

УДК 517.977.1

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ СУБСТРАТУ В БІОРЕАКТОРІ

В. В. Джеджула

Розглянуто основні способи перемішування субстрату, наведено їх характеристики, запропоновано модель вібраційного перемішування субстрату за допомогою підпружиненої платини-активатора.

Rассмотрены основные способы перемешивания субстрата, приведено их характеристики, предложена модель вибрационного перемешивания субстрата с помощью подпружиненной платины-активатора.

The basic ways of hashing of a substratum are considered, is resulted their characteristics, the model of vibrating hashing of a substratum with the help elastic platinum-activator is offered.

Вступ

Перемішування субстрату в біореакторі є важливим чинником формування ефективного процесу анаеробного бродіння. При недостатньому русі органічних мас у реакторі можуть утворюватися застійні зони, температурне розшарування, налипання субстрату на теплообмінні поверхні та стінки реактора. Ефективне перемішування дозволить позбавитися вказаних проблем з мінімальними затратами енергії. При значних розмірах реактора (100 м³ і більше) особливу увагу слід приділити конструкції перемішувача, зробити її простою і ефективною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У вітчизняній і зарубіжній літературі [1-4] основна увага приділяється лопатевим перемішувачам, барботажному і гідравлічному перемішуванню субстрату.

Не вирішена раніше частина загальної проблеми

В існуючих літературних джерелах недостатньо висвітлено вібраційне перемішування суміші, яке дозволить ефективно омивати поперечною хвилею теплообмінник, інтенсифікувати теплообмінні процеси та термостабілізувати сам процес виробництва біогазу.

Метою даної статті є розробка математичної моделі процесу вібраційного перемішування субстрату у біореакторі за допомогою підпружиненої платини-активатора.

Результати дослідження

Розглянемо принципову конструкцію біореактора з перемішувачем підпружиненою пластиною-активатором (рис. 1). Він складається з утепленого корпусу 1; ємкості для збору ущільнених біодобрив – відпрацьованого субстрату 2, яка відкривається засувкою 3; нагрівника водяного 5, до якого підведені труби теплопостачання 4; перфорованих пластин-активаторів 6, що під'єднані до пружини 7; труби збору біогазу 8; трубопроводу подачі субстрату 9; групи захисту та контролю 10. Розрахункову схему руху платини-активатора показано на рис.2.

Розглянемо основні сили, що діють при русі активатора: збурююча сила Q – її значення і форма імпульсу залежить від приводу перемішувача; сила пружності P – залежить від жорсткості пружини «с» і видовження «х»; сила в'язкого опору середовища R залежить від площі пластин, густини і в'язкості середовища і коефіцієнта опору. Запишемо диференціальне рівняння руху перемішувача:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \alpha \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + c \cdot x = A \cdot \sin(p \cdot t), \quad (1)$$

де $Q_x = A \cdot \sin(p \cdot t)$ – збурююча сила;
 $P_x = -c \cdot x$ – сила відновлення пружини.

Сила опору субстрату, яка виникає під час процесу перемішування в біогазовій установці визначається за формулою

$$R_x = \frac{1}{2} C_{\text{тиск}} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot F, \quad (2)$$

де $C_{\text{тиск}}$ – коефіцієнт тиску;

ρ – густина субстрату, який завантажують в біогазову установку для подальшого бродіння;

V – швидкість перемішування органічної маси в біогазовій установці;

F – площа пластин перемішувача. Позначивши коефіцієнти перед швидкістю через β , отримаємо рівняння у вигляді $R_x = -\beta \cdot v^2$.

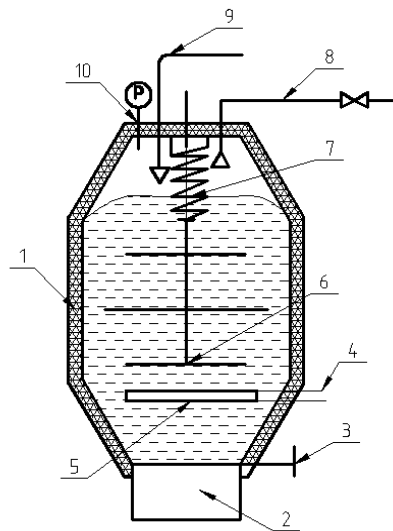


Рис. 1. Конструкція біореактора з вібраційним перемішуванням

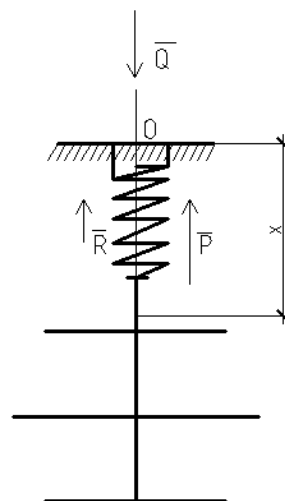


Рис. 2. Розрахункова схема перемішування субстрату у біореакторі

Розділивши рівняння (1) на масу перемішувача отримаємо залежність у вигляді

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2 \cdot n \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + k^2 \cdot x = h \cdot \sin(p \cdot t) \quad (3)$$

Для розв'язання даного диференційного рівняння сформуємо імітаційну модель руху перемішувача в математичному пакеті Simulink 7 (рис. 3). Дана модель складається з вхідних величин – початкових умов рівняння (3), підмоделі розрахунку (рис. 4) та блока розрахунку ступеня активації теплообмінних процесів у біореакторі.

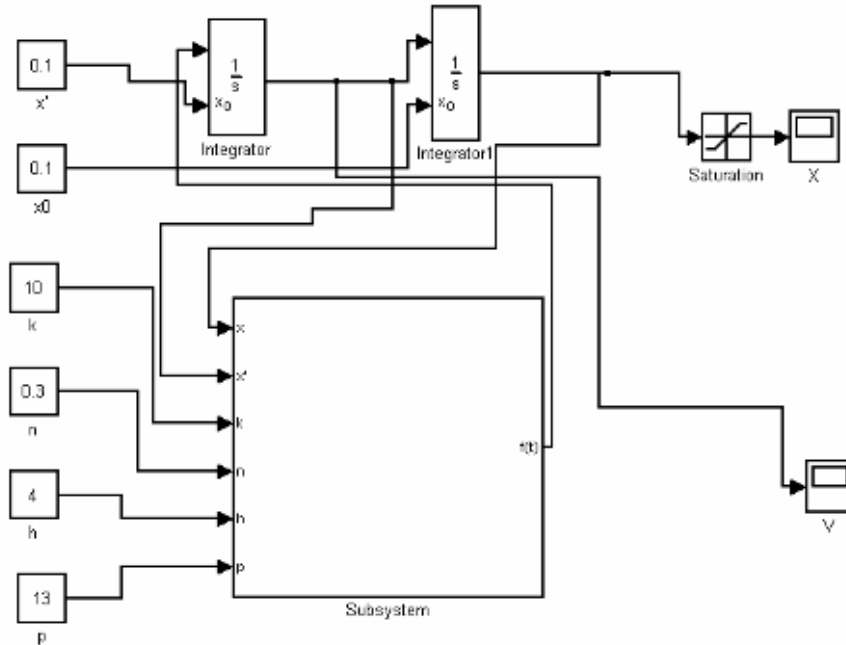


Рис. 3. Імітаційна модель вібраційного перемішувача і теплообмінних процесів в біореакторі

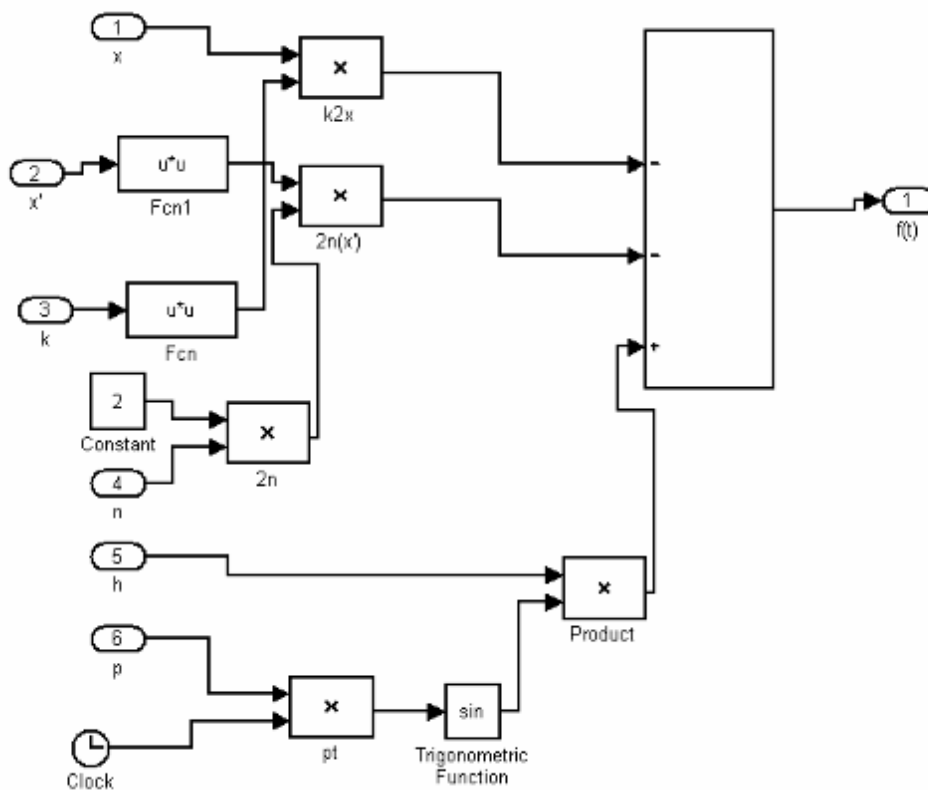


Рис. 4. Підмодель вібраційного перемішувача

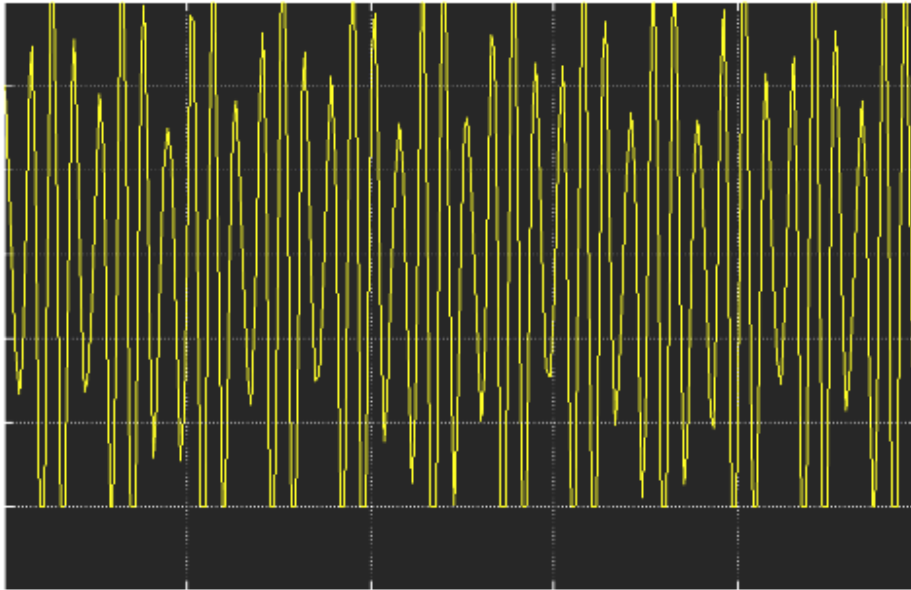
Для виведення інформації в модель введено два віртуальних осцилографи, що дозволяють отримати графічне зображення руху пластин-активаторів та значення швидкості перемішування, яка згідно з [5] не повинна перевищувати 0,7 м/с (рис. 5).

Підмодель розрахунку проміжних параметрів наведено на рис. 4. Для згладжування пікових резонансних значень амплітуди введено блок обмежувача Saturation.

Розв'язування рівняння 3 і 4 наведено на рис. 5, 6 для таких вихідних даних: $x_0=0,1$; $v_0=0,1$; $\kappa=10$; $n=0,3$; $h=4$; $p=13$; $v=7,2 \times 10^{-7}$; $d=0,05$.

Враховуючи отримані характеристики руху перемішувача, можна визначити параметри теплообміну між теплообмінником і субстратом, використовуючи рівняння, наведені автором у [6].

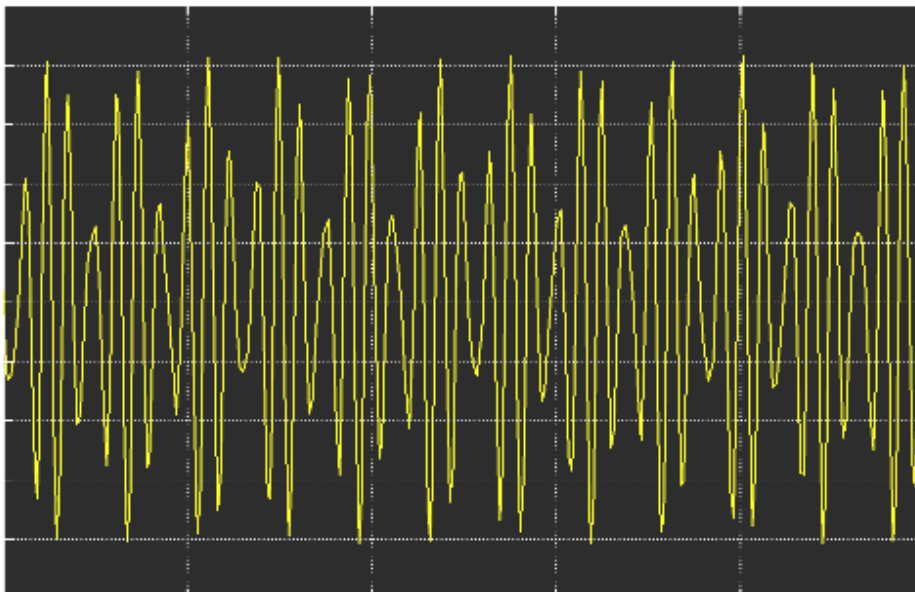
x, м;



t, c

Рис. 5. Рух вібраційного перемішувача за даних початкових умов

v, м/с;



t, c

Рис. 6. Швидкість вібраційного перемішувача за даних П.У.

Висновки

- Розглянуто новий спосіб перемішування субстрату в біореакторі середніх і великих об'ємів (більше 100 м³). Запропоновано принципову схему перемішувача та біореактора, обладнаного ним.
- Математична модель руху перемішувача реалізована в математичному пакеті Simulink 7, що дозволить визначати форму руху та числові значення швидкості і амплітуди від маси перемішувача, густини і в'язкості субстрату, площі пластин, жорсткості пружини, закону руху збурюючої сили.
- Моделювання за наведених початкових умов дало змогу визначити, що амплітуда коливань складає 0,15 м, а швидкість коливань досягає 2 м/с, що перевищує технологічні вимоги, тобто необхідно коректувати режим роботи активатора.

Використана література

1. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика. / Б. Баадер, Е. Доне, Брендерфер М.; Пер. с нем. М. И. Серебрянного – М.: Колос, 1982. – 148 с.
2. Гелетуха Г. Г. Биогаз зі звалищ. Перспективи використання в Україні/ Г. Г. Гелетуха, К. О. Копейкін // Зелена енергетика – 2002. – №1. – С. 13–16. – ISSN 1684-2294.
3. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки. / Бойлс Д.; Пер. з англ. М.: Агропромиздат, 1987. – 152 с.
4. Соуфер С. Биомасса как источник энергии. / С. Соуфер, О. Заборски; Пер. з англ. – М.: Мир, 1985. – 368 с.
5. 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.
6. Галицейский Б. М. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках / Б. М. Галицейский, Ю. А. Рыжов, Е. В. Якуш – М.: Машиностроение, 1977. – 256 с.
7. Ратушняк Г. С. Моделювання процесів теплообміну при вібраційному впливі в багатокомпонентних сумішах біореакторів / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – № 1.
Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/20081/uk.files/08rgsmob_uk.pdf

Джеджула В'ячеслав Васильович – к.т.н., старший викладач кафедри теплогазопостачання.