

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА (05.14.04)

УДК 620.9:662.92.001.5

DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-42-51

## Энергоэффективное использование отработанных нефтепродуктов в качестве топлива

В.А. Кожевников, С.К. Попов

Отработанные нефтепродукты в России представляют из себя материальный поток, образующийся в технологической системе транспорта нефти и нефтепродуктов, который характеризуется множественностью разнородных составляющих (отработанные масла, нефтешламы, некондиционные жидкие топлива и др.) и распределенностью источников указанных составляющих практически по всей территории страны. Утилизация потока с соблюдением экологических нормативов является актуальной задачей. Одно из перспективных направлений ее решения — использование отработанных нефтепродуктов как топлива в смежных технологиях с получением энергосберегающего эффекта.

Представлен обзор исследований, на основе которых в некоторых странах сформулированы требования, предъявляемые к отработанным нефтепродуктам как к топливу и зафиксированные в нормативно-правовой базе этих стран, а также признаваемые международным правом. Разработка нормативно-правовой базы по использованию отработанных нефтепродуктов как топлива чрезвычайно важна для промышленной теплоэнергетики России

Выполнен анализ результатов исследований свойств отработанных нефтепродуктов, проведенных сертифицированными лабораториями для системы «Транснефть» за последние 15 лет. Систематизированы сведения о содержании в отработанных нефтепродуктах углеводородов, воды и механических примесей, галогенсодержащих и других загрязнителей, а также о температуре вспышки, плотности, вязкости, теплоте сгорания. Исходя из этого, выделены три основных вида отработанных нефтепродуктов, наиболее перспективных для использования в качестве топлива и топливных компонентов: отработанные масла, горючая часть нефтешламов и некондиционное дизельное топливо.

Энергосберегающий эффект может быть достигнут посредством использования теплогенераторов на отработанных нефтепродуктах в качестве замещающих энергогенерирующих установок в системах теплоснабжения, горячего водоснабжения, автономного обогрева. Выполнен сопоставительный анализ возможных схемных решений по подключению теплогенераторов на отработанных нефтепродуктах в применении к объектам системы «Транснефть». Приведен перечень организационно-технических мероприятий, обеспечивающих максимум энергосберегающего эффекта при реализации предложенных схемных решений.

*Ключевые слова:* сжигание отработанных нефтепродуктов, загрязнители жидкого топлива, энергоэффективность.

*Для цитирования:* Кожевников В.А., Попов С.К. Энергоэффективное использование отработанных нефтепродуктов в качестве топлива // Вестник МЭИ. 2020. № 2. С. 42—51. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-42-51.

## Energy Efficient Use of Waste Petroleum Products as Fuel

V.A. Kozhevnikov, S.K. Popov

Waste petroleum products in Russia are a material stream generated in the petroleum and petroleum products technological transport system and is characterized by a multitude of heterogeneous components (spent oils, oil sludge, substandard liquid fuels, etc.) and by distribution of their sources throughout the country. Utilization of this stream in compliance with the environmental standards is a challenging issue. One of promising approaches to solving this problem is the use of waste petroleum products as fuel in related technologies with obtaining an energy saving effect.

The investigations based on which the requirements for waste petroleum products as fuel were set forth and fixed in the regulatory framework in some countries and also recognized by international law are reviewed. The development of a regulatory framework for using waste petroleum products as fuel is extremely important for the thermal power industry of Russia.

The results from the investigations into the properties of waste petroleum products conducted by certified laboratories for the Transneft system over the past 15 years have been analyzed. Information on the content of hydrocarbons, water and mechanical impurities, halogen-containing and other pollutants in the waste petroleum products, as well as data on their flash point, density, viscosity, and heating value have been arranged in a systematic way. Based on these processed data, three main types of waste petroleum products most promising for use as fuel and fuel components have been identified: spent oils, combustible part of oil sludge, and substandard diesel fuel.

An energy saving effect can be achieved through the use of heat generators operating on waste petroleum products as replacing power-generating installations in heat supply systems, hot water supply systems, and autonomous heating systems. A comparative analysis of possible circuit solutions for connecting heat generators operating on waste petroleum products as applied to Transneft system facilities has been carried out. A list of organizational and technical measures that will provide the maximum energy saving effect in implementing the proposed design solutions is given.

*Key words:* combustion of waste petroleum products, liquid fuel pollutants, energy efficiency.

*For citation:* Kozhevnikov V.A., Popov S.K. Energy Efficient Use of Waste Petroleum Products as Fuel. Bulletin of MPEI. 2020;2: 42—51. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-42-51.

## Введение

Технологическая система транспорта нефти и нефтепродуктов (СТН) в России характеризуется разветвленностью (свыше 69 тыс. км магистральных трубопроводов), множественностью и рассредоточенностью объектов — элементов этой системы. В частности, в СТН входят перекачивающие станции (513 шт.), крупные резервуары хранения (1620 шт. емкостью от 10 до 100 тыс. м<sup>3</sup>), площадки перевалки и налива нефти и нефтепродуктов железнодорожного и морского сообщения, заводы, строительные и ремонтные подразделения, объекты электро-, тепло- и водоснабжения, производственно-технические базы, научно-проектные организации, транспортные и административно-хозяйственные службы и др.

Транспортировка 84% добываемой в России нефти и произведенных нефтепродуктов по магистральным трубопроводам осуществляется организациями системы «Транснефть». Объем перекачиваемых нефтепродуктов и нефти составляет порядка 500 млн тонн в год [1].

Функционирование СТН сопровождается образованием отработанных нефтепродуктов (ОНП). В соответствии с [2] к ОНП относятся: отработанные масла, промывочные нефтяные жидкости, а также смеси нефти и нефтепродуктов, образующиеся при зачистке средств хранения, транспортирования, извлекаемые из нефте-содержащих вод.

Согласно [3], отработанные нефтепродукты должны быть максимально утилизированы с обязательным условием соблюдения экологических нормативов. Анализ мировой практики обращения ОНП позволяет выделить направления их использования [4, 5]:

- регенерацию с целью восстановления нормативных характеристик масел, топлива, специальных жидкостей;

- вторичное использование:

- применение на менее ответственном оборудовании в качестве второсортных масел и смазок, промывочных и гидравлических жидкостей, для консервации оборудования; в ремонтно-строительных технологиях в качестве пылегазителя, смазки, мыла, гидрофобных и гидроизоляционных компонентов, битумных эмульсий; в производстве дорожных и кровельных покры-

тий, цемента, кирпича и керамических изделий, лакокрасочной продукции;

- переработку с целью получения новых нефтепродуктов, в том числе масел и топлива;

- использование в качестве котельно-печного топлива.

При выборе направления использования ОНП следует принимать во внимание следующие организационно-технические аспекты, характерные для России:

- образование ОНП происходит не постоянно, а по мере выработки ресурсов или зачистки оборудования на множестве объектов, где производится их сбор в небольших количествах, с разным составом и свойствами;

- территориальная разрозненность мест образования ОНП и длинные транспортные дистанции экономически не позволяют свозить и накапливать их на одном-двух объектах для последующей утилизации;

- места образования ОНП удалены от специализированных предприятий по регенерации или переработке;

- стационарные и мобильные центры регенерации или переработки не приспособлены к некоторым видам ОНП и их смесям;

- отсутствует техническая возможность проведения процедур регенерации и переработки ОНП в местах их образования и накопления ввиду требований промышленной безопасности отдельных объектов СТН;

- после регенерации образуются более опасные отходы, что требует поиска способов и выполнения процедур их последующего обезвреживания;

- существует необходимость лицензирования деятельности по обращению с нефтесодержащими отходами, несвойственной для отраслевой специфики организаций системы транспорта нефти и нефтепродуктов.

Анализ отмеченных аспектов приводит к выводу, что в условиях функционирования объектов СТН в России приоритетным направлением использования ОНП является сжигание в качестве котельно-печного топлива и топливных компонентов в смежных технологиях с получением энергосберегающего эффекта. Данное направление представляется перспективным, актуальным и нуждающимся в разработке новых технических решений, характеризующихся экологическим совершенством и энергоэффективностью. Актуальность подтверждается тем, что в организациях

системы «Транснефть» ежегодные объемы ОНП составляют тысячи тонн, часть которых пригодна для использования в качестве топлива.

### **Требования к отработанным нефтепродуктам как к топливу**

Углубленные исследования вариантов использования отработанных нефтепродуктов ведутся в разных странах с середины 1960-х гг. [6 – 13].

Анализ токсичности выбросов при применении разных видов топлива приведен в монографиях International Agency for Research on Cancer [6]. Результаты исследований Texas Department of Transportation (TxDOT) и Texas Tech University (TTU) с целью изучения углеводородного состава и свойств отработанных масел в сравнении со свежими маслами, поиска пути их восстановления и продления жизненного цикла представлены в [7].

В материалах исследований Vermont Agency of Natural Resources предложено рассматривать в качестве топлива отработанные масла от бензиновых и дизельных автомобилей, изложены данные о составе загрязнителей и эмиссии выбросов при их сжигании в теплогенераторах, описаны методики исследований [8]. В числе загрязнителей указывается на редкое выявление мышьяка, вероятность обнаружения которого в выбросах встречается чаще, чем в исходных топливах. Наличие бария и бериллия в составе масел и стандартных видов топлива США объясняется особенностями применяемых в США технологий переработки тяжелых и битуминозных видов нефти. В других странах обнаружение этих веществ в составе топлив и масел большая редкость, только если на рынки стран попадают нефтепродукты из США либо применяются присадки и компоненты для нефтепереработки, поставляемые оттуда.

Физико-химические свойства тяжелых нефтяных топлив, сведения об их токсикологической, санитарной и экологической (без)опасности описаны в отчете CONCAWE [9]. В публикации Department of the Interior и Geological Survey US дан анализ содержания загрязнителей в тяжелых нефтяных топливах — мазутах и битумах [10]. Приведено сопоставление осредненного состава и концентраций загрязнителей в этих топливах с маслами. Установлено, что масла являются более предпочтительным видом топлива в сравнении с обычными топливными смесями, мазутами и битумами.

В исследованиях министерства окружающей среды Новой Зеландии представлены оценка выбросов загрязняющих веществ в различных производствах при сжигании ОНП и анализ данных по составу загрязнителей и выбросов при использовании Residual-топлив [11]. Оценка эмиссии выбросов дана в зависимости от технологий сжигания, типа и мощности сжигающих установок.

Результаты исследования отработанных картерных и трансмиссионных масел, проведенные с целью опре-

деления их пригодности для регенерации, вторичного использования или сжигания (обезвреживания), приведены в [12]. В качестве топливных характеристик изучены температура вспышки и содержание загрязнителей: мышьяка, кадмия, хрома, свинца, хлора, галогенов, полихлорированных бифенилов (ПХБ). Проведено сопоставление концентраций загрязнителей с нормами ЕС, стандартами ASTM и данными исследований США. Анализ показал, что концентрации тяжелых металлов в отработавших маслах существенно зависят от степени износа двигателей. Большое количество загрязнителей выявлено в автомобилях старше 15 лет, масла которых не подлежат восстановлению. По содержанию галогенов и ПХБ не выявлено препятствий для сжигания отработанных масел в качестве топлива.

American Petroleum Institute (API) с участием National Oilheat Research Alliance (NORA) представил крупную аналитическую работу [13] по использованию отработанных нефтепродуктов за последние 20 лет. Выполнен сопоставительный анализ состава загрязнителей и других характеристик основных видов топлива и масел, приведена оценка токсичности. На основе собственных исследований и доступных источников информации сделан вывод в том, что одним из перспективных направлений использования ОНП является сжигание в качестве топлива после предварительной очистки, а по мере возможности — смешивание с доступными высококалорийными компонентами для получения энергоэффективных топливных композиций и обеспечения высокой экологической безопасности. Приведены прогнозируемые характеристики выбросов при сжигании топливных композиций, полученных с применением ОНП.

На основе проведенных исследований в США сформирована нормативно-правовая база в области использования ОНП как топлива, зафиксированная в Своде федеральных правил (Code of Federal Regulations — CFR) Агентства по охране окружающей среды США.

Международным правом признаны нормы, регулирующие обращение ОНП согласно разделу 40 Свода федеральных правил Агентства по охране окружающей среды США (части 241, 279, 761 и 260 [14 — 17]). Согласно им, ОНП являются топливом, если они соответствуют следующим требованиям:

- топливо должно иметь температуру вспышки не ниже 100 °F (38 °C) и содержать галогенов не более 4000 ppm;
- отработанные масла могут быть отнесены к отходам, если они содержат галогенов более 1000 ppm, если содержание менее 1000 ppm, то они отходами не являются (если их не удалять в виде отходов);
- к свободному обращению и импорту в США допускаются топлива с содержанием ПХБ не более 5 ppm, представляющие низкий уровень опасности (например, Petrochemical standards [18, 19]). Разовое

сжигание с образованием выбросов в атмосферу допускается для топлива с содержанием не более 10 ppm ПХБ;

- любое топливо, содержащее от 2 до 50 ppm ПХБ, подлежит контролю и может сжигаться только в специализированных горелочных устройствах при условии, что среднегодовое значение не превысит 25 ppm;

- сжигание ОНП в качестве топлива с содержанием от 5 до 50 ppm ПХБ должно осуществляться только в следующих установках: промышленные печи (разного назначения); котлы (промышленные, коммунальные, энергетические); воздухонагреватели/отопители масляные; инсинераторы для сжигания отходов;

- сжигание ОНП с содержанием 50 ppm ПХБ и более в качестве топлива запрещается, кроме технологий по специальным техническим условиям, разрешенных под контролем надзорных органов.

Для ОНП как топлива учитываются такие же характеристики, как для стандартных видов топлива — мазутов и судовых топлив, классифицируемых как Residual-топлива, в том числе и для их композиций, полученных путем смешивания (см. части 241 и 279 раздела 40 CFR).

Международными стандартами содержание ПХБ в ОНП не нормируется [20, 21].

Стандартами России ограничение содержания ПХБ в ОНП не определено, но по ГОСТ 31378 для нефти, разрешенной для сжигания в котельно-печном оборудовании, содержание хлорорганических соединений, включая ПХБ, установлено до 10 ppm [22].

За последние 30 — 40 лет по мере совершенствования технологий очистки нефти и нефтепродуктов, производства масел, топлива, нефтяных жидкостей и синтетических нефтепродуктов концентрации загрязнителей снизились многократно, что только повышает ценность ОНП как топлива. Динамика снижения концентрации загрязняющих веществ в маслах иллюстрируется данными табл. 1 [23]. По этой причине концентрации ПХБ и суммарные концентрации галогенов становятся главным критерием применимости ОНП в качестве топлива.

Таблица 1

#### Изменение концентрации загрязнителей в маслах

Наименование загрязнителя	Концентрация по годам, ppm		
	1980	1990	2000
Мышьяк	20	—	0,06
Барий	137	1,0...7	3,4
Кадмий	4,0	0,3...7	1,0
Хром	38	2,0...7	4,1
Свинец	555	20...146	4,1
Цинк	707	570...2370	2,0
Галогены	5500	100...440	5,7...7,8

Перечни нормируемых загрязняющих веществ, содержащихся в топливах и маслах, приведены в каталогах American Society for Testing and Materials (ASTM), например Petrochemical standards [18].

Изучая данные названных выше источников, важно отметить, что в магистрали СТН входят продукты, которые уже были подвергнуты очистке на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), поставляющих готовые нефтепродукты, и на месторождениях, закачивающих нефть после специальной обработки (очистки). Состав углеводородов и содержание загрязняющих веществ в виде тяжелых металлов и солей нефтешламов месторождений и НПЗ представлены в [24 — 27]. Состав загрязнителей, образующихся в процессах регенерации ОНП, приведен в справочнике [28] Министерства природных ресурсов РФ. Сброс загрязненных нефтепродуктов и необработанной нефти в магистрали СТН запрещен.

Близки к ОНП по составу и свойствам мазуты, дизельные и судовые топлива, требования к которым на территории России изложены в [21]. Стандарт для Residual-топлив из ОНП, находящихся по совокупности характеристик между стандартными мазутами и дизельными топливами, в нашей стране отсутствует. Разработка нормативно-правовой базы по использованию ОНП как топлива в промышленной теплоэнергетике России является актуальной организационно-технической задачей.

#### Анализ состава и свойств отработанных нефтепродуктов

Для определения соответствия ОНП как топлива установленным требованиям и реализации качественного сжигания ОНП необходимо знание таких характеристик, как состав, температура вспышки, вязкость, теплота сгорания. С целью сбора и анализа упомянутых характеристик были изучены архивы системы «Транснефть» за последние 15 лет, из которых отобрано более 300 паспортов и протоколов испытаний всех отработанных нефтепродуктов. Это позволило:

- систематизировать сведения о содержании в ОНП углеводородов, воды и механических примесей, галогенсодержащих и других загрязнителей, а также о температуре вспышки, плотности, вязкости, теплоте сгорания;

- сформировать выборку ОНП с характерными повторениями максимально полного спектра веществ, что в свою очередь позволило выделить 23 типичных образца, относящихся к трем видам ОНП: отработанные масла, горячая часть нефтешламов и некондиционное дизельное топливо. Эти виды ОНП представляют наибольший интерес в качестве топлива и топливных компонентов.

Испытания проводились аккредитованными лабораториями системы «Транснефть» и федерального го-

сударственного бюджетного учреждения «Центр лабораторного анализа и технических измерений» (ЦЛАТИ) Росприроднадзора.

Состав ОНП по 23 образцам в укрупненном виде представлен в табл. 2 (здесь и далее используются массовые проценты).

В нефтешламах углеводороды состоят в основном из битумов, смол и асфальтенов, а в составе механических примесей преобладают глина и песок.

### Загрязняющие вещества

В таблице 3 приведена более детальная информация о составе ОНП, а именно о содержании загрязняющих веществ, нормируемых в разных странах при сжигании ОНП. Показаны данные, максимальные (для неочищенных ОНП) и средние (для очищенных ОНП) по выборке протоколов испытаний.

У нефтешламов максимальные концентрации загрязняющих веществ содержатся в битумном осадке, накапливающем в себе наиболее тяжелые вещества: металлы, глину, песок и соли, чья плотность больше

1 кг/л. Такие осадки не могут быть использованы в качестве топлива, но могут частично применяться как компоненты в пиролизных технологиях или добавки к отходам, подлежащим термическому обезвреживанию в инсинераторах, для повышения их калорийности и температуры горения.

Суммарное содержание металлов в образцах ОНП (за вычетом железа и кальция) иллюстрируется данными табл. 4, где даны концентрации максимальные для исходных ОНП и минимальные — для очищенных. Высокие степени очистки отработанных масел и нефтешламов свидетельствуют об эффективности применяемых технологий.

В таблице 4 показан исходный средний уровень концентрации металлов некондиционного дизельного топлива. Он существенно превышает концентрации, достигаемые в результате очистки отработанных масел и нефтешламов. Это свидетельствует о необходимости обязательной очистки некондиционных и осадочных партий дизельного топлива для последующего использования.

Таблица 2

### Укрупненный состав ОНП

Вид ОНП	Состав ОНП, %		
	углеводороды	вода	механические примеси
Отработанные масла	78,0...99,37	0,14...5,4	0,00637...8,74
Нефтешламы	35,16...64,7	20,4...60,9	3,95...14,9
Некондиционное дизельное топливо	96,33	3,40	0,27

Таблица 3

### Содержание загрязняющих веществ в ОНП

Загрязняющее вещество	Нефтешламы		Отработанные масла		Некондиционное дизельное топливо, среднее
	максимальное	среднее	максимальное	среднее	
Кадмий, ppm	—	0	0,05	0	0
Свинец, ppm	17	4,23	15,7	8,75	0
Хром, ppm	120	0,61	2,2	0,18	19
Кобальт, ppm	0,47	0	0,05	0	0
Никель, ppm	17	4,93	5,6	1,2	0
Марганец, ppm	760	2,57	540	0,86	46
Медь, ppm	390	16,5	360	2,1	0
Цинк, ppm	58	15,3	500	1,35	35
ПХБ, ppm	—	<5	ПХБ, ПХД, терфенилы и галогены не выявлены		—
Галогены, ppm	—	<400			—
Кальций, %	0,042	0	0,7	0	0
Оксиды железа, %	9,7	0,08	0,84	0,001	0,26
Оксид алюминия, %	0,045	0,0003	< 0,1	0	0
Сера, %	—	0,347	3,0	0,03	<0,5

Примечание: ПХД — полихлорированные дифенилы; прочерк — данный показатель не определяли

Таблица 4

## Содержание металлов в ОНП

Вид ОНП	Содержание металлов (без Fe и Ca), ppm		Степень очистки (максимальная/минимальная)
	максимальное	минимальное	
Отработанные масла	1423,6	14,4	98,6
Нефтешламы	1808,5	47,1	38,4
Некондиционное дизельное топливо	100 (средн.)	—	—

## Галогенсодержащие вещества

Максимальное количество галогенов, хлористых солей и кислот содержится в подтоварных водах, отделяемых от нефтешламов, — от 400 до 2000 ppm. Чтобы оценить экологическую опасность подобных концентраций, указанные значения можно сравнить с числом Кларка, средним для морской воды. Для хлористых солей число Кларка составляет 19 190 ppm. Это значение, являющееся нормой для морской флоры и фауны, в 10...48 раз больше, чем в подтоварных водах.

В самих нефтешламах, прошедших очистку, в отделенной горючей части содержание галогенов ниже 400 ppm, а ПХБ — менее 5 ppm.

Для выявления галогенов в составе отработанных масел были выбраны образцы, потенциально содержащие хлор, — трансформаторные и промышленные (после станочной и термической обработки деталей) масла. Однако галогенсодержащие соединения в этих образцах не были обнаружены. Данный факт объясняется тем, что организации системы «Транснефть», руководствуясь техническим регламентом Таможенного союза, закупают на собственные нужды масла, не содержащие галогены.

## Температура вспышки

Все исследованные образцы относятся к нефтепродуктам с температурами вспышки выше 38 °С, что соответствует международным нормам. Для большинства исследованных образцов температура вспышки оказалась выше 60 °С, а для образцов отработанных масел — в диапазоне 205...240 °С.

## Плотность

Плотность нефтешламов, осажденных под слоем воды, — более 1 кг/л, а плотность ценных топливных фракций — меньше 0,98 кг/л. Плотность нефтяных эмульсий и нефти, осажденной на фильтрах оборудования, — около 1 кг/л и выше при 15 °С.

Плотность большинства сортов отработанных масел менее 0,9 кг/л, у единичных марок — около 1,00...1,04 кг/л. Плотность некондиционных дизельных топлив в среднем составляет 0,81 кг/л при нормальных условиях.

## Вязкость

Вязкость смеси легких ОНП составила около 7,5 сСт, отработанных масел — от 27 до 113 сСт. Нефтешла-

мы с фильтров котельной характеризуются вязкостью выше 60 сСт, горючие смеси нефтяных и битумных (мазутных) отходов — до 200 сСт, трудногорючие битумы и нефтешламы при 50 °С — от 400 сСт и более.

## Теплота сгорания

Низшая теплота сгорания отработанных масел по данным исследований [12] в среднем составляет 42,9 МДж/кг. Американский институт нефти в исследованиях ОНП [13] указывает диапазон теплоты сгорания от 41 до 45,6 МДж/кг.

На основе анализа паспортов и протоколов лабораторных испытаний нефтепродуктов и ОНП системы «Транснефть» получены следующие данные по низшей теплоте сгорания: вязких сортов нефти — от 40,2 до 41 МДж/кг, легкой нефти — от 41,9 до 43,3 МДж/кг, дизельных топлив — до 43,9 МДж/кг, мазутных фракций нефтешлама — до 39,5 МДж/кг.

Выполненный анализ состава и свойств отработанных нефтепродуктов, а также накопленный опыт их сжигания позволяют сделать вывод, что ряд ОНП может эффективно использоваться как топливо либо компонент топлива. Помимо отмеченных выше трех видов ОНП (отработанные масла, горючая часть нефтешламов и некондиционное дизельное топливо), в этот ряд входят:

- использованные промывочные и специальные жидкости на нефтяной основе и синтетических углеводородах, растворители, олифы;
- горючая фаза жидких отходов нефтепродуктов, образовавшихся на автозаправочных станциях;
- горючая фаза отстаиваемых льяльных вод судов и танкеров.

Также к горючим ОНП можно отнести некондиционные нефтепродукты [2] разного назначения, в том числе моторные топлива и масла, утратившие свои нормативные характеристики по причине расслоения, старения и лежалости в резервных или аварийных запасах на нужды производства.

Объемы ОНП, пригодные для использования в качестве топлива или компонентов топлива, в среднем оцениваются в 1000 т/год, среди которых около 50% приходится на отработанные масла, более 25% — на горючую часть нефтешламов, менее 25% — на прочие горючие ОНП.

Нецелесообразно использовать в качестве топлива и компонентов топлива твердые нефтешламы с содержа-

нием углеводородов менее 15%, асфальто-смолистые нефтешламы с высокой вязкостью, осадки битума, гудроны и полимерные шламы от воздействия присадок, а также отходы, образовавшиеся при очистке ОНП.

### Энергосбережение при сжигании ОНП

Энергосберегающий эффект может быть достигнут посредством использования теплогенераторов на ОНП как замещающих энергогенерирующих установок. Это возможно в системах теплоснабжения, горячего водоснабжения, автономного обогрева или в технологических установках. Выполненный в применении к объектам системы «Транснефть» анализ возможных схемных решений [29 – 33] приводит к следующим выводам.

Применение ОНП в качестве топлива в централизованных котельных дает низкий эффект, выраженный в замещении части основного топлива.

Использование работающих на ОНП подогревающих теплогенераторов возможно на обратных линиях теплосетей централизованного теплоснабжения. Однако эффект также невысок, как и в первом варианте, ибо определяется восполнением тепловых потерь сетей.

Применение индивидуальных теплогенераторов на ОНП для конечного потребителя позволяет сократить расходы котельного топлива и потери теплосетей значительно больше, чем в вышеуказанных вариантах, если они работают автономно от централизованной системы теплоснабжения, а тепловой ввод имеет автоматизированный контроль температурных режимов потребителя.

Максимальный энергосберегающий эффект достигается в схемах с автономным обогревом и горячим водоснабжением непосредственно в рабочих зонах и на технологических участках независимо от централизованной схемы теплоснабжения, но с контролем температурных режимов, исключающим перегревы. В таком

случае на каждую сожженную 1 т.у.т. ОНП приходится более 2 т.у.т. экономии топлива в централизованных котельных.

Приоритетным случаем использования теплогенераторов на ОНП для нужд теплоснабжения является вариант подключения независимо от системы централизованного теплоснабжения, например, для индивидуального подогрева воды или отопления рабочих зон, с целью сокращения тепловых потерь в теплотрассах и снижения топливопотребления централизованных котельных на собственные нужды объекта (станции технического обслуживания, гаражи, производственные и складские участки, участки очистных сооружений, отдельно стоящие здания и сооружения и пр.).

Допускается осуществлять схемы присоединения теплогенераторов на ОНП к централизованной теплосети на дальних дистанциях для подогрева обратного теплоносителя через промежуточный теплообменник или тепловой пункт ввода в обогреваемое здание, либо к тепловому аккумулятору для обеспечения технологических нужд.

Ряд изложенных решений по энергоэффективному использованию ОНП проходит в настоящее время техническую апробацию. Введена в эксплуатацию котельная на отработанных маслах, начата реконструкция инсинераторного комплекса по обезвреживанию отходов с переводом на отработанные нефтепродукты в качестве топлива, ведется разработка технологии получения экологически чистого топлива из смесей нефтешламов и отработанных нефтепродуктов.

Учитывая объемы сбора ОНП и возможности очистки в производственных условиях, суммарный потенциал энергосбережения на объектах СТН от децентрализованного размещения индивидуальных теплогенераторов на ОНП может превысить за год 1300 т.у.т. топлива в централизованных котельных и экономию свыше 9100 Гкал тепловой энергии, как минимум, за счет восполнения потерь в теплосетях.

### Литература

1. ПАО «Транснефть» [Официальный сайт] <https://www.transneft.ru/>, <https://www.transneft.ru/about/development-system/> (дата обращения 20.05.2019).
2. ГОСТ 26098—84. Нефтепродукты. Термины и определения.
3. Федеральный закон № 89-ФЗ от 24.06.1998 г. Об отходах производства и потребления № 89-ФЗ [Электронный ресурс] [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (дата обращения 20.05.2019).
4. Агентство по охране окружающей среды США. Управление, повторное использование и переработка отработанного масла. [Официальный сайт] <https://www.epa.gov/recycle/managing-reusing-and-recycling-used-oil> (дата обращения 20.05.2019).
5. Департамент окружающей среды и энергетики Австралии [Официальный сайт] <https://www.environment>.

### References

1. PAO «Transneft» [Ofits. Sayt] <https://www.transneft.ru/>, <https://www.transneft.ru/about/development-system/> (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).
2. GOST 26098—84. Nefteprodukty. Terminy i Opredeleniya. (in Russian).
3. Federal'nyy Zakon № 89-FZ. ot 24.06.1998 g. Ob Otkhodakh Proizvodstva i Potrebleniya № 89-FZ [Elektron. Resurs] [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).
4. Agentstvo po Okhrane Okruzhayushchey Sredy SSHA. Upravlenie, Povtornoie Ispol'zovanie i Pererabotka Otrabotannogo Masla. [Ofits. Sayt] <https://www.epa.gov/recycle/managing-reusing-and-recycling-used-oil> (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).
5. Departament Okruzhayushchey Sredy i Energetiki Avstralii [Ofits. Sayt] <https://www.environment.gov.au/>

gov.au/protection/used-oil-recycling, <https://www.environment.gov.au/protection/used-oil-recycling/recycling-your-oil/uses-recycled-oil>, <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/2dbea09e-134f-4dde-9d59-e4a4a2f6ce5f/files/pso-review.pdf>, <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/245ec47b-8501-4983-a0da-0b98dfd4e32d/files/ta-review.pdf> (дата обращения 20.05.2019).

6. **IARC Monographs.** Occupational Exposures in Petroleum Refining; Crude Oil and Major Petroleum Fuels. [Официальный сайт] <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono45.pdf> (дата обращения 20.05.2019).

7. **Re-refined Oil Performance and TxDOT Used Oil Collection Procedure.** Texas. [Электронный ресурс] <https://library.ctr.utexas.edu/digitized/texasarchive/phase1/1355-1.pdf> (дата обращения 20.05.2019).

8. **Vermont Agency of Natural Resources, U.S. EPA.** Vermont Used Oil Analysis and Waste Oil Furnace Emissions Study [Официальный сайт] [https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/w\\_oilacr.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/w_oilacr.pdf) (дата обращения 20.05.2019).

9. **Heavy Fuel Oils.** Prepared by CONCAWE's Petroleum Products and Health Management Groups. [Электронный ресурс] [http://accede.org/prestige/documentos/Tox\\_fuel\\_pesado.pdf](http://accede.org/prestige/documentos/Tox_fuel_pesado.pdf) (дата обращения 20.05.2019).

10. **Meyer R.F., Attanasi E.D., Freeman P.A.** Heavy Oil and Natural Bitumen Resources in Geological Basins of the World [Электронный ресурс] <https://pubs.usgs.gov/of/2007/1084/OF2007-1084v1.pdf> (дата обращения 20.05.2019).

11. **Ministry for the Environment New Zealand.** Assessment of the Effects of Combustion of Waste, Oil and Health Effects Associated with the Use of Waste Oil as a Dust Suppressant [Официальный сайт] <https://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/used-oil-dust-suppressant-aug00.pdf> (дата обращения 20.05.2019).

12. **Waste Oil Management: Analyses of Waste Oils from Vehicle Crankcases and Gearboxes.** Global J. Environ [Электронный ресурс] [https://www.gjesm.net/article\\_22148\\_03e030d8c64c45fd18a362bc6f9d017c.pdf](https://www.gjesm.net/article_22148_03e030d8c64c45fd18a362bc6f9d017c.pdf) (дата обращения 20.05.2019).

13. **Life Cycle Assessment of Used Oil Management.** Prepared for the American Petroleum Institute [Официальный сайт] <https://www.api.org/~media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/LCA-of-Used-Oil-Mgmt-ERM-10012017.pdf> (дата обращения 20.05.2019).

14. **Title 40 CFR Part 241.** Solid Wastes Used as Fuels or Ingredients in Combustion Units [Электронный ресурс] <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=b656ab603496daf6d620241043222e6a&mc=true&node=pt40.27.241&rgn=div5> (дата обращения 20.05.2019).

15. **Title 40 CFR Part 260.** Hazardous Waste Management System: General [Электронный ресурс] <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=b656ab603496daf6d620241043222e6a&mc=true&node=pt40.28.260&rgn=div5> (дата обращения: 20.05.2019).

protection/used-oil-recycling, <https://www.environment.gov.au/protection/used-oil-recycling/recycling-your-oil/uses-recycled-oil>, <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/2dbea09e-134f-4dde-9d59-e4a4a2f6ce5f/files/pso-review.pdf>, <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/245ec47b-8501-4983-a0da-0b98dfd4e32d/files/ta-review.pdf> (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).

6. **IARC Monographs.** Occupational Exposures in Petroleum Refining; Crude Oil and Major Petroleum Fuels. [Ofits. Sayt] <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono45.pdf> (Data Obrashcheniya 20.05.2019).

7. **Re-refined Oil Performance and TxDOT Used Oil Collection Procedure.** Texas. [Elektron. Resurs] <https://library.ctr.utexas.edu/digitized/texasarchive/phase1/1355-1.pdf> (Data Obrashcheniya 20.05.2019).

8. **Vermont Agency of Natural Resources, U.S. EPA.** Vermont Used Oil Analysis and Waste Oil Furnace Emissions Study [Ofits. Sayt] [https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/w\\_oilacr.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/w_oilacr.pdf) (Data Obrashcheniya 20.05.2019).

9. **Heavy Fuel Oils.** Prepared by CONCAWE's Petroleum Products and Health Management Groups. [Elektron. Resurs] [http://accede.org/prestige/documentos/Tox\\_fuel\\_pesado.pdf](http://accede.org/prestige/documentos/Tox_fuel_pesado.pdf) (Data Obrashcheniya 20.05.2019).

10. **Meyer R.F., Attanasi E.D., Freeman P.A.** Heavy Oil and Natural Bitumen Resources in Geological Basins of the World [Elektron. Resurs] <https://pubs.usgs.gov/of/2007/1084/OF2007-1084v1.pdf> (Data Obrashcheniya 20.05.2019).

11. **Ministry for the Environment New Zealand.** Assessment of the Effects of Combustion of Waste, Oil and Health Effects Associated with the Use of Waste Oil as a Dust Suppressant [Ofits. Sayt] <https://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/used-oil-dust-suppressant-aug00.pdf> (Data Obrashcheniya 20.05.2019).

12. **Waste Oil Management: Analyses of Waste Oils from Vehicle Crankcases and Gearboxes.** Global J. Environ [Elektron. Resurs] [https://www.gjesm.net/article\\_22148\\_03e030d8c64c45fd18a362bc6f9d017c.pdf](https://www.gjesm.net/article_22148_03e030d8c64c45fd18a362bc6f9d017c.pdf) (Data Obrashcheniya 20.05.2019).

13. **Life Cycle Assessment of Used Oil Management.** Prepared for the American Petroleum Institute [Ofits. Sayt] <https://www.api.org/~media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/LCA-of-Used-Oil-Mgmt-ERM-10012017.pdf> (Data Obrashcheniya 20.05.2019).

14. **Title 40 CFR Part 241.** Solid Wastes Used as Fuels or Ingredients in Combustion Units [Elektron. Resurs] <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=b656ab603496daf6d620241043222e6a&mc=true&node=pt40.27.241&rgn=div5> (Data Obrashcheniya 20.05.2019).

15. **Title 40 CFR Part 260.** Hazardous Waste Management System: General [Elektron. Resurs] <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=b656ab603496daf6d620241043222e6a&mc=true&node=pt40.28.260&rgn=div5> (Data Obrashcheniya: 20.05.2019).

16. **Title 40 CFR Part 279.** Standards for the Management of Used Oil [Электрон. ресурс] <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a6739eadc899514c81d8e3781bb37e7e&mc=true&node=pt40.29.279&rgn=div5> (дата обращения 20.05.2019).
17. **Title 40 CFR Part 761.** Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Manufacturing, Processing, Distribution in Commerce, and Use Prohibitions [Электрон. ресурс] <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a6739eadc899514c81d8e3781bb37e7e&mc=true&node=pt40.34.761&rgn=div5> (дата обращения 20.05.2019).
18. **Petrochemical Standards.** Edition 2011/2012 [Электрон. ресурс] <http://www.ecolan.com.ru/standard-samples-foreign/4/4-2.pdf> (дата обращения: 20.05.2019).
19. **Petrochemical standards.** ASTM. AccuStandard is Accredited to ISO Guide 34, ISO/IEC 17025 and Certified to ISO 9001 [Электрон. ресурс]: [https://www.accustandard.com/assets/MASTER\\_CATALOG\\_PETRO\\_2015.pdf](https://www.accustandard.com/assets/MASTER_CATALOG_PETRO_2015.pdf) (дата обращения 20.05.2019).
20. **ГОСТ 32510—2013 (ISO 8217:2012).** Топлива судовые. Технические условия.
21. **Технический регламент Таможенного союза 013/2011.** О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту.
22. **ГОСТ 31378—2009.** Нефть. Общие технические условия.
23. **Energy Management by Recycling of Vehicle Waste Oil in Pakistan.** International Journal of Scientific Engineering and Technology [Электрон. ресурс] <https://www.ijset.com/publication/v2/173.pdf> (дата обращения 20.05.2019).
24. **Цомбуева Б.В.** Влияние деятельности нефтеперерабатывающего комплекса на загрязнение земель юго-востока Республики Калмыкии [Электрон. ресурс] [https://www.isuct.ru/sites/default/files/department/ighu/dissertacionnye-sovety/files/combueva\\_baira\\_viktorovna-23012017/dissertaciyacombueva\\_s\\_podpisyu.pdf](https://www.isuct.ru/sites/default/files/department/ighu/dissertacionnye-sovety/files/combueva_baira_viktorovna-23012017/dissertaciyacombueva_s_podpisyu.pdf) (дата обращения 20.05.2019).
25. **Тыныбаева Т.Г.** Мониторинг загрязнения почв на газонефтяном месторождении Северные Бузачи (Казakhstan) [Электрон. ресурс] [http://www.bio.msu.ru/res/Dissertation/91/DOC\\_FILENAME/tinibaeva.pdf](http://www.bio.msu.ru/res/Dissertation/91/DOC_FILENAME/tinibaeva.pdf) (дата обращения 20.05.2019).
26. **Шпербер Е.Р.** Разработка комплекса природоохранных технологий переработки отходов НПЗ Краснодарского края [Электрон. ресурс] [https://www.gubkin.ru/diss2/files/Autoreferat\\_ShperberER.pdf](https://www.gubkin.ru/diss2/files/Autoreferat_ShperberER.pdf). (дата обращения 20.05.2019).
27. **Шпербер Д.Р.** Разработка ресурсосберегающих технологий переработки нефтешлама [Электрон. ресурс] <https://kubstu.ru/data/fdlist/FDD0424.pdf> (дата обращения 20.05.2019).
28. **Справочный документ по наилучшим доступным технологиям по обращению с отходами.** Мини-
16. **Title 40 CFR Part 279.** Standards for the Management of Used Oil [Elektron. Resurs] <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a6739eadc899514c81d8e3781bb37e7e&mc=true&node=pt40.29.279&rgn=div5> (Data Obrashcheniya 20.05.2019).
17. **Title 40 CFR Part 761.** Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Manufacturing, Processing, Distribution in Commerce, and Use Prohibitions [Elektron. Resurs] <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a6739eadc899514c81d8e3781bb37e7e&mc=true&node=pt40.34.761&rgn=div5> (Data Obrashcheniya 20.05.2019).
18. **Petrochemical Standards.** Edition 2011/2012 [Elektron. Resurs] <http://www.ecolan.com.ru/standard-samp-les-foreign/4/4-2.pdf> (Data Obrashcheniya: 20.05.2019).
19. **Petrochemical standards.** ASTM. AccuStandard is Accredited to ISO Guide 34, ISO/IEC 17025 and Certified to ISO 9001 [Elektron. Resurs]: [https://www.accustandard.com/assets/MASTER\\_CATALOG\\_PETRO\\_2015.pdf](https://www.accustandard.com/assets/MASTER_CATALOG_PETRO_2015.pdf) (Data Obrashcheniya 20.05.2019).
20. **GOST 32510—2013 (ISO 8217:2012).** Topliva Sudovye. Tekhnicheskie Usloviya. (in Russian).
21. **Tekhnicheskii Reglament Tamozhennogo Soyuz-a 013/2011.** O Trebovaniyakh k Avtomobil'nomu i Aviat-sionnomu Benzinu, Dizel'nomu i Sudovomu Toplivu, Top-livu dlya Reaktivnykh Dvigatelay i Mazutu. (in Russian).
22. **GOST 31378—2009.** Neft'. Obshchie Tekhniches-kie Usloviya. (in Russian).
23. **Energy Management by Recycling of Vehicle Waste Oil in Pakistan.** International Journal of Scientific Engineering and Technology [Elektron. Resurs] <https://www.ijset.com/publication/v2/173.pdf> (Data Obrashch-eniya 20.05.2019).
24. **Tsombueva B.V.** Vliyanie Deyatel'nosti Neftepere-rabatyvayushchego Kompleksa Na Zagryaznenie Zemel' Yugo-vostoka Respubliki Kalmykii [Elektron. Resurs] [https://www.isuct.ru/sites/default/files/department/ighu/dissertacionnye-sovety/files/combueva\\_baira\\_viktorovna-23012017/dissertaciyacombueva\\_s\\_podpisyu.pdf](https://www.isuct.ru/sites/default/files/department/ighu/dissertacionnye-sovety/files/combueva_baira_viktorovna-23012017/dissertaciyacombueva_s_podpisyu.pdf) (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).
25. **Tynybaeva T.G.** Monitoring Zagryazneniya Pochv na Gazoneftyanom Mestorozhdenii Severnye Buzachi (Kazakhstan) [Elektron. Resurs] [http://www.bio.msu.ru/res/Dissertation/91/DOC\\_FILENAME/tinibaeva.pdf](http://www.bio.msu.ru/res/Dissertation/91/DOC_FILENAME/tinibaeva.pdf) (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).
26. **Shperber E.R.** Razrabotka Kompleksa Prirodo-okhrannykh Tekhnologiy Pererabotki Otkhodov NPZ Krasnodarskogo kraya [Elektron. Resurs] [https://www.gubkin.ru/diss2/files/Autoreferat\\_ShperberER.pdf](https://www.gubkin.ru/diss2/files/Autoreferat_ShperberER.pdf). (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).
27. **Shperber D.R.** Razrabotka Resursosberegayushchikh Tekhnologiy Pererabotki Nefteshlama [Elektron. Resurs] <https://kubstu.ru/data/fdlist/FDD0424.pdf> (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).
28. **Spravochnyy Dokument po Nailuchshim Do-stupnym Tekhnologiyam po Obrashcheniyu s Otkhodami.**

стерство природных ресурсов России [Офиц. сайт] [http://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie\\_dokumenty/nailuchshie\\_dostupnye\\_tekhnologii/](http://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie_dokumenty/nailuchshie_dostupnye_tekhnologii/) (дата обращения 20.05.2019).

29. **Половков С.А.** Обеспечение промышленной безопасности, охраны труда и экологии в организациях системы «Транснефть» // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 2. С. 28—31.

30. **Кожевников В.А., Нагдасёв В.М., Александров К.В.** О некоторых итогах энергетических обследований [Электрон. ресурс] [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3707](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3707) (дата обращения 20.05.2019).

31. **Кожевников В.А., Захаров С.В.** Анализ потенциала использования отработанных масел для нужд теплоснабжения [Электрон. ресурс] <http://www.energsovet.ru/stat423.html> (дата обращения 20.05.2019).

32. **Кожевников В.А.** Энергоаудит систем теплоснабжения. О некоторых аспектах [Электрон. ресурс] [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2120](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2120) (дата обращения 20.05.2019).

33. **Росляков П.В., Проскурин Ю.В., Кожевников В.А.** Моделирование процесса горения нефти с подмесом подтоварной воды в жаротрубных котлах // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 2. С. 94—101.

Ministerstvo Prirodnikh Resursov Rossii [Ofits. Sayt] [http://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie\\_dokumenty/nailuchshie\\_dostupnye\\_tekhnologii/](http://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie_dokumenty/nailuchshie_dostupnye_tekhnologii/) (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).

29. **Polovkov S.A.** Obespechenie Promyshlennoy Bezopasnosti, Okhrany Truda i Ekologii v Organizatsiyakh Sistemy «Transneft'». Nauka i Tekhnologii Truboprovodnogo Transporta Nefti i Nefteproduktov. 2016;2:28—31. (in Russian).

30. **Kozhevnikov V.A., Nagdasev V.M., Aleksandrov K.V.** O Nekotorykh Itogakh Energeticheskikh Obsledovaniy [Elektron. Resurs] [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3707](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3707) (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).

31. **Kozhevnikov V.A., Zakharov S.V.** Analiz Potentsiala Ispol'zovaniya Otrabotannykh Masel dlya Nuzhd Teplosnabzheniya [Elektron. Resurs] <http://www.energsovet.ru/stat423.html> (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).

32. **Kozhevnikov V.A.** Energoaudit Sistem Teplosnabzheniya. O Nekotorykh Aspektakh [Elektron. Resurs] [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2120](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2120) (Data Obrashcheniya 20.05.2019). (in Russian).

33. **Roslyakov P.V., Proskurin Yu.V., Kozhevnikov V.A.** Modelirovanie Protssesa Goreniya Nefti s Podmesom Podtovarnoy Vody v Zharotrubnykh Kotlakh. Nauka i Tekhnologii Truboprovodnogo Transporta Nefti i Nefteproduktov. 2017;2:94—101. (in Russian).

#### Сведения об авторах:

**Кожевников Виталий Анатольевич** — старший научный сотрудник ООО «НИИ Транснефть», e-mail: [kozhevnikovva@niitnn.transneft.ru](mailto:kozhevnikovva@niitnn.transneft.ru)

**Попов Станислав Константинович** — доктор технических наук, профессор кафедры энергетики высокотемпературной технологии НИУ «МЭИ», e-mail: [PopovSK@mpei.ru](mailto:PopovSK@mpei.ru)

#### Information about authors:

**Kozhevnikov Vitaliy A.** — Senior Researcher of Transneft R&D LLC, e-mail: [kozhevnikovva@niitnn.transneft.ru](mailto:kozhevnikovva@niitnn.transneft.ru)

**Popov Stanislav K.** — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Energetic of High-Temperature Technologies Dept., NRU MPEI, e-mail: [PopovSK@mpei.ru](mailto:PopovSK@mpei.ru)

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Статья поступила в редакцию:** 24.05.2019

**The article received to the editor:** 24.05.2019