

УДК 66.097.3

UDC: 66.097.3

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БИОГАЗА

NONSTATIONARY CATALYTIC SYSTEMS FOR THE PROCESSES OF BIOGAS PRODUCTION

Онучин Евгений Михайлович
к.т.н., доцент

Onychin Evgeny Mihailovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Медяков Андрей Андреевич
аспирант

Medyakov Andrei Andreevich
postgraduate student

Каменских Александр Дмитриевич
аспирант

Kamenskih Aleksandr Dmitrievich
postgraduate student

Анисимов Павел Николаевич
студент

Anisimov Pavel Nikolaevich
student

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, Россия

Mari State Technical University, Ioshkar-Ola, Russia

На основе анализа существующих технических решений предлагаются новые схемно-конструктивные решения каталитических систем для процессов получения биогаза из органических отходов. Особенности организации взаимодействия потока реагентов с каталитическим наполнителем в предлагаемых каталитических системах позволяют интенсифицировать процесс протекания реакции, а так же оптимизировать конструктивные особенности каталитических систем в зависимости от особенностей технологического процесса

The new circuit-design solutions of catalytic systems for the processes of producing biogas from organic waste are proposed. They are based on the analysis of existent tech. solutions. The interaction features of the flow of reactants to the catalytic filler in the proposed catalytic systems allow us to intensify the process of reaction, as well as to optimize the design features of catalytic systems based on the technological process

Ключевые слова: КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, КАТАЛИЗАТОР, КАТАЛИТИЧЕСКИЙ НАПОЛНИТЕЛЬ, БИОГАЗ, ПСЕВДООЖИЖЕННЫЙ ЦИРКУЛИРУЮЩИЙ СЛОЙ

Keywords: CATALYST SYSTEM, CATALYST, CATALYTIC FILLER, BIOGASE, CIRCULATING FLUIDIZED BED, CFB

Постановка проблемы

Каталитические устройства для полного низкотемпературного окисления горючих компонентов биогаза могут использоваться в существующих системах вместо традиционных устройств факельного сжигания. Однако по сравнению с традиционными источниками тепла каталитические устройства сжигания имеют ряд преимуществ. К ним относятся:

- 1) полнота сжигания топлива, которая способствует повышению эффективности процесса горения;

2) снижение температуры процесса горения, которое обеспечивает конструктивные преимущества каталитических устройств горения;

3) сокращение выбросов вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием топлива;

4) снижение минимальной концентрации топлива в смеси до 0,5 % объема. [1, 2, 3, 4, 5, 6]

Использование каталитических устройств в качестве устройств обогрева, предназначенных для поддержания определенной температуры в технологических объектах или производственных помещениях, позволяет повысить эффективность систем обогрева за счет повышения эффективности процесса горения и сокращения выбросов вредных газов в атмосферу. Непосредственно заменяя традиционные устройства факельного сжигания разрабатываемыми системами можно повысить эффективность поддержания необходимой температуры на объектах.

В связи с тем, что большинство систем обогрева представляют собой системы с промежуточным теплоносителем – водой, разрабатываемые каталитические системы снабжаются водяным теплообменником со стандартными монтажными соединениями (сварное, фланцевое или резьбовое соединение), что позволяет монтировать их вместо существующих устройств обогрева для процессов получения биогаза.

Однако особенности каталитических устройств сжигания позволяют создавать новые технические решения подогревателей, применяемых для процессов получения биогаза. На рисунке 1 представлена схема использования каталитических устройств сжигания для обогрева биогазовой установки.



Рисунок 1 - Схема использования каталитических устройств сжигания для обогрева биогазовой установки

Каталитический подогреватель, потребляя биогаз, производит тепловую энергию и уходящие после процесса горения газы. Тепловая энергия непосредственно используется для обогрева биогазовой установки, а барботажное устройство с помощью уходящих газов создает тепловой барботаж, который одновременно служит для перемешивания субстрата и для его обогрева. [7, 8]

На рисунке. 2 изображена одна из конструкций каталитического подогревателя для биогазовой установки, реализующего предложенную схему.

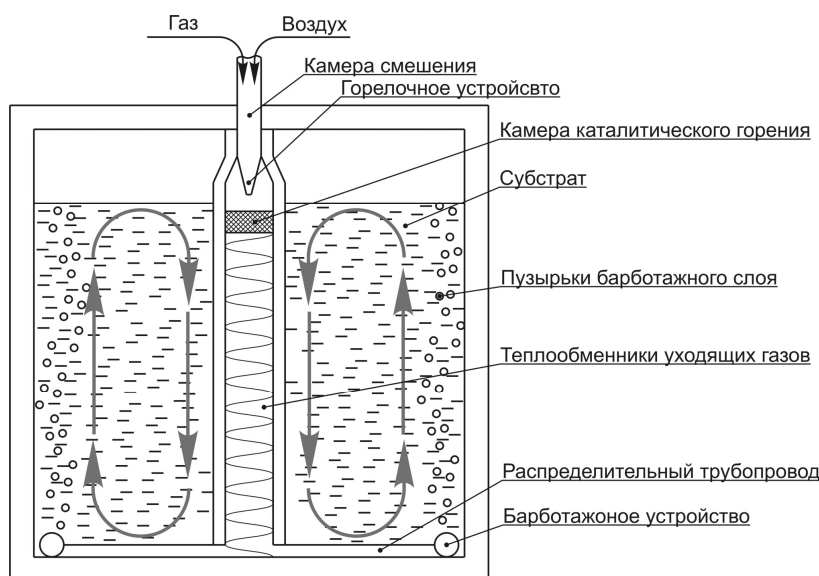


Рисунок 2 - Каталитический подогреватель для биогазовой установки

В процессе работы устройства газ и воздух поступают в камеру смешивания, откуда с помощью горелочного устройства поступают в камеру каталитического горения, в которой происходит процесс окисления с выработкой тепла. Затем уходящие газы, двигаясь по теплообменнику, отдают теплоту, выделяющуюся при горении. Затем, проходя через распределительные трубопроводы, они поступают в барботажное устройство и барботируются через толщу субстрата, отдавая всю заключенную в них теплоту. В результате субстрату полностью передается теплота уходящих газов, а так же создается циркулирующий поток внутри биогазовой установки.[9,10]

Традиционные устройства факельного сжигания топлива используются в процессах получения биогаза для утилизации излишков биогаза. В процессе работы биогазовых установок бывают аварийные ситуации, связанные с повышением давления биогаза в резервуарах выше допустимого, или технологические ситуации, связанные с необходимостью технического обслуживания заполненных биогазом систем, при которых необходимо удалять биогаз.

Однако непосредственное удаление биогаза в атмосферу невозможно из-за высокой степени парникового воздействия метана, основной составляющей биогаза. Для сокращения вредного воздействия удаляемого биогаза его сжигают с помощью факельных установок.

Использование каталитических устройств в утилизаторах биогаза в аварийных и технологических ситуациях позволяет сократить выбросы вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием топлива по сравнению с традиционными факельными устройствами сжигания. Непосредственно заменяя традиционные устройства факельного сжигания разрабатываемыми системами можно повысить безопасность утилизации биогаза. Для осуществления возможности монтажа вместо существующих устройств утилизации для про-

цессов получения биогаза разрабатываемые каталитические системы могут снабжаться стандартными монтажными соединениями (сварное, фланцевое или резьбовое соединение). В связи с тем, что для аварийных и технологических утилизаторов в настоящее время не предусмотрено специальное охлаждение, каталитические устройства утилизации должны снабжаться эффективными воздушными теплообменниками для поддержания температуры систем в допустимых пределах.

Особенности каталитических устройств сжигания позволяют создавать новые технические решения устройств, применяемых для процессов получения биогаза. При создании биогазовых установок совокупность узлов и систем для обеспечения технологического процесса размещаются в специальных помещениях. Причем при создании малых биогазовых установок в большинстве случаев они полностью размещаются в специальных помещениях. При размещении узлов и систем газопроводов и газораспределительных систем в помещениях возможны ситуации накопления биогаза в помещениях. Непосредственное проветривание помещений приводит к загрязнению атмосферы сильным парниковым газом – метаном. В таких ситуациях эффективным является использование каталитических устройств для полного низкотемпературного окисления горючих компонентов биогаза. Процесс горения на поверхности каталитического наполнителя начинается с концентрации метана 0,5% объема, что приблизительно в 9 раз ниже взрывоопасной концентрации. Это позволяет производить утилизацию скопившегося в помещении биогаза при периодическом проветривании помещений через каталитические устройства сжигания. При этом будет выделяться теплота, которая может быть использована для обогрева проветриваемых помещений, причем подогретые после процесса каталитического горения уходящие газы являются безопасными и могут быть возвращены в помещение.

Цель работы

На основе анализа существующих технических решений в области каталитических устройств разработать ряд схемно-конструктивных решений каталитических систем для процессов получения биогаза из органических отходов, отличающихся особенностями организации взаимодействия потока реагентов с каталитическим наполнителем, что позволит интенсифицировать процесс протекания реакции, а так же оптимизировать конструктивные особенности каталитических систем в зависимости от особенностей технологического процесса.

Разработка новых каталитических систем для процессов получения биогаза

Создание псевдооживленного слоя с высокой интенсивностью перемешивания требует уменьшения его толщины, что приводит к сокращению времени контакта реагирующей смеси с каталитическим наполнителем. Для решения этой задачи была разработана схема каталитической системы, состоящей из совокупности последовательно расположенных псевдооживленных слоев каталитического наполнителя, представленная на рисунке 3.

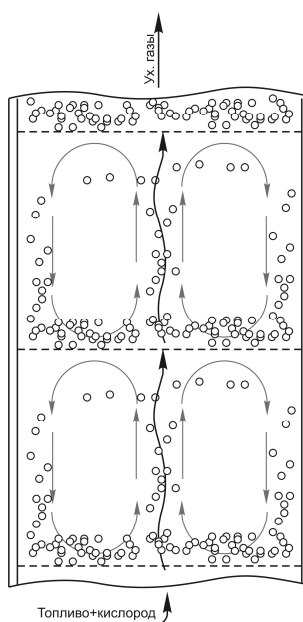


Рисунок 3 – Разработанная каталитическая система со множеством псевдоожигенных слоев

В таких каталитических системах (рисунок 3) топливо и кислород подаются снизу на решетку, на которой расположен небольшой слой каталитического наполнителя, при прохождении через наполнители часть смеси сгорает с выделением теплоты, а так же организуется интенсивное перемешивание каталитического наполнителя. Затем недогоревшая смесь направляется на следующую решетку, где происходит аналогичный процесс. Количество секций с высоко интенсивными псевдоожигенными слоями определяется скоростью реакции в каждой секции. Уходящие газы удаляются через выходной патрубок каталитической системы.

Использование подобных каталитических систем позволяет оптимизировать параметры каждого слоя наполнителя по параметрам интенсивности перемешивания, что способствует равномерному распределению температуры внутри каталитического наполнителя, позволяющему повысить интенсивность протекания реакции в каждом конкретном слое.

Для предложенной схемы каталитических систем со множеством псевдоожигенных слоев была разработана конструкция, представленная на рисунке 4.

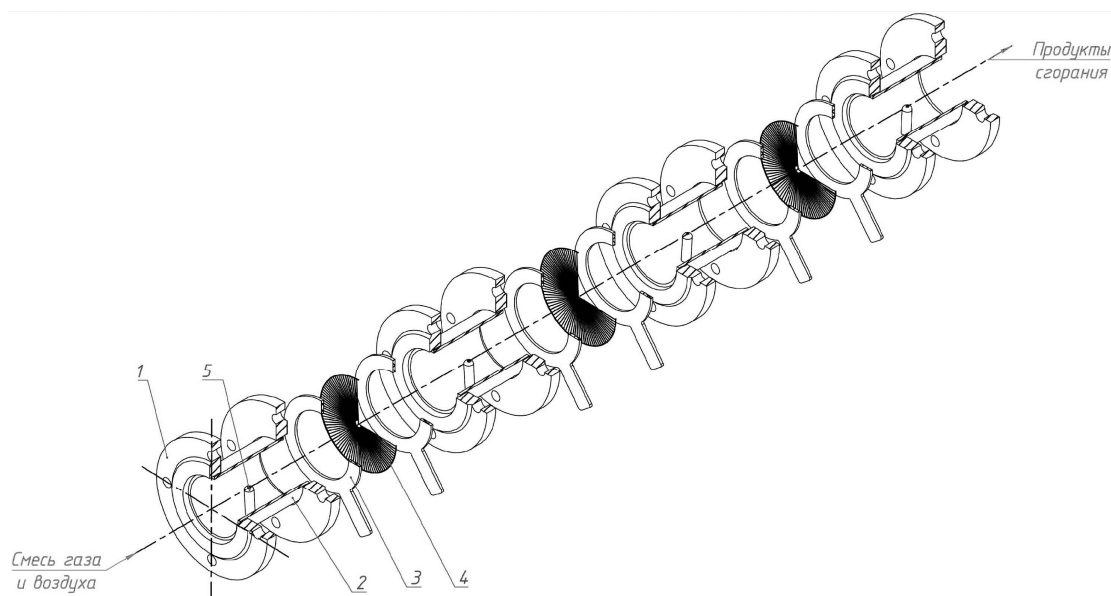


Рисунок 4 – Конструктивное исполнение разработанных каталитических систем со множеством псевдоожигенных слоев

1 – фланец Ду65; 2 – труба Dn76, L=100мм; 3 – прокладка уплотнительная; 4 – разграничительная сетка; 5 – гильза под термодатчик.

Каталитическая секция состоит из двух фланцев 1, трубы необходимой длины 2 и вмонтированной гильзы под термодатчик 5. Секции между собой соединяются с помощью фланцевого соединения, причем между фланцами размещается разграничительная сетка 4, препятствующая перемещению каталитического наполнителя из одной секции в другую и организующая псевдооживленный слой. На рисунке 4 представлена каталитическая система, состоящая из 5 секций, причем начальная и конечная секции не участвуют в процессе протекания реакции и играют роль входного выходного патрубков. Составные части представленной каталитической системы являются стандартизированными и унифицированными деталями, использующимися при строительстве трубопроводов.

Каждая каталитическая секция в системе, изображенной на рисунке 4, представляет собой блок определенной мощности. Подобный блочный вариант исполнения позволяет осуществлять быструю замену блока для устранения неисправностей или утилизации, а так же позволяет собирать из типовых каталитических секций каталитические системы различной мощности.

В предложенной на рисунке 4 конструкции каталитических систем со множеством псевдооживленных слоев важной составляющей работоспособности систем является направление действия силы тяжести, которая позволяет организовывать движение каталитического наполнителя. Таким образом, предложенные конструктивные решения не позволяют использовать разработанные каталитические системы в положении, отличающемся от вертикального.

Для исключения подобных конструктивных ограничений была разработана конструкция каталитических систем со множеством псевдооживленных слоев, функционирующая в горизонтальном положении (Рис. 5)

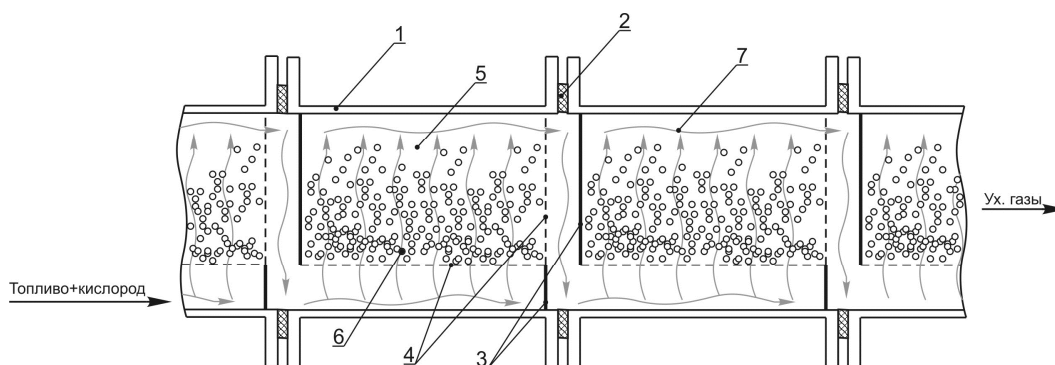


Рисунок 5 – Горизонтальный вариант исполнения каталитических систем со множеством псевдооживленных слоев:

1 – каталитическая секция; 2 – межсекционная прокладка; 3 – направляющие потока; 4 – сетчатые решетки; 5 – камера для наполнителя; 6 - каталитический наполнитель; 7 – направление потока смеси

В каталитических системах, представленных на рисунке 5, принцип функционирования аналогичен представленному на рисунке 3, топливо-воздушная смесь последовательно проходит через несколько решеток с псевдооживленным слоем каталитического наполнителя. Однако ограничение движения смеси с помощью направляющих позволяет подавать смесь в нижнюю часть каталитической секции, из которой она через решетку поднимается в камеру для наполнителя и создает интенсивный псевдооживленный слой, затем через другую сетчатую решетку частично прореагировавшая смесь направляется в следующую секцию каталитической системы.

Горизонтальный вариант исполнения каталитических систем со множеством псевдооживленных слоев предоставляет гибкость использования подобных систем в сочетании с другим технологическим оборудованием в различных процессах получения биогаза из органических отходов.

Перспективным является создание каталитических систем, отличающихся от систем с псевдооживленным слоем более интенсивным и направленным перемещением каталитического наполнителя. Для решения этой задачи была разработана схема каталитической системы с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой, представленная на рисунке 6.

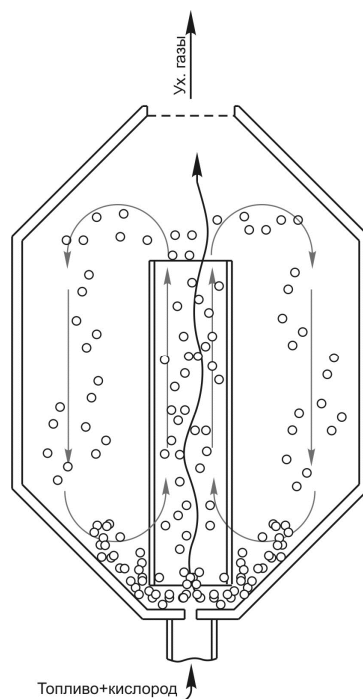


Рисунок 6 – Разработанная каталитическая система с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой

В каталитических системах с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой (рисунок 6) топливо и кислород подаются снизу через специальное сопло или диафрагму, которые позволяют увеличить скорость потока смеси и обеспечить интенсивный унос каталитического наполнителя в подъемную трубу. При движении по подъемной трубе осуществляется реакция, в результате которой наполнитель и уходящие газы разогреваются. На выходе из подъемной трубы сила, действующая на наполнитель со стороны потока уходящих газов, ослабляется, и каталитический наполнитель под действием силы тяжести возвращается к основанию подъемной трубы. Уходящие газы удаляются через выходной патрубок каталитической системы.

Использование подобных каталитических систем позволяет интенсифицировать процесс протекания реакции за счет большего времени контакта реагентов смеси с поверхностью перемещаемого ею каталитического наполнителя, а так же обеспечить организованное возвращение прогретого в процессе реакции каталитического наполнителя в зону подачи топливно-воздушной смеси.

Для предложенной схемы каталитических систем с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой была разработана конструкция, представленная на рисунке 7.

Каталитическая система состоит из входного и выходного фланцев 1, используемых для монтажа системы, входного и выходного патрубков 2, причем входной патрубков снабжен диафрагмой для увеличения скорости топливно-воздушной смеси. Так же система состоит из четырех переходов 3, 6, необходимых для организации движения топливно-воздушной смеси и циркуляции каталитического наполнителя.

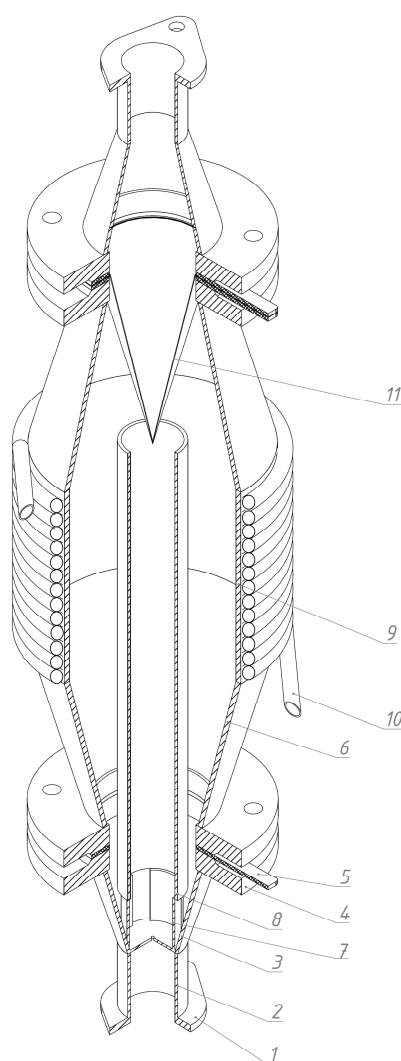


Рисунок 7 – Конструктивное исполнение разработанных каталитических систем с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой
1 – фланец Ду 40, 2 – труба Dn45, L=50 мм, 3 – переход Ду80-Ду40, 4 - фланец Ду 70, 5 – прокладка, 6 - переход Ду80-Ду40, 7 – опорные пластины, 8 – труба подъемная Ду40, 9 – труба Ду150, 10 – труба медная Ду10, 11 – сетка коническая.

Входной и выходной патрубки соединяются с циркуляционной камерой с помощью фланцев 4, которые так же используются для монтажа конической сетки 11, необходимой для отделения каталитического наполнителя от уходящих газов, уплотнение осуществляется с помощью прокладки 5. Подъемная труба 8 фиксируется в полости каталитической системы с помощью опорных пластин 7. Каталитическая система так же состоит из трубы 9, обмотанной медной трубой 10, используемой для охлаждения каталитической системы.

Основная часть составляющих представленной каталитической системы является стандартизированными и унифицированными деталями, использующимися при строительстве трубопроводов.

Каталитическая система, изображенная на рисунке 7, представляет собой блок. Подобный блочный вариант исполнения позволяет осуществлять быструю замену блока для устранения неисправностей или утилизации, а так же позволяет собирать из типовых каталитических элементов каталитические системы различной мощности.

В предложенной на рисунке 7 конструкции каталитических систем с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой охлаждение осуществляется с помощью спирального теплообменника, расположенного на внешней стенке каталитической системы. Однако подобный тип охлаждения может приводить к перегреву каталитического наполнителя при его движении по подъемной трубе.

Для решения задачи перегрева наполнителя была разработана конструкция каталитических систем с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой с внутренним охлаждением (Рисунок 8).

Каталитическая система аналогично изображенной на рисунке 7 состоит из входного и выходного фланцев 1, используемых для монтажа системы, входного и выходного патрубков 2, причем входной патрубок

снабжен дроссельной диафрагмой 7 для увеличения скорости топливно-воздушной смеси. Так же система состоит из четырех переходов 3, 6, необходимых для организации движения топливно-воздушной смеси и циркуляции каталитического наполнителя. Входной и выходной патрубки соединяются с циркуляционной камерой с помощью фланцев 4, которые так же используются для монтажа конической сетки 11, необходимой для отделения каталитического наполнителя от уходящих газов, уплотнение осуществляется с помощью прокладки 5.

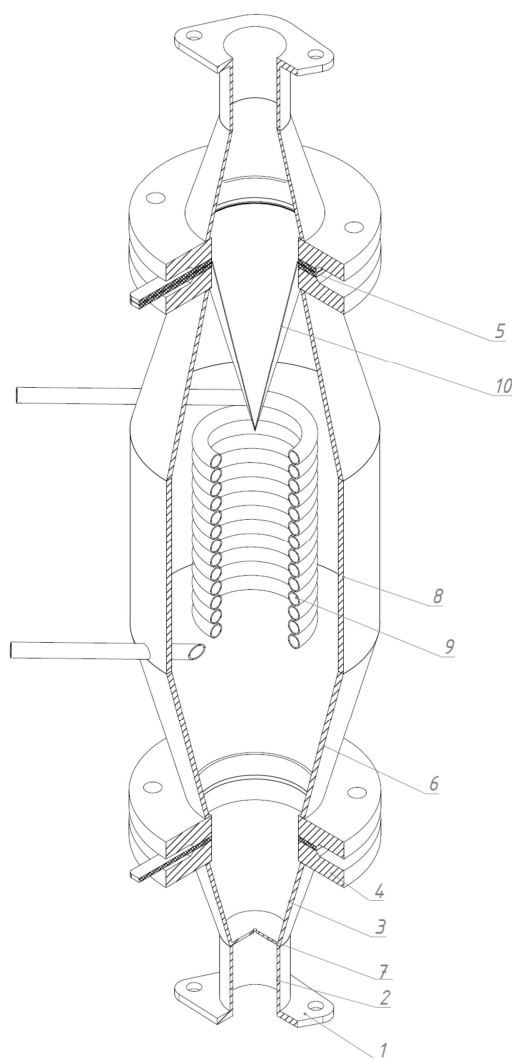


Рисунок 8 – Вариант исполнения каталитических систем с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой с внутренним охлаждением
1 – фланец Ду 40, 2 – труба Dn45, L=50 мм, 3 – переход Ду80-Ду40, 4 - фланец Ду 70, 5 – прокладка, 6 - переход Ду80-Ду40, 7 – дроссельная диафрагма, 8 – труба подъемная Ду150, 9 – тепловоспринимающая трубка, 10 – сетка коническая

Однако роль подъемной трубы выполняет тепловоспринимающая трубка 9, закрученная в спираль. Каталитическая система так же состоит из трубы 9, в которой закреплены входной и выходной патрубки тепловоспринимающей трубки.

Основная часть составляющих представленной каталитической системы является стандартизированными и унифицированными деталями, используемыми при строительстве трубопроводов.

Каталитическая система, изображенная на рисунке 8, так же представляет собой блок, что позволяет осуществлять быструю замену блока для устранения неисправностей или утилизации, а так же позволяет собирать из типовых каталитических элементов каталитические системы различной мощности.

В представленных выше каталитических системах с циркулирующим каталитическим наполнителем увеличение мощности и производительности связано с увеличением высоты каталитической системы. Однако для удобства использования подобных систем в сочетании с другим технологическим оборудованием в различных процессах получения биогаза из органических отходов была разработана конструкция каталитических систем с циркулирующим каталитическим наполнителем в горизонтальном исполнении, представленная рисунке 9.

В каталитической системе, представленной на рисунке 9, топливо и кислород подаются через входную трубу, которая распределяет топливно-воздушную смесь по длине каталитической системы. Через совокупность входных отверстий смесь подается в каталитическую камеру, в которой создается циркуляция каталитического наполнителя и протекает реакция. Затем уходящие газы удаляются через выходную коллекторную трубу. Принцип функционирования каталитической системы, представленной на рисунке 9, похоже на каталитические системы с псевдоожигенным слоем.

Однако использование горизонтальной цилиндрической циркуляционной камеры и подвода смеси вдоль нижней образующей цилиндра позволяет организовать особый характер циркуляционного движения каталитического наполнителя, имеющий свои реакционные и тепловые особенности.

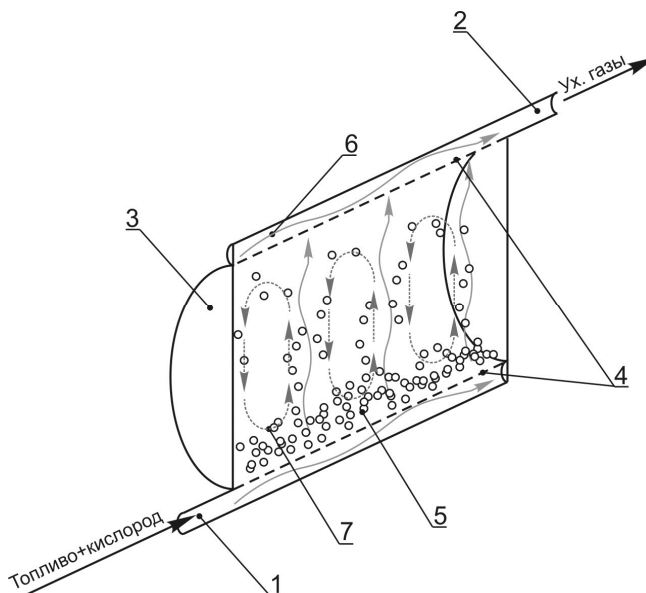


Рисунок 9 – Горизонтальное исполнение каталитических систем с циркулирующим каталитическим наполнителем

1 – входная распределительная труба; 2 – выходная коллекторная труба; 3 – циркуляционная камера; 4 – входные и выходные отверстия; 5 – каталитический наполнитель; 6 – направление потока; 7 – направление циркуляции наполнителя.

Выводы

Разработан ряд схемно-конструктивных решений каталитических систем для процессов получения биогаза из органических отходов, отличающийся особенностями организации взаимодействия потока реагентов с каталитическим наполнителем, что позволит интенсифицировать процесс протекания реакции, а так же оптимизировать конструктивные особенности каталитических систем в зависимости от особенностей технологических процессов.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 16.552.11.7050 от 29 июля 2011 г.) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «МарГТУ».

Библиографический список

1. Лукьянов, Б. Н. Экологически чистое окисление углеводородных газов в каталитических нагревательных элементах / Б. Н. Лукьянов, Н. А. Кузин, В. А. Кириллов, В. А. Куликов, В. Б. Шигаров, М. М. Данилова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – №9. – с. 667 – 677
2. van Giezen, J. C. The development of novel metal-based combustion catalysts / J.C. van Giezen, M. Intven, M. D. Meijer et al. // Catal. Today. – 1999. - № 47. – p. 191-197
3. Zhi-yong, P. A novel two-stage process for catalytic oxidation of methane to synthesis gas / P. Zhi-yong, D. Chao-yang, S. Shi-kong // Ranliao Huaxue Xuebao. – 2000. - № 4. – p. 348.
4. Theophilos, P. Development of a novel heat-integrated wall reactor for the partial oxidation of methane to synthesis gas / P. Theophilos, V. Xenophon // Catal. Today. – 1998. - № 46. – p. 71-81.
5. Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН – РЕВЕРС-ПРОЦЕСС - Каталитическая очистка отходящих газов [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION_ID=1483, свободный.
6. Ismagilov, Z. R. Fluidized bed catalytic combustion / Z. R. Ismagilov, M. A. Kerzhentsev // Catal. Today. – 1999. - № 47. – p. 339-346.
7. Онучин Е. М. Биогазовая установка с устройством для перемешивания и каталитического обогрева субстрата / Е. М. Онучин, А. А. Медяков, Р. В. Яблонский // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. - №11. – С. 91-94.
8. Сидыганов Ю. Н. Результаты математического моделирования процессов теплового перемешивания при анаэробном сбраживании органических отходов / Ю. Н. Сидыганов, Е. М. Онучин, Д. В. Костромин, А. А. Медяков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - № 24. – С. 332-338.
9. Онучин Е. М. Экспериментальный стенд для исследования процессов каталитического обогрева и перемешивания субстрата при анаэробном сбраживании / Е. М. Онучин, Д. В. Костромин, Ю. Н. Сидыганов, А. А. Медяков, Р. В. Яблонский // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - № 24. – С. 348-355.
10. Сидыганов Ю. Н. Математическое моделирование процессов функционирования каталитического подогревателя при обогреве биореактора анаэробного сбраживания органических отходов / Ю. Н. Сидыганов, Е. М. Онучин, Д. В. Костромин, А. А. Медяков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - №25. – С. 231-237.