

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА БЕСПЛАМЕННОГО ТИПА ДЛЯ ОГНЕВОЙ УТИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ОТХОДОВ

Суздальцев В.Е., Вислогузов Р.А., Долгов С.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Одной из наиболее приоритетных задач, поставленных перед мировым научным сообществом, является утилизация техногенных отходов, образующихся при производстве и человеческой жизнедеятельности. В зависимости от вида и назначения отходов в их составе может содержаться более 200 опасных соединений [1], способных нанести непоправимый вред человеку и окружающей среде. Учитывая темпы развития человечества, масштабы проблемы очевидны, поскольку даже в странах с передовыми технологиями утилизации доля перерабатываемых жидких отходов не превышает 60%. В результате отходы скапливаются в огромном количестве, создавая потенциальную опасность загрязнения окружающей среды.

В связи с вышеперечисленным разработка технических решений для утилизации жидких углеводородных отходов является актуальной задачей научных исследований.

Среди возможных путей утилизации можно выделить четыре основных направления: захоронение, регенерация, огневое обезвреживание и переработка для получения нового продукта [2].

По мнению авторов, к наиболее перспективному направлению можно отнести огневое обезвреживание. Это направление позволяет утилизировать даже локальные малотоннажные скопления отходов углеводородов, что дает возможность использовать её в труднодоступных регионах. При этом одновременно решается проблема энергообеспечения отдаленных от основных транспортных магистралей и труднодоступных районов.

Ранее при участии авторов были разработаны конструктивные модификации горелочных устройств беспламенного типа для огневой утилизации жидких топлив [3], в качестве которых использованы керосин марки ТС-1 и смесь отходов легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). Физические исследования разработанных опорных моделей выполнялись на экспериментальных стендах, конструкции, принцип действия и методика испытаний которых описаны ранее [3].

Обзор исследований, произведенных на математических моделях, и анализ результатов натурных испытаний [3] позволяют заключить, что во всех изученных горелочных устройствах из-за низкой скорости смесеобразования в пористом слое процесс полного окисления топлива требует высокого избытка воздуха ($\alpha=2-6$). Снижение коэффициента избытка воздуха относительно этих значений приводит к превышению нормативных уровней по недожогу топлива, горение при этом выходит за пределы реакционной зоны, то есть в «неэкологичном» факельном режиме, использующем диффузию атмосферного кислорода в качестве окислителя.

Целью работы определено тестирование посредством численного моделирования конструктивного исполнения и компоновки элементов горелочных устройств, направленное на интенсификацию смесеобразования в пористом слое при избытках воздуха, близких к стехиометрическим.

С применением программного комплекса Ansys Multiphysics произведено математическое моделирование фронта горения при различных условиях истечения и получены детальные профили полного и статического давления, температуры и концентрации компонентов в зоне горения. Исходными данными для математического моделирования являлись геометрические и режимные параметры выбранной модели

горелочного устройства [3]. По результатам исследования предложена модернизированная система огневой утилизации жидких углеводородных отходов в виде теплогенерирующей установки (рис. 1), в которой:

- камера сгорания (2) выполнена в виде полого цилиндра, что исключает утечку топливовоздушной смеси через стены камеры;
- воздушный инжектор (5) выполнен с перфорациями вдоль всей длины, что обеспечивает равномерную подачу воздуха в камеру сгорания по направлениям: снизу вверх и из центра – к периферии (топливным инжекторам);
- топливные инжекторы (4) равномерно расположены вокруг воздушного инжектора, что позволяет обеспечить равномерное перемешивание окислителя (воздуха) и топлива.

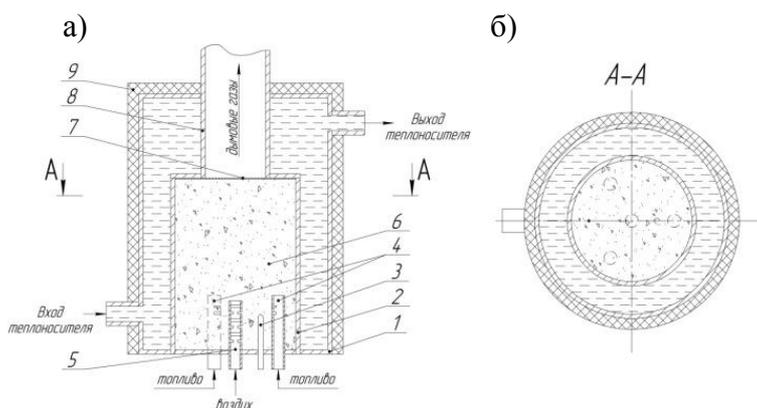


Рис. 1. Продольный (а) и поперечный (б) разрезы теплогенерирующей установки на жидких углеводородных отходах: 1 – корпус; 2 – камера сгорания; 3 – запальный элемент; 4 – топливные инжекторы; 5 – воздушный инжектор; 6 – пористый наполнитель (криптол); 7 – стальная сетчатая насадка; 8 – канал продуктов сгорания; 9 – тепловая изоляция

В ходе вариативного исследования установлено, что при начальной температуре пористого слоя ниже температуры воспламенения топлива сходимость решения уравнений установившегося режима горения и теплообмена не достигается. На основании этого можно заключить, что из-за тепловой инерции пористого наполнителя автотермическое горение в изучаемом горелочном устройстве возможно только в случае предварительного прогрева пористой среды выше температуры воспламенения топлива. Именно раскаленная фракция наполнителя является источником зажигания.

Контурные графики скорости химической реакции и массовой доли окислителя (рис. 2) позволяют оценить геометрические размеры реакционной зоны, выделить области кинетического и диффузионного горения. Жидкое топливо, двигаясь в слое разогретого пористого наполнителя, разогревается и испаряется. На наружных границах топливной струи происходит её диффузия в воздушный поток. Образованная топливовоздушная смесь воспламеняется, формируя узкий фронт кинетического горения, в котором выгорает не более 50 % топлива. Так, вблизи перфораций топливных инжекторов наблюдаются наибольшие значения скорости химической реакции – 200 моль/(м³·с). Дальнейшее горение происходит в диффузионном режиме по мере смесеобразования, в результате чего фронт горения занимает треть объема пористой засыпки (рис. 2,а). Средняя расчетная скорость реакции в этой области 90 моль/(м³·с). Эти данные имеют практическую значимость для расчета интегральных характеристик утилизации углеводородных отходов.



Рис. 2. Распределение скорости химической реакции, $\text{кмоль}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$, (а) и массовой доли кислорода, $\text{кг}/\text{кг}$, (б) в продольном сечении камеры сгорания

Несмотря на то, что зона реакции локализована в нижней части камеры сгорания, благодаря прогреву дымовыми газами и теплопроводности в пористом слое распределение температур по объему камеры сгорания имеет близкий к равномерному характер (рис. 3). Следует отметить, что в стационарном режиме значения температуры гранул наполнителя уравниваются с температурой омывающего их потока дымовых газов.

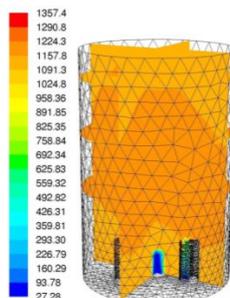


Рис. 3. Распределение температуры (K) в продольном сечении камеры сгорания

Максимальное значение температуры в зоне горения (1357 K) не превышает 1473 K – порога образования «воздушных» окислов азота NO_x [4]. В связи с этим можно утверждать, что сжигание жидких углеводородных отходов в данном устройстве будет сопровождаться низкими выбросами этих вредных веществ в окружающую среду.

Результаты математического моделирования предлагаемого к применению устройства огневой утилизации жидких углеводородных отходов показали, что оно обладает рядом особенностей:

- тепловая инерция наполнителя затрудняет регулирование мощности, а также требует времени для прогрева устройства и перехода в автотермический режим;
- равномерное тепловыделение в камере сгорания делает возможным организацию полезного теплосъема с использованием рубашки охлаждения;
- низкие температуры в реакторе являются фактором снижения выбросов оксидов азота и ряда других вредных веществ при огневой утилизации жидких углеводородных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филатов Д.А., Селявский В.Ю. Потенциал использования углеводородокисляющих микроорганизмов для утилизации отработанных масел, а также жидких органических радиоактивных отходов // Сб. науч. трудов XI Междунар. конф. студ. и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск: ТПУ, 2014. – С. 520–523.

2. Григоров А.Б. Комплексная переработка отработанных моторных масел // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 5. – С. 40–44.
3. Долгов С.В., Ключко К.И., Табакаев Р.Б. Испытания горелочного устройства // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 2. – С. 38–41.
4. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ВЫХОДНОМ УСТРОЙСТВЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Винтер М.Ю., Бубнов А.Д., Блинов В.Л.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург

Центробежные нагнетатели природного газа (ЦБН) являются основной рабочей машиной компрессорных станций отечественных газопроводов. В большинстве случаев они выполняются одно- или двухступенчатыми и представляют собой стационарные турбомашинны сравнительно большой массы [1].

Основными элементами проточной части одноступенчатого нагнетателя являются входная улитка, рабочее колесо, диффузор и выходная улитка. От аэродинамического совершенства каждого из них зависит эффективность ЦБН в целом.

В настоящей работе проводится численное исследование работы выходной улитки ЦБН. Существует несколько типов выходных улиток: трапециевидная, боковая и сборная камера [2, 3].

Трапециевидная образуется двумя коническими и одной внешней стенкой. Характер течения сильно зависит от угла раскрытия боковых стенок. Чем больше угол, тем выше потери давления в улитке. В то же время с уменьшением угла сокращаются радиальные габариты улитки, форма перехода к круглому патрубку выходного диффузора становится более логичной, уменьшаются потери трения, т.к. меньше площадь смоченной поверхности. Кроме того, данный тип улиток создаёт окружную неравномерность в своём начальном сечении. Это может приводить к нестационарным нагрузкам на ротор, особенно опасным при больших давлениях на нерасчётных режимах.

Боковые улитки могут располагаться как со стороны нагнетания, так и всасывания в зависимости от компоновки проточной части. Спиральная часть улитки отделена от диффузора осесимметричным каналом, что уменьшает влияние улитки на окружную неравномерность. Поток в них движется по винтовым траекториям, а ЦБС прижимает его к стенкам, препятствуя возникновению срывов. Поперечные сечения следует выполнять в виде окружностей во избежание лишнего вихреобразования.

При больших давлениях из-за риска повреждения ротора вследствие окружной неравномерности применяют сборные камеры с постоянным по центральному углу сечением. Течение в них неупорядоченно из-за зависимости расхода газа от центрального угла, но на нерасчётных режимах значительно выше возможность выравнивания параметров потока по окружности. Роль языка улитки при умеренных давлениях играет разделительное ребро. При высоких давлениях от данного элемента отказываются.