

# ВПЛИВ ГІДРОДИНАМІКИ В БІОРЕАКТОРІ З РУХОМИМ НОСІЄМ БІОПЛІВКИ НА ПРОЦЕС ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ

Горбунов А. Д<sup>1</sup>., Шафаренко М. В<sup>1</sup>., Яремчук А. В<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, vmm71@i.ua

<sup>2</sup>Ліцей № 3 Коростишівської міської ради

**Вступ.** В останні десятиліття багато уваги приділяється питанням, які пов'язані із очисткою стічних вод від органічних домішок. Разом з тим, при анаеробному очищенні одержують такий важливий енергоносіє як біогаз. Тому в даній доповіді увага зосереджена на впливі гідродинаміки в біореакторі з рухомим носієм біоплівки на процес одержання біогазу[1].

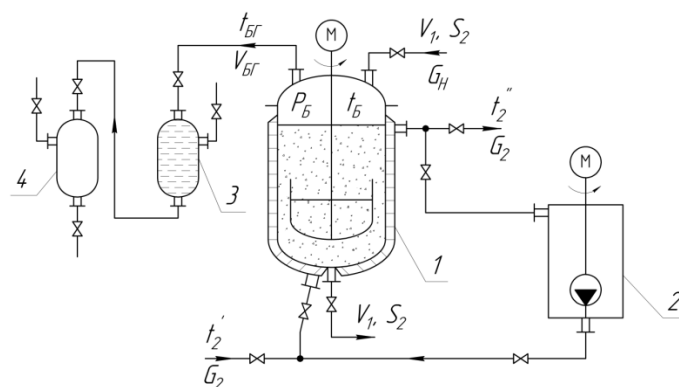
Предмет дослідження – вплив гідродинаміки на процес одержання біогазу.

Об'єкт дослідження – процес одержання біогазу в біореакторі з перемішувачем та інертним носієм біоплівки.

Метою досліджень обрано біореактор з перемішувачем для створення анаеробних умов та аналіз експериментальних досліджень процесу отримання біогазу

**Матеріали та методи.** Процес виділення біогазу в біореакторі з інертним носієм біомаси досліджувався на експериментальній установці, схема якої представлена на Рис. 1.

Установка складається з біореактора 1, який обладнаний якірною мішалкою та має сорочку зі спіральними каналами, в які подається теплоносіє. Гарячий теплоносіє (гаряча вода) подається в сорочку з термостата 2, а в якості холодного теплоносія використовується водопровідна вода. Для визначення об'єму біогазу, який виділяється, використовуються дві протаровані ємності 3 і 4, одна з яких заповнена водою.



**Рис. 1** Схема лабораторної установки для дослідження процесу виділення біогазу в біореакторі з інертним носієм: 1 – біореактор; 2 – термостат; 3, 4 – ємності.

Установка працює наступним чином. В біореактор 1 загрузається активоване вугілля, на яке нанесено біомасу – шар активного мулу. Потім в біореактор заливається стічна вода і відбувається продувка азотом для створення анаеробних умов. Після продувки вмикається перемішувач і в сорочку біореактора з термостата 2 подається гарячий теплоносіє для нагрівання стічної води. Після досягнення в біореакторі температури  $37^{\circ}\text{C}$  термостат

вимикається, і в сорочку подається холодний теплоносій. Біогаз, який виділяється в ході процесу, поступає в ємність 3 і витісняє воду в ємність 4. За об'ємом витісненої води визначається об'єм біогазу.

Перед початком дослідів фіксувались значення величин, які не змінюються при проведенні анаеробного процесу, це: об'єм стічної води  $V_1 = 0,025 \text{ м}^3$ ; початкова концентрація органічних домішок (субстрату) в стічній воді  $S_1 = 40 \text{ кгХСК/м}^3$ ; маса інертного носія (активованого вугілля АГ- 3)  $G_H = 10 \text{ кг}$ ; середній діаметр частинки інертного носія  $d_H = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; концентрація активного мулу в біоплівці  $X_M = 30 \text{ кгХСК/м}^3$ ; товщина біоплівки  $\delta_{\text{бп}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; діаметр якірної мішалки  $d_M = 0,45 \text{ м}$ .

**Результати та обговорення.** При проведенні дослідів вимірювались наступні величини: температура в біореакторі  $t_B = 37^\circ\text{C}$ ; температура біогазу  $t_{\text{БГ}} = 25^\circ\text{C}$ ; тиск в біореакторі  $P_B = 0,1 - 0,105, \text{ МПа}$ ; об'єм зібраного біогазу  $V_{\text{БГ}} = 0,31 - 0,58, \text{ м}^3/\text{добу}$ ; температура холодного теплоносія на вході в сорочку біореактора  $t'_2 = 20^\circ\text{C}$ ; температура холодного теплоносія на виході з сорочки біореактора  $t''_2 = 25 - 30, ^\circ\text{C}$ ; кінцева концентрація органічних домішок (субстрату) в стічній воді  $S_2 = 0,1 - 20 \text{ кгХСК/м}^3$ ; число обертів якірної мішалки  $n=0,25-2, \text{ с}^{-1}$ .

Теоретична кількість утвореного метану [2] :

$$V_{\text{CH}_4}^T = V_1(S_1 - S_2) \cdot 0,38 ,$$

де  $0,38 \text{ м}^3 \text{CH}_4 / \text{кгХКС}$  - коефіцієнт перерахунку між ХКС та метаном при  $25^\circ\text{C}$ .

Кількість метану, який виділяється в біореакторі, при проведенні експериментальних досліджень:

$$V_{\text{CH}_4} = X_{\text{CH}_4} V_{\text{БГ}} ,$$

де  $X_{\text{CH}_4}$  - об'ємний вміст метану в біогазі.

Питома швидкість виділення субстрату (органічних домішок):

$$r_{X_1 M} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{f_H X_M \delta_{\text{бп}} \cdot 0,38} ,$$

де  $f_H$  - площа поверхні інертних носіїв,  $\text{м}^2$

$$f_H = \frac{6G_H}{d_H \rho_H} ,$$

де  $\rho_H = 1450 \text{ кг/м}^3$  - густина активованого вугілля.

Значення критерія Рейнольдса [3]:

$$Re_{\text{ц}} = \frac{n d_M^2 \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}} ,$$

де  $\rho_{\text{с}}$  - густина суміші в біореакторі;  $\mu_{\text{с}}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості суміші в біореакторі

$$\rho_{\text{с}} = \rho_H \varepsilon + \rho_1 (1 - \varepsilon) ,$$

$$\mu_{\text{с}} = \mu_1 (1 + 4,5\varepsilon) ,$$

де  $\rho_1, \mu_1$  - відповідно густина та коефіцієнт динамічної в'язкості стічної води;

$\varepsilon$  - об'ємна доля інертних носіїв в суміші

$$\varepsilon = \frac{\frac{G_H}{\rho_H}}{\frac{G_H}{\rho_H} + V_1}$$

За результатами проведених досліджень та розрахунків побудована графічна залежність, яка представлена на рис. 2.

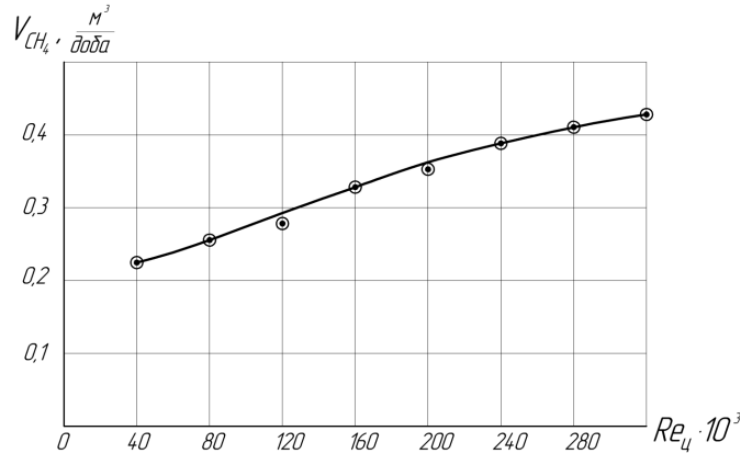


Рис. 2. Залежність кількості утвореного метану від критерія Рейнольдса

Біоплівка утримується на інертних носіях до певної величини числа обертів перемішуючого пристрою (певне значення критерія Рейнольдса  $Re$ ). При перевищенні цієї величини відбувається відрив біоплівки від носіїв, тим самим зменшується поверхня контакту біоплівки зі стічною водою, що призводить до зменшення кількості виділеного біогазу. Це видно з графічної залежності  $V_{CH_4} = (Re_{ц})$  (Рис. 2): зі збільшення значення  $Re_{ц} > 300 \cdot 10^3$  темп росту виділення метану зменшується.

**Висновки.** Проведені дослідження впливу гідродинаміки на процес одержання біогазу в анаеробних умовах. Так, в біореакторі з перемішуючим пристроєм створюється режим подібний до режиму псевдозрідження, але, при цьому, в біореакторі існує гідродинамічний стан, при якому не руйнується біоплівка і вона утримується на інертних носіях, на відміну від процесу псевдозрідження, при якому в наслідок інтенсивної циркуляції рідини можливий відрив біоплівки від поверхні інертних носіїв.

#### Список використаної літератури:

1. Siti Nur Hatika Abu Bakar, Hassimi Abu Hasan, Abdul Wahab Mohammad, Siti Rozaimah Sheikh Abdullah, Teow Yeit Haan, Rahmat Ngteni, Khairul Muis Mohamed Yusof. Biogas Production from Organic Wastes Using Moving Bed Biofilm Reactor Technology: A Review. Journal of Cleaner Production Volume 171, 10 January 2018, Pages 1532-1545. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.100>

2. Конопацький, М.; Jabłońska, J.; Дубровська, К.; Августиняк А.; Григорцевич, Б.; Gliźniewicz, M.; Врублевський, Е.; Кордас, М.; Доленговська, Б.; Rakoczy, R. Вплив гідродинамічних умов у біореакторі лабораторного масштабу на виробництво метаболіту *Pseudomonas aeruginosa*. *Мікроорганізми* 2023, 11, 88. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010088>

3. Гарсія-Очоа, Ф.; Гомес, Е. Розширення біореактора та швидкість передачі кисню в мікробних процесах: огляд. *Біотехнологія. Adv.* 2009, 27, 153–176.