

**УДК 62-69**

Р.А. ВИСЛОГУЗОВ, СТУДЕНТ ГРУППЫ 5ВМ61 (ТПУ), С.В. ДОЛГОВ,  
инженер (МУП г. Нижневартовска «Теплоснабжение»)  
Научный руководитель Р.Б. ТАБАКАЕВ, к.т.н., научный сотрудник (ТПУ)  
г. Томск

## **ПРЕДПОСЫЛКИ К ОГНЕВОЙ УТИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ В ТЕПЛОГЕНЕРАТОРАХ БЕСПЛАМЕННОГО ТИПА**

Проблема утилизации жидких техногенных отходов является одной из приоритетных задач, решаемых мировым сообществом. Главными источниками подобных отходов являются нефтеперерабатывающие предприятия, химическая промышленность и автомобильный транспорт. В зависимости от вида и назначения отходов в их составе может содержаться более 200 опасных соединений, способных нанести непоправимый вред человеку и окружающей среде [1]. По оценке экспертов, к настоящему времени в мире уже накоплено более 1 млрд тонн [2]. Более того, ежегодно образуется порядка 30-40 млн т отработки автомобильного масла, 32-35 млн т индустриальных масляных отходов и 60 млн т нефтешламов [3-5].

В странах ЕС, уделяющих особенно пристальное внимание экологии и ресурсоэффективности производства, более 25 % образующихся отходов подвергаются вторичной переработке. В ряде стран введено правило, согласно которому невозможно приобретение новых смазочных материалов без отправки на утилизацию отработанных. В таких странах норма сбора отработки достигает 60 % от потребленного количества смазочных материалов [6]. В России доля отходов, направляемых на переработку, составляет примерно 15 % от всего количества образующихся [1, 7].

По мнению авторов, к наиболее перспективному направлению утилизации можно отнести огневое обезвреживание. Причем огневая утилизация позволит одновременно решить проблему энергообеспечения отдаленных от основных транспортных магистралей и труднодоступных районов. На данный момент энергоснабжение этих районов обеспечивается за счет привозного дизельного топлива, стоимость которого из-за транспортных расходов возрастает в разы.

В связи с вышеперечисленным разработка технических решений по огневой утилизации жидких углеводородных отходов и использованию полученной энергии для нужд малой энергетики является актуальной задачей научных исследований.

При осуществлении огневого способа утилизации жидких отходов главными проблемами являются обеспечение взрывопожаробезопасности и экологичности сжигания. В качестве одного из возможных вариантов,

позволяющих решить перечисленные проблемы, рассмотрена огневая утилизация жидких углеводородных отходов в беспламенном режиме.

Целью работы определено разработка и тестирование посредством численного моделирования конструктивного исполнения теплогенератора беспламенного горения.

Предложен вариант системы огневой утилизации жидких углеводородных отходов в виде теплогенерирующей установки (рис. 1). В её основе лежит камера сгорания (2), выполненная в виде газоплотного, полого, заполненного химически-инертным пористым наполнителем цилиндра диаметром 57 мм и высотой 200 мм. Фронт горения в такой камере стабилизируется с помощью участка пористой засыпки (6), установленного на пути топливовоздушного потока и предварительно разогретого до температуры воспламенения топлива, что является важным начальным условием для математического моделирования.

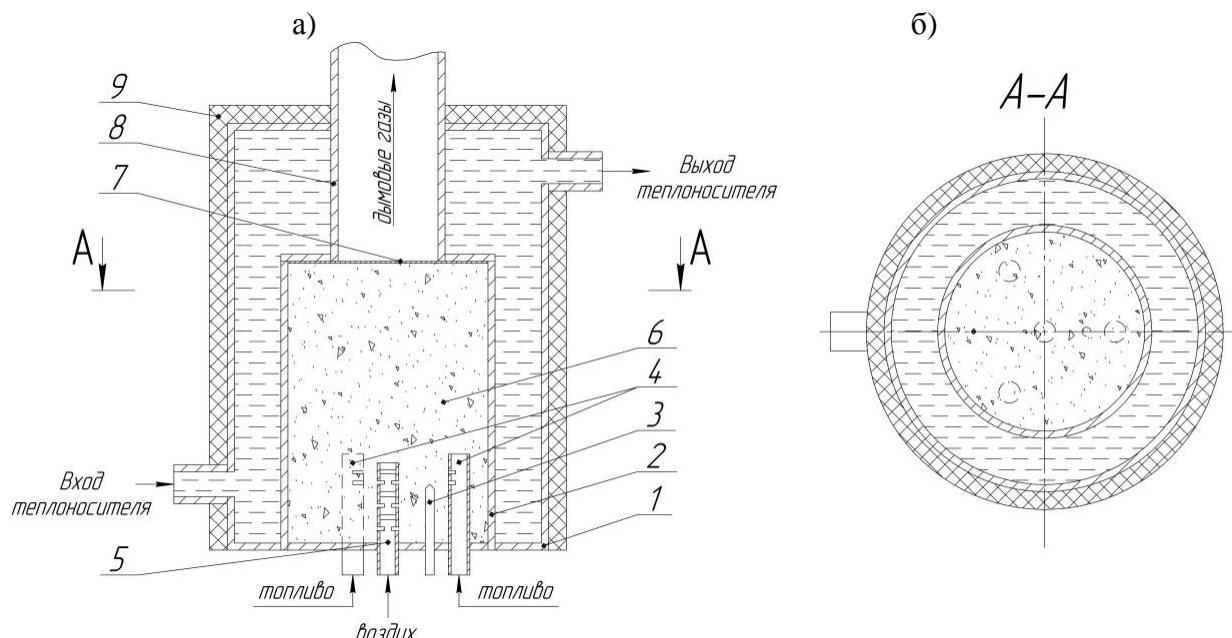


Рисунок 1 – Продольный (а) и поперечный (б) разрезы теплогенерирующей установки на жидких углеводородных отходах: 1 – корпус; 2 – камера сгорания; 3 – запальный элемент; 4 – топливные инжекторы; 5 – воздушный инжектор; 6 – пористый наполнитель (криптол); 7 – стальная сетчатая насадка; 8 – канал продуктов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

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.

В ходе вариативного исследования с разными значениями температуры воспламенения пористого слоя установлено, что при начальной температуре пористого слоя ниже температуры воспламенения топлива сходимость решения уравнений установившегося режима горения и теплооб-

мена 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/(м<sup>3</sup>·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/(м<sup>3</sup>·с). Эти данные имеют практическую значимость для расчета интегральных характеристик утилизации углеводородных отходов.

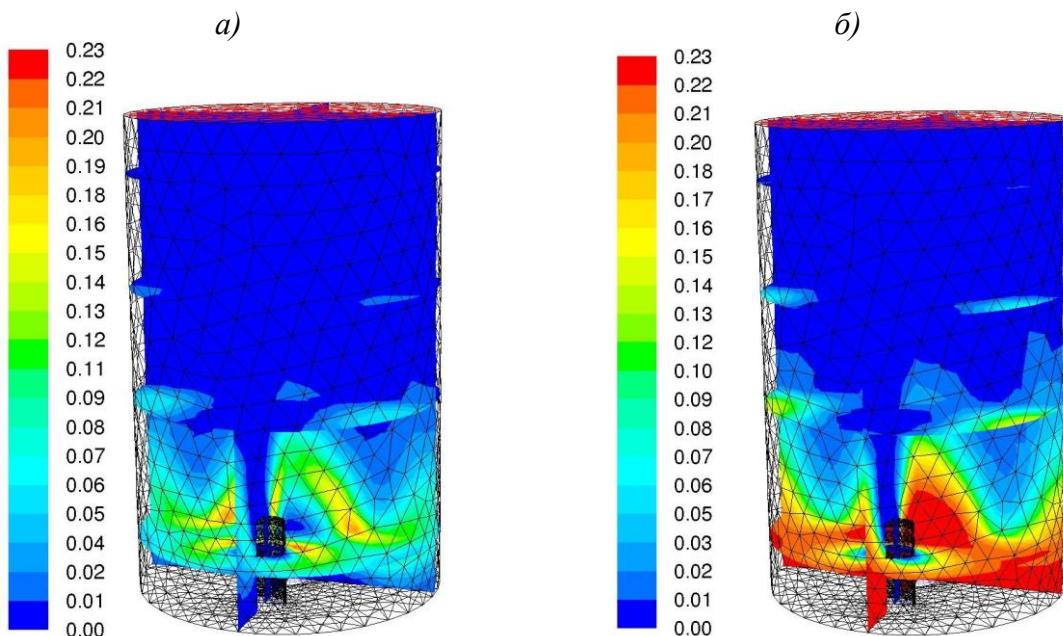


Рисунок 2 Распределение скорости химической реакции, кмоль/(м<sup>3</sup>·с), (а) и массовой доли кислорода, кг/кг, (б) в продольном сечении камеры сгорания

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.

Максимальное значение температуры в зоне горения (1357 К) не превышает 1473 К – порога образования «воздушных» окислов азота  $\text{NO}_x$  [8]. В связи с этим можно утверждать, что сжигание жидких углеводородных отходов в данном устройстве будет сопровождаться низкими выбросами этих вредных веществ в окружающую среду. По мере отдаления от центра температура в пористом слое уменьшается, и в пристеночной области её значения варьируются в диапазоне 1036–1220 К.

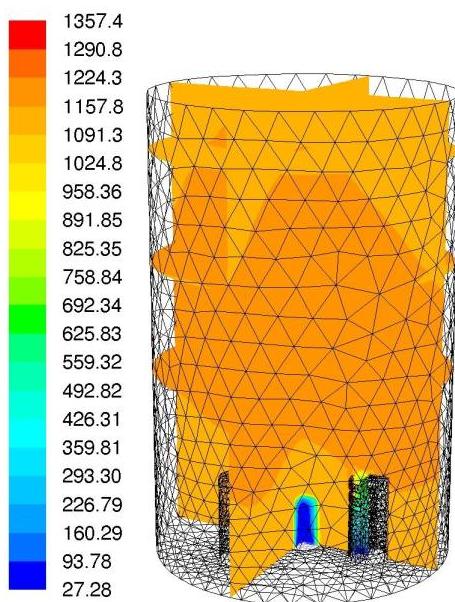


Рисунок 3 Распределение температуры (К) в продольном сечении камеры сгорания

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

- высокое аэродинамическое сопротивление пористого слоя обуславливает преобладание диффузионного горения;
- 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.

Установлено, что благодаря теплопроводности в пористой среде и тепловой инерции наполнителя происходит интенсивный теплообмен по-

ристой среды с топливовоздушной смесью, выравнивается объемное распределение температуры, а реакционная зона заполняет большую часть камеры сгорания. Однако преобладание диффузионного горения требует большого избытка воздуха и длинных траекторий спутных течений топлива и окислителя для исключения недожога.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-50126 (мол\_нр).*

#### Список литературы:

1. Филатов, Д. А. Потенциал использования углеводородокисляющих микроорганизмов для утилизации отработанных масел, а также жидких органических радиоактивных отходов [Текст] / Д. А. Филатов, В. Ю. Селявский // Сборник научных трудов XI Междунар. конф. студ. и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск: ТПУ, 2014. – С. 520–523.
2. Hu G. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review [Текст] / G. Hu, J. Li, G. Zeng // Journal of Hazardous Materials. – 2013. – V. 261. – P. 470–490.
3. Tripathi A. K. Selective production of valuable hydrocarbons from waste motorbike engine oils via catalytic fast pyrolysis using zeolites [Текст] / A. K. Tripathi, D. K. Ojha, R. Vinu // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2015. – V. 114. – P. 281–292.
4. Lam S. S., Catalytic microwave pyrolysis of waste engine oil using metallic pyrolysis char [Текст] / S. S. Lam, R. K. Liew, C. K. Cheng, H. A. Chase // Applied Catalysis B: Environmental. – 2015. – V. 176–177. – P. 601–617.
5. BP Statistical Review of World Energy. 2015. <http://www.bp.com>.
6. Григоров А.Б. Комплексная переработка отработанных моторных масел [Текст] // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 5. – С. 40–44.
7. Дьяков М. С. Обоснование выбора ресурсосберегающих технологий утилизации отработанных масел [Текст] / М. С. Дьяков, Н. А. Солдатенко, И. С. Глушанкова // Экология и промышленность России. – 2011. – № 5. – С. 16–19.
8. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 стр.