

ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ К ТРАНСПОРТИРОВКЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Г.И. Павлов, П.В. Накоряков, О.Р. Ситников, А.И. Ахметшина

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева

Приведен способ сжигания топлива без распыления через форсунку благодаря преобразованию жидкой фракции в парогазовую фазу в вихревом потоке. Горючая жидкость в вихревую зону подается не через калиброванное отверстие (форсунку), а по трубке, имеющей диаметр в несколько десятков раз больше, чем диаметр форсунки. По данному принципу одинаково эффективно можно сжечь как товарные топлива, так и осмоленные жидкие горючие отходы без тонкой очистки.

Ключевые слова: технология утилизации, жидкие отходы, магистральные нефтепроводы, дизельное топливо

Technology of Recovery of Liquid Waste Generated During the Preparation of Main Pipeline for the Transportation of Diesel Fuel

G.I. Pavlov, P.V. Nakorjakov, O.R. Sitnikov, A.I. Akhmetshina

A.N. Tupolev Kazan National Research Technical University, 420111 Kazan, Russia

This article describes a method of burning fuel without spraying through the nozzle due to the conversion of the liquid fraction in the vapor phase in vortex flow. When this occurs the flammable liquid in the vortex zone is carried out not through a calibrated orifice (nozzle), and the tube having a diameter of several tens of times larger than the nozzle diameter. This principle is equally effective can be burned as fuel commodity and pitched liquid combustible waste without fine purification.

Keywords: technology of recovery, liquid waste, main pipelines, diesel fuel

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-08-4-7

Увеличение объемов выработки автомобильных топлив предполагает повышение объемов транспортировки нефтепродуктов. Наиболее эффективным средством доставки нефти и нефтепродуктов от производителя к потребителю является магистральный трубопроводный транспорт. Несмотря на существующую сеть нефтепродуктопроводов, трудности по обеспечению пропускной способности действующих нефтепродуктопроводов возникают все чаще [1].

Оптимальное решение задачи по обеспечению объемов

транспортировки нефтепродуктов — перевод магистральных нефтепроводов (МН) в магистральные нефтепродуктопроводы (МНПП).

Необходимость перевода части нефтепроводов под транспортировку товарных нефтепродуктов обусловлена рядом причин [2]. Технология перевода предусматривает очистку внутренней поверхности нефтепроводов от остатков нефти и асфальтосмолообразующих веществ (АСПО) химическим методом. Для этих целей широко используются специальные растворители, эффективно удаляю-

щие с внутренних поверхностей остатки нефти и твердые отложения. В работе [1] приведены результаты практических работ по реализации данной технологии очистки. Результаты контрольной партии пропускаемой топлива по очищенному участку нефтепровода свидетельствуют об эффективности предлагаемой технологии очистки.

Технология очистки внутренней поверхности нефтепровода от остатков нефти и твердых отложений путем их растворения в специальном растворителе, а также необходимость использо-

вания контрольной партии пропускаемого топлива приводит к образованию большого объема жидких углеводородов, загрязненных механическими частицами и различными смолами. Безусловно, эти жидкости требуют утилизации. Повторное их использование возможно после регенерации. Регенерация использованного растворителя и дизельного топлива финансово затратна. Немалая часть расходов приходится на транспортировку жидких отходов до нефтеперерабатывающих заводов железнодорожным или автомобильным транспортом. Эти затраты можно уменьшить, если использовать часть отходов в качестве источника тепловой энергии для получения пара или горячего теплоносителя. К тому же, согласно предложенной технологии очистка внутренней части корпуса линейных задвижек осуществляется методом пропарки с разборкой [1]. В настоящее время в нефтяной отрасли для получения пара широко используются передвижные парогенераторные установки ППУ 1600/100, в которых рабочим топливом является дизельное товарное топливо. Форсуночное горелочное устройство, используемое в ППУ 1600/100, не позволяет эффективно сжигать жидкие отходы, подобные загрязненным жидким углеводородам, образующимся при очистке внутренних стенок МН. Причин этому несколько:

1) механические частицы, содержащиеся в жидких отходах, часто являются причиной загрязнения калиброванных отверстий форсуночного блока, нарушая тем самым процесс распыления углеводородной жидкости, удаление твердых частиц из жидкой фракции требует применения специальных технологий;

2) высокое содержание смолистых соединений приводит к коксованию форсунок, вследствие которого нарушается ее работа;

3) в системе подачи топлива ППУ 1600/100 не предусмотрено регулирование давления жидкого топлива перед форсункой, мощность горелки регулируется поочередным подключением трех форсунок, расположенных на форсуночном блоке, штатные форсуночные рассчитаны на дизель-

ное топливо и использование других горючих жидкостей с другой вязкостью не предусмотрено;

4) штатная система поджига не обеспечивает безопасного воспламенения горючих жидкостей с низкой температурой вспышки.

Из-за вышеуказанных недостатков не представляется возможным использовать энергоемкие жидкие горючие отходы в качестве горючего в парогенераторных устройствах со штатными горелочными устройствами. Необходим другой принцип сжигания, согласно которому топливо должно преобразовываться в парогазовое состояние без распыления через форсунку. Горелочное устройство, в котором реализован данный принцип, разработано специалистами кафедры энергетических установок и реактивных двигателей Казанского национального исследовательского университета им. А.Н. Туполева. Сущность работы горелочного устройства заключается в том, что преобразование жидкой фракции в парогазовую фазу (распыление, испарение, термическое разложение) осуществляется в вихревом потоке. Причем поток упорядоченно прерывается, создавая пульсации газозвездного потока с определенной частотой. Подача горючей жидкости в вихревую зону осуществляется не через калиброванное отверстие (форсунку), а по трубке, имеющей диаметр в несколько десятков раз больше, чем диаметр форсуночки. По данному принципу одинаково эффективно можно сжечь как товарные топлива, так и осмоленные жидкие горючие отходы без тонкой очистки.

В настоящее время в УК "Татспецтранспорт" успешно эксплуатируются 72 модернизированные передвижные парогенераторные установки с безфорсуночным горелочным устройством ВГУ-1, разработанным по патенту РФ № 2508501 "Способ сжигания топлива и устройство для его осуществления" от 20.01.2013. Общий вид горелочного устройства, установленного на испытательном стенде, приведен на рис. 1.

Конструктивная схема безфорсуночного горелочного



Рис. 1. Общий вид безфорсуночного горелочного устройства ВГУ-1

Fig. 1. General view of the burner-free burner VBD-1

устройства ВГУ-1 приведена на рис. 2.

Основной элемент устройства — камера сгорания 1 (см. рис. 2), в которой топливо сгорает в пульсационном режиме. Камера сгорания имеет разборную конструкцию, состоящую из нижней и верхней частей, соединяющихся между собой замковым устройством. Такая конструкция обеспечивает удобство эксплуатации камеры сгорания при удалении из нее золы и остатка. В верхней части камеры сгорания расположено сопло 3 для выхода

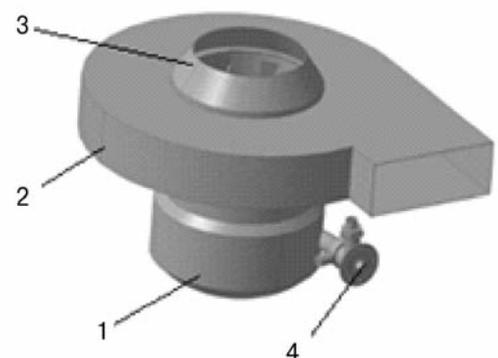


Рис. 2. Конструктивная схема ВГУ-1

Fig. 2. Constructive scheme of VBD-1

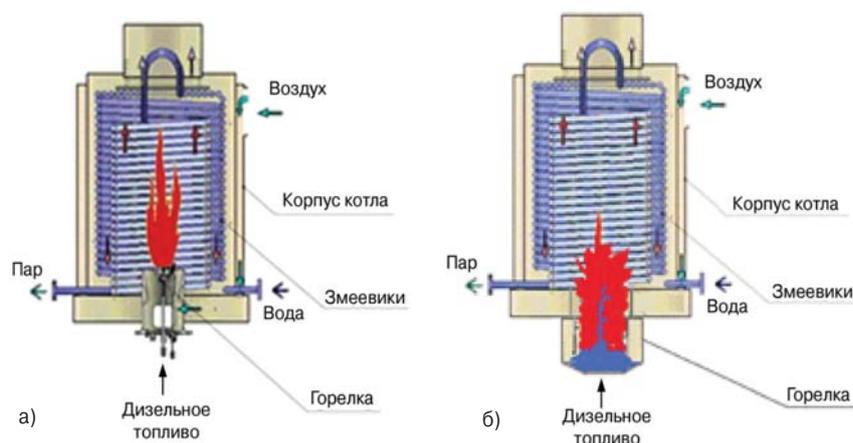


Рис. 3. Схема парового котла с форсуночным горелочным блоком (а) и с безфорсуночным горелочным узлом (б)
Fig. 3. Scheme of a steam boiler with a nozzle burner unit (a) and with a no-burner burner unit (b)

факела пламени. Воздух для горения в камеру подается принудительно от вентилятора тангенциально по воздуховоду 2. Такая схема подачи воздуха способствует созданию пристеночного воздушного слоя, ослабляющего конвективный теплообмен между высоко нагретыми газами и стенкой камеры. Горелочный узел снабжен запальной газовой горелкой 4 инжекционного типа. Кроме этого, в состав горелочного узла входит система подачи жидкого топлива (отходов), выполняющая следующие функции: обеспечивает однородность массы топлива, фильтрует крупные механические частицы, осуществляет его дозированную подачу.

Воспламенение топлива в камере сгорания 1 осуществляется запальным устройством 4. Запальная газовая горелка относительно поверхности жидкости расположена так, что факел пла-

мени при ее работе направляется непосредственно на горючую жидкость. Образующиеся при нагреве пары жидкости смешиваются с воздухом и при достижении концентрационного предела горючая смесь воспламеняется. Запальная горелка 4 работает на пропан-бутановой газовой смеси. Часть воздуха в камере сгорания подается тангенциально, благодаря чему в камере сгорания создается интенсивное вихревое движение парогазовой смеси. Подводимое в камеру сгорания топливо под воздействием воздушного потока распыляется в объеме камеры сгорания. Часть топлива растекается по стенкам, образуя тонкую защитную пленку. Пленка жидкости постоянно обновляется. Испаренное топливо увлекается вихревым газовым потоком, обогащая его горючими компонентами. В камеру сгорания воздух подается в количестве (50–60) % от стехиометрического соотношения. При таких условиях жидкое топливо в камере сгорания сильно газифицируется. В дальнейшем газифицированное топливо поступает в спиральный теплообменник, где подмешивается с вторичным воздухом и активно сгорает. Вторичный воздух в теплообменник подводится через периферийную часть сопла. Горячие отработанные газы, отдавая свое тепло воде через стенки змеевиков парогенератора, выбрасываются в атмосферу.

Средняя температура продуктов газификации в камере сгора-

ния составляет 800 °С. В теплообменнике средняя температура продуктов сгорания достигает 1600 °С. Температура наружной стенки камеры сгорания не превышает 100–120 °С, что существенно ниже предельных значений температуры стенки. Этому способствуют тангенциальная подача воздуха и пленочное охлаждение внутренней стенки.

На рис. 3 приведены конструктивные схемы парового котла с форсуночным горелочным блоком и безфорсуночным горелочным узлом.

Из рис. 3 видно, что при форсуночном распылении факел пламени вытянутый и пламя достигает холодных стенок теплообменника, в результате происходит осаждение сгоревшего топлива на стенках котла. Из теории горения известно, что при "замораживании" продуктов термического разложения углеводородных горючих нарушаются процессы горения.

Общий вид ППУ 1600/100 с безфорсуночным горелочным узлом ВГУ-1 показан на рис. 4. Модернизированная передвижная парогенераторная установка эксплуатировалась на широком спектре жидких горючих веществ:

- отходах нефтехимической отрасли (абсорбенте, пиролизных смолах и т.д.);
- отходах ГСМ (отработанных маслах, некондиционном дизельном топливе, донных осадках емкостей для содержания дизельного топлива и т.д.);
- низкосортном печном топливе.

При этом установлено, что концентрация вредных веществ в газовых выбросах, таких как оксиды азота и углерода, несгоревшие углеводороды, находится в допустимых пределах. Сравнительный анализ содержания вредных выбросов в продуктах сгорания дизельного топлива показывает, что их концентрации при работе ППУ на штатном (форсуночном) горелочном блоке существенно хуже, чем при работе ППУ на безфорсуночном горелочном узле.

ППУ 1600/100 с определенной периодичностью подвергаются регламентным работам. Один из видов работ — это осмотр и проверка состояния змее-



Рис. 4. Общий вид ППУ 1600/100 с безфорсуночным горелочным устройством ВГУ-1
Fig. 4. General view of MEU 1600/100 with a VBD-1 nozzle-free burner

вика. На рис. 5 приведены фотографии некоторых участков змеевикового теплообменника при работе ППУ на форсуночном горелочном блоке. На них отчетливо видны следы нагарообразования.

К причинам плохой работы штатного горелочного устройства можно отнести:

- длинный факел распыла (капли топлива не успевают испариться в зоне распыла и касаются холодных стенок змеевика, в результате чего капли охлаждаются и образуется сажа; впоследствии скорость образования нагара на стенках змеевика ускоряется, что связано с осаждением неиспарившихся капель жидкого горючего на твердых отложениях);

- неоднородность распыла центробежной форсунки (при распыле образуется большое количество крупных капель (до 15 %), которые в заданном объеме не успевают испариться и, как было отмечено выше, способствуют нагарообразованию);

- коксуемость форсунки (резко ухудшается распыл топлива, что приводит к образованию нагара в нижней части теплообменника, так как топливо стекает на дно тепловоспринимающего устройства);

- плохое перемешивание продуктов испарения с воздухом в зоне горения, результатом чего является повышенный химический и механический недожег — задымленность;

- узкий диапазон регулирования по мощности (в штатных



Рис. 5. Состояние стенок змеевикового теплообменника:
а, б – внутренняя и наружная поверхности змеевика соответственно

Fig. 5. The condition of the walls of the coil heat exchanger:
a, b – the inner and outer surfaces of the coil, respectively

горелочных устройствах имеются три форсунки, которые предназначены для дискретного регулирования расхода топлива; форсунки расположены под углом к оси змеевикового теплообменника, при их работе путь прохождения капель до холодных стенок змеевика резко сокращается).

Замечено, что использование безфорсуночного горелочного узла позволяет избежать нагарообразования на стенках теплообменника. Этому способствуют технологические особенности сжигания топлива в ВГУ-1: топливо в полость змеевикового теплообменника поступает в газифицированном виде и в окислительной среде (создается путем подачи вторичного воздуха) быстро сгорает.

Опыт эксплуатации передвижной парогенераторной установки 1600/100 с модернизированным горелочным устрой-

ством ВГУ-1 показывает, что наряду с товарным топливом весьма успешно можно использовать горючие жидкие отходы, в том числе легковоспламеняющиеся (абсорбент) и пиролизные смолы (сильно осмоленные углеводородные жидкости). По физико-химическим свойствам к этой группе жидкостей наиболее близки жидкие горючие отходы, образующиеся при очистке МН. На основании этого можно прийти к выводу о перспективности получения дешевой тепловой энергии путем сжигания жидких горючих отходов (загрязненного растворителя, дизельного топлива или их смесей), образующихся при переводе МН в нефтепродуктопроводы, в модернизированном горелочном устройстве. Горелочное устройство ВГУ-1 можно также использовать в составе других теплоэнергетических агрегатов.

Литература

1. Ревель-Муроз П.А. и др. Перевод на транспортировку дизельного топлива нефтепровода и оборудования, применяемого на объектах ОАО "АК "Транснефть". Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. № 2 (18). С. 16–20.

2. Ченцов А.Н. и др. Опыт экспериментально-практических мероприятий по подготовке линейной части нефтепровода к транспортировке дизельного топлива экологического класса 5. Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. № 3 (15). С. 32–38.

References

1. Revel'-Muroz P.A. i dr. Perevod na transportirovku dizel'nogo topliva nefteprovoda i oborudovaniya, primenyaemogo na ob'ektakh ОАО "АК "Transneft". Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nenfteproduktov. 2015. № 2 (18). S. 16–20.

2. Chentsov A.N. i dr. Opyt eksperimental'no-prakticheskikh meropriyatii po podgotovke lineinoi chasti nefteprovoda k transportirovke dizel'nogo topliva ekologicheskogo klassa 5. Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nenfteproduktov. 2014. № 3 (15). S. 32–38.

Г.И. Павлов – д-р техн. наук, зав. кафедрой, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, 420111 Россия, г. Казань, ул. К. Маркса 10, e-mail: Pavlov16@mail.ru • П.В. Накорьяков – канд. техн. наук, доцент, e-mail: nakorjakov@mail.ru • О.П. Ситников – канд. техн. наук, доцент, e-mail: halmer169990@mail.ru • А.И. Ахметшина – ассистент, e-mail: Galimova.alfiya@mail.ru

G.I. Pavlov – Dr. Sci. (Eng.), Head of Department, A.N. Tupolev Kazan National Research Technical University, 420111 Russia, Kazan, Karl Marks Str. 10, e-mail: Pavlov16@mail.ru • P.V. Nakorjakov – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: nakorjakov@mail.ru • O.R. Sitnikov – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: nakorjakon@mail.ru • A.I. Akhmetshina – Teaching Fellow, e-mail: alfiya@mail.ru