

## АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ В УКРАЇНІ

М.В. Панчук, Л.С. Шлапак

ІФНТУНГ; Україна, 76019, Івано-Франківськ, Карпатська, 15, тел. (0342) 506612,  
e-mail: ztk@nina.ua

Розглянуто особливості процесу утворення біогазу та вплив на його інтенсивність фізичних, хімічних, біологічних та технологічних чинників. Проаналізовано принцип роботи біогазових установок та систематизовано конструкції технологічного обладнання. Показано, що одним з напрямків вдосконалення технологічних ліній для виробництва та транспортування біогазу є використання для виготовлення вузлів та деталей конструкцій і трубопроводів полімерних матеріалів, які забезпечують хімічну стійкість, малу вагу, добру термоізоляцію та високу якість зварювальних з'єднань елементів.

Відзначено, що за допомогою біогазових технологій може бути вирішено комплекс проблем в області енергетики, екології, сільського господарства, агрохімії, і в цьому полягає їх висока рентабельність і конкурентоспроможність. Вирішуючи енергетичні завдання, стимулюючи виробництво електричної енергії з біогазу, виробництво біометану для закачування його в мережі природного газу і для заправки автотранспорту, держава підвищує і рівень екологічної безпеки на території України, оскільки відходи сільського та комунального господарств, харчової та переробної промисловостей становлять загрозу здоров'ю населення, стану ґрунту, повітря та підземних вод.

Встановлено, що біогаз може відіграти значну роль у подальшому розвитку й реалізації української енергетичної стратегії, яка орієнтується не лише на охорону клімату та поновлюваність, а й на безпеку енергопостачання та енергетичну автаркію. Загалом, просування поновлюваних джерел енергії повинно якнайкраще відповідати потребам ринку з тим, щоб забезпечити ефективність витрат та ефективне виробництво і застосування такої енергії.

Ключові слова: біогаз, біометан, біогазові установки, сільськогосподарська сировина, потенціал.

Рассмотрены особенности процесса образования биогаза и влияние на его интенсивность физических, химических, биологических и технологических факторов. Проанализированы принцип работы биогазовых установок и систематизированы конструкции технологического оборудования. Показано, что одним из направлений совершенствования технологических линий для производства и транспортировки биогаза является использование для изготовления узлов, деталей конструкций и трубопроводов полимерных материалов, которые обеспечивают химическую стойкость, малый вес, хорошую термоизоляцию и высокое качество сварных соединений элементов.

Отмечено, что с помощью биогазовых технологий может быть решен комплекс проблем в области энергетики, экологии, сельского хозяйства, агрохимии, в чем и заключается их высокая рентабельность и конкурентоспособность. Решая энергетические задачи, стимулируя производство электроэнергии из биогаза, производство биометана для закачки его в сети природного газа и для заправки автотранспорта, государство повышает и уровень экологической безопасности на территории Украины, так как отходы сельского и коммунального хозяйств, пищевой и перерабатывающей промышленности составляют угрозу здоровью населения, состоянию почвы, воздуха и подземных вод.

Установлено, что биогаз может сыграть значительную роль в дальнейшем развитии и реализации украинской энергетической стратегии, которая ориентируется не только на охрану климата и возобновляемость, но и на безопасность энергоснабжения и энергетическую автаркию. В общем, продвижение возобновляемых источников энергии должно лучше отвечать потребностям рынка с тем, чтобы обеспечить эффективность затрат и эффективное производство и применение такой энергии.

Ключевые слова: биогаз, биометан, биогазовые установки, сельскохозозяйственное сырье, потенциал.

The article studies the peculiarities of the biogas formation process and the influence of the physical, chemical, biological, and technological factors on its intensity. The principle of the biogas units operation is analyzed and the design of the technological equipment is systematized. It is also shown that one of the directions for improving the technological line for production and transportation of the biogas is the usage of the polymer materials, which ensure chemical stability, small weight, good thermal insulation, and high quality of welding when connecting the elements, for production of the structural components and details (including the ones of the pipelines).

It is stated that it is possible to solve a lot of problems in the sphere of power engineering, ecology, agriculture, and agricultural chemistry using the biogas technologies; moreover, their high profitability and competitiveness consist in this. Under such conditions, when solving the energy problems, stimulating the production of electric energy from the biogas and production of the biomethane for its injection into the natural gas distribution systems and fueling the vehicles, the country also improves its ecological security within the territories of Ukraine since the wastes of agricultural industry and communal services, as well as of the food and processing industries, constitute a danger for the health of the population and state of the soil, air, and underground waters.

It is found out that the biogas can play an important role in further development and implementation of the Ukrainian energy strategy, which is not only about the climate protection and renewability, but also about the security of energy supply and energy autarchy. In general, the promotion of the renewable energy sources should

meet the market needs as much as possible in order to ensure the cost efficiency, as well as the advanced production and usage of such energy.

Key words: biogas, biomethane, biogas units, agricultural raw material, potential.

**Постановка проблеми.** Розвиток альтернативної енергетики і пошуки нових джерел енергії – головна світова тенденція ХХІ тисячоліття. Її прояву сприяють локальні виснаження природних ресурсів, можлива перспектива енергетичної кризи, негативний вплив традиційної енергетики на навколишнє середовище і загроза регіональних екологічних катастроф. Варто відзначити, що відновлювальні джерела енергії стали останнім часом одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти [1, 2, 3, 4].

Біоенергетика є однією з найперспективніших складових відновлювальної енергетики України. Вона заснована на використанні енергії біомаси – вуглецевмістких органічних речовин рослинного та тваринного походження. Біомаса, на відміну від інших відновлюваних джерел енергії, є універсальним джерелом енергії, яке може використовуватися як для виробництва електричної та теплової енергії, так і для отримання біопалива на транспортні потреби.

На сьогодні скорочення використання природного газу – одна з найактуальніших тем для економіки України, тому пошук альтернативних джерел енергії та впровадження енергозберігаючих технологій є актуальною задачею. Використання відновлюваних джерел енергії, насамперед біомаси, є актуальним для України, оскільки дозволяє зменшити її залежність від імпортованих енергоносіїв та підвищити енергетичну безпеку [5].

Основним складником газоподібного палива при переробці біомаси є біогаз. Енергія, що отримується при спалюванні біогазу, може досягати 60 – 90 % від тієї, якою володіє вихідний матеріал. Серед усіх поновлюваних енергій біогаз має особливий статус, оскільки він знаходить різноманітне застосування у сферах енергетики, а в умовах України його виробництво може бути найдешевшим [6,7]. Зважаючи на ці та ряд інших безсумнівних переваг біогазових технологій, актуальність їх вдосконалення та широке впровадження для енергетики України є очевидною.

**Метою дослідження** є розкриття та систематизація аспектів виробництва біогазу з органічної сировини як для отримання альтернативного джерела енергії, так і вирішення екологічних проблем.

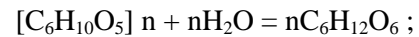
#### Виклад основного матеріалу

Біогаз – це горючий газ, який складається з метану (CH<sub>4</sub>: 50-75 %), вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>: 25-50 %), водяної пари (H<sub>2</sub>O: 0-10 %), азоту (N<sub>2</sub>: 0,01-5 %), кисню (O<sub>2</sub>: 0,01-2 %), водню (H<sub>2</sub>: 0-1 %), аміаку (NH<sub>3</sub>: 0,01-2,5 мг/м<sup>3</sup>) та сірководню (H<sub>2</sub>S: 10-30.000 мг/м<sup>3</sup>) [4]. Основним компонентом біогазу є метан, при згорянні якого

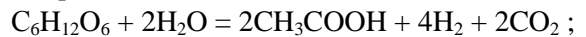
вивільняється енергія. Склад газу є нестабільним і може змінюватись в залежності від типу біомаси, мікроорганізмів, що беруть участь у процесі, а також домішок та фізичних чинників впливу на процес. Біогаз є кліматично нейтральним продуктом, оскільки біомаса, яка використовується, протягом усього вегетаційного періоду, забирає з атмосфери вуглекислий газ, який потім знову вивільняється під час спалювання біогазу або біометану [8].

Біогаз утворюється в результаті природного процесу мікробного розкладання органічної маси у вологому середовищі в анаеробних умовах (за відсутності кисню). Процес утворення біогазу називають метановим бродінням. Його суть полягає в анаеробному бродінні, яке відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводжується рядом біохімічних реакцій [9]. Процес утворення біогазу (метаногенез) проходить у три стадії:

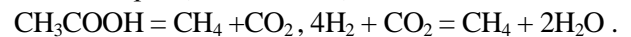
I стадія – розкладання органічної маси (гідроліз):



II стадія – розмноження кислотоутворюючих бактерій (ацетогенез):



III стадія – розмноження метаноутворюючих бактерій (метаногенез):



На першій стадії метаногенезу шляхом гідролізу відбувається розкладання високомолекулярних сполук (вуглеводів, особливо клітковини (целюлози), жирів, жироподібних речовин (фосфогліцеринів, гліколіпідів, воску, стероїдів тощо) та білків на низькомолекулярні органічні сполуки, а саме, моно- та олігосахариди, амінокислоти і пептиди, пуринові піримідинові азотисті основи, гліцерин, карбонові кислоти, діоксид вуглецю і водню.

На другій стадії за участю кислотоутворюючих бактерій відбувається подальше розкладання з утворенням органічних кислот і їх солей, а також спиртів, CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>, а потім H<sub>2</sub>S і NH<sub>3</sub>. Ці кислоти окислюються переважно до ацетату і діоксиду вуглецю. Утворюються також воду, аміак, сірководень.

На третій стадії за участю ферментів, що їх продукують спорові і неспороутворюючі сарцинові і сарциноподібні мікроорганізми, органічні речовини перетворюються на метан (CH<sub>4</sub>) і діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>). Крім того, з CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub> утворюється в подальшому додаткова кількість CH<sub>4</sub> і H<sub>2</sub>O. Ці реакції протікають одночасно, причому умови існування метаноутворюючих бактерій значно вищі, ніж кислотоутворюючих. Швидкість і масштаби анаеробного бродіння метаноутворюючих бактерій залежать від їх метаболічної активності [10].

На інтенсивність процесу зброджування і, як наслідок, утворення біогазу впливають чо-

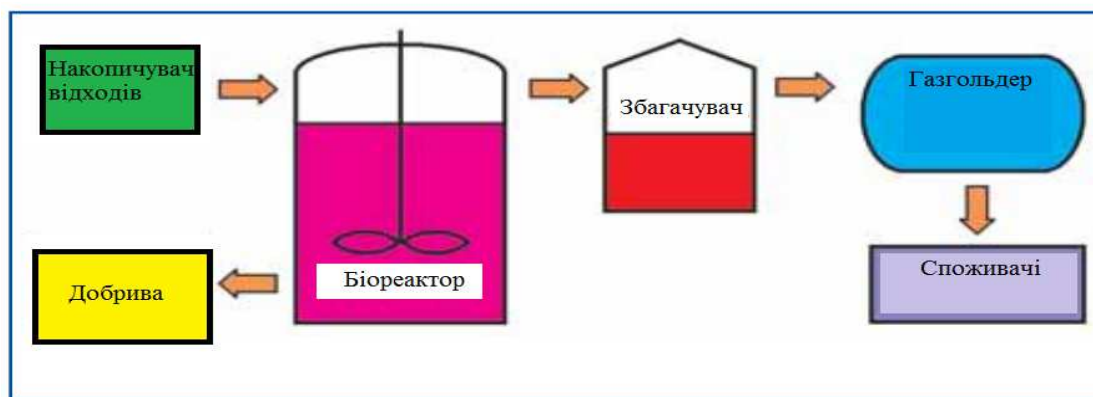


Рисунок 1 – Схема виробництва біогазу

тири групи чинників: біологічні (склад збродженої біомаси; склад мікрофлори; умови життєдіяльності мікроорганізмів), фізичні (температура збродження; тиск у біогазовій установці; гідравлічний режим), хімічні (концентрація, кислотність середовища; вміст легких жирних кислот в зброджуваній масі; обсяг і склад біогазу, що утворюється) та організаційно технологічні (доза добового завантаження нових порцій зброджуваної маси; навантаження за беззольною речовиною; залишкові речовини) [16].

Весь цей складний комплекс перетворень здійснює велика кількість мікроорганізмів (за деякими оцінками – до декількох сотень видів), серед яких переважають бактерії. Кількісний і якісний склад мікрофлори сильно залежить від складу зброджуваних органічних речовин і умов, які створюються в навколишньому середовищі [11, 12].

При всій різноманітності біогазових технологій серед них виділяються два великі класи:

- централізовані біогазові установки, що характеризуються великими габаритами, а денний об'єм сировини, яка піддається ферментації, складає від 50 до 100 тонн;

- індивідуальні біогазові установки, значно менших розмірів та об'ємів переробленої сировини.

Розмір та продуктивність біогазових установок залежать від багатьох чинників, але, не зважаючи на це, принцип їхньої роботи (рис. 1) подібний. Після збору й підготовки сировини, що полягає в доведенні її до необхідної вологості в спеціальній ємності, вона подається в реактор, в якому створюються умови для оптимізації процесу анаеробного бродиння, після чого відбувається очищення біогазу від різноманітних домішок та відведення отриманих продуктів у накопичувальні ємності [13].

Анаеробне збродження органічних відходів з отриманням біогазу і біодобрив здійснюється в спеціальних установках, основним елементом яких є біореактор. Корпус біогазового реактора повинен бути досить міцним при абсолютній герметичності його стінок. Обов'язковими також є надійна теплоізоляція стінок та їх властивість протистояти корозії. За цього необхідно передбачити можливість зава-

нтаження та вивантаження реактора, а також доступ до його внутрішнього простору для обслуговування.

Конструкції біологічних реакторів (метантенків) достатньо різноманітні, відрізняються, здебільшого, гідравлічним режимом (проточні або періодичного наповнення) і способами завантаження (безперервний або періодичний). При безперервній схемі біомасу завантажують безперервно або через певні проміжки часу, видаляючи таку ж кількість збродженої маси. При дотриманні всіх умов збродження така схема дозволяє одержати максимальний вихід біогазу. При періодичній схемі метантенки (їх як правило два) завантажують по черзі [14].

Аналіз конструктивних рішень біогазових установок показав, що більшість з них має одноступінчатий реактор проточного типу з повним перемішуванням. Їх загальне число складає 68% від всіх типів реакторів, що перебувають в експлуатації. Водночас досвід експлуатації вітчизняних і зарубіжних установок для анаеробного збродження біомаси свідчить, що при використанні одноступінчатих реакторів мають місце «проскакування» необробленої біомаси, що знижує їх ефективність при виробництві біогазу [15].

Для субстратів з швидким розщепленням, які через це мають схильність до окислення, рекомендується для гідролізу і окислення передбачити окремий резервуар, щоб з нього продукти розкладання дозовано подавати у ферментатор (двоступенева технологія). Перевагою таких конструкцій є висока ефективність роботи бактерій через створення оптимальних умов життєдіяльності (в першу чергу, рівень рН). У такий спосіб можна видобути більшу кількість біогазу. Бродиння барди, наприклад, вимагає саме такого розділу фаз. Крім того, гази, що не використовуються, завдяки такому розділу можна відокремлювати через біофільтр, отримуючи лише біогаз із високим вмістом метану.

Хоча розділ фаз найкращим чином відповідає умовам життєдіяльності бактерій і має свої переваги, такі двоступеневі технології не набули значного поширення, оскільки додаткові втрати на другий резервуар, системи змішу-

вання, опалення та насоси можуть окупитися лише для певних видів субстратів.

При виборі форми, розмірів і конструкції метантенка насамперед враховуються такі чинники: масова витрата субстрату при заповненні; заданий вихід біогазу або міра зброджування субстрату як функція від концентрації сухих речовин, завантаження робочого простору, часу циклу зброджування й інтенсивності перемішування; вживана система виробництва; рівень механізації.

Важливу роль в отриманні біометану відіграє збагачення і очищення біогазу. Збагачення біогазу до біометану передбачає вилучення сірководню  $H_2S$ , вуглекислого газу  $CO_2$ , та води. В даний час широке використання в області очищення біогазу знайшли: хімічна абсорбція водою та розчинами моноетаноламіну (МЕА); хемосорбція на водних розчинах  $Na_2CO_3$ ,  $K_2CO_3$ ,  $NaOH$ ,  $KOH$ ,  $Ca(OH)_2$ ; адсорбція на оксидах алюмінію і цеолітах [16]. Біометан – біогаз, що пройшов очистку та збагачення у відповідності з технічними вимогами до моторного палива або до газу в мережі.

Порівняно з енергією сонця і вітру перевагою біогазу є можливість послідовного виробництва і накопичування. Сонячну і вітрову енергію на даний час можливо накопичувати лише з істотними їх втратами.

Розмір накопичувальної біогазової установки – газгольдера – визначається обсягом виробництва газу і процесом споживання, тому його необхідно розраховувати для кожної установки окремо.

За своєю конструкцією газгольдер являє собою герметичну ємність, розташовану або безпосередньо над біогазовим реактором, або поєднану з ним газопроводом. Залежно від тиску розміщеного в ньому газу він може бути:

- низького тиску (не більше 5 кПа);
- середнього тиску (не більше 300 кПа);
- високого тиску (не більше 1,8 МПа).

Газгольдери низького тиску (рис. 2) зазвичай мають вигляд пластикових або гумових ємностей, де біогаз накопичується в міру виробництва в реакторі і надходить у ємність природним перетіканням без примусового перекачування. Тиск в ємності близький до атмосферного, а її обсяг визначається продуктивністю біогазового реактора і зазвичай дорівнює добовому обсягу виробництва газу.

Такі газгольдери використовуються найчастіше в недорогих сільськогосподарських біогазових установках і служать для вирівнювання тиску газу при перепадах добового споживання. Монтаж цього типу ємностей не вимагає залучення професіоналів, оскільки не є складним. Він полягає в з'єднанні клапана ємності з вихідним отвором реактора, після чого газгольдер готовий до експлуатації.

У державах, клімат яких відрізняється відсутністю низькотемпературних періодів, найчастіше використовуються наземні газгольдери купольного типу. В міру заповнення купола і підвищення тиску в ньому газ через клапан виштовхується в компенсуючу камеру, розташо-

вану за кислотостійкою мембраною. У Китаї в даний час побудовано більше 12 млн. таких установок.



Рисунок 2 – Газгольдер низького тиску

Купольні газгольдери (рис. 3) відносяться до установок середнього тиску і виконуються, як правило, з щільної гуми, стійкої до ультрафіолетового випромінювання. Оболонка виготовляється подвійною, а між зовнішнім і внутрішнім шарами закачується звичайне атмосферне повітря, яке підтримує форму ємності і виконує роль ізолятора від перепадів зовнішніх температур.



Рисунок 3 – Газгольдер купольного типу

Конструктивно газгольдери високого тиску є суцільнометалевими ємностями, змонтованими на деякій відстані від метантенка. Закачування газу в них здійснюється за допомогою компресорної установки великої потужності. Схема біогазової установки промислового типу включає кілька металевих підземних газгольдерів, обладнаних газовимірвальним автоматизованим обладнанням, запірною арматурою, системою аварійного відключення і скидання газу. Кожна металева ємність зсередини і зовні покрита антикорозійним захисним шаром.

Перевагами цього типу газгольдерів є:

- постійний тиск в газорозподільній мережі;
- можливість зберігання великих обсягів газу в відносно малих за обсягом ємностях;



- безпека експлуатації системи, що має багаторівневий автоматичний контроль;
- висока економічна ефективність біогазової установки.

Монтаж газгольдерів високого тиску здійснюється тільки силами спеціально навченого персоналу, оскільки вони відносяться до об'єктів підвищеної технологічної небезпеки.

Вибір газгольдера для біогазового реактора здійснюється з урахуванням його продуктивності, а також кліматичних особливостей місцевості, де він буде експлуатуватися. Безпека роботи біогазової установки багато в чому залежить від обсягу біогазу, який вона виробляє, а також від дотримання правил експлуатації персоналом установки.

Стримуючим чинником в організації біогазових технологій є висока вартість типових метантенків, виготовлених з монолітного залізобетону [17]. Одним з напрямків вдосконалення комплексів для виробництва та транспортування біогазу є використання для виготовлення вузлів та деталей конструкцій і трубопроводів полімерних матеріалів, які забезпечують хімічну стійкість, малу вагу, добру термоізоляцію та високу якість зварювання під час з'єднання елементів. Зокрема доцільним є використання поліетиленових труб розмірним відношенням SDR 11, 17, 21 для будівництва та ремонту дренажних, проміжних і магістральних трубопроводів для полігонів твердих побутових відходів та об'єктів переробки органічних відходів сільгосппродукції і тваринництва.

Виробництво біогазу у світі стрімко зростає з тенденцією до інтенсифікації існуючих технологій та пошуку нових видів сировини і технологій їх переробки, максимально повного корисного використання енергії біогазу. На сьогоднішній день виробництво біогазу набуло найбільшого поширення в Індії та Китаї. Характерною особливістю виробництва в цих країнах є його розміщення в теплих регіонах, що як правило не потребує штучного підігрівання вихідної сировини. За рахунок біогазу Китай практично повністю задовольняє свої потреби у блакитному паливі [18].

Не зважаючи на низький розвиток біоенергетики та недоліки енергетичної стратегії, Україна має добрі передумови для розширення виробництва і використання енергії, отриманої з відновлювальних джерел, серед яких одним з найефективніших є біогаз. Країна володіє великим потенціалом щодо біомаси, доступної для виробництва енергії, який складає 4-7 % від загальних енергетичних потреб. Основними складовими цього потенціалу є відходи сільськогосподарського та комунального господарства, харчової промисловості, а також енергетичні культури, вирощування яких почало активно розвиватись останнім часом [19, 20]. Якість сировини за цього характеризується вологістю, виходом біогазу та вмістом у ньому метану. У середньому з тонни гною великої рогатої худоби можна отримати 50-65 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану 60%, з різних видів енергетичних рослин – 150-500 м<sup>3</sup> з 70% метану. Максимальна кількість

біогазу – 1300 м<sup>3</sup> з вмістом метану до 87% – можна отримати з тваринного жиру [21].

За різними даними розвиток біогазових технологій в Україні дозволить в перспективі щорічно отримувати від 1,5 до 6 млрд. м<sup>3</sup> еквівалента природного газу, що робитиме значний внесок у забезпечення енергетичної незалежності держави, сформує альтернативний газопаливний ресурс, забезпечить можливість покривати пікові навантаження в електромережі, вирішить проблеми утилізації відходів, розвитку місцевої економіки, покращить екологію, підвищить родючість ґрунтів, сприятиме створенню нових робочих місць [17, 22].

Біогаз є цінним енергоносієм, а значить, що його можна застосовувати з різними цілями і з високою ефективністю. Використання біогазу як моторного палива (рис. 4) забезпечує значну економію паливно-енергетичних ресурсів. Досвід експлуатації автомобілів із використанням біогазу як моторного палива підтверджує можливість застосування його у традиційних конструкціях автомобіля. Завдяки простій, надійній і перевіреній технології, біогаз має усі необхідні характеристики для того, щоб стати одним із найефективніших та економічно вигідних видів палива, що отримують із поновлюваних джерел [23].



**Рисунок 4 – Використання біогазу як моторного палива**

Як і природний газ, перед застосуванням у двигуні внутрішнього згорання біогаз піддається збагаченню (до рівня вмісту метану в газі 95%), очищенню, осушуванню та компримуванню. У результаті енергетичний еквівалент газу становить 9–10 кВт год/м<sup>3</sup> [24]. Очищений біогаз зазвичай доставляють на заправні станції спеціальними автоцистернами, або за допомогою трубопроводів.

Відомо, що на біогаз можуть бути конвертовані як бензинові двигуни з примусовим згоранням суміші, так і дизельні. Водночас згорання біогазового палива в дизельних двигунах за високих ступенів стискування та підвищених коефіцієнтах надлишку повітря є більш ефективним, ніж у двигунах з примусовим запалюванням. Варто відзначити, що на процес згорання біогазової суміші в об'ємі циліндра дизельного двигуна впливають високі темпера-

тури її самозагоряння (як і робочої суміші метану та повітря), що становлять 600–800 °С. Ці значення суттєво перевищують температури самозагоряння робочої суміші крапель нафтового палива з повітрям [25]. Тому саме загоряння біогазової суміші тільки за рахунок теплоти стискання в камері згоряння дизеля є досить проблематичним. Можливе загоряння робочої суміші біогазу з повітрям від свічки запалювання або запалювальної дози дизельного палива. При цьому потрібно враховувати, що для запалювання біогазового палива необхідно значно збільшити енергію іскроутворення порівняно із звичайними бензиновими двигунами, а підведена із запальним дизельним паливом енергія – у 100–10000 разів більша, ніж енергія іскроутворення свічки запалювання. Головними параметрами такого двигуна до цього часу залишається вища температура згоряння і так зване метанове число, що характеризує газ, з точки зору стійкості до детонації, а спеціальний газовий змішувач дозволяє компенсувати коливання калорійності палива. За цього має місце: зменшення викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами, що особливо важливо для населених пунктів [26, 27].

Одним з найперспективніших напрямків використання біогазу є виробництво з нього електроенергії. Біогаз для цього отримують безпосередньо на ряді об'єктів і оскільки на кожній фермі вихід біогазу порівняно невеликий, пропонується використовувати мобільну компресорну установку, в якій закачують газ в балони під високим тиском (20...25 МПа). Ця мобільна компресорна установка здійснює збір біогазу від локальних біогазових установок і подає його в компримованому вигляді (в балонах) до стаціонарної дизель-генераторної установки, що включає дизельний двигун, який працює на біогазі, і електрогенератор, що виробляє змінний електричний струм. Такі системи характерні для крупних агропромислових комплексів, що складаються з декількох сільськогосподарських об'єктів.

Безперечними перевагами такої концепції є можливість безперебійного виробництва електроенергії з біогазу на установці, що містить порівняно потужний первинний дизельний двигун, що відрізняється високою топливною економічністю (двигуни невеликої потужності мають невисоку паливну економічність). Для цього в якості первинного двигуна для електрогенератора бажано використовувати дизельний двигун, що працює на біогазі з запальною дозою дизельного палива. Інша перевага пропонованої концепції вироблення біогазу – можливість роботи стаціонарної дизель-генераторної установки на промислову електричну мережу, що, зазвичай, складно здійснити в мобільних дизель генераторних установках.

Останнім часом у світовій практиці особливо швидкими темпами зростає кількість біогазових проектів, спрямованих на виробництво і закачування біометану в мережу природного газу. Використання біогазу в мережі громадського користування відкриває для виробництва

біогазу нові перспективи. Це дозволяє використовувати газ там, де він фактично потрібен. Водночас варто зауважити, що за наявності достатньої кількості сировини біогазові установки можуть замінити об'єкти традиційної енергетики (газопроводи, котельні, електричні мережі, трансформатори) та інші об'єкти інфраструктури (сховища відходів, під'їзні шляхи тощо), а при автономній роботі відсутні затрати на підключення до енергомереж.

Україна є державою з розвинутою системою газопостачання. Загальна протяжність газорозподільчих мереж становить 246 тис. кілометрів. Понад 70% населення України має доступ до природного газу. Таким чином, на більшій частині території України існує технічна можливість підключення виробників біометану до газорозподільчих мереж середнього та низького тисків для локального споживання біометану.

Наявність унікальної системи магістральних газопроводів робить принципово можливим експорт отриманого в Україні біометану в країни Західної Європи, в яких розроблена система стимулювання виробництва біометану. Для розвитку перспектив експорту біометану в країни ЄС потрібен національний реєстр виробництва та споживання біометану для підтвердження джерела його походження у відповідності до певних критеріїв, які відповідають вимогам аналогічних реєстрів країн ЄС та забезпечення взаємодії між аналогічними реєстрами європейських країн [15].

Україна відноситься до країн з традиційним використанням стисненого природного газу як моторного палива. В 2011 році в країні нараховувалось 200 тис. автомобілів на стисненому природному газі та близько 300 газозаправних станцій. Ринок використання біометану як моторного палива практично необмежений. Оскільки властивості біометану близькі до властивостей природного газу, використання біометану як моторного палива можливе в будь-яких пропорціях з природним газом.

Особливість використання біогазових технологій полягає в тому, що вони не є чисто енергетичними, а являють собою комплекс, що охоплює вирішення як енергетичних, так і екологічних, агрохімічних, лісотехнічних та інших питань, і в цьому полягає їх висока рентабельність і конкурентоспроможність. Вирішуючи енергетичні задачі, стимулюючи виробництво електричної енергії з біогазу, виробництво біометану для закачування в мережу природного газу і для заправки автотранспорту, держава підвищує і рівень екологічної безпеки на території України, оскільки відходи сільського та комунального господарства, харчової та переробної промисловості складають загрозу здоров'ю населення, стану ґрунту, повітря та підземних вод.

Так само потрібно відзначити про можливість розміщення біогазових установок у будь-якому регіоні України, де наявна достатня кількість органічної сировини незалежно від наявності об'єктів традиційної енергетики, інжене-

рних та транспортних мереж. Виробництво біогазу може забезпечити доходи і трудову зайнятість населення на регіональному рівні і сприятиме розвитку села, оскільки не суперечить первинному сільськогосподарському виробництву, а, навпаки, становить в контексті структурної зміни сільського господарства розумну дохідну альтернативу сільськогосподарським підприємствам. Важливим є те що, будівництво біогазових установок та їхньої інфраструктури з поступовим переходом на обладнання місцевого виробництва буде додатково стимулювати українську економіку.

## **ВИСНОВКИ**

Внаслідок проведеного аналізу літературних джерел встановлено, що використання біогазу із органічної маси різного походження як додаткових відновлювальних джерел енергії є досить перспективним для України. Біогазова енергетика – надійна та економічно вигідна альтернатива природному газу та центральному електропостачанню, а також джерело дешевих, екологічно чистих органічних добрив.

Надзвичайно важливим питанням є використання нових технологій збагачення біогазу до біометану і методів контролю його якості, що є ключовим чинником проектів, спрямованих на виробництво і закачування біометану в мережу існуючих трубопроводів для природного газу. Великі запаси потенційного альтернативного палива в Україні, а також його енергетична цінність роблять можливим використання біогазу як моторного палива у двигунах внутрішнього згоряння, що є найбільш поширеним типом теплових двигунів.

Затосування біогазових технологій не тільки забезпечує економію традиційних викопних палив, але і сприяє вирішенню екологічних задач, що пов'язані з очищенням та знешкодженням промислових, міських, сільськогосподарських відходів, у чому й полягає їх висока рентабельність і конкурентоспроможність.

## **Література**

1 Диренко А.А. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока / А.А.Диренко, Е.М. Коцарь // СОК (сантехніка, опалення, кондиціонування). – 2006. – № 4 (28). – С. 12-15.

2 Диренко А.А. Обезвоживание осадков сточных вод / А.А.Диренко // СОК(сантехніка, опалення, кондиціонування). – 2006. – № 7 (31). – С. 22-25.

3 Удалов Р. В. Экологические аспекты обработки и утилизации осадков сточных вод / Р. В. Удалов, Л. В. Андреева // Учен. зап. Ин-та СХПР НовГУ. – 2006. – Т. 14. – С. 45–59.

4 Токарчук Д.М. Виробництво і використання біогазу в Україні: економічні і соціальні перспективи / Д.М. Токарчук, О.В. Яремчук // Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки). – 2013. – № 2. – С. 338 – 346.

5 Мірошник М. М. Перспективи використання біомаси для отримання теплової енергії в Україні [Текст] / М. М. Мірошник, Я. І. Засядько // Земля України – потенціал економічної і екологічної безпеки держави: матеріали міжнар. наук-техн. конф, (м. Вінниця, 23-26 берез.). – Вінниця, 2011 – С. 78-82.

6 Фесюк В. О. Оцінка перспектив добування біогазу з осадків стічних вод Львівських міських комунальних очисних споруд / В. О. Фесюк // Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. навк. пр. / Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки; [відп. ред. Ф. В. Зузук та ін.]. – 2010. – № 7. – С.84-90.

7 Коцарь Е.М., Диренко А.А. Технологии и оборудование для переработки и утилизации осадков промышленных и коммунальных сточных вод // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України, спеціальний випуск. – 2005. – С. 115-118.

8 Куріс Ю. В. Способи утилізації біогазу / Ю. В. Куріс, С. І. Ткаченко, Н. В. Семененко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2010. – № 7. – С. 20-30.

9 Norazwina Zaino. Kinetics of Biogas Production from Banana Stem Waste, Biogas, Dr. Sunil Kumar (Ed.). – 2012 – P. 395-408. – ISBN: 978-953-51-0204-5, InTech.

10 Гураль І.В., Дивак М.П. Біохімічний аналіз процесів в біогазових установках та його застосування в задачі макромоделювання процесів виробництва біогазу // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 2014. – С.152-158.

11 Майстренко О. Ю. Розробка математичної моделі процесів розвитку мікроорганізмів в рамках біоенергетики біомаси / О. Ю Майстренко, Ю. В. Куріс, Ю. С. Калінцева // Новини Енергетики. – 2010. – № 2. – С. 32–39.

12 Ткаченко С. Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки: монографія / Ткаченко С. Й., Степанов Д. В.; Вінниц. нац. техн. ун-т. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 132 с.

13 Давиденко Е. В. Метангенерация твердых органических отходов городов / Е. В. Давиденко, Е. С. Панцхава // Біотехнологія. – 1990. – № 4. – С. 49 – 53.

14 Майстренко О. Ю. Біогазові установки та методи їх розрахунку: Міжнародна конференція «Nauka I Inowacja 2009» / О. Ю Майстренко, Ю. В. Куріс, О. В. Ряснова // Poland. – 2009. – С. 6–14.

15 Гелетуха Г.Г. Перспективи виробництва та використання біометану в Україні. / Г.Г. Гелетуха, П.П. Кучерук, Ю.Б. Матвеев // Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України. – 2014. – № 11. – 42 с.

16 Крушневич Т.К. Извлечение метана из биогаза полигонов и подача его в магистральный газопровод / Т.К. Крушневич, А.И. Пятничко // Технические газы. – 2006. – № 3. – С. 41-44.

17 Марасін О.В. Розробка та дослідження палинкових пристроїв для спалювання біогазу в промислових котлах [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.14.06 / Марасін Олексій Володимирович: НАН України, Ін-т газу. – Київ, 2015. – 22 с.

18 Екологізація енергетики: навч. посібник / В. Я. Шевчук, Г. О. Білявський, Ю. М. Саталкін, В. М. Навроцький. – К.: Вища освіта, 2002. – 111 с.

19 Кузнецова А. Біогаз та „зелені тарифи” в Україні – чи вигідне інвестування? [Електронний ресурс] / А. Кузнецова, К. Куценко. — К.: Інститут економічних досліджень та політичних консультацій, 2010. – 40 с. – (Серія консультативних робіт AgPP No. 26). – Режим доступу до ресурсу: [http://www.ier.com.ua/ua/publications/consultancy\\_work/?pid=1501](http://www.ier.com.ua/ua/publications/consultancy_work/?pid=1501)

20 Ігнат'єва Т. Г. Виробництво біогазу як інноваційний напрям енергозбереження в аграрних підприємствах України: стан, проблеми та перспективи розвитку / Т. Г. Ігнат'єва // Інноваційна економіка. – 2010. – № 5. – С. 19-23.

21 Гелетуха Г. Перспективи розвитку технологій отримання біогазу в Україні. / Г. Гелетуха, С. Кобзар, К. Копейкін // Зелена енергетика. – 2001. – № 3. – С. 12-14.

22 Левтеров А. М. Расчетная оценка теплофизических свойств биогаза, используемого в качестве топлива для транспорта / А. М. Левтеров, В. С. Маринин, К. Р. Умеренкова // Пром. Теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 2. – С. 78-83.

23 Використання біогазу як моторного палива / С. І. Шиманський [та ін.] // Автошляховик України. – 2013. – № 6. – С. 13-15.

24 Масаев И.В. Использование биоотходов сельского хозяйства в качестве альтернативного топлива / И.В. Масаев // Изв. Акад. пром. экологии. – 2001. – № 3. – С. 79 -80.

25 Дизельный двигатель и биогаз, научный подход эффективного взаимодействия / С.П.Шимченко, В.В.Эфрос, С.Я. Чернин // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2012. – № 7. – С. 37-41.

26 Биогаз как перспективное альтернативное топливо / И.И.Тимченко, А.И.Воронков, Д.И. Тимченко // Сб. научных трудов “Авиационно-космическая техника и технология”, Вып. 9, разд. “Тепловые двигатели и энергоустановки”. – Х.: ХАИ, 1999. – С. 63-64

27 Шиманський С.І. Розширення паливної бази автомобільного транспорту використанням біогазу як моторного палива / С. І. Шиманський, Р. В. Симоненко, М. Б. Назаренко, А. Г. Говорун // Автошляховик України. – 2013. – № 3. – С. 2-5.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*

*02.09.16*

*Рекомендована до друку  
професором Федоришиним Д.Д.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором Фомічовим С.К.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ)*