

УДК 628.336.5

ПРОТОЧНЫЕ ФЕРМЕНТЕРЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ  
FLOW FERMENTERS OF VERTICAL DESIGN

Прокопеня И. Н. ст. преподаватель,  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь  
I. Prokopenya, Senior Lecturer, Belarusian national technical university,  
Minsk, Belarus

*Аннотация.* В работе рассмотрен вопрос перехода от проточно-накопительной технологии сбраживания субстрата к полностью проточной схеме с применением вертикальных ферментеров (колонн). Описаны конструктивные особенности организации перемешивания в вертикальных колоннах. Отражены основные преимущества и недостатки такой технологии получения биогаза.

*Abstract.* The paper considers the issue of transition from the flow-accumulative technology of substrate fermentation to a fully flow-through scheme using vertical enzymes (columns). The design features of air organization in vertical columns are described. The main advantages and development of such a biogas technology are reflected.

Ключевые слова: ферментер, метантенк, биореактор, бактерии, биогаз, проточная схема, барботаж

Keywords: fermenter, digester, bioreactor, bacteria, biogas, flow diagram, bubbling

## ВВЕДЕНИЕ

С постоянным сокращением доли потребления углеродного ископаемого топлива и постепенным переходом на новые виды энергоносителей без «углеродного следа» важную роль начинают играть альтернативные возобновляемые источники энергии – так называемые технологии «зеленой энергетики». При производстве топлива или прямом преобразовании в тепловую энергию в таком случае используется накопленная в результате фотосинтеза энергия, содержащаяся в биомассе высших растений. Одним из перспективных конечных продуктов «зеленой энергетики» является биогаз [1]. Задача получения биогаза как одного из альтернативных источников энергии с использованием растительного сырья и отходов предприятий по переработке сельхозпродукции, взамен исчерпаемых видов энергетического сырья: нефти, угля, природного газа, является важной частью общей проблемы устойчивого развития любого государства. В основе биогазовой технологии лежат процессы анаэробного сбраживания органических отходов и сточных вод [2]. Процессы сбраживания протекают в специальных установках – биореакторах или ферментерах. Сырье, используемое в таких установках для генерации биогаза из органических веществ, называется субстратом.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Различные технологии производства биогаза можно свести к нескольким вариантам с точки зрения технологических характеристик процесса. Одним из основных принципиальных различий в работе разных установок является способ наполнения ферментера:

- биореакторы с непрерывной загрузкой (проточные);
- биореакторы с порционной загрузкой.

Для метода порционной подачи характерно наполнение ферментера за один прием. Порция проходит брожение до конца заданного для этого времени, на протяжении которого субстрат не добавляют и не вынимают. Производство газа начинается после наполнения, достигает максимальной производительности, после чего начинает падать. Под конец, по истечению заданного времени брожения, бродильная камера опустошается также за один прием [3]. При этом часть сброженного субстрата возвращают обратно, чтобы привить «разработанные» бактерии.

При непрерывной загрузке субстрат загружают через определенные промежутки времени (до десятков загрузок в сутки), удаляя такое же количество сброженной массы. При соблюдении всех условий сбраживания такая схема позволяет получить максимальный выход газа [3]. По такому методу работают почти все промышленные биогазовые установки. Этот метод по сравнению с предыдущим отличается тем, что биореакторы всегда заполнены и опорожняются лишь для ремонтов или вынужденного удаления субстрата.

Анализ процессов, проходящих при непрерывной загрузке, позволяет дополнительно классифицировать ее еще по двум направлениям применяемых технологий:

- накопительно-проточная схема загрузки;
- проточная схема загрузки в чистом виде.

При накопительно-проточном методе загрузки описание процесса полностью совпадает с описанием реализации непрерывной загрузки.

Но куда большего внимания заслуживает проточная схема загрузки в чистом виде. Ведь любое решение классической проблемы биологического синтеза связано с развитием новой технологии – технологии непрерывных проточных биореакторов.

Применение проточных технологий позволит заменить огромные энергоемкие аппараты компактными, экономичными установками, значительно превышающими производительность оборудования существующих биогазовых комплексов при том же объеме.

Основным преимуществом непрерывных проточных биореакторов является сокращение времени пребывания субстрата в установке и увеличение производительности по сравнению с традиционными объемными ферментерами, работающими по накопительно-проточной схеме.

При реализации проточной схемы загрузки необходимо рассматривать технологическую установку, состоящую из большого числа вертикальных кор-

пусов ( $l/d \geq 10$ ) связанных между собой гидравлически, последовательно расположенных колонн непрерывного действия (рис. 1).

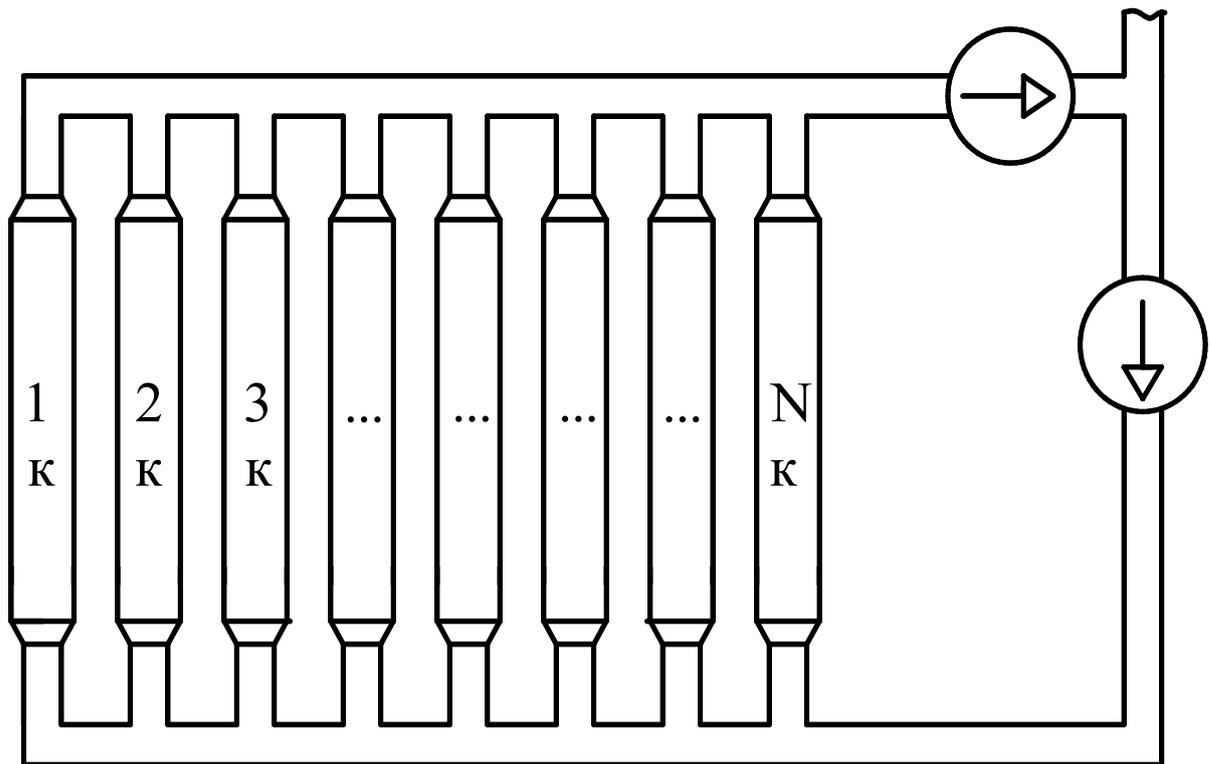


Рисунок 1 – Эскизное представление компоновки колонн при использовании проточной схемы загрузки сырья

Такая компоновка оборудования позволяет решить две задачи:

- пространственно разделить стадии сбраживания и тем самым создать для них оптимальные условия;
- удешевить конструкцию установки, так как реакторы могут изготавливаться из более дешевых материалов (из стандартных пластиковых труб).

Ферментационная установка выполнена в виде нескольких блоков, соединенных с образованием замкнутого контура, внутри которого обеспечивается циркуляция субстрата [4]. Замкнутый контур организован посредством последовательного соединения биореакторных колонн. Соединение между колоннами в таких установках, как правило, реализовано с переходным участком U-образной формы (рис. 2).

Площадь сечения соединительной трубы предпочтительно должна быть равной диаметру реактора. При уменьшении площади поперечного сечения реализуется ускорение потока и усиление центробежных сил между боковой и центральной частями емкости [4] (при наличии тангенциального ввода), что способствует повышению эффективности процесса перемешивания.

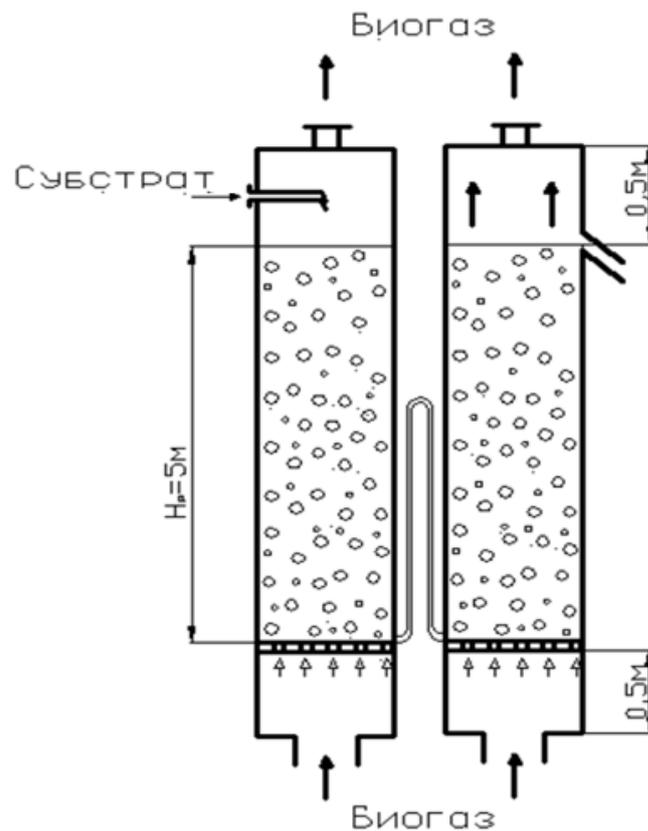


Рисунок 2 – Общий вид двухкорпусной установки без внешней рубашки обогрева

Отличительными от прототипа признаками реального ферментера являются выполнение для вертикальных блоков средств термостатирования внутренней емкости сброживаемого субстрата с увеличенным отношением площади поверхности теплообмена к объему, занятому сырьем.

Для поддержания необходимой температуры протекания процесса следует создать равномерную температурную однородность вокруг ферментаторов путем омывания нагретой воды, находящейся в закрепленной на корпусе тепловой рубашки (теплообменник типа труба в трубе).

Вертикально ориентированные блоки могут быть выполнены в виде трубы большого диаметра (внешние трубы), представляющей собой теплообменник, внутри которого размещена труба меньшего диаметра (внутренняя труба) для перемещения субстрата. Пустота между трубами заполнена теплоносителем.

Предварительный нагрев субстрата осуществляется в регенеративном теплообменнике за счет утилизации теплоты сброженного субстрата.

Постоянный, равномерный ввод исходного вещества в первую колонной позволяет значительно сократить температурный перекоп по объему ферментера, что положительно сказывается на жизнедеятельности микроорганизмов.

В промышленных условиях могут быть использованы внутренние трубы с диаметром 0,4–0,6 м, количество труб определяется требуемым рабочим объемом ферментера и для рабочего объема, высота труб может составлять 20 м и более.

Для запуска метаногенеза необходимо постоянное возобновление метаногенной культуры в начале процесса. Для этого часть переработанного субстрата забирается перед самым выходом и подается в первую колонну совместно со свежим субстратом.

При использовании вертикальных реакторов немаловажным является вопрос перемешивания. С ростом высоты колонн растет и тенденция к расслоению сбраживаемого субстрата, смешивающая техника должна обеспечивать достаточное вертикальное перемешивание для достижения гомогенизации. При этом качественное перемешивание будет способствовать интенсификации процесса массообмена между анаэробными микроорганизмами и биомассой, что положительно отразится на увеличении количества микроорганизмов в объеме биореактора.

Для увеличения максимального выхода биогаза из сбраживаемого субстрата, предотвращения образования корки на верхних слоях, равномерного распределения температуры по объему реактора и тем самым ускорения процесса метанообразования применяют различные способы перемешивания в ферментерах:

- механический;
- гидравлический;
- барботажный.

В нашем случае рассматривается применение перемешивания субстрата за счет барботажной системы (рис. 2) и системы обогрева, которые расположены вдоль стены ферментера. Барботажная система представляет из себя газораспределительную решетку ферментатора под которую под давлением компрессора с определенной скоростью подается часть произведенного биогаза (рис. 1). За счет совместного действия барботажной системы и системы обогрева создаются активные конвективные потоки в субстрате, что исключает образование застойных зон.

Газораспределительные решетки расположены на входах для подачи газовых сред выполнены с возможностью формирования пузырьков газа в субстрате диаметром не более 5 мм.

Циркуляция приводит к тому, что жидкость в значительной степени перемешана по высоте, т. е. концентрация жидкости по высоте мало изменяется и близка к конечной ее концентрации. Именно поэтому способ ввода субстрата в данном случае не является существенным (верхний или нижний подводы в колонну).

Достоинствами барботажного перемешивания являются отсутствие движущихся частей, простота устройства и легкость поддержания твердой фазы суспензий во взвешенном состоянии. Недостатки этого метода: большой расход энергии на получение сжатого газа и его применимость только для маловязких жидкостей [3].

При таком способе перемешивания неизбежно в верхней части биореакторов образуется пена. Поэтому колонны выполнены с возможностью снабжения индивидуальными ультразвуковыми пеногасителями.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что перспективным направлением совершенствования биогазовых установок является применение проточных биореакторов вертикальной конструкции с барботажным типом перемешивания, позволяющим повысить интенсивность производства биогаза, сократить энергоемкость его производства и предотвратить образование плавающей корки на поверхности субстрата.

Исходя из характера процесса брожения и его технологии колонны ферментеров должны соответствовать следующим требованиям:

- абсолютная герметичность стенок;
- непроницаемость для жидкостей;
- сохранение прочности в статическом состоянии;
- совершенная теплоизоляция;
- коррозионная стойкость;
- доступности внутреннего пространства для обслуживания;
- механическая прочность барботажных решеток;
- беспровальные характеристики решеток, при которых жидкость не будет протекать через них.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Топаж, А. Г. Имитационная модель процесса производства биогаза из многокомпонентного растительного сырья. Анализ и параметрическая оптимизация / А. Г. Топаж, В. А. Вигонт, Л. А. Хворова // Химия растительного сырья. – 2018. – № 1. – С. 171–184.
2. Ковалев, В. В. Теоретические и практические аспекты совершенствования процессов биогазовой технологии / В. В. Ковалев, Д. В. Унгуряну, О. В. Ковалева // Проблемы региональной энергетики. – 2012. – № 1. – С. 102–114.
3. Кущев, Л. А. Технологии получения биогаза при анаэробной ферментации органических веществ / Л. А. Кущев, Д. Ю. Суслов, Д. О. Темников // Science Time. – 2015. – № 10 (22). – С. 204–210.
4. Патент RU2014356C1 Установка для непрерывного культивирования микроорганизмов / А. М. Босенко, А. М. Лужков, Э. П. Кузьмина, А. Н. Русских, Л. С. Филиппова – 1992.