

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ЭНЕРГЕТИКА ТА ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 631.731

Г. С. Ратушняк, к. т. н., проф.; В. В. Джеджула, асп.

G. S. Ratushniak, k. t. n., prof.; V. V. Dzhedzhula, asp.

G. Ratushniak, Cand. Sc. (Eng.), Prof.; V. Dzhedzhula, Post-Graduate

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ ТА ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЯ БІОРЕАКТОРІВ

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА И ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ БИОРЕАКТОРОВ

INTENSIFICATION OF HEAT EXCHANGE AND TERMOSTABILIZATION OF BIOREACTORS

Розглянуто основні недоліки відомих біореакторів і задачі, що необхідно розв'язати для термостабілізації та інтенсифікації теплообміну в біореакторах. Запропоновано конструкцію реактора для розв'язання поставлених задач.

Рассмотрены основные недостатки известных биореакторов и задачи, которые необходимо решить для термостабилизации и интенсификации теплообмена в биореакторах. Предложена конструкция реактора для решения поставленных задач.

The basic drawbacks of known bioreactors and problems to be solved for achieving heat setting and intensification of heat exchange in bioreactors are considered. The design of the reactor for the solution of the problems is offered.

Вступ

Одним із перспективних нетрадиційних джерел енергозабезпечення для України є біогаз. Його отримують шляхом анаеробного бродіння відходів сільськогосподарського виробництва в біореакторах [1]. В процесах виробництва біогазу, окрім отримання цінного палива, вирішується й екологічна задача, пов'язана зі знешкодженням великої кількості органічних відходів. Поширення використання цього альтернативного палива потребує вирішення таких задач: інтенсифікації теплообміну в біогазових реакторах; рівномірності прогріву та переміщення субстрату; дотримання необхідних температурних режимів; забезпечення безперервності процесу виробництва.

Недоліком відомих типів біогазових реакторів [1] є те, що за рахунок недостатнього та нерівномірного прогрівання суміші коливання температур в об'ємі субстрату стають значними, що не відповідає технологічним вимогам. Це зменшує вихід біогазу порівняно з теоретичним. За рахунок вертикального градієнта температур у нижній зоні утворюється холодний малорухомий шар, а верхня зона перегрівается. Також до основних недоліків можна віднести необхідність технологічних зупинок для вивантаження і завантаження біомаси.

Вирішення задач інтенсифікації теплообміну та термостабілізації біогазових реакторів можливо шляхом модифікації відомих конструкцій.

Введение

Одним из перспективных нетрадиционных источников энергообеспечения для Украины есть биогаз. Его получают путем анаэробного брожения отходов сельскохозяйственного производства в биореакторах [1]. В процессах производства биогаза, кроме получения ценного топлива, решается и экологическая задача, связанная с обезвреживанием большого количества органических отходов. Распространение использования этого альтернативного топлива нуждается в решении таких задач: интенсификации теплообмена в биореакторах; равномерности нагрева и переме-

щення субстрата; соблюдение необхідних температурних режимів; досягнення неперервності процесу виробництва.

Недостатком відомих типів біогазових реакторів [1] є те, що за рахунок недостаточного і нерівномірного прогрівання суміші коливання температур в об'ємі субстрата стають значущими, що не відповідає технологічним вимогам. Це зменшує вихід біогазу порівняно з теоретичним. За рахунок вертикального градієнта температур в нижній зоні утворюється холодний малоподвижний пласт, а верхня зона перегрівається. Також до основних недоліків можна віднести необхідність технологічних зупинок для розгрузки і заправки біомаси. Розв'язання завдань інтенсифікації теплообміну і термостабілізації біогазових реакторів можливо шляхом модифікації відомих конструкцій.

Introduction

One of the perspective non-conventional sources of energy supply for Ukraine is biogas. It is obtained by means of anaerobic fermentation of waste of agricultural production in fermenters [1]. In the process of gas generation, besides obtaining valuable fuel, another important ecological problem, dealing with decontamination of vast stock of organic waste is solved. A number of problems are to be solved prior to industrial usage of this alternative source of energy: intensification of heat exchange in fermenters; uniformity of warm-up and displacement of substrate; observance of necessary temperature conditions; achievement of continuity of generation process.

The drawback of the known types of biogas reactors [1] is that due to insufficient and non-uniform warm-up of the mixture temperature fluctuations in the volume of substrate become considerable, that does not meet the requirements of technological process. Biogas output is reduced as compared with calculated figures. At the expense of vertical gradient of temperatures cold low-mobile formation is created in the lower area, whereas upper area is overheated. Among other important drawbacks we should note the necessity of technological outages for loading and unloading of biomass. The solution of the problems dealing with intensification of heat exchange and heat setting of biogas reactors becomes possible by means of modification of the known designs.

Результати дослідження

Авторами пропонується конструкція біореактора, яку отримано внесенням нових елементів і зв'язків у відому конструкцію [2]. Ці конструктивні рішення дозволяють позбутись недоліків відомих біореакторів.

Конструкція біореактора з прошарком між утепленим корпусом та робочим резервуаром (рис. 1) дозволяє підвищити термічний опір стінки реактора. Підведення виробленого газу в зону розташування теплообмінника дозволить не тільки інтенсифікувати процеси теплообміну між стінкою нагрівника та середовищем, але й досягти рівномірнішого перемішування середовища [3]. В результаті модифікації досягається покращення процесу анаеробного бродіння, що веде до збільшення виходу біогазу і зниження енерговитрат.

Реактор містить утеплений корпус 1, до якого за допомогою верхньої 4 та нижньої 2 опорних газорозподільних решіток кріпиться робочий резервуар 3. В верхній і нижній частині робочого резервуара 3 закріплено газопровід 5. Газопровід 5 сполучає низ утепленого корпусу та верх робочого резервуара. У нижній частині робочого резервуара 3 розміщено нагрівальний елемент 6 та газорозподільчу бінку 8. В газопроводі розташовано насос 7, патрубок відведення біогазу на господарства та запірні арматури 9. Процес виробництва біогазу такий. В міру накопичення біогазу він проникає у газопровід і, набуваючи потрібного тиску, в газопроводі за допомогою насосу частина його повертається у робочий резервуар, де розподіляється за допомогою гребінки і струменями обтікає теплообмінну поверхню нагрівального елемента. Це обумовлює інтенсифікацію теплообмінних процесів, активне перемішування, термостабілізацію процесу анаеробного бродіння.

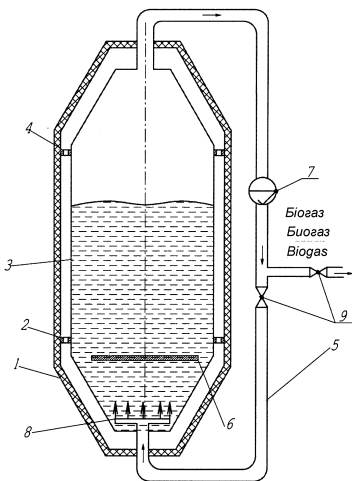


Рис. 1. Біогазовий реактор з інтенсифікацією бродіння
 Рис. 1. Биогазовый реактор с интенсификацией брожения
 Fig. 1. Biogas reactor with intensified fermentation

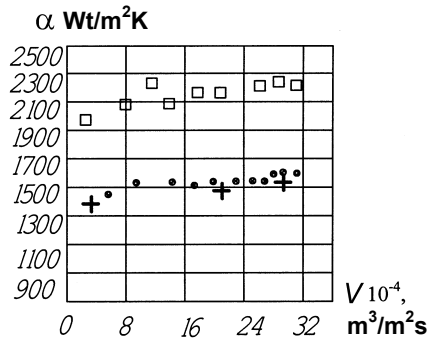


Рис. 2. Зіставлення коефіцієнтів тепловіддачі від стінки до середовища за умови газорідного омивання поверхні: □ — середовище—вода, • — суспензія з C = 3,5 %, + — суспензія з C = 8 %, α — коефіцієнт тепловіддачі від стінки нагрівального елемента до середовища, V — зведена швидкість газозового потоку

Рис. 2. Сопоставление коэффициентов теплоотдачи от стенки к среде при условии газожидкостного омывания поверхности: □ — среда—вода, • — суспензия с C = 3,5 %, + — суспензия с C = 8 %, α — коэффициент теплоотдачи от стенки нагревательного элемента к среде, V — приведенная скорость газового потока

Fig 2. Comparison of coefficients of convective heat exchange from the wall of heat exchanger to the environment in case of gas and liquid washing of the surface: □ — environment—water, • — suspension with C = 3,5 %, + — suspension with C = 8 %, α — convective heat exchange coefficient from the wall of heating element to the environment, V — reduced velocity of gas flow

Результати попередніх досліджень [4] свідчать, що інтенсивність тепловіддачі мало залежить від теплового потоку. Це можна пояснити незначним впливом вільної конвекції. Основний фактор інтенсифікації теплообміну – рух бульбашок, який викликає конвективні потоки. Швидкість циркуляції визначається площею перерізу, через який проходить потік газу з гребінки, тому безпосереднє барботування в нижній частині робочого резервуара інтенсифікує тепловіддачу. Оптимальним вирішенням поставленої задачі можна назвати спрямування потоків газу на теплообмінну поверхню без обмежувальних стінок при безпосередньому контакті струменя і стінки.

Результати експериментального дослідження інтенсифікації теплообміну для суспензії з концентрацією сухої речовини C = 8 %, C = 3,5 % та води показані на рис. 2. Необхідно зазначити, що коефіцієнт тепловіддачі для суспензії сягає 53...69 % цього показника для води. Попередні дослідження довели незначний вплив теплового потоку та температури середовища на інтенсивність теплообміну.

За результатами експериментальних досліджень [4] встановлено, що барботування теплообмінної поверхні підвищує коефіцієнт тепловіддачі як для води, так і для суспензії в середньому в 1,5...2,5 рази. Безпосереднє барботування в каналі має ще більший вплив на зростання коефіцієнта тепловіддачі, але даний спосіб є недоцільним для реальних умов технологічних реакторів оскільки виникатимуть застійні явища, тобто стінки каналів будуть заважати перемішуванню та вільному руху субстрату.

Використання повітряного прошарку між утепленим корпусом та робочим резервуаром дозволить підвищити термічний опір в середньому в 1,4...1,8 рази. Повітря, що знаходиться у прошарку буде виступати не тільки як додатковий теплоізолятор, але й передавати тепло від більш нагрітих зон в менш нагріті, термостабілізуючи таким чином процес анаеробного бродіння.

Результаты исследования

Авторами предлагается конструкция биореактора, которая получена внесением новых элементов и связей в известную конструкцию [6]. Эти конструктивные решения позволяют избавиться недостатков существующих биореакторов.

Конструкция биореактора с прослойкой между утепленным корпусом и рабочим резервуаром (рис. 1) позволяет повысить термическое сопротивление стенки реактора. Подведение выработанного газа в зону расположения теплообменника позволит не только интенсифицировать процессы теплообмена между стенкой нагревателя и средой, но и достичь более равномерного перемешивания среды [3]. В результате модификаций достигается улучшение процесса брожения, что приводит к увеличению выхода биогаза и снижению энергозатрат.

На рис. 1 изображен биогазовый реактор с интенсификацией брожения. Реактор содержит утепленный корпус 1, к которому с помощью верхней 4 и нижней 2 опорных газораспределительных решеток крепится рабочий резервуар 3. В верхней и нижней части рабочего резервуара 3 закреплен газопровод 5. Газопровод 5 соединяет низ утепленного корпуса и верх рабочего резервуара. В нижней части рабочего резервуара 3 размещен нагревательный элемент 6 и газораспределительная гребенка 8. В газопроводе расположен насос 7, патрубок отведения биогаза на потребности хозяйства и запорная арматура 9. Процесс производства биогаза такой. По мере накопления биогаза он проникает в газопровод и, приобретая нужное давление в газопроводе с помощью насоса, часть его возвращается в рабочий резервуар, где распределяется с помощью гребенки и струями обтекает теплообменную поверхность нагревательного элемента. Это обуславливает интенсификацию теплообменных процессов, активное перемешивание, термостабилизацию процесса анаэробного брожения.

Результаты предыдущих исследований [4] свидетельствуют, что интенсивность теплоотдачи

мало зависит от теплового потока. Это можно объяснить незначительным влиянием свободной конвекции. Основной фактор интенсификации теплообмена — движение пузырьков, которое вызывает конвективные потоки. Скорость циркуляции определяется площадью сечения, через которое проходит поток газа с гребёнки, поэтому непосредственное барботирование в нижней части рабочего резервуара интенсифицирует теплоотдачу. Оптимальным решением поставленной задачи можно назвать направление потоков газа на теплообменную поверхность без ограничительных стенок при непосредственном контакте струи и стенки.

Результаты экспериментального исследования интенсификации теплообмена для суспензии с концентрацией сухого вещества $C = 8\%$, $C = 3,5\%$ и воды приведены на рис. 2. Необходимо отметить, что коэффициент теплоотдачи для суспензии достигает 53...69 % этого показателя для воды. Предыдущие исследования доказали незначительное влияние теплового потока и температуры среды на интенсивность теплообмена.

По результатам экспериментальных исследований [4] установлено, что барботирование теплообменной поверхности повышает коэффициент теплоотдачи как для воды, так и для суспензии в среднем в 1,5...2,5 раза. Непосредственное барботирование в канале имеет еще большее влияние на рост коэффициента теплоотдачи, но данный способ является нецелесообразным для реальных условий технологических реакторов поскольку будут возникать застойные явления, то есть стенки каналов будут мешать перемешиванию и свободному движению субстрата.

Использование воздушной прослойки между утепленным корпусом и рабочим резервуаром позволит повысить термическое сопротивление в среднем в 1,4...1,8 раза. Воздух, находящийся в прослойке будет выступать не только как дополнительный теплоизолятор, но и передавать тепло от более нагретых зон в менее нагретые, термостабилизируя таким образом процесс анаэробного брожения.

Results of research

Authors offer the construction of the fermenter, obtained as a result of introduction of new elements and connections into already known construction [6]. These structural solutions allow to avoid drawbacks inherent to existing bioreactors.

The construction of the fermenter with the interlayer between heat-insulated body and operating reservoir [Fig.1] allows to improve thermal resistance of reactor wall. The supply of generated gas into heat exchanger zone enables to intensify heat exchange process between the wall of the heater and medium but also achieve more uniform agitation [3]. As a result of modifications performed anaerobic fermentation has been improved resulting in higher output of biogas and reduction of energy cost.

The reactor contains heat-insulated body (1), operating reservoir (3), fixed to the body of reactor by means of upper (4) and lower (2) supporting gas-distributive grates.

Gas pipeline (5) connects the bottom of heat-insulated body and top of operation reservoir. In the bottom of operation reservoir 3 heating element 6 and gas-distributing comb 8 are installed Pump 7, outlet pipe intended for supply of biogas to needed facilities and locking valves (9) are installed on the gas pipeline. The process of biogas generation is the following. Gas being accumulated, enters the pipeline and having obtained required pressure by means of the pump, part of the gas returns in operation reservoir, where it is distributed by means of gas-distributing comb, streams of gas flow the heat exchanging surface of heating element. It stipulates the intensification of heat-exchange process, active agitation, heat settings of anaerobic fermentation process. The results of previous research [4] testify that the intensity of convective heat exchange does not greatly depend on heat flow. This can be explained by minor influence of natural convection. Main factor contributing to intensification of heat exchange is the motion of bubbles, causing convective currents. Circulation rate is determined by cross-section across which gas flow from the comb passes, that is why direct barbotage in the bottom of operation reservoir intensifies convective heat exchange. Optimum solution of the given problem is to direct gas flows on heat exchange surface without limiting walls at direct contact of the stream and the wall. The results of the experimental research of heat exchange intensification for suspension with dry substance concentration $C = 8\%$, $C = 3,5\%$ and water are given in Fig. 2. It must be noted that convective heat exchange coefficient for suspension reaches 53...69 % of this index for water. Previous research proved minor influence of heat flow and temperature of the environment on heat exchange intensify. The results of the experiments [4] have showed, that barbotage of heat-exchange surface increases convective heat exchange coefficient both for water and for suspension 1.5...2.5 time on average. Direct barbotage in the channel has still greater impact on convective heat

exchange coefficient growth, but this method is not expedient for real conditions of industrial reactors since stagnant phenomena will occur, i. e. walls of the channels will interfere with agitation and free motion of the substrate.

Usage of air interlayer between heat-insolated body and operation reservoir will allow to increase thermal resistance 1.4...1.8 times on average. The air, present in the interlayer, will act not only as additional heat insulator but will also transfer heat from more heated areas to less heated areas thermally stabilizing the process of anaerobic fermentation.

ВИСНОВКИ

Запропоновані конструктивні рішення біогазового реактора дозволяють інтенсифікувати теплообмінні процеси в реакторі, термостабілізувати процес отримання біогазу та збільшити термічний опір стінки без додаткових капіталовкладень.

Згідно з розрахунками, підведення газової фази в реактор дозволить зменшити площі теплообмінних елементів в середньому в 2...4 рази порівняно з вільною конвекцією, збільшити корисний об'єм та вирівняти поля температур в реакторі, унеможлививлюючи таким чином утворення холодних зон в нижній частині біореактора.

ВЫВОДЫ

Предложенное конструктивное решение биогазового реактора позволяет интенсифицировать теплообменные процессы в реакторе, термостабилизировать процесс получения биогаза и увеличить термическое сопротивление стенки без дополнительных капиталовложений.

Согласно расчетам, подвод газовой фазы в реактор позволит уменьшить площади теплообменных элементов в среднем в 2...4 раза по сравнению со свободной конвекцией, увеличить полезный объем и выровнять поля температур в реакторе, не допуская, таким образом, появления холодных зон в нижней части биореактора.

Conclusions

The suggested construction of biogas reactor allow intensifying heat exchange processes, thermally stabilizing the process of gas generation and increase thermal resistance of the wall without additional capital investment. According to calculations performed, supply of gas phase to the reactor will allow to reduce the surface of heat exchange elements 2...4 times on average as compared with natural convection, increase the volume and equalize temperature fields in the reactor, without formation of cold zones in the bottom of the reactor.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М. Биогаз: Теория и практика. — М.: Колос, 1982. — 148 с.
2. Декларацийний пат. № 70885 А Україна Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., № 20031213279; Заяв 15.10.2004; Бюл № 10.
3. Исаченко В. П. и др. Теплопередача. Учебник для вузов. Изд. 3-е перераб и доп. — М.: Энергия, 1975. — 488 с.
4. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Джеджула В. В. Закономірності розподілу температурних напорів за умов локального газорідного омивання поверхні // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2003. — № 4. — С. 42—45.
5. Степанов Д. В., Боднар Л. А. Теплообмінні пристрої в системі біоконверсії // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2005. — № 1. — С. 55—57.

Рекомендована кафедрою теплогазопостачання

Надійшла до редакції 14.07.05
Рекомендована до опублікування 26.07.05

Ратушняк Георгій Сергійович — завідувач кафедри, *Джеджула Вячеслав Васильович* — аспірант.
Кафедра теплогазопостачання, Вінницький національний технічний університет

Ратушняк Георгій Сергеевич — заведуючий кафедрою, *Джеджула Вячеслав Васильевич* — аспірант.
Кафедра теплогазоснабження, Винницкий национальный технический университет

Georgiy Ratushniak — Head of the Chair, **Viacheslav Dzhezdzhula** — Post-Graduate Student.
Chair of heat gas supply, Vinnitsia National Technical University