

УДК 66.097.3

А. А. Медяков, А. Д. Каменских

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА

Приводится обзор существующих технических решений в области каталитических устройств. 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 системах позволяют интенсифицировать процесс протекания реакции, а также оптимизировать конструктивные особенности каталитических систем.

Ключевые слова: каталитические системы, катализатор, каталитический наполнитель, биогаз, псевдооживленный слой, циркулирующий слой.

Введение. 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].

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), 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 рис. 1 представлена 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

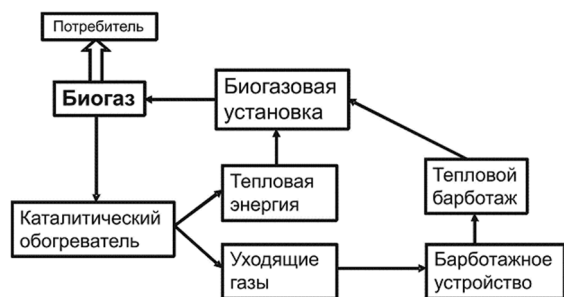


Рис. 1. Схема использования каталитических устройств сжигания для обогрева биогазовой установки

для обогрева биогазовой установки, а барботажное устройство с помощью уходящих газов создает тепловой барботаж, который одновременно служит для перемешивания субстрата и для его обогрева.

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 процессов получения биогаза разрабатываемые каталитические системы могут снабжаться стандартными монтажными соединениями (сварное, фланцевое или резьбовое). 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 девять 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.

Обзор существующих разработок. В настоящее время разработаны различные конструкции каталитических устройств сжигания. Наибольшее количество конструкций включают в себя неподвижный слой катализатора, через который пропускается топливовоздушная смесь. Однако из-за высокой экзотермичности реакции сжигания метана в первой части

неподвижного слоя катализатора возникают «горячие точки» с температурой выше 1500 °С [1]. Это обстоятельство предъявляет особые требования к конструкции каталитических наполнителей и каталитических систем.

При высоких температурах может произойти постепенное разрушение каталитического наполнителя и выход из строя всей каталитической системы. В связи с этим в каталитических системах используют высокотемпературные каталитические наполнители, в частности, в работе [2] предлагается использовать спеченные металлические частицы, покрытые высокопористыми керамическими слоями. Однако использование таких каталитических систем фактически не приводит к снижению температуры процесса горения, что не позволяет обеспечить конструктивные преимущества каталитических устройств сжигания и сократить выбросы вредных газов в атмосферу.

Для снижения температуры каталитического наполнителя до необходимых значений применяют контролируемый и распределенный ввод топлива и окислителя (кислорода). В частности, в работе [3] предлагается каталитическая система с введением кислорода в две стадии. Однако использование таких каталитических систем требует создания сложных систем распределенного ввода окислителя, либо топлива, а также сложной системы регулирования количества вводимых в каждой части каталитической системы топлив и окислителя. Для снижения температуры каталитического наполнителя до необходимых значений применяют дополнительное внешнее охлаждение. В частности, в работе [1] описываются каталитические горелки с применением внешнего водяного охлаждения.

Однако использование таких каталитических систем создает градиент температуры внутри наполнителя от центра к его периферии, что связано с необходимостью интенсивного охлаждения каталитических систем. В результате происходит охлаждение пристеночных слоев наполнителя вплоть до прекращения в них процесса горения.

Охлаждение наполнителя может осуществляться также с помощью дополнительного внутреннего охлаждения. В работе [4] предлагается для этого использовать керамическую трубчатую каталитическую систему с сопряженным по теплу внутренним алюминиевым теплообменником. Однако использование таких каталитических систем требует создания сложных теплообменных устройств и необходимость предварительного сопряжения их по теплу с каталитической системой.

Определенную группу представляют собой катализаторы, работающие не в стационарном режиме.

В связи с образованием фронта горения (охлаждения) в неподвижном слое катализатора при низких концентрациях топлива в смеси был предложен реверс-процесс, позволяющий изменять направление движения фронта на обратное при изменении направления подачи смеси топливо-окислитель. Периодический реверс газового потока позволяет создать в центре слоя катализатора высокотемпературную зону реакции (300-600 °С), а торцам слоя (заполненным инертным материалом) отводится роль регенераторов тепла [5].

Промежуточное место между каталитическими системами, работающими в стационарном режиме, и системами, работающими в нестационарном режиме, занимают каталитические системы с псевдооживленным слоем каталитического наполнителя. В работе [6] описывается каталитический генератор тепла с кипящим слоем со встроенными теплообменными устройствами. Очевидно, что каталитические системы с подвижным слоем катализатора обладают большей равномерностью распределения температур в толще каталитического наполнителя, что обеспечивает равномерное протекание реакции окисления во всем объеме каталитической системы. Это обусловлено перемешиванием каталитического наполнителя в направлении движения потока реагентов, что позволяет распределить высокотемпературные центры по всей толщине слоя, и в направлении, перпендикулярном движению потока реагентов, что позволяет сгладить неравномерность температур при естественном охлаждении поверхности систем.

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 также 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 (рис. 2). 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 также происходит интенсивное перемешивание каталитического наполнителя. Затем недогоревшая смесь направляется на следующую решетку, где происходит аналогичный процесс. Количество секций с высокоинтенсивными псевдооживленными 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.

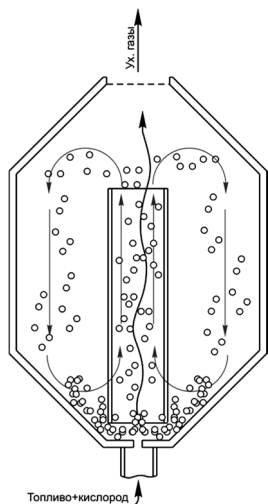


Рис. 3. Разработанная каталитическая система с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой

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 (рис. 3).

В каталитических системах с циркулирующим каталитическим наполнителем и подъемной трубой 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.

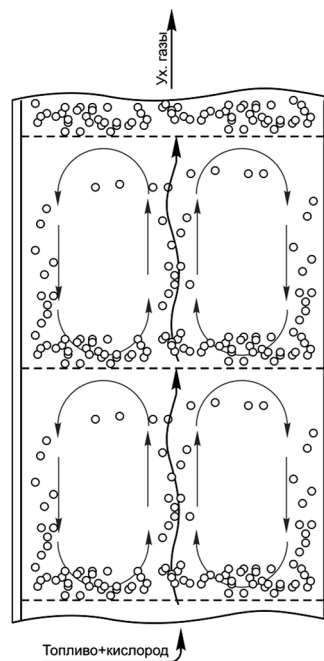


Рис. 2. Разработанная каталитическая система со множеством псевдооживленных слоев

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

Для решения задачи повышения эффективности функционирования каталитических систем было предложено увеличить время контакта каталитического наполнителя с потоком смеси реагентов. Для этого было предложено вводить каталитический наполнитель непосредственно в поток реагентов. В результате будет образовываться реагирующий поток, состоящий из транспортируемой смеси топливно-воздух и каталитического наполнителя, на поверхности которого будет происходить взаимодействие компонентов смеси. Причем скорость движения потока будет увеличиваться в связи с температурным расширением газов при экзотермической реакции. При своем движении поток может охлаждаться как с помощью внешних, так и внутренних теплообменников. Отделение каталитического наполнителя от потока уходящих газов может быть организовано разными способами.

На рис. 4 представлена схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с продольным отделением от потока.

Отделение наполнителя от потока происходит при движении по кольцу. Под действием центробежных сил каталитический наполнитель, обладающий большей плотностью по сравнению со смесью реагентов, при движении по кольцу смещается к периферии. Затем наполнитель отделяется с помощью продольного отделителя и транспортируется в зону подачи топливно-воздушной смеси.

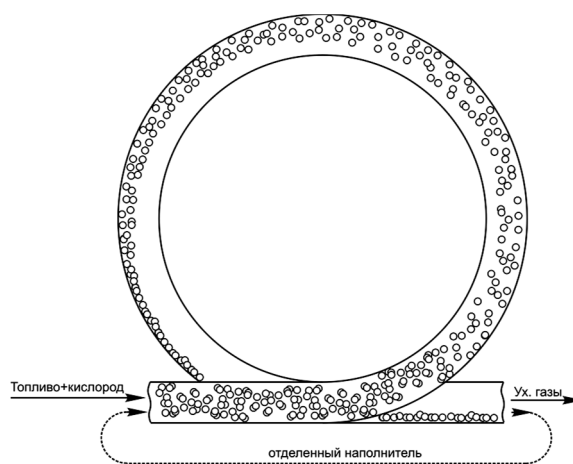


Рис. 4. Схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с продольным отделением от потока

На рис. 5 представлена схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с поперечным отделением от потока. Отделение наполнителя от потока происходит при движении по спиральной направляющей. Под действием центробежных сил каталитический наполнитель, обладающий большей плотностью по сравнению со смесью реагентов, при движении по спиральной направляющей смещается к периферии трубы. Затем наполнитель отделяется от потока с помощью поперечного отделителя и транспортируется в зону подачи топливно-воздушной смеси.



Рис. 5. Схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с поперечным отделением от потока

На рис. 6 представлена схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с сепарационным отделением от потока.

Отделение наполнителя от потока происходит в специальном сепарационном устройстве. Под действием центробежных сил каталитический наполнитель, обладающий большей плотностью по сравнению со смесью реагентов, при движении по сепарационному устройству смещается к его периферии. Затем наполнитель под действием силы тяжести удаляется через нижний патрубок сепарационного устройства, а уходящие газы удаляются через верхний патрубок. Затем осуществляется транспортировка наполнителя в зону подачи топливно-воздушной смеси.

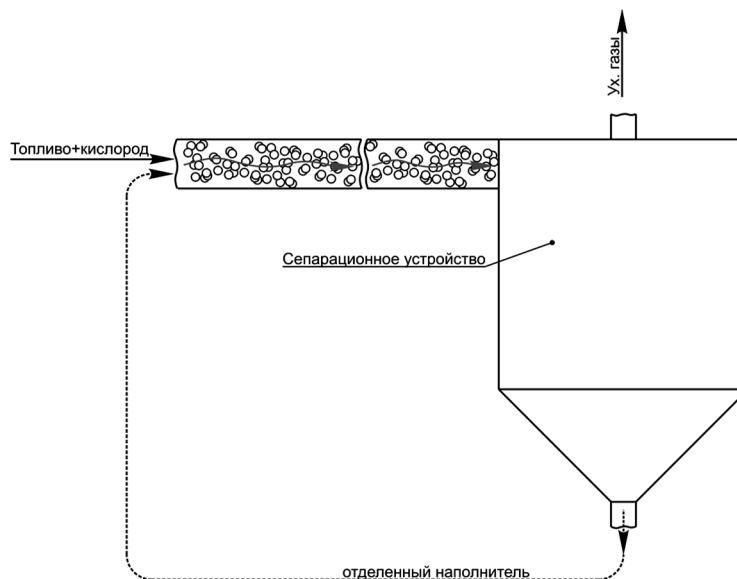


Рис. 6. Схема функционирования каталитической системы с перемещаемым каталитическим наполнителем с сепарационным отделением от потока

Выводы. На основе анализа существующих технических решений в области каталитических устройств был разработан 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 также оптимизировать конструктивные особенности каталитических систем в зависимости от особенностей технологических процессов.

Список литературы

1. Лукьянов, Б. Н. Экологически чистое окисление углеводородных газов в каталитических нагревательных элементах / Б. Н. Лукьянов, Н. А. Кузин, В. А. Кириллов и др. // 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.

Статья поступила в редакцию 08.09.11.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ на оборудовании Центра коллективного пользования «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей».

A. A. Medyakov, A. D. Kamenskikh

**NEW CATALYTIC SYSTEMS DEVELOPMENT FOR THE PROCESSES
OF BIOGAS RECEIPT**

A review of existing technical solutions for catalytic devices is carried out. On the basis of analysis of existing technical solutions, new circuit-constructive solutions of catalyst systems for the processes of biogas production from organic waste are offered. Peculiarities of organization of interaction of the flow of reagents with catalytic filler in the proposed catalytic systems allow to intensify the process of reaction as well as to optimize constructive peculiarities of catalyst systems.

Keywords: *catalyst systems, catalyst, catalytic filler, biogas, fluidized bed, circulating bed.*

МЕДЯКОВ Андрей Андреевич – ассистент кафедры эксплуатации машин и оборудования МарГТУ. Область научных интересов – утилизация органических отходов, процессы получения экологически чистых энергоносителей. Автор 13 публикаций.

E-mail: MedyakovAA@marstu.net

КАМЕНСКИХ Александр Дмитриевич – инженер кафедры эксплуатации машин и оборудования МарГТУ. Область научных интересов – утилизация органических отходов, процессы получения экологически чистых энергоносителей. Автор семи публикаций.

E-mail: KamenskihAD@gmail.com