



УДК 631.333.92:631.22.018

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-6

## ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ПЕРЕМІШУВАННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Скляр О. Г., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Скляр Р. В., к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-1547-5100

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

*Постановка проблеми.* Однією з основних галузей, яка створює значний шкідливий вплив на природне середовище, є тваринницька галузь сільського господарства. Забруднення навколишнього середовища птахівницькими і тваринницькими підприємствами найчастіше відбувається через відсутність або недосконалість застосованих технологій і технічних засобів по переробці відходів, недотримання встановлених екологічних вимог. Дану проблему можна вирішити за допомогою впровадження біогазової технології переробки відходів [1–3].

Ефективність роботи біогазової установки залежить від якості бродіння субстрату та інтенсивності утворення біогазу [1–4]. Перемішування субстрату в біогазовій установці сприяє постійному контакту мікроорганізмів з живильними речовинами, інтенсифікує видалення біогазу і запобігає утворенню кірки на поверхні, що приводить до збільшення утворення біогазу [1,4,5]. З досвіду експлуатації біоенергетичних установок у Німеччині [6,7] відомо, що найбільш частою причиною зниження виходу біогазу є поломка або неефективна робота саме перемішувачів пристроїв.

*Аналіз останніх досліджень.* Дійсно, для ефективного протікання метаногенеза необхідні оптимальні умови в реакторі [4;8–10]: необхідна температура, відсутність кисню, достатня концентрація поживних речовин, допустимий діапазон значень рН, відсутність або низька концентрація токсичних речовин. Детальний розгляд впливу цих умов на процес метаногенезу представлено в роботах Гофмана, Паркіна і Оуена [11]. Досягнення зазначених умов безпосередньо пов'язане з перемішуванням в метантенку. Таким чином, перемішування є ключовим фактором ефективної роботи установки.

При виборі відповідного способу і методу перемішування потрібно враховувати, що процес зброджування являє собою симбіоз



між різними штамами бактерій, тобто бактерії одного виду можуть мати інший вигляд. Коли спільнота розбивається, процес ферментації буде непродуктивним до того, як утворюється нове співтовариство бактерій, таким чином, занадто часте або тривале і інтенсивне перемішування шкідливо. Рекомендується повільно перемішувати сировину через кожні 4–6 годин [1,4].

*Формулювання мети статті.* Обґрунтувати спосіб перемішування субстрату для модернізації і запровадження його в конструкції експериментальної біогазової установки.

*Основна частина.* На сьогодні розрізняють три способи перемішування субстрату в біогазових установках:

- механічний;
- пневматичний;
- гідравлічний.

Механічне перемішування сумішей здійснюється лопатевими, пропелерними, турбінними та спеціальними мішалками [1]. Залежно від способу кріплення лопатей і їх конфігурації в анаеробній біоконверсії зустрічаються різні типи турбінних мішалок. Найбільш простою та одночасно високоефективною є мішалка з прямими радіально розміщеними лопатями. Плоскі лопаті можуть бути нахилені під певним кутом відносно площини обертання мішалки для кращого перемішування субстрату. Пропелерні мішалки вважаються найбільш ефективними в тих випадках, коли необхідно створити значну циркуляцію субстрату в біогазовій установці при мінімальній витраті механічної енергії. Вони виконують цю задачу краще, ніж мішалки іншого типу, наприклад, турбінні. Пропелерні мішалки створюють осьову циркуляцію органічних відходів всередині реактора за рахунок насосного ефекту, тому вони легко піднімають тверді частинки з його днища. Використання дискових та скребкових мішалок в процесах біоконверсії є неефективним, тому майже не застосовується.

До недоліків мішалок з зануреними двигунами і видовженими валами можна віднести: високу енергоємність; значний знос обладнання; складність ремонту; зниження ефективності роботи із-за можливості замулювання і наявності волокнистих матеріалів; недостатнє руйнування плаваючої кірки при певних умовах; наявність рухомих частин перемішувачів знижує їх надійність в роботі; ненадійність герметизації апарату з-за наявності вузла ущільнення валу мішалки і, як наслідок, підвищена вибухонебезпечність. Як правило, механічний пристрій працює періодично і з високими обертами, що призводить до руйнування цілісності метаногенів співтовариства [1,3].



Пневматичне перемішування являє собою біогаз пропущений під надмірним тиском через барботер або трубку, що розташовується в нижній частині реактора. Проблемою таких систем може бути попадання біомаси в газову систему, що можна передбачити шляхом установлення системи клапанів. Цей спосіб дає хороший ефект в тому випадку, якщо зброджувана маса сильно розріджена і на поверхні не утворюється кірка [1,4]. Крім того можливе підігрівання субстрату шляхом подачі пари під тиском, але такий спосіб підвищує вміст вологи в біогазі, для усунення якої при підготовленні газу до використання необхідні додаткові заходи.

Зазначених недоліків позбавлена система гідравлічного перемішування. До очевидних переваг даного способу перемішування відносяться: ефективна робота при наявності волокнистих матеріалів в органічному субстраті; можливість безпосереднього впливу на осад; можливість контролю піноутворення; низьке споживання електроенергії; простота технічного обслуговування.

У таблиці 1 представлені дані щодо впливу способу перемішування на якість і вихід біогазу [3,9].

Таблиця 1 – Вихід біогазу при різних способах перемішування

| Спосіб перемішування      | Вихід біогазу,<br>л / л/добу | Вихід метану,<br>л / гСР |
|---------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Відсутність перемішування | 0,92                         | 0,19                     |
| Механічне перемішування   | 1,14                         | 0,23                     |
| Пневматичне перемішування | 1,07                         | 0,21                     |
| Гідравлічне перемішування | 1,20                         | 0,24                     |

Таким чином, крім експлуатаційних переваг гідравлічне перемішування забезпечує більший вихід біогазу з великим вмістом метану. Гідравлічне перемішування може здійснюватися шляхом природної і примусової циркуляції органічного субстрату.

*Природна циркуляція органічного субстрату при гідравлічному перемішуванні.*

Найпростішим способом здійснення гідравлічного перемішування є використання всередині метантенка різних перегородок, які утворюють сполучені між собою камери [12].

Процес перемішування органічного субстрату в метантенку може здійснюватися за рахунок різниці тиску в ємності і циркуляційному трубопроводі, яка створюється біогазом, що дозволяє повністю відмовитися від зовнішніх енерговитрат на процес перемішування [13]. Тиск газу, що виділяється, є джерелом енергії для системи перемішування і в двополостних метантенках. Прикладами установок з таким типом гідравлічного перемішування є БЭУ-10 і БЭУ-20 (ТОВ «Сиприс»).

У запатентованій біогазовій установці фірми «VSP-Anlagen» для перемішування також використовується тиск утвореного біогазу [14]. При цьому реактор являє собою бетонну або сталеву ємність з двома оболонками з постійною гравітаційною циркуляцією середовища.

*Примусова циркуляція органічного субстрату при гідравлічному перемішуванні.*

Циркуляційне перемішування за допомогою насосів застосовують, як правило, при змішуванні рідин в апаратах великого об'єму. Перемішування гідравлічним способом шляхом рециркуляції субстрату здійснюється в метантенках заводу водообробки міста Су-Фолз (Південна Дакота, США) [14]. Найпростіша схема циркуляційного перемішування показана на рис.1.

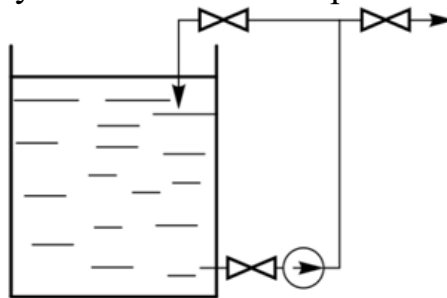


Рис. 1. Схема гідравлічного перемішування

Гідравлічний спосіб перемішування може здійснюватися шляхом циркуляції рідини за допомогою відцентрового насоса, який відкачує рідину з однієї частини об'єму ємності або апарату і подає її під тиском у іншу частину. Рух органічного субстрату може здійснюється по внутрішнім або зовнішнім циркуляційним трубам, або з допомогою ротаційних, радіальних і тангенціальних струменевих апаратів, які жорстко вмонтовані в стіни сховища [1,14].

*Гідравлічне перемішування за допомогою циркуляційних труб.* Виробництвом і розробкою циркуляційних труб для БГУ займається фірма «Summit Systems & Equipment Pte Ltd» [15]. Такий спосіб гідравлічного перемішування використовується в конструкціях малих біогазових установок [14]. На рис. 2 зображено схему зовнішньої циркуляційної труби [16].

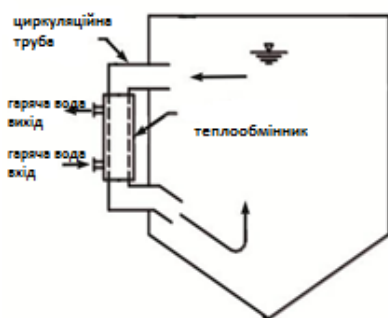


Рис. 2. Система гідравлічного перемішування з зовнішньої трубою



До технологічних переваг даного способу гідравлічного перемішування відносяться: низьке енергоспоживання; можливість зміни напрямку руху органічного субстрату; простота технічного обслуговування; наявність резервних циркуляційних труб. Недоліком є високі капітальні витрати.

*Гідравлічне перемішування за допомогою струменевих апаратів.* У численних біогазових установках, що побудовані в Німеччині 20 років тому, дуже добре зарекомендувала себе система з рухомим соплом [14]. Гідравлічні системи з нерухомим соплом вимагають, навпаки, ретельного вибору відповідно до розмірів і форми реактора, щоб забезпечувати достатнє перемішування субстрату в усіх зонах реактора. До недоліків такого способу перемішування слід віднести: засмічення сопел; відсутність резервних труб; необхідність подрібнення великих включень; високі енерговитрати.

У таблиці 2 наведені технологічні дані для метантенка фірми «Greeley and Hansen» з різними циркуляційними системами [16].

Таблиця 2 – Технологічні дані метантенка фірми «Greeley and Hansen» з різними циркуляційними системами

| Тип гідравлічного перемішування                             | Енергоспоживання, кВт | Час роботи, хв. |
|---|-----------------------|-----------------|
| Гідравлічне перемішування за допомогою циркуляційних труб   | 30,0                  | 33,2            |
| Гідравлічне перемішування за допомогою струменевих апаратів | 75,0                  | 343,1           |

Таким чином, суттєвою перевагою системи гідравлічного перемішування з зовнішніми циркуляційними трубами є економія електроенергії.

*Висновки.* Таким чином, дослідження показують, що перспективним заходом щодо підвищення енергетичної ефективності технології метанового бродіння є створення модернізованого способу гідравлічного перемішування в метантенку. Це буде сприяти підтримці найбільш сприятливих гідродинамічних і температурних умов для життєдіяльності метаногенів спільноти бактерій протягом усього технологічного процесу, а також більш ефективному використанню об'єму метантенка.

Список використаних джерел.

1. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аналіз способів та засобів для перемішування субстрату в метантенках біогазових установок. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10, No 4. P. 33-37. DOI: 10.31548/machenergy.2019.04.019-026





2. Brone I., Allen E., Murphy J. Evaluation of the BMP from multiple waste streams for a proposed community scale anaerobic digestion. *Fuel. Kidlington: Elsevier Sci Ltd.* 2011. Vol. 90, No 7. P. 2404 – 2412.

3. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату: монографія. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2008. 117 с.

4. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь, 2014. Вип. 4, т. 1. С. 3-9.

5. Рубан Б. О., Голуб Г. А., Драгнєв С. В., Дубровіна О. В. Основні проблеми створення біогазових установок. *Науковий вісник Національного аграрного університету.* 2004. Вип. 73, ч .1. С. 195-201.

6. Abdel-Hadi M. A. S. A. M. Abd El-Azeem. Effect of heating, mixing and digester type on biogas production from buffalo dung. *Biological Engineering.* 2008. № 25(4). P. 1454-1477.

7. Boltyansky B., Boltyansky O., Boltyanska N. Analysis of major errors in the design of pumping stations and manure storage on pig farms. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture.* 2016. Vol.16, No 2. 49-54.

8. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa.* Lublin, 2014. Vol.16, No 2. P.183-188.

9. Kobayakova E. N., Yampilov S. S., Druzyanova V. P. The study of biogas production from fresh cow manure at different temperature modes. *Proceedings of the 10th International scientific conference «European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences».* Vienna, 2016. P.130-135.

10. Болтянський Б. В. Обґрунтування конструктивно-функціональної схеми біореактора – установки для переробки органічних відходів (гною). *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 3. С.182-188.

11. Гюнтер Л. И., Гольдфарб Л. Л. Метантенки. М.: Стройиздат, 1991. 128 с.

12. Способ анаэробного сбраживания разжиженных органических отходов и метантенк для его осуществления: пат. 2009236 Российская Федерация: МПК6 А01С3/02. № 92009236/13; завл. 01.12.1992; опубл. 27.02.1998.



13. Біореактор: пат. 61816 Україна: C02F 11/04 (2006.01), C02F 3/28 (2006.01). № у 2011 01529. заявл. 10.02.2011; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.

14. Eder B., Schultz H. Biogas Installations. Fundamentals of Planning. Construction Works. Types of Installations. Economic Validity (Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg Zorg Biogas) Transl. A practical guide. 2008. 268 p.

15. Bond T., Templeton M. History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy Sustain. Dev.* 2011. P. 347–354.

16. Schaefer R., Gorgan J. Rehabilitation and Optimization of Anaerobic Digester Mixing Systems. *WATERCON*. 2012. March 19. 35 p. URL: <https://cdn.ymaws.com/www.isawwa.org/resource/resmgr/watercon2012-monday-pdf/monbioww300.pdf> (дата звернення 18.03.2020).

### ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ПЕРЕМІШУВАННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Скляр О. Г., Скляр Р. В.

#### *Анотація*

В статті обґрунтовано доцільність використання гідравлічного перемішування субстрату для модернізації і запровадження його в конструкції експериментальної біогазової установки. Перелічені недоліки при експлуатації біогазових установок з механічними та пневматичними перемішувачами. Доказано, що крім експлуатаційних переваг гідравлічне перемішування забезпечує більший вихід біогазу з великим вмістом метану. Проаналізовано природню та примусову циркуляцію органічного субстрату при гідравлічному перемішуванні. Остання може здійснюватися шляхом циркуляції рідини за допомогою відцентрового насоса, який відкачує рідину з однієї частини ємності або апарату і подає її під тиском у іншу частину. Рух органічного субстрату може здійснюватися по внутрішнім або зовнішнім циркуляційним трубам, або з допомогою ротаційних, радіальних і тангенціальних струменевих апаратів, які жорстко вмонтовані в стіни сховища. Аналіз показав, що суттєвою перевагою системи гідравлічного перемішування з зовнішніми циркуляційними трубами є економія електроенергії. Отримані результати показують, що перспективним заходом щодо підвищення енергетичної ефективності технології метанового бродіння є розробка модернізованого способу гідравлічного перемішування в метантенку.

**Ключові слова:** біогаз, установка, метантенк, субстрат, бродіння, перемішування, ефективність.

### ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СУБСТРАТА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Скляр А. Г., Скляр Р. В.

#### *Аннотация*

В статье обоснована целесообразность использования гидравлического перемешивания субстрата для модернизации и применения его в конструкции экспериментальной биогазовой установки. Перечислены недостатки при



эксплуатации биогазовых установок с механическими и пневматическими перемешивающими устройствами. Доказано, что кроме эксплуатационных преимуществ гидравлическое перемешивание обеспечивает больший выход биогаза с большим содержанием метана. Проанализированы естественная и принудительная циркуляции органического субстрата при гидравлическом перемешивании. Последняя может осуществляться путем циркуляции жидкости с помощью центробежного насоса, который откачивает жидкость из одной части емкости или аппарата и подает ее под давлением в другую часть. Движение органического субстрата может осуществляться по внутренним или внешним циркуляционным трубам, или с помощью ротационных, радиальных и тангенциальных струйных аппаратов, которые жестко встроены в стены хранилища. Анализ показал, что существенным преимуществом системы гидравлического перемешивания с внешними циркуляционными трубами является экономия электроэнергии. Полученные результаты показывают, что перспективным мероприятием по повышению энергетической эффективности технологии метанового брожения является разработка модернизированного способа гидравлического перемешивания в метантенке.

**Ключевые слова:** биогаз, установка, метантенк, субстрат, брожение, перемешивание, эффективность.

## JUSTIFICATION OF THE METHOD OF MIXING SUBSTRATE FOR THE EXPERIMENTAL BIOGASIC INSTALLATION

Skliar A, Skliar R.

### *Summary*

The article substantiates the feasibility of using hydraulic mixing of substrate for the modernization and introduction of it in the construction of pilot biogas plants. These shortcomings in the operation of biogas plants with mechanical or pneumatic mixing devices. Namely, the mechanical device operates periodically and with high turnover, which leads to the destruction of the integrity of the methanogenic population; the main problem of pneumatic systems is penetration of the raw materials in the gas system. The advantages of the hydraulic method of mixing: effective work in the presence of fibrous materials in an organic substrate; direct exposure to sediment and foam control; low energy consumption; easy maintenance. Also, in addition to these advantages this method of mixing provides a greater yield of biogas with a high content of methane. Analyzed natural and forced circulation of the organic substrate in the hydraulic mixing. The latter can be carried out by circulation of fluid through the centrifugal pump, which pumps the liquid from one side of the tank volume or of the apparatus and delivers it under pressure to another part. The movement of the organic substrate may be conducted by internal or external circulation pipes, or using the rotational, radial, and tangential jet devices which are rigidly mounted in the walls of the vault. The analysis showed that the hydraulic mixing with the external circulation pipe has the advantages: low energy consumption; possibility of changing the direction of movement of organic substrates; easy maintenance; the presence of a backup ventilation pipes and disadvantages - high capital costs. The disadvantages of hydraulic mixing, using jet devices include: nozzle clogging; the lack of backup tubes; the need for crushing of large inclusions; the high energy consumption. The results show that the promising measures to increase energy efficiency methane fermentation technology is the development of the modernized way hydraulic mixing in the digester.

**Key words:** biogas, installation, methane tank, substrate, fermentation, mixing, efficiency.