

## ТЕХНОЛОГІЯ ПІДГОТОВКИ ТА ПЕРЕРОБКИ РІЗНИХ ВИДІВ БІОМАСИ У БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ

**С. А. ШВОРОВ**, доктор технічних наук, професор

**В. Є. ЛУКІН**, кандидат педагогічних наук

**Д. С. КОМАРЧУК**, кандидат технічних наук

**В. І. ТРОХАНЯК**, кандидат технічних наук

**В. В. УСТИМЧУК**, інженер

**Національний університет біоресурсів**

**і природокористування України**

*E-mail: lukin2008@ukr.net*

**Анотація.** Як свідчить практика, в існуючих біогазових установках (БГУ) не передбачається застосування різних видів сезонної біомаси, а їх неоптимальне застосування може призвести до значного зменшення виходу біогазу. Перспективним напрямом усунення зазначеного недоліку є розробка спеціальної технології підготовки та переробки різних видів біомаси, за допомогою якої, на основі деструкційної (кавітаційної) обробки сировини та використання спеціальних домішок, створюються необхідні умови для отримання максимально можливого об'єму біогазу. При цьому, для різних видів сировини здійснюється оптимальне завантажування, підігрівання й перемішування субстрату, що забезпечує ефективне використання всього об'єму резервуара БГУ, унеможливорює утворення «мертвих» зон, розшарування осаду, відкладання мінералізованого осаду та утворення кірки, а також сприяє вирівнюванню температурного поля й покращенню газоутворення.

За допомогою REDOX-сенсора забезпечується вимірювання швидкості зниження окисно-відновного потенціалу (ОВП) без розгерметизації культиватора в рідкому середовищі. Створена шкала з барвників (редокс-індикаторів) для вимірювання ОВП під час росту культур мікроорганізмів у діапазоні від -30 до -420 мВ. На основі аналізу характеристик стереометричного розподілення редокс-зон у рідкому або агаризованому середовищах здійснюється оптимальне дозування, деструкційна (кавітаційна) обробка сировини та різних видів спеціальних домішок, що дає змогу значно збільшити вихід біогазу.

**Ключові слова:** біогазова установка, біогазова технологія, біомаса, енергетичні культури, субстрати, домішки, біогаз, метан, REDOX-сенсор

**Актуальність.** Останніми роками в Україні дедалі більше уваги приділяється дослідженню процесів біоконверсії, виробництву та енергетичному використанню біогазу [1–2]. Крім того, повне й швидке впровадження біогазових технологій для переробки відходів

рослинництва і тваринництва одночасно радикально поліпшить енергетичний баланс країни та екологічний стан територій.

Для отримання максимально можливих об'ємів біометану планується використання не лише різноманітних сільськогосподарських відходів, а й вирощування, збір та деструкційна обробка спеціальних енергетичних культур (ЕК), які стимулюють процес бродіння. Тому, одним із перспективних напрямів підвищення ефективності функціонування біогазових установок є розробка біогазових технологій, за допомогою яких забезпечується ефективна підготовка та інтенсивна переробка різних видів біомаси (субстратів) у біогазових установках.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Нині у встановленому технологічному процесі існуючих БГУ не передбачається застосування різних видів сезонної біомаси. При цьому, неоптимальне керування процесом завантаження різних видів субстратів може призвести до значного зменшення виходу біогазу [5, 7]. Перспективним напрямом усунення зазначеного недоліку є розробка біогазової технології, за допомогою якої забезпечується завантаження БГУ різними видами вхідних субстратів і спеціальних домішок та створення необхідних умов (на основі контролю окисно-відновного потенціалу [4]) для отримання максимально можливого об'єму біогазу.

**Мета дослідження** – розробка біогазової технології щодо підготовки та ефективної переробки вхідних субстратів на основі контролю окисно-відновного потенціалу та оптимального дозування спеціальних домішок для отримання максимальних об'ємів біогазу.

**Матеріали і методи досліджень.** Процес інтенсифікації зброджування біомаси у БГУ полягає в тому, що потік різних видів сировини спочатку подрібнюється у роторно-пульсаційному апараті до необхідного мікроскопічного рівня та гомогенізується. При цьому рвуться зв'язки довгих волокон (лігнін, целюлоза), дисперсність збільшується так, що їх частинки значно зменшуються у розмірах. Тому штамам бактерій, які беруть участь у процесах утворення біогазу, легше розкласти біогенні матеріали. У результаті вміст метану в біогазі збільшується до 70–75 %.

За допомогою розробленого в [4] кількісного методу колориметричного вимірювання окисно-відновного потенціалу в рідких і агаризованих середовищах з'явилася можливість вимірювати швидкість зниження ОВП без розгерметизації культиватора в рідкому середовищі, а також охарактеризувати стереометричне розподілення редокс-зон у рідкому або агаризованому середовищах, що необхідно для оптимального дозування та перемішування різних видів спеціальних домішок з метою збільшення виходу біогазу. Під домішками в даному випадку розуміється суміш із ензимів, мікроелементів, ЕК і т.п., застосування яких забезпечує значне збільшення виходу біогазу без змін конструкції біогазової установки.

На основі застосування методу колориметричного вимірювання ОВП здійснюється оптимальне дозування та деструкційна (кавітаційна) обробка різних видів сировини, оптимальне підігрівання і перемішування завантаженого субстрату, що забезпечує ефективне використання

всього об'єму резервуара БГУ, унеможливилює утворення «мертвих» зон, розшарування осаду, відкладання мінералізованого осаду та утворення кірки, а також сприяє вирівнюванню температурного поля та покращенню газоутворення [3, 6].

**Результати досліджень та їх обговорення.** За допомогою REDOX-сенсора на основі колориметричного методу вимірювання ОВП [4] з'явилася можливість вимірювати стереометричне розподілення редокс-зон у рідкому або агаризованому середовищах, що необхідно для оптимального дозування різних видів ЕК та спеціальних домішок, які в комплексі з кавітаційними деструкторами біомаси дадуть змогу значно збільшити вихід біогазу для отримання різних видів енергії.

Колориметричний метод заснований на використанні барвників – редокс-індикаторів. У таких барвників хромоформні (хромогенні) групи, що визначають колір барвника, відновлюються до безбарвної форми барвника (лейкоформи). У мікробіології для вимірювання ОВП широко застосовуються резазурин, феносафранін, нейтральний червоний, метиленовий синій. Кожен із барвників має певний потенціал утворення лейкоформи [4].

В електрохімії прийнято виражати потенціал утворення лейкоформи барвника при рівності концентрацій (або активностей) його окисленої та відновленої форм ( $E_0'$ ) і  $pH=7,0$  [4]. У такому випадку барвник знебарвлений частково. Тому для практичного використання редокс-барвників необхідно емпірично визначити потенціал їх повного знебарвлення.

Як свідчать результати теоретичних та практичних досліджень, найбільший вихід біометану, дають субстрати з високою концентрацією енергії: енергетична кукурудза, свіжа трава, бадилля буряка, зернові рослини [1, 2, 6, 7].

Структурна схема технології підготовки та зброджування біомаси у біогазовому реакторі наведена на рисунку.

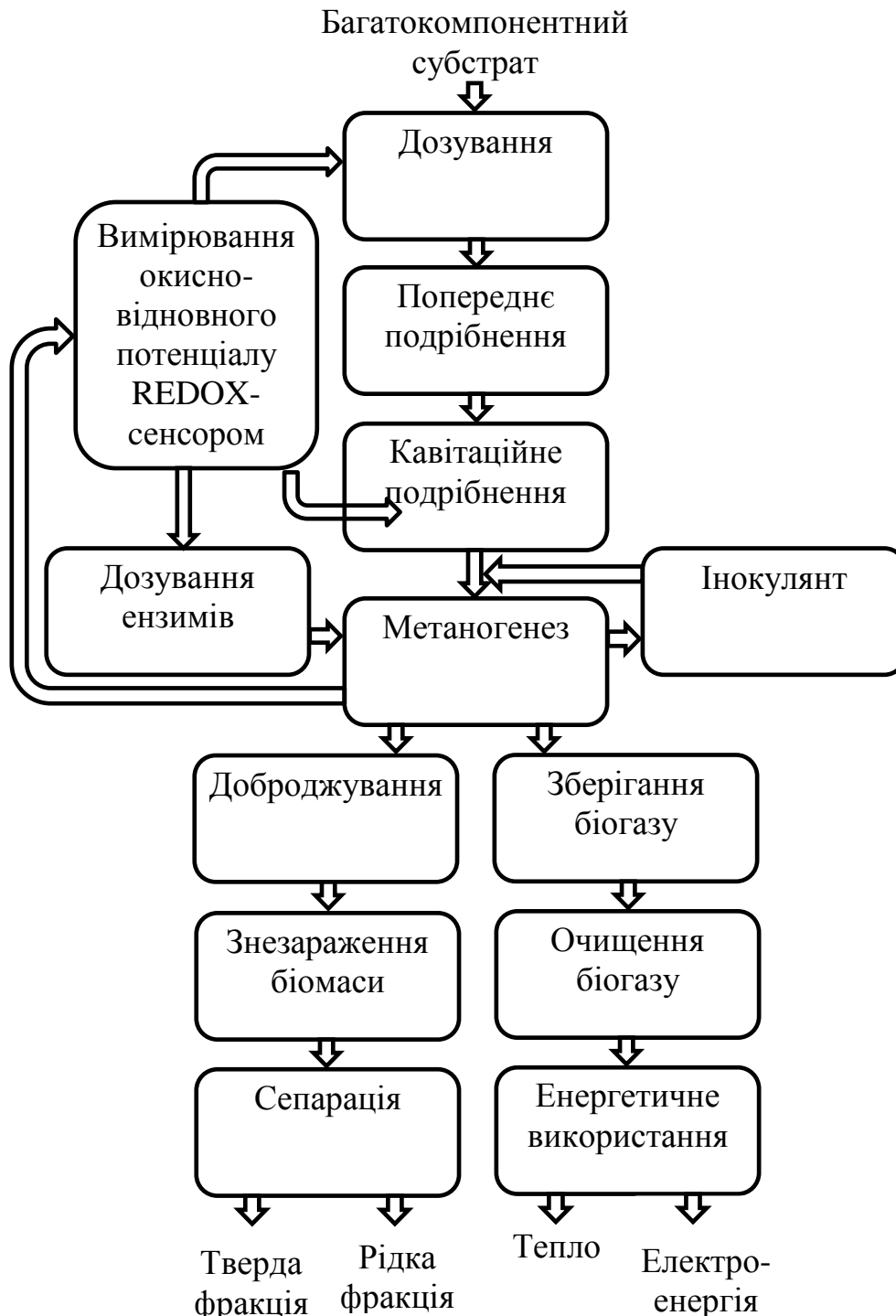
За допомогою запропонованої біогазової технології повинні забезпечуватися такі ключові умови виробництва біогазу.

У процесі бродіння кількість виробленого газу поступово зростає відповідно до збільшення його тривалості, причому спочатку воно відбувається швидше, а в міру зростання тривалості бродіння – повільніше. Гідролізні і кислотоутворюючі бактерії в середовищі з рівнем  $pH$  4,5–6,3 досягають оптимуму своєї активності, тоді як бактерії, що утворюють оцтову кислоту і метан, можуть жити лише при нейтральному або при слаболужному рівні  $pH$  6,8–8. Для всіх бактерій дійсним є правило: якщо рівень  $pH$  перевищує оптимальний, вони стають менш активними у своїй життєдіяльності, що затримує утворення біогазу. Стереометрична конфігурація редокс-зон у товщі рідкого середовища визначається тим, що бактерії сорбуються на субстраті й локально знижують ОВП.

Вік культури впливає на швидкість зниження ОВП. Під час росту одностодової культури швидкість зниження ОВП у рідкому середовищі у 2–3 рази вища, ніж у разі використання тридобової. Як свідчать результати досліджень [4] під час росту аеробних і факультативно-

анаеробних бактерій відбувається зниження ОВП на поверхні агаризованих середовищ до  $Eh \approx -100$  мВ.

Чим дрібніші частинки субстрату, тим більша поверхня зіткнення їх із бактеріями, у результаті чого, період бродіння буде скорочуватися, а утворення метану прискорюватися.



**Структурна схема технології отримання біогазу**

Якісне перемішування субстратів важливе не лише для уникнення появи кірки і осаду, а й для того, щоб біогаз виводився на поверхню. Мікроорганізми звикають до певного «раціону». Зміни, якщо вони вносяться, мають бути поступовими. Співвідношення вуглецю до азоту в різних типах гнойових відходів свиней та в рідких відходах ВРХ здебільшого не перевищує значення 15, а для стабільного протікання процесу метанового бродіння оптимальним співвідношенням є діапазон 10–30:1 [7]. Натомість, співвідношення вуглецю до азоту в ЕК здебільшого перевищує значення 30. Очевидно, що змішування гнойових відходів та ЕК дозволить оптимізувати склад суміші за співвідношенням вуглецю до азоту, що свідчить про доцільність їх сумісного збродження.

Продукти обміну речовин кожної групи бактерій є поживними речовинами для подальшої групи бактерій. Усі вони працюють з різною швидкістю. Бактерії не можна «перегодовувати», оскільки тоді одна з груп не встигне накопичити субстрат для наступної. Тому в кожному конкретному проекті розраховується й програмується періодичність подання субстрату.

**Висновки і перспективи.** На основі проведеного аналізу ключових умов, що впливають на ефективність виробництва біометану, розроблено структуру біогазової технології щодо підготовки та переробки різних вхідних видів субстратів для отримання максимальних об'ємів біогазу. Ефективна деструкційна переробка вхідних субстратів здійснюється на основі контролю окисно-відновного потенціалу та оптимального дозування спеціальних домішок.

Використання REDOX-сенсора у подальших дослідженнях надасть змогу вимірювати не тільки швидкість зміни ОВП у культуральному середовищі, а й візуально визначати стереометричний (зональний) розподіл потенціалу в об'ємі рідкого середовища і розподіл редокс-зон на поверхні агаризованого середовища.

### Список літератури

1. Гелетуха Г. Г. Перспективи біогазу в Україні. – Економічна правда, 2013. [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелетуха. – Режим доступу : <http://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>
2. Гелетуха Г. Г. Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспектива / Г. Г. Гелетуха, П. П. Кучерук, Ю. Б. Матвеев. – К. : Гюльцов, 2013. – 71 с.
3. Метод оптимального дозування вхідних субстратів та спеціальних домішок для біогазових установок / С. А. Шворов, О. М. Юрченко, Д. С. Комарчук, П. Г. Охріменко // Відновлювальна енергетика. – 2015. – № 2. – С. 80–83.
4. Притула І. Р. Застосування редокс-індикаторів для вимірювання окисно-відновного потенціалу під час росту культур мікроорганізмів / І. Р. Притула, О. Б. Таширевіч // Біологічні Студії / *Studia Biologica*. – 2013. – Т. 7, № 3. – С. 133–144.
5. Сидоров Ю. І. Сучасні біогазові технології / *Biotechnologia acta*, v. 6, no1, 2013 [Електронний ресурс] / Ю. І. Сидоров. – Режим доступу : [http://biot\\_2013\\_6\\_1\\_6.pdf](http://biot_2013_6_1_6.pdf)

6. Шворов С. А. Система керування процесом завантаження біомаси та спеціальних домішок в біореактор для отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив / С. А. Шворов, П. Г. Охріменко, Д. В. Чирченко // Енергетика і автоматика. – 2014. – № 3. – С. 155–161.

7. Эдер Б. Биогазовые установки : практич. пособ. [Электронный ресурс] / Б. Эдер, Х. Шульц. – Режим доступа : <http://www.zorg-biogas.com>

### References

1. Heletukha, H. Perspektyvy`biogazu v Ukrayini Perspektyvy biohazu v Ukraini [Prospects for the biogas production in Ukraine]. Available at : <http://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>.

2. Heletukha, H., Kucheruk, P., Matveev, Iu. (2013). Razvytye byohazovykh tekhnolohiyi v Ukrayne y Hermanyyu: normatyvno-pravovoe pole, sostoianye y perspektyva [The development of biogas technology in Ukraine and Germany, regulatory and legal field, status and perspectives]. Kyiv: Hyultsov, 71.

3. Shvorov, S., Yurchenko, O., Komarchuk, D., Ochrimenko, P. (2015). Metod optymalnoho dozuvannya vkhidnykh substrativ ta spetsialnykh domishok dlia biohazovykh ustanovok [The method of optimal dosing incoming substrates and special additives for biogas]. Vidnovliuvalna enerhetyka, 2, 80–83.

4. Prytula, I., Tashiriev, O. (2013). Zastosuvannya redoks-indykatoriv dlia vymiriuvannya okysno-vidnovnoho potentsialu pid chas rostu kultur mikroorhanizmv [Application of redox indicators for measuring the oxidation-reduction potential during growth of microorganisms cultures]. Biologichni Studii / Studia Biologica, 7 (3), 133–144.

5. Sidorov, Yu (2013). Suchasni biogazovi texnologiyi [Modern biogas technology]. Available at : [http://biot\\_2013\\_6\\_1\\_6.pdf](http://biot_2013_6_1_6.pdf).

6. Shvorov, S., Okhrimenko, P., Chyrchenko, D. (2014). Systema keruvannya protsesom zavantazhennia biomasy ta spetsialnykh domishok v bioreaktor dlia otrymannia maksymalnykh ob'iemiv biohazu ta orhanichnykh dobryv [The control system booting process biomass and special additives to the bioreactor to maximize the volume of biogas and organic fertilizer]. Енергетика і автоматика, 3, 155–161.

7. Eder, B., Schultz, H. Biogazovyue ustanovki. Prakticheskoye posobiye [Byogas installation. Practical manual]. Available at : <http://www.zorg-biogas.com>.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕРАБОТКИ РАЗНЫХ ВИДОВ БИОМАССЫ В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ

**С. А. Шворов,  
В. Е. Лукин,  
Д. С. Комарчук,  
В. И. Троханяк,  
В. В. Устимчук**

**Аннотация.** Как показывает практика, в существующих биогазовых установках (БГУ) не предполагается использование различных видов сезонной биомассы, а их неоптимальное использование может привести к значительному уменьшению выхода биогаза. Перспективным направлением устранения указанного недостатка является разработка специальной технологии подготовки и переработки различных видов

биомассы, с помощью которой на основе деструкционной (кавитационной) обработки сырья и использования специальных добавок создаются необходимые условия для получения максимально возможного объема биогаза. При этом для различных видов сырья осуществляется оптимальное дозирование, подогрев и перемешивание субстрата, что обеспечивает эффективное использование всего объема резервуара БГУ, исключает образование «мертвых» зон, расслоение осадка, откладывание минерализованного осадка и образования корки, а также способствует выравниванию температурного поля и улучшению газообразования.

С помощью REDOX-сенсора обеспечивается измерение скорости снижения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) без разгерметизации культиватора в жидкой среде. Создана шкала из красителей (редокс-индикаторов) для измерения ОВП во время роста культур микроорганизмов в диапазоне от -30 до -420 мВ. На основе анализа характеристик стереометрического распределения редокс-зон в жидкой или агаризованной среде осуществляется оптимальная дозировка, деструкционная (кавитационная) обработка сырья и различных видов специальных добавок, что позволяет значительно увеличить выход биогаза.

**Ключевые слова:** биогазовая установка, биогазовая технология, биомасса, энергетические культуры, субстраты, добавки, биогаз, метан, REDOX-сенсор

## TECHNOLOGY OF PREPARATION AND PROCESSING OF DIFFERENT BIOMASS SPECIES IN BIOGAS INSTALLATIONS

S. Shvorov,  
V. Lukin,  
D. Komarchuk,  
V. Trokhanyak,  
V. Ustimchuk

**Abstract.** *In practice, in existing biogas plants (BP) it is not possible to use different types of biomass, because they depend on the year season and their non-optimal use can lead to a significant decrease in the level of output biogas of BP. A promising avenue for eliminating this drawback is the development of a special technology for the preparation and processing of various types of biomass, with the help of which necessary conditions are created to obtain the maximum possible volume of biogas on the basis of the disruptive (cavitational) treatment of raw materials and the use of special additives. At the same time, optimal dosing, heating and mixing of the substrate are carried out for various types of raw materials, which ensures the effective use of the entire volume of the BP tank, excludes formation of "passive" zones, sediment stratification, deposition of mineralized sediments and crust formation, and also helps to equalize the temperature field and improve gas formation.*

With the help of the sensor REDOX, it is possible to measure the reduction rate of the oxidation-reduction potential (ORP) without depressurizing the cultivator in a liquid medium. A scale of dyes (redox indicators) was developed to measure ORP during the growth of cultures of microorganisms in the range from -30 to -420 mV. Based on the analysis of the characteristics of the stereometric distribution of redox zones in a liquid or agarized medium, the optimal dosage, destructive (cavitation) treatment of raw materials and various types of special additives is realized, which significantly increases the level of output biogas of BP.

**Keywords:** *biogas plant, biogas technology, biomass, energy crops, substrates, additives, biogas, methane, REDOX-sensor*

УДК 536.425; 535.372

## **СТРУКТУРА І ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ ЛІТІЙ-ГЕРМАНАТНОЇ СКЛОКЕРАМІКИ $Li_2O-7GeO_2$ , ЛЕГОВАНОЇ ІОНАМИ ХРОМУ**

**С. Г. НЕДІЛЬКО**, доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

**В. В. БОЙКО**, кандидат фізико-математичних наук, доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування  
України*

**Я. П. РИБАК**, інженер

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

**М. П. ТРУБІЦИН**, доктор фізико-математичних наук, професор  
**М. Д. ВОЛНЯНСЬКИЙ**, доктор фізико-математичних наук, професор  
**М. М. КОПТЄВ**, інженер

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*  
E-mail: SGNedilko@gmail.com.ua

**Анотація.** На основі вихідного аморфного матеріалу: склоскладу  $Li_2O-7GeO_2$ , виготовлено й досліджено серію зразків у стані склокераміки та полікристалів. Рентгенофазовий аналіз виявив, що у стані склокераміки зразки складаються із нанорозмірних зародків кристалітів тетрагерманату літію  $Li_2Ge_4O_9$  та гептагерманату літію  $Li_2Ge_7O_{15}$ , вмонтованих в аморфну матрицю. При переході у полікристалічний стан зародки тетрагерманату літію зникають, натомість, має місце формування мікрокристалів гептагерманату літію  $Li_2Ge_7O_{15}$ .

Результати люмінесцентних досліджень, легованих іонами хрому матеріалів, в цілому, підтвердили зазначене вище. Так, для склокераміки було виявлено люмінесценцію, яку приписано