

УДК 631.333.92 : 631.22.018

## **АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК З ВІБРАЦІЙНОЮ ІНТЕНСИФІКАЦІЄЮ ПРОЦЕСУ АНАЕРОБНОГО БРОДІННЯ**

Скляр О.Г., к.т.н.,

Скляр Р.В., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-05-70

**Анотація** – в роботі наведений аналіз конструкцій біогазових установок з вібраційною інтенсифікацією процесу анаеробного бродіння.

**Ключові слова** – біогаз, метаногенеруючі бактерії, збродженна маса, інтенсифікація, вібрація, реактор.

*Постановка проблеми.* Значна кількість сучасних екологічних проблем виникає через локальне нагромадження органічних відходів, кількість яких дуже велика для природного потенціалу біологічного розпаду. Такі відходи мають підлягати утилізації.

Одним із шляхів утилізації сільськогосподарських відходів є біогазова технологія, яка дає змогу разом із розв'язанням екологічної проблеми отримувати високоефективні органічні добрива та енергію у вигляді біогазу. Установа дає змогу переробляти різні види органічної сировини в добрива і енергію. Рідкий гній із гноєсховищ, рідка консервована біомаса кормових культур зі сховища та інша попередньо зволожена і подрібнена біомаса надходять до ваго дозувального пристрою, де змішуються і подаються до підігрівача субстрату.

*Аналіз останніх досліджень.* Лабораторні дослідження процесу метаногенерації проведені з метою визначення параметрів живильного і температурного режимів середовища зростання, розвитку і ефективного функціонування метаногенеруючих бактерій, що створюється шляхом композиції в різному співвідношенні рослинної сировини, гною великої рогатої худоби і води, показали, що кращою композицією є перша при співвідношенні зеленої маси трави, гною і води - 300, 800 і 500, що забезпечило якнайкраще співвідношення вуглецю і азоту (16,74) і енергетичну цінність в 0,83 МДж.[1]

*Формулювання цілей статті.* Підвищення ефективності використання органічних ресурсів тваринницьких об'єктів на основі

анаеробної переробки органічної сировини шляхом інтенсифікації процесу метанового збродження субстрату за рахунок оптимізації його структури.

*Основна частина.* Активне перемішування та інтенсифікацію анаеробного бродіння біомаси теплообміну можна досягти, використовуючи вібраційні процеси прискорення теплообміну. Вченими пропонуються конструкції біореакторів, які отримані внесенням додаткових секцій та віброактиватора у стандартні конструкції (рис. 1) [2]. Ці конструктивні рішення дозволяють позбавитись таких недоліків в існуючих біореакторах: застійних зон, значних площ теплообміну, недостатнього використання потенціалу сировини. Крім того, це дозволяє підвищити продуктивність біореактора за рахунок більш глибокого бродіння та активації з перемішуванням сировини.

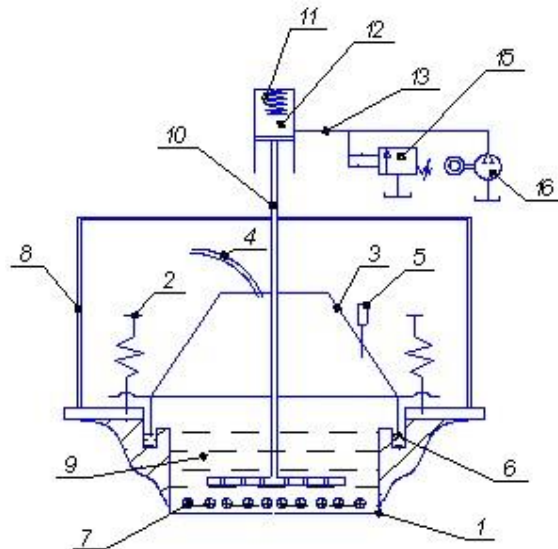


Рис. 1. Біореактор з віброактивацією анаеробного бродіння.

Біореактор містить резервуар 1 (див. рис. 1), який зверху закривається теплицею на каркасі 8, ковпак 3, який рухається по напрямних ковпака 2, і в якому розміщені труба споживача 4, манометр 5 та гідрогерметизатор 6. Всередині реактора розміщений підігрівач біомаси 7 та біомаса 9, яку приводить у рух пластина-активатор 10. Пластина-активатор кінематично зв'язана з штоком 11 підпружиненого гідроциліндра 12, робоча камера якого гідравлічно сполучена із напірною магістраллю 13 гідронасоса 16, до якої приєднаний імпульсний клапан - пульсатор 15.

Біореактор працює таким чином. При завантаженні біомаси в резервуар останній закривають ковпаком, що рухається по напрямних ковпака 2 та герметизують гідрогерметизатором 6. В ковпаці 3 розташований манометр 5 для спостереження за тиском газу та труба споживача 4 для відведення газу. Гідронасос 16 з імпульсним

клапаном-пульсатором 15 змушують здійснювати коливальні рухи шток підпружиненого гідроциліндра 12, що в свою чергу приводить у рух пластину-активатор 10. Імпульсні коливання суміші дозволяють активніше перемішуватись субстрату. Також за рахунок омивання поверхні підігрівача 7 біомаси інтенсифікується тепловіддача від стінки нагрівального елемента до середовища. Причому прогрів в біореакторі буде рівномірним завдяки активному перемішуванню біомаси. Також пульсація рідини дозволить біогазу легше прориватися крізь суміш та відбиратися через трубу споживача 4.

Дана конструкція сприяє процесам термостабілізації та інтенсифікації анаеробного бродіння, а також збільшенню виходу кінцевого продукту – біогазу з мінімальними енерговитратами на одиницю маси субстрату.

Для досягнення безперервності анаеробного бродіння, термостабілізації і інтенсифікації теплообміну пропонується конструкція секційного біореактора з віброактиватором [3,4]. Біореактор (рис. 2) працює таким чином. Завантажують біомасу в резервуар 1 через шахти 12, регулюючи подачу заслінками 8. Біомаса опиняється в першій секції резервуара, де вона нагрівається підігрівачем 3 і проходить першу стадію анаеробного бродіння. Після завершення першої стадії за рахунок зміни гідравлічного опору колосникових решіток 4 за допомогою регулятора 13 біомаса опиняється в другій секції, де проходить другу стадію бродіння. В першу секцію завантажується нова порція біомаси. Отриманий біогаз відводиться за рахунок труб споживача 6. Завершальну стадію бродіння біомаса проходить в третій секції резервуара. Після завершення бродіння біомаса потрапляє в ємність збору біодобрив 5, завантаження якої регулюється заслінкою 7. Процеси бродіння візуально оцінюють за допомогою оглядових вікон 11. При необхідності відкрити резервуар 1 ковпак 2 рухається по напрямних 10 і знімається. Регуляція гідравлічного опору провальних колосникових решіток відбувається за рахунок регулятора 13.

Гідронасос 16 з імпульсним клапаном-пульсатором 15 вимушують здійснювати коливальні рухи шток 17 підпружиненого гідроциліндра 18. Це, в свою чергу, приводить у рух пластину-активатор 14. Імпульсні коливання суміші дозволяють активніше перемішуватись субстрату, а також за рахунок омивання субстратом поверхні підігрівача 7 біомаси інтенсифікувати тепловіддачу від стінки нагрівального елемента до середовища. Основну стадію бродіння субстрат проходить в першій секції при температурі +33 °С, активно перемішуючись вібропластиною.

Реактор (рис. 2) працює таким чином: при завантаженні біомаси в резервуар 1 через шахти завантаження біомаси 12 подачу

регулюють заслінками 8. Біомаса опиняється в першій секції 13 резервуара 1, де вона нагрівається підігрівачем, що вмонтований в колосникові решітки 4, і проходить першу стадію бродіння.

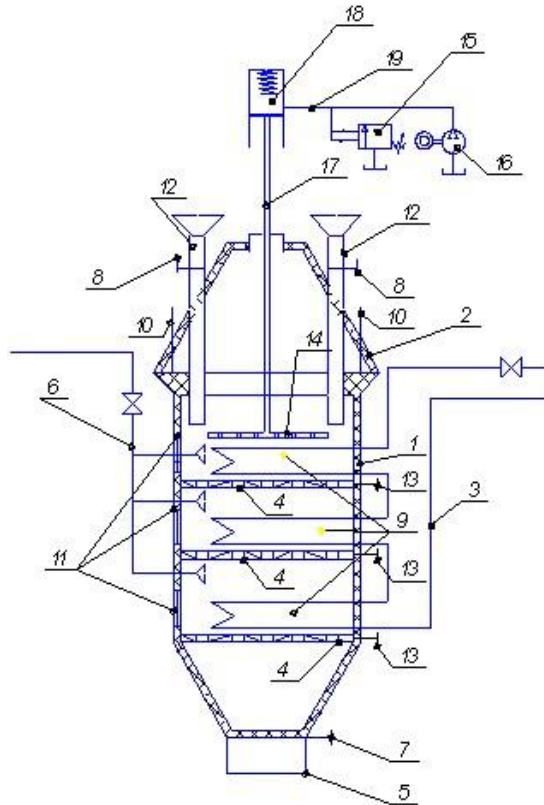


Рис. 2. Секційний біогазовий реактор з віброінтенсифікацією бродіння.

Тепловіддача від стінки нагрівального елемента до суспензії з концентрацією сухої речовини  $C=3,5\%$  і  $C=8\%$  відповідає умовам роботи біогазового реактора. Використання коливань середовища дозволить попередити налипання часточок суспензії на нагрівальний елемент, уникнути застійних зон і активізувати теплообмін. Для експериментального визначення активуючого впливу вібраційних коливань на інтенсифікацію теплообмінних процесів між нагрівальним елементом БГУ і субстратом було проведено серію дослідів. [6]

Як середовище в досліді використовувалася суспензія з концентрацією сухої речовини  $C=8\%$ .

Діапазон зміни основних параметрів дослідження:

- питомий тепловий потік  $q = 0,5 \dots 16 \text{ кВт/м}^2$ ;
- температура рідини вдалині від стінки  $t_p = 20 \dots 43 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температурний напір  $Dt = 1 \dots 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- амплітуда коливань пластини-активатора коливань  $A = 0 \dots 100 \text{ мм}$ ;
- частота коливань пластини-активатора  $f = 0 \dots 5 \text{ Гц}$ ;

- концентрація сухої речовини  $C=8\%$ .

Використовуючи отримані залежності і середні значення параметрів питомого теплового потоку ( $q$ ), швидкості газорідинної фази ( $w_{\Gamma}$ ), температури рідини ( $t_p$ ), побудовано залежність впливу відстані від краю ділянки газорідинного омивання на відношення  $Nu = f(Re_{\Delta u})$  наведено на рисунку 3. [6]

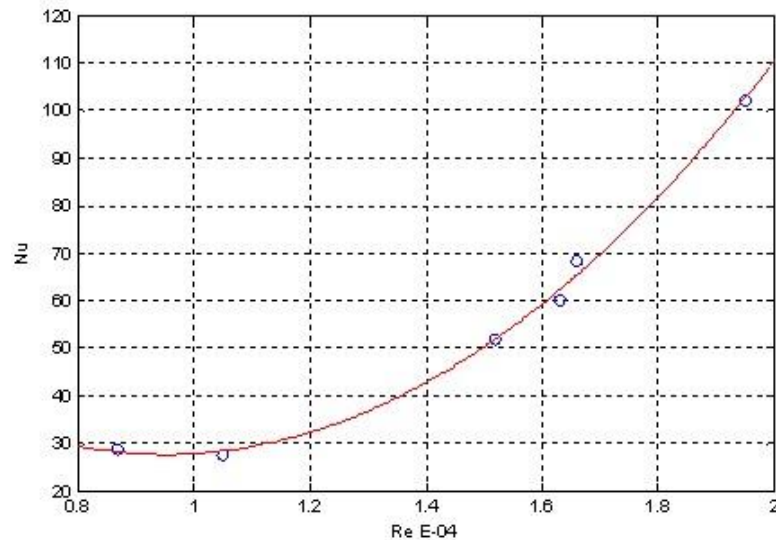


Рис. 3. Експериментальна залежність  $Nu = f(Re_{\Delta u})$  при значенні  $q=15000 \text{ Вт/м}^2$  апроксимована кубічним сплаймом

Критерій Нуссельта і вібраційний критерій Рейнольдса визначалися за формулами [6]

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad , \quad (1)$$

де  $Re_{\Delta u}$  - коливальний критерій Рейнольдса, який визначається за формулою

$$Re_{\Delta u} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot d \cdot A / \nu, \quad (2)$$

де  $f$  – частота коливань, Гц;  
 $d$  – діаметр нагрівального елемента, м;  
 $A$  – амплітуда коливань, м;  
 $\nu$  – кінематична в'язкість субстрату,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Згідно з розрахунками, при вібрації середовища біореактора коефіцієнт тепловіддачі від нагрівника до середовища зростає у 2...4 рази.

Другу і третю стадію анаеробного бродіння субстрат буде проходити в наступних секціях реактора, що дозволяє першу заповнити новою порцією сировини. Управління процесом отримання біогазу можливо автоматизувати за рахунок використання триходового крана на обв'язці теплообмінника та заслінки на колосникових решітках з сервоприводами.

Використання додаткових секцій реактора дозволяють досягти більш глибокого ступеня очищення сировини та збільшити питому вагу отримання біогазу на одиницю маси субстрату.

Розрахунок енергетичного балансу свідчить, що збільшення виходу газу з одиниці маси субстрату за рахунок бродіння у додаткових секціях резервуара визначається таким чином [6]

$$u = \frac{V_0}{V}, \quad (3)$$

де  $V_0$  – вихід біогазу при стандартному циклі бродіння;  
 $V$  – вихід біогазу в реакторі запропонованої конструкції,  
 $u$  – коефіцієнт виходу біогазу.

При циклі бродіння в першій секції 10 діб, в другій і в третій відповідно по 5 діб. Загальний час бродіння субстрату складе 20 діб. Це збільшує вихід біогазу порівняно з односекційним реактором в  $u = 1,8 \dots 2,2$  рази залежно від виду субстрату.

Тобто з кожного кілограма органічної речовини за рахунок секційності буде виділятися додатково  $0,35 \dots 0,4$  м<sup>3</sup> біогазу через збільшення часу бродіння у додаткових секціях бродіння. У зв'язку з тим, що з 10 по 20 добу в першій секції буде бродити нова порція субстрату, то загальна витрата біогазу з реактора складе ще додаткових  $0,4 \dots 0,45$  м<sup>3</sup> з кожного кілограма органічної речовини нової порції.

Затрати енергії на вібраційне перемішування середовища субстрату для реактора об'ємом до 500 м<sup>3</sup> складають  $40 \dots 60$  Вт/м<sup>3</sup>.

Модифікацією секційного біореактора з вібраційною інтенсифікацією бродіння є реактор, який показано на рис. 4.

За рахунок зміни гідравлічного опору колосникових решіток 4 за допомогою регулятора 14, біомаса опиняється в другій секції 13, де проходить другу стадію бродіння. В першу секцію завантажується нова порція біомаси. Отриманий біогаз відводиться за рахунок труб споживача 6. Третю стадію бродіння біомаса проходить в третій секції 13 резервуара 1, де після завершення бродіння біомаса потрапляє в ємність збирання біодобрив 5, завантаження якої регулюється заслінкою 7. Процеси бродіння візуально оцінюють за допомогою оглядових вікон 11. При необхідності відкрити резервуар 1 ковпак 2 рухається по напрямних 10 і знімається. Регуляція гідравлічного

опору провальних колосникових решіток відбувається за рахунок регулятора 14.

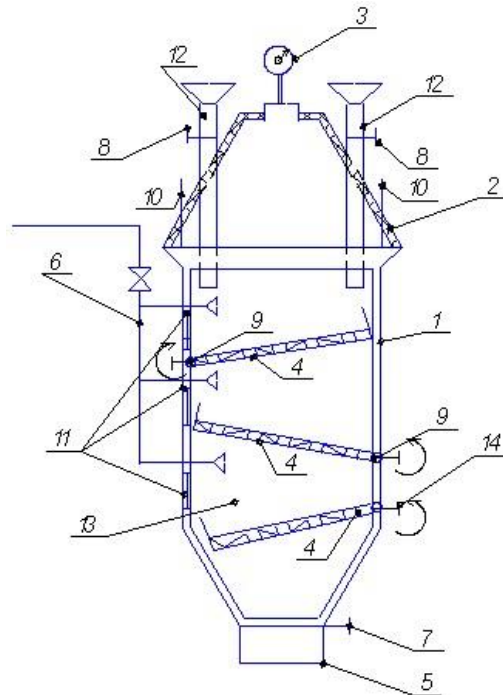


Рис. 4. Біогазовий реактор з віброінтенсифікацією бродіння, що секційно регулюється

Вібратор примушує здійснювати коливальні рухи колосникові решітки 4. Імпульсні коливання суміші дозволяють активніше перемішуватись субстрату, а також за рахунок омивання поверхні підігрівача 7 біомаси інтенсифікувати тепловіддачу від стінки нагрівального елемента до середовища, причому прогрів буде рівномірним за рахунок активного перемішування. Пульсація рідини дозволить біогазу легше прориватися крізь суміш та відбиратися через трубу споживача 6. В кожній секції реактора 1 колосникові решітки виконують коливання з індивідуально заданими частотами і амплітудами, що дозволяє досягти індивідуальних параметрів бродіння.

*Висновки.* Використання додаткових секцій реактора дозволяють досягти більш глибокого ступеня очищення сировини та збільшити питому вагу отримання біогазу на одиницю маси субстрату. З кожного кілограма органічної речовини за рахунок секційності буде виділятися додатково  $0,35...0,4$  м<sup>3</sup> біогазу через збільшення часу бродіння у додаткових секціях бродіння. У зв'язку з тим, що з 10 по 20 добу в першій секції буде бродити нова порція субстрату, то загальна витрата біогазу з реактора складе ще додаткових  $0,4...0,45$  м<sup>3</sup> з кожного кілограма органічної речовини нової порції. Затрати енергії на вібраційне перемішування середовища субстрату для реактора об'ємом до 500 м<sup>3</sup> складають 40...60 Вт/м<sup>3</sup>.

Література.

1. *Шацький В.В.* Вплив структури субстрату на вихід біогазу при метановому зброджуванні/ *В.В. Шацький, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, О.О. Солодка* //Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Вип. 13, том 3. – С. 3 – 12.
2. Деклараційний пат. № 70885 А Україна. Біогазовий реактор // *Ратушняк Г. С., Джеджула В. В.*, Державний департамент інтелектуальної власності. – № 20031213279; Заяв. від 31.12.2003; Опубл. 15.10.2004; Бюл № 10.
3. Деклараційний пат. № 7938 Україна. Біогазовий реактор / *Ратушняк Г. С., Джеджула В. В.* Державний департамент інтелектуальної власності. – № 20041210473; Заяв. від 20.12.2004; Опубл. 15.07.2005; Бюл. № 7.
4. Процесс получения биогаза : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [aleks-myblog11.blogspot.com/2012/02/blog-post.html](http://aleks-myblog11.blogspot.com/2012/02/blog-post.html) .
5. Процесс анаэробной переработки: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [www.fluid-biogas.com/?page\\_id=125](http://www.fluid-biogas.com/?page_id=125).
6. *Ратушняк Г.С.* Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату. Монографія / *Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула*. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2008. – 117 с. – ISBN 978-966-641-272-3.

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК  
С ВИБРАЦИОННОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ПРОЦЕССА  
АНАЭРОБНОГО БРОЖЕНИЯ**

Скляр А.Г., Скляр Р.В.

**Аннотация**

**В работе наведен анализ конструкций биогазовых установок с вибрационной интенсификацией процесса анаэробного брожения.**

**STRUCTURAL ANALYSIS OF BIOGAS PLANTS  
VIBRATING INTENSIFICATION OF PROCESS OF  
ANAEROBIC FERMENTATION**

A. Skliar, R. Skliar

**Summary**

**In the robot induced structural analysis of biogas plants with vibration intensification of the process of anaerobic fermentation.**