Африці.

Біогаз дає можливість задовольнити потреби населення в енергії, особливо там, де доступ до національних мереж обмежений або недостатній. У країнах, що розвиваються, біогаз зменшує залежність від твердої біомаси як пального для приготування їжі, покращуючи стан здоров'я та економічні результати.

Література:

1. Гелетуха Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні. Аналітична записка БАУ. 2013. №4. URL: <http://www.uabio.orgimgfilesdocsposition-paper-uabio-4-ua.pdf> (дата звернення: 12.01.2021 р.).
2. Калетник Г.М., Здирко Н.Г., Фабіянська В.Ю. Біогаз в домогосподарствах — запорука енергонезалежності сільських територій України. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2018. № 8. С. 7—22.
3. Пришляк Н.В. Відновлювальна енергетика в Індії: сучасний стан та перспективи розвитку. Інвестиції: практика та досвід. 2018. № 21. С. 15—20. DOI: 10.32702/2306-6814.2018.21.15
4. Пришляк Н.В. Досвід Китаю у будівництві індивідуальних біогазових установок. Економіка АПК. 2011. 1. 165—169.
5. American Biogas Council. URL: <https://americanbiogascouncil.org/biogas-market-snapshot/#:~:text=The%20U.S.%20has%20over%202%2C200,and%20652%20landfill%20gas%20projects> (дата звернення: 14.01.2021 р.).
6. Berezyuk S., Tokarchuk D., Pryshliak, N. Resource Potential of Waste Usage as a Component of Environmental and Energy Safety of the State. Journal of Environmental Management and Tourism. 2019, 10 (5). P. 1157—1167.
7. Biogas Market in India. URL: https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/Aktuelle_Meldungen/20200225-indian-biogas-association-biogas-market-india.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (дата звернення: 11.01.2021 р.).
8. Biogas Plants — Global Market Trajectory & Analytics. URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/1824151/biogas_plants_global_market_trajectory_and?utm_source=GNDIY&utm_medium=Press-Release&utm_code=l9g5vc&utm_campaign=1263012+-Global+Biogas+Plants+Market+Report+2019%3a+Annual+Analysis%2c+Trends%2c+and+Forecasts%2c+2015+Through+2022&utm_exec=chdo54prd (дата звернення: 10.01.2021 р.).
9. European Biogas Association Statistical Report: 2019 European Overview. URL: <https://www.european-biogas.eu/eba-statistical-report-2019-european-overview/> (дата звернення: 12.01.2021 р.).
10. Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V. and A. I. Bashtovyi. Prospects for using biomass from agrarian pruning and plantation removal in Ukraine. Industrial Heat Engineering, 2018. 40(1): 68—74.
11. Goncharuk I.V. Biogas production in the agricultural sector — a way to increase energy independence and soil fertility". 2020. Agrosvit, № 15, pp. 18—29. DOI: 10.32702/2306-6792.2020.15.18.
12. International Energy Agency. Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth. URL: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth> (дата звернення: 11.01.2021 р.).
13. Kaletnik H., Pryshliak V., Pryshliak N. Public Policy and Biofuels: Energy, Environment and Food Trilemma. Journal of Environmental Management & Tourism. 2020. 10. № 4 (36). P. 479—487.
14. Kaletnik G., Honcharuk I., Okhota Yu. (2020), "The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises", Journal of Environmental Management and Tourism, Vol. XI, Summer, 3 (43): 513—522. DOI: 10.14505/jemt.v11.3(43).02.
15. Lohan S. K. et al., Biogas: A boon for sustainable energy development in India's cold climate. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. vol. 43. pp. 95—101.
16. Medipally S. R., Yusoff F. Md., Banerjee S. and Shariff M. Microalgae as Sustainable Renewable Energy Feedstock for Biofuel Production. BioMed Research International. 2015. March (22). URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/519513> (дата звернення: 12.01.2021 р.).
17. Official website of the Ministry of New and Renewable Energy. Biogas Technology Development Division. URL: <https://mnre.gov.in/biogas> (дата звернення: 15.01.2021 р.).
18. Official website of European Biogas Association. URL: <https://www.europeanbiogas.eu> (дата звернення: 11.01.2021 р.).
19. Pryshliak N., Tokarchuk D.M. Socio-economic and environmental benefits of biofuel production development from agricultural waste in Ukraine. Environmental & Socio-economic Studies. 2020. Vol. 8. Issue 1. P. 18—27.
20. Pryshliak N. Biogas production in individual biogas digesters: experience of India and prospects for Ukraine. Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal. 2019. 5 (1). P. 122—136.
21. Romanchuk S.V. Methodical approaches to assessing the environmental and economic efficiency of waste processing. Economics of nature management and environmental protection. 2015. 5 (167): 321—327.
22. Tokarchuk D.M., Pryshliak N.V., Tokarchuk O.A., Mazur K.V. Technical and economic aspects of biogas production at a small agricultural enterprise with modeling of the optimal distribution of energy resources for profits

maximization. INMATEH — Agricultural Engineering. 2020. 61 (2), 339—349.

23. World bioenergy Association. Global bioenergy statistics 2020. URL: <https://worldbioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%202020.pdf> (дата звернення: 12.01.2021 р.).

24. Zulauf C., Prutska O., Kirieieva E. and N. Pryshliak. Assessment of the potential for a biofuels industry in Ukraine. Problems and Perspectives in Management. 20018. 16 (4): 83—90.

References:

1. Heletukha, H. Kucheruk, P. and Matveyeyev, Y. (2013), "Prospects for the production and use of biogas in Ukraine", *Analitichna zapyska BAU*, vol.4, available at: <http://www.uabio.orgimgfilesdocsposition-paper-uabio-4-ua.pdf> (Accessed 12 January 2021).

2. Kaletnik, H. Zdyrko, N. and Fabiyans'ka, V. (2018), "Biogas in households is a guarantee of energy independence of rural areas of Ukraine", *Economy. Finances. Management: current issues of science and practice*, vol. 8, pp. 7—22.

3. Pryshliak, N. (2018), "Renewable Energy in India: current state and development prospects", *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*, vol. 21, pp. 15—20.

4. Pryshliak, N. (2011), "China's experience in building individual biogas plants", *Ekonomika APK*, vol. 1, pp. 165—169.

5. American Biogas Council (2020), available at: <https://americanbiogascouncil.org/biogas-market-snapshot/#:~:text=The%20U.S.%20has%20over%202%2C200,and%20652%20landfill%20gas%20projects> (Accessed 14 January 2021).

6. Berezyuk, S. Tokarchuk, D. and Pryshliak, N. (2019), "Resource Potential of Waste Usage as a Component of Environmental and Energy Safety of the State", *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. X, Issue 1 (33), pp. 149—160.

7. Mukherjee, A. (2020), "Biogas Market in India", available at: https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/Aktuelle_Meldungen/20200225-indian-biogas-association-biogas-market-india.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Accessed 11 January 2021).

8. Research and Markets (2020), "Biogas Plants — Global Market Trajectory & Analytics", available at: https://www.researchandmarkets.com/reports/1824151/biogas_plants_global_market_trajectory_and?utm_source=GNDIY&utm_medium=PressRelease&utm_code=I9g5vc&utm_campaign=1263012+-+Global+Biogas+Plants+Market+Report+2019%3a+Annual+Analysis%2c+Trends%2c+and+Forecasts%2c+2015+Through+2022&utm_exec=chdo54prd (Accessed 10 January 2021).

9. European Biogas Association (2019), "EBA Statistical report 2019: European Overview", available at: <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2019-european-overview/> (Accessed 12 January 2021).

10. Geletukha, G.G. Zheliezna, T.A. Drahnev, S.V. and Bashtovyi, A.I. (2018), "Prospects for using biomass from agrarian pruning and plantation removal in Ukraine", *Industrial Heat Engineering*, vol. 40 (1), pp. 68—74.

11. Goncharuk, I.V. (2020), "Biogas production in the agricultural sector — a way to increase energy independence and soil fertility", *Agrosvit*, vol. 15, pp. 18—29.

12. International Energy Agency (2020), "Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth", available at: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth> (Accessed 11 January 2021).

13. Kaletnik, H. Pryshliak, V. and Pryshliak, N. (2020), "Public Policy and Biofuels: Energy, Environment and Food Trilemma", *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. 10, no. 4 (36), pp. 479—487.

14. Kaletnik, G. Honcharuk, I. and Okhota, Yu. (2020), "The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises", *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. XI, Summer, vol. 3 (43), pp. 513—522.

15. Lohan, S. K. (2015), "Biogas: A boon for sustainable energy development in India's cold climate", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 43, pp. 95—101.

16. Medipally, S. R. Yusoff, F. Md. Banerjee, S. and Shariff M. (2015), "Microalgae as Sustainable Renewable Energy Feedstock for Biofuel Production", *BioMed Research International*, vol. March (22), available at <http://dx.doi.org/10.1155/2015/519513> (Accessed 12 January 2021).

17. Official website of the Ministry of New and Renewable Energy. Biogas Technology Development Division (2020), available at: <https://mnre.gov.in/biogas> (Accessed 15 January 2021).

18. Official website of European Biogas Association (2020), available at: <https://www.europeanbiogas.eu> (Accessed 11 January 2021).

19. Pryshliak, N. and Tokarchuk, D.M. (2020), "Socio-economic and environmental benefits of biofuel production development from agricultural waste in Ukraine", *Environmental & Socio-economic Studies*, vol. 8, Issue 1, pp. 18—27.

20. Pryshliak, N. (2019), "Biogas production in individual biogas digesters: experience of India and prospects for Ukraine", *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, vol. 5 (1), pp. 122—136.

21. Romanchuk, S.V. (2015), "Methodical approaches to assessing the environmental and economic efficiency of waste processing", *Economics of nature management and environmental protection*, vol. 5 (167), pp. 321—327.

22. Tokarchuk, D. M. Pryshliak, N. V. Tokarchuk, O. A. and Mazur, K. V. (2020), "Technical and economic aspects of biogas production at a small agricultural enterprise with modeling of the optimal distribution of energy resources for profits maximization", *INMATEH — Agricultural Engineering*, vol. 61 (2), pp. 339—349.

23. World bioenergy Association (2020), "Global bioenergy statistics", available at: <https://world-bioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%202020.pdf> (Accessed 12 January 2021).

24. Zulauf, C. Prutska, O. Kirieieva, E. and Pryshliak, N. (2018), "Assessment of the potential for a biofuels industry in Ukraine", *Problems and Perspectives in Management*, vol. 16 (4), pp. 83—90.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2021 р.