**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ
ОСТАТОЧНЫХ ТОПЛИВ ДО СМЕШЕНИЯ В РЕЗЕРВУАРАХ****DETERMINATION OF COMPATIBILITY AND STABILITY
OF RESIDUAL FUELS BEFORE MIXING IN TANKS****Р. Р. Султанбеков****Radel R. Sultanbekov**

Санкт-Петербургский
горный университет,
г. Санкт-Петербург, Российская
Федерация

Saint-Petersburg Mining
University, Saint-Petersburg,
Russian Federation

И. А. Шаммазов**Ildar A. Shammazov**

Санкт-Петербургский
горный университет,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Saint-Petersburg Mining
University, Saint-Petersburg,
Russian Federation

А. М. Щипачев**Andrey M. Schipachev**

Санкт-Петербургский
горный университет,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Saint-Petersburg Mining
University, Saint-Petersburg,
Russian Federation

Статья посвящена изучению проблемы, которая может возникнуть при смешении разных видов остаточных и печных топлив в резервуарах, а именно образованию общего осадка в смеси топлив, которая может быть вызвана несовместимостью смешиваемых нефтепродуктов. Проявление несовместимости топлив особенно актуально для топливных терминалов и нефтебаз. Обозначена проблема определения совместимости до смешивания нефтепродуктов в резервуарах, так как из-за проявления несовместимости снижается качество всей смеси и происходит активное накопление осадков. Наиболее приоритетным способом для снижения рисков проявления несовместимости является проведение лабораторных испытаний, который позволит определить стабильность и совместимость компонентов топливных смесей до их фактического перемешивания в резервуарах.

Выполнены исследования существующих методов, которые применяются на практике для определения совместимости, а именно так называемый «метод по пятну» по ГОСТ Р 50837.7, методы определения толуольного и ксилольного эквивалента по ГОСТ Р 50837.3 и ГОСТ Р 50837.4 соответственно, которые позволяют судить о стабильности нефтепродуктов, а также метод определения общего осадка по ГОСТ 33369-2015. Выполнены лабораторные испытания, проведен анализ полученных результатов, который показал несовершенство данных методик. Предложено решение для точного определения совместимости до смешения топлив, которое соответствует требованиям практики, разработан способ для определения совместимости и стабильности топлив до смешения в резервуарах на основе ГОСТ 33360-2015, а именно разработан алгоритм проведения лабораторных испытаний и проведен расчет индекса совместимости. Данный способ позволяет определить совместимость до фактического смешения топлив в резервуарах, где учитываются все компоненты и их соотношение в топливной смеси, а также определяется количественная характеристика осадкообразования.

Цели и задачи — определение совместимости и стабильности компонентов судовых остаточных топлив до фактического смешения в резервуарах, а также количественной характеристики осадкообразования, вызванной проявлением несовместимости.

В статье проведен научный обзор по результатам выполненных лабораторных исследований существующих способов определения совместимости топлив, а именно определение ксилольного эквивалента, толуольного эквивалента и метод по пятну, проведен сравнительный анализ полученных результатов экспериментальных данных совместимости топлив. Рассмотрены и проведены испытания по разработанному методу определения совместимости, где наглядно демонстрируется практическая значимость данного метода для сохранения качества при хранении, перевалке и топливopодготовке.

Ключевые слова

хранение; совместимость и
стабильность; осадкообразование
остаточных топлив; резервуары;
общий осадок; лабораторный
способ; проявление
несовместимости

The article is devoted to the study of the problem that can arise when mixing different types of residual fuels in tanks, namely the formation of a total sediment in the mixture of fuels, which can be caused by the incompatibility of the mixed oil products. The manifestation of fuel incompatibility is especially relevant for fuel terminals and oil depots. The problem of determining the compatibility before mixing oil products in tanks is indicated, since due to incompatibility, the quality of the entire mixture decreases and an active accumulation of sediments occurs. The most priority way to reduce the risks of incompatibility is to conduct laboratory tests, which will determine the stability and compatibility of the components of the fuel mixtures prior to their actual mixing in the tanks.

Research has been carried out on existing methods that are used in practice to determine compatibility, namely, the so-called «spot method» according to State Standard R 50837.7, methods for determining toluene and xylene equivalents according to State Standard R 50837.3 and State Standard R 50837.4, respectively, which make it possible to judge the stability of petroleum products, as well as the method for determining the total sediment in accordance with State Standard 33369-2015. Laboratory tests were carried out, the analysis of the results obtained was carried out, which showed the imperfections of these methods. A solution has been proposed for accurately determining the compatibility of fuels before mixing, which meets the requirements of practice, a method has been developed for determining the compatibility and stability of fuels before mixing on tanks based on State Standard 33360-2015, namely, an algorithm has been developed for conducting laboratory tests and calculating the compatibility index. This method makes it possible to determine compatibility before the actual mixing of fuels in tanks, where all components and their ratio in the fuel mixture are taken into account, and the quantitative characteristic of sedimentation is also determined.

Aims and Objectives — determination of the compatibility and stability of the components of marine residual fuels before mixing in tanks, as well as the quantitative characterization of total sediments formation due to incompatibility

The article provides a scientific review based on the results of laboratory studies of existing methods for determining the compatibility of fuels, namely, the determination of xylene equivalent, toluene equivalent and the «slick» method, a comparative analysis of the obtained results of experimental data on the compatibility of fuels is carried out. Tests have been considered and conducted according to the developed method for determining compatibility, which show the practical significance of this method for maintaining quality during storage, transshipment and fuel preparation.

Введение

При эксплуатации резервуарных парков и топливных терминалов часто происходит смешение разных видов нефтепродуктов, а именно судовых, остаточных, печных топлив, мазутов и т.д. Объекты для хранения нефтепродуктов должны работать эффективно, чтобы обеспечить качественными энергоресурсами потребителей [1, 2]. Технологический процесс непрерывен, поэтому достаточно часто осуществляется слив новых поступающих топлив в резервуары, имеющие остатки, причин может быть несколько, это либо отсутствие свободных емкостей, либо преднамеренное смешение [3]. Для получения требуемых параметров качества топлив по ISO 8217, к примеру судовых, осуществляют смешение

высоковязких нефтепродуктов таких марок, как РМК 700, М-100 и т.д., с продуктами с меньшими вязкостью и плотностью, например IFO-180, RMD-80, печные топлива, пиролизные смолы и т.д., в результате получают топлива марок РМК 380, 180 и т.д. Данная проблема стала более актуальной, так как с 2020 года Международной морской организацией (ИМО) были внедрены новые требования по предельному содержанию серы в судовых остаточных топливах; согласно этим требованиям, данный показатель не должен превышать 0,5 % [4]. В связи с этим многие нефтеперерабатывающие заводы не оказались готовы к таким требованиям, и выпуск остаточных топлив с 0,5 % серы требует значительных финансовых затрат, все это приво-

Keywords

storage; compatibility and stability; sedimentation of residual fuels; tanks; total sediment; laboratory method; incompatibility

дит к увеличению доли смесевых топлив на бункерном рынке, а значит и резко возрастают риски проявления несовместимости при их компаундировании [5].

Увеличение содержание общего осадка в судовых остаточных топливах способствует износу и нарушению работы двигателей и топливной системы, также высокое содержание осадка засоряет фильтры и сепараторы. При хранении из-за проявления несовместимости и выпадения в следствие этого осадка происходит ухудшение качественных характеристик топлив и снижается полезный объем резервуара из-за накопления данных отложений [3, 6, 7].

Предельное содержание общего осадка в топливах регламентировано международными нормативными документами ASTM D4870-IP 375, IP 390 и ISO 10307, в нашей стране данным документам соответствует ГОСТ Р 333370-2015. Также согласно общим требованиям по качеству к судовым топливам по ISO 8217 содержание общего осадка должна быть ниже 0,1 % [8, 9].

Можно выделить несколько актуальных проблем, которые вызваны несовместимостью нефтепродуктов при технологических операциях на резервуарах:

- ухудшение качества нефтепродуктов;
- износ и засорение технологических систем;
- увеличение интенсивности накопления осадка в резервуарах, что приводит к снижению полезного объема резервуаров;
- сопутствующие экономические потери из-за ухудшения качества топлив и мероприятий по очистке резервуаров [10, 11].

Теория и методы определения совместимости и стабильности топлив

Осадкообразование возникает из-за нарушения равновесия и стабильности топлив, потому что снижается доля ароматических углеводородов и увеличивается доля парафинов и асфальтенов в смеси [12, 13]. Активное осадкообразование, вызванное проявлением несовместимости из-за изменения структурно-группового состава топлив, а также взаимного соотношения концентраций высокомолекулярных соединений, которое вызывает активное образование объемных коллоидных частиц и укрупнения ассоциатов молекул различных форм и структур [14, 15].

Сегодня существуют несколько способов, позволяющих оценить стабильность и совме-

стимость топлив [16–19]. Выполнены опытные испытания определения совместимости согласно существующим методам, а именно смесь в соотношении 1 : 1 пробы № 1 — Топливо для судовых установок (RMG-380), (вид I СТО 00148725-004-2011 с изм. 1–5), где $\rho_{15} = 956,0 \text{ кг/м}^3$; $v_{50} = 321,5 \text{ мм}^2/\text{с}$; содержание воды = 0,1 %; $TSA = 0,02 \%$, $TSP = 0,02 \%$ и пробы № 2 — Компаунд масел смазочных марка А вид 1 (СТО 11605031-088-2015), где $\rho_{15} = 833,5 \text{ кг/м}^3$; $v_{50} = 12,1 \text{ мм}^2/\text{с}$; $TSA = 0,01 \%$; $TSP = 0,01 \%$.

Рассмотрим наиболее простой метод по ГОСТ Р 50837.7, для использования которого не требуется специализированная лаборатория, и данный метод определения стабильности и совместимости по пятну могут применять непосредственно на судах перед приемом топлив.

Сущность метода — это смешение необходимых компонентов топлив, после капают на бумажный фильтр и проводят визуальную оценку ядра и его окраски, далее сравнивают пятно со стандартными пятнами.

Данный способ осуществляется следующим образом: отобранные пробы компонентов топлив в количестве не менее 500 см³ необходимо перемешать и подогреть до жидкого состояния, если проба застыла. Далее пробы смешивают в соотношении 1 : 1 в лабораторном стакане, после чего с помощью стеклянной палочки перемещают каплю данной смеси на хроматографическую бумагу и осуществляют её сушку при 100 °С в течение 1 ч. Следующим этапом является оценка полученного и высушенного пятна. Оценка выполня-

Рисунок 1. Определение стабильности и совместимости по пятну

ется сравнением со стандартными пятнами и присваивается номер от 1 до 5. Если полученное пятно соотносится к номеру от 1 до 3, то топливо считается стабильным, если номер от 4 до 5, то смесь топлив оценивается как несовместимая [20].

Выполнены лабораторные испытания для определения стабильности и совместимости топлив согласно методу по ГОСТ Р 50837.7 заранее известных несовместимых компонентов топлив, которые описаны выше. Полученное пятно на хроматографической бумаге соответствует номеру 3, как видно (рисунок 1), пятно однородное, и четкое расслоение пятна отсутствует. А более светлые оттенки, полученные по краям пятна, вызваны растеканием топлива. Отсюда следует, что топлива совместимы и стабильны. Однако зная, что данная смесь топлив склонна к осадкообразованию и эти топлива несовместимы, можно сделать вывод, что данный метод не обладает высокой точностью и достоверностью при определении совместимости и стабильности остаточных топлив, также метод имеет высокую погрешность из-за субъективности визуальной оценки вида пятна [21].

Известны методы определения толуольного и ксилольного эквивалента по ГОСТ Р 50837.3 и ГОСТ Р 50837.4 соответственно, которые позволяют судить о стабильности топлив.

Толуольный и ксилольный эквиваленты используются в качестве критерия для опре-

деления стабильного состояния дисперсной структуры, а также являются критерием степени ароматичности топлив, что, в свою очередь, способствует сохранению асфальтенов в диспергированном состоянии во взвешенном виде, не давая выпадать в осадок [20, 21].

Критерием прямогонности и стабильности для смеси компонентов судовых остаточных топлив являются значения:

- для ксилольного эквивалента — меньше или равно 25/30;
- для толуольного эквивалента — не более 30.

Выполнены лабораторные опыты для определения ксилольного и толуольного эквивалентов (рисунок 2). Определен ксилольный эквивалент, равный 21/25, и толуольный эквивалент 24, значит по результатам данного метода топливная система стабильна.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что данные методики являются недостаточно точными, и в выполненных опытах видно, что полученный результат ошибочен.

Общий недостаток данных способов определения стабильности — это низкая точность, а также высокая погрешность, вызванная субъективностью визуальной оценки пятен.

Рассмотренные методы по результатам выполненных лабораторных испытаний оценки стабильности и совместимости топлив показали, что данные способы не обладают высокой точностью и имеют большую погрешность.

Рисунок 2. Определение ксилольного эквивалента — слева, толуольного эквивалента — справа

Рисунок 3. Фильтровальная установка и масляная баня

Определение совместимости и стабильности нефтепродуктов

Для определения совместимости нефтепродуктов разработан способ, который позволяет определить совместимость нефтепродуктов [22].

Принципиальное отличие разработанного способа состоит в том, что для определения совместимости компонентов топливной смеси нужно определить содержание общего осадка каждого из компонентов топливной смеси согласно методу по ГОСТ Р 33360-2015. Далее следует тщательно осуществить перемешивание компонентов в требуемой пропорции, после необходимо провести лабораторные испытания для определения общего осадка приготовленной смеси топлив согласно разработанному способу и произвести расчет индекса совместимости [23, 24].

Лабораторные исследования выполнены на фильтровальной установке Total Sediment Tester компании Seta Clean, куда подключен вакуумный насос и парогенератор, также для старения топливных смесей посредством температурной выдержки применялась масляная баня фирмы Huber (рисунок 3), для взвешивания фильтров использованы весы с точностью 0,01 г и 0,0001 г. Вся используемая лабораторная посуда и применяемые реактивы соответствуют требованиям нормативных документов.

Способ определения совместимости и стабильности компонентов топливной смеси осуществляется следующим образом. На первом этапе определяется значение общего осадка каждой пробы, после необходимо смешать необходимое количество компонентов в нужном

соотношении и тщательно перемешать до однородного состояния. При застывании проб с остаточными топливами перед испытанием их нужно разогреть, температура нагревания должна быть на 150 °С выше температуры плавления образца, но не должна превышать 80 °С, после разогрева пробы необходимо тщательно перемешать. После полученную однородную смесь топлив помещают в коническую колбу и подсоединяют к ней конденсаторную трубку для предотвращения испарений и помещают колбу с образцом в баню, нагретую до температуры 100 °С, где проба выдерживается в течение 1 ч при ускоренном химическом старении или в течение 24 ч при термическом старении. После осуществляют фильтрацию топливной смеси через фильтры. Перед каждым испытанием два фильтра m_2 и m_4 высушивают и взвешивают.

После фильтрации, просушки и охлаждения фильтров определяется массовая доля осадка.

Массовую долю осадка S_c , %, вычисляют по формуле:

$$S_c = \frac{(m_5 - m_4) - (m_3 - m_2)}{10m_1}, \quad (1)$$

где m_5 — масса верхнего фильтра после фильтрации, мг;

m_4 — масса верхнего фильтра перед фильтрацией, мг;

m_3 — масса нижнего фильтра после фильтрации, мг;

m_2 — масса нижнего фильтра перед фильтрацией, мг;

m_1 — масса образца, г.

Сходимость (повторяемость) r — расхождение результатов испытаний, полученных на одинаковой аппаратуре при постоянных рабочих условиях на идентичном испытуемом материале в течение длительного времени при нормальном и правильном выполнении метода, может превышать следующее значение только в одном случае из двадцати.

$$r = 0,123\sqrt{X}, \quad (2)$$

где X — среднеарифметическое значение двух определений, % масс.

Массовую долю осадка записывают как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений с точностью до 0,01 %.

Индекс совместимости (ИС) смеси топлив определяется, если значение общего осадка смеси (S_c) выше значения, чем среднее значение общего осадка компонентов смеси плюс значение сходимости. Формула расчета ИС представлена ниже:

$$ИС = S_{cp} + r, \quad (3)$$

где S_{cp} — среднее значение общего осадка компонентов топливной смеси, % масс.

Если $S_c \geq ИС$, то топлива в смеси не совместимы;

Если $S_c < ИС$, то топлива в смеси совместимы и стабильны.

Были проведены опыты определения совместимости по представленному способу. В ходе исследований проводились испытания определения вязкости, плотности, общего осадка и содержания воды в топливе.

Рассмотрена совместимость топлива для судовых установок (RMG-380) (Компонент 1) с другими видами нефтепродуктов (Компонент 2) при соотношении смешения 1 : 1.

Показаны фильтры (рисунок 4) после фильтрации 10 г пробы после термического старения, и, как видно, фильтры чистые и осадок минимальный, однако после смешения происходят потеря стабильности дисперсной системы и коагуляция молекул, как результат выпадение соединений асфальтенов в осадок. В результате количество общего осадка составляет 0,17 %.

На базе морского топливного терминала, в производственной лаборатории были проведены промышленные испытания представленных алгоритмов проведения испытаний по определению совместимости топлив при смешении в резервуарах и танках барж и танкеров. Перед технологической операцией были проведены анализы по определению совме-

- а) топливо для судовых установок (RMG-380);
 б) компаунд масел смазочных марка А вид 1;
 в) смесь топлива для судовых установок (RMG-380) и компаунда масел смазочных марка А вид 1 при соотношении 1 : 1

Рисунок 4. Фильтры после определения общего осадка TSP

стимости и стабильности методом химического старения смешиваемых компонентов в необходимой пропорции. После определения совместимости и стабильности нефтепродуктов представленным лабораторным способом в той же пропорции были

смешаны в танке-накопителе топлива, после был осуществлен отбор проб по ГОСТ 2517 и проведена проверка содержания общего осадка полученного продукта (рисунок 5). Результаты представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение результатов определения совместимости топлив до смешения и определение TSA после смешивания топлив в танках-накопителях

№	Компонент № 1	Компонент № 2	Соотношение	Анализ на совместимость, %	TSA после смешения, %
1	Мазут топочный 100, малозольный (ГОСТ 10585-2013) $\rho_{15} = 981,0 \text{ кг/м}^3$; $v_{50} = 692,5 \text{ сСт}$; TSA = 0,03 %	Мазут топочный 100, зольный (ГОСТ 10585-2013) $\rho_{15} = 988,0 \text{ кг/м}^3$; $v_{50} = 900,7 \text{ сСт}$; TSA = 0,04 %	1/1	0,04	0,03
2	Топливо судовое экологическое, марки А (СТО 00148599-034-2017). $\rho_{15} = 855,5 \text{ кг/м}^3$; $v_{50} = 18,45 \text{ сСт}$; TSA = 0,0 2%	Топливо для судовых установок, вид Э (СТО 00148725-004-2011). $\rho_{15} = 901,2 \text{ кг/м}^3$; $v_{50} = 34,0 \text{ сСт}$; TSA = 0,03 %	1/1	0,02	0,02
3	Мазут топочный 100, малозольный (ГОСТ 10585-2013) $\rho_{15} = 970,0 \text{ кг/м}^3$; $v_{40} = 450,2 \text{ сСт}$; TSA = 0,03 %	Мазут топочный 100, зольный (ГОСТ 10585-2013) $\rho_{15} = 999,0 \text{ кг/м}^3$; $v_{40} = 850,9 \text{ сСт}$; TSA = 0,05 %	1/1	0,06	0,05
4	Мазут топочный 100, малозольный (СТО 05747181-2013) $\rho_{15} = 989,0 \text{ кг/м}^3$; $v_{50} = 590,5 \text{ сСт}$; TSA = 0,03 %	Смола пиролизная тяжелая, марка А (ТУ 2451-183-72042240-2013) $\rho_{15} = 1021,0 \text{ кг/м}^3$; $v_{50} = 15,4 \text{ сСт}$; TSA = 0,03 %	9/1	0,05	0,06
5	Мазут топочный 100 ИФО-180 (ТУ 0252-002-10416871-2013) $\rho_{15} = 951,3 \text{ кг/м}^3$; $v_{40} = 165,7 \text{ сСт}$; TSA = 0,03 %	Мазут топочный 100, малозольный (СТО 05747181-2013 изм. 1-2). $\rho_{15} = 989,0 \text{ кг/м}^3$; $v_{50} = 590,5 \text{ сСт}$; TSA = 0,03 %	1/1	0,04	0,04

Сравнение результатов определения совместимости и полученной смеси в танках-накопителях

Рисунок 5. Сравнение полученных результатов по определению совместимости до смешивания и после перекачки и перемешивания в танках-накопителях показателя TSA

Как видно из результатов промышленных испытаний, полученные значения практически совпадают и полностью удовлетворяют требованиям воспроизводимости по ГОСТ 33360-2015, значит представленный способ определения совместимости и стабильности топлив позволит снизить технологические риски и применим на практике.

Вывод

Проблема несовместимости остаточных топлив крайне актуальна, так как из-за выпадения общего осадка в резервуарах при эксплуатации снижается полезный объем и возникает необходимость чистки резервуаров от отложений, также при смешивании топлив из-за несовместимости в первую очередь ухудшается качество всего продукта, после-

дующее применение которого увеличивает риск износа оборудования. Рассмотрены основные существующие методики для определения совместимости, это методы «по пятну» по ГОСТ Р 50837.7 и определению ксилольно-толуольных эквивалентов по ГОСТ Р 50837.3 и ГОСТ Р 50837.4, где выявлены основные недостатки данных способов. Поэтому для решения данной проблемы выполнены соответствующие лабораторные испытания и разработан способ по определению совместимости и стабильности компонентов топлив, внедрение которого позволит быстро определить совместимость нефтепродуктов до их фактического смешения на резервуарах и будет способствовать сохранению качества хранимого продукта.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамова Е.А., Шувалов Г.В., Ясырова О.А. Разработка метода оценки стабильности и совместимости судовых топлив // Гео-Сибирь. 2011. Т. 5. № 2. С. 206–209.
2. Демидова Н.П., Марченко А.А., Онищенко О.А. Оценка совместимости судовых тяжелых топлив // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2016. № 35. С. 15–20. DOI: 10.17217/2079-0333-2016-35-15-20.
3. Дубовой Е.С., Шматков А.А., Штонда Н.В., Ляпин А.Ю. О подходе к оценке эффективности работы пунктов смешения нефти // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2018. Т. 8. № 5. С. 540–546. DOI: 10.28999/2541-9595-2018-8-5-540-546.
4. Kondrasheva N.K., Rudko V.A., Kondrashev D.O., Shackleina V.S., Smyshlyaeva K.I., Konoplin R.R., Shaidulina A.A., Ivkin A.S., Derkunsii I.O., Dubovikov O.A. Application of a Ternary Phase Diagram to Describe the Stability of Residual Marine Fuel // Energy and Fuels. 2019. Vol. 33. Issue 5. P. 4671–4675. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.9b00487.
5. Kondrasheva N.K., Rudko V.A., Ancheyta J. Thermogravimetric Determination of the Kinetics of Petroleum Needle Coke Formation by Decantoil Thermolysis // ACS Omega. 2020. Vol. 5. Issue 45. P. 29570–29576. DOI: 10.1021/acsomega.0c04552.
6. Bykova M.V., Pashkevich M.A., Matveeva V.A., Sverchkov I.P. Assessment and Abatement of the Soil Oil Contamination Level in Industrial Areas // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources: Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers. St. Petersburg, Russia. 2019. P. 347–359.
7. Bykova M.V., Alekseenko A.V., Pashkevich M.A., Drebenstedt C. Thermal Desorption Treatment of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soils of Tundra, Taiga, and Forest Steppe Landscapes // Environmental Geochemistry and Health. 2021. DOI: 10.1007/s10653-020-00802-0.
8. Митусова Т.Н., Кондрашева Н.К., Лобашова М.М., Ершов М.М., Рудко В.А. Влияние диспергирующих присадок и компонентного состава на стабильность дующее применение которого увеличивает риск износа оборудования. Рассмотрены основные существующие методики для определения совместимости, это методы «по пятну» по ГОСТ Р 50837.7 и определению ксилольно-толуольных эквивалентов по ГОСТ Р 50837.3 и ГОСТ Р 50837.4, где выявлены основные недостатки данных способов. Поэтому для решения данной проблемы выполнены соответствующие лабораторные испытания и разработан способ по определению совместимости и стабильности компонентов топлив, внедрение которого позволит быстро определить совместимость нефтепродуктов до их фактического смешения на резервуарах и будет способствовать сохранению качества хранимого продукта.
- судовых высоковязких топлив // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 722–725. DOI: 10.25515/mpi.2017.6.722.
9. Kameshkov A.V., Kondrasheva N.K., Gabdulkhakov R.R., Rudko V.A. Comparison of Coking Additives Obtained from Different Types of Oil Stock // Tsvetnye Metally. 2020. No. 10. P. 35–42. DOI: 10.17580/tsm.2020.10.05.
10. Carter S., Clough R., Fisher A., Gibson B., Russell B., Waack J. Atomic Spectrometry Update: Review of Advances in the Analysis of Metals, Chemicals and Materials // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2019. Vol. 34. Issue 11. P. 1802–1848. DOI: 10.1039/C8JA90039F.
11. Kopteva A.V., Koptev V.Y. Automated Monitoring System for Asphaltene-Resin-Paraffin Deposits in Main Oil Pipelines // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. No. 4. P. 2191–2198.
12. Sanchez R., Lefevreb J., Todoli J.-L. Direct Elemental Analysis Of Petroleum Heavy Fractions by Means of ICP-OES Equipped with a High Temperature Torch Integrated Sample Introduction System // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2019. Vol. 34. Issue 4. P. 664. DOI: 10.1039/C8JA00320C.
13. Ismagilov Z.R., Sozinov S.A., Popova A.N., Zaporin V.P. Structural Analysis of Needle Coke // Coke and Chemistry. 2019. Vol. 62. P. 135–142. DOI: 10.3103/S1068364X19040021.
14. Каримов Р.М., Мастобаев Б.Н. Влияние содержания парафинов, смол и асфальтенов на товарные качества нефтей // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19. № 1. С. 97–102.
15. Lavrova A.S., Vasilyev V.V., Strakhov V.M. Comparison of the Coking Products from Heavy Petroleum Tars and Heavy Catalytic-Cracking Gas-Oil // Coke Chemistry. 2019. Vol. 62. P. 164–168. DOI: 10.3103/S1068364X19040045.
16. Пат. 2305836 РФ, МПК G 01 N 33/22. Способ определения стабильности топливных композиций, содержащих остаточные продукты переработки нефти / В.Т. Бугай, Г.Н. Кишкилев, А.А. Саутенко. 2006110383/28, Заявлено 03.04.2006; Оpubл. 10.09.2007. Бюл. 25.

17. Пат. 2426116 РФ, МПК G 01 N 33/22. Способ определения вторичных остаточных продуктов переработки нефти в смешанных топливах / В.Т. Бугай, А.А. Саутенко, М.И. Фахрутдинов. 2010127165/15, Заявлено 05.07.2010; Опубл. 10.08.2011. Бюл. 22.

18. Пат. 2444005 РФ, МПК G 01 N 27/00. Способ определения совместимости компонентов топливной смеси / Л.А. Дерюгина, В.И. Ярош. 2010143650/04, Заявлено 25.10.2010; Опубл. 27.02.2012. Бюл. 6.

19. Patent WO2018185520 France. Fuel Compatibility and Stability Analyzer / D. Pigeon, M. Lepinay. 2016.

20. Mitusova T.N., Kondrasheva N.K., Lobashova M.M., Ershov M.A., Rudko V.A., Titarenko M.A. Determination and Improvement of Stability of High-Viscosity Marine Fuels // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2018. Vol. 53. P. 842–845. DOI: 10.1007/s10553-018-0870-6.

21. Kondrasheva N.K., Rudko V.A., Nazarenko M.Y., Povarov V.G., Derkunsii I.O., Konoplin R.R., Gabdulhakov R.R. Influence of Parameters of Delayed Coking Process and Subsequent Calculation on the Properties and Morphology of Petroleum Needle Coke from Decant Oil Mixture of West Siberian Oil // Energy and Fuels. 2019. Vol. 33. Issue 7. P. 6373–6379. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.9b01439.

22. Пат. 2733748 РФ, МПК G 01 N 33/22. Способ определения совместимости и стабильности компонентов топливной смеси / Р.Р. Султанбеков, М.Н. Назарова, А.М. Щипачев. 2020114784, Заявлено 27.04.2020; Опубл. 06.10.2020. Бюл. 28.

23. Sultanbekov R.R., Nazarova M.N. Determination of Compatibility of Petroleum Products When Mixed in Tanks // European Association of Geoscientists and Engineers: Proceedings Conference. Tyumen, Russia. 2019. P. 1–5. URL: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=96369> (дата обращения: 20.03.2021). DOI: 10.3997/2214-4609.201900614.

24. Sultanbekov R.R., Nazarova M.N. Preserving the Quality of Petroleum Products When Mixed in Tanks // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources: Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers. St. Petersburg, Russia. 2019. P. 914–922.

REFERENCES

1. Abramova E.A., Shuvalov G.V., Yasyrova O.A. Razrabotka metoda otsenki stabil'nosti i sovmestimosti sudovykh topliv [Working out of the Method of the Estimation of Stability and Compatibility Ship Mineral Oil]. *Geo-Sibir' — GEO-Siberia*, 2011, Vol. 5, No. 2, pp. 206–209. [in Russian].

2. Demidova N.P., Marchenko A.A., Onishchenko O.A. Otsenka sovmestimosti sudovykh tyazhelykh topliv [Assessment of Compatibility of Ship Heavy Fuels]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta — Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 2016, No. 35, pp. 15–20. DOI: 10.17217/2079-0333-2016-35-15-20. [in Russian].

3. Dubovoi E.S., Shmatkov A.A., Shtonda N.V., Lyapin A.Yu. O podkhode k otsenke effektivnosti raboty punktov smesheniya nefiti [On the Approach to Performance Evaluation Oil Blending Stations]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov —*

Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation, 2018, Vol. 8, No. 5, pp. 540–546. DOI: 10.28999/2541-9595-2018-8-5-540-546. [in Russian].

4. Kondrasheva N.K., Rudko V.A., Kondrashev D.O., Shakleina V.S., Smyshlyaeva K.I., Konoplin R.R., Shaidulina A.A., Ivkin A.S., Derkunsii I.O., Dubovikov O.A. Application of a Ternary Phase Diagram to Describe the Stability of Residual Marine Fuel. *Energy and Fuels*, 2019, Vol. 33, Issue 5, pp. 4671–4675. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.9b00487.

5. Kondrasheva N.K., Rudko V.A., Ancheyta J. Thermogravimetric Determination of the Kinetics of Petroleum Needle Coke Formation by Decant Oil Thermolysis. *ACS Omega*, 2020, Vol. 5, Issue 45, pp. 29570–29576. DOI: 10.1021/acsomega.0c04552.

6. Bykova M.V., Pashkevich M.A., Matveeva V.A., Sverchkov I.P. Assessment and Abatement of the Soil Oil Contamination Level in Industrial Areas. *Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources»*. St. Petersburg, Russia, 2019, pp. 347–359.

7. Bykova M.V., Alekseenko A.V., Pashkevich M.A., Drebenstedt C. Thermal Desorption Treatment of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soils of Tundra, Taiga, and Forest Steppe Landscapes. *Environmental Geochemistry and Health*, 2021. DOI: 10.1007/s10653-020-00802-0.

8. Mitusova T.N., Kondrasheva N.K., Lobashova M.M., Ershov M.M., Rudko V.A. Vliyanie dispergiruyushchikh prisadok i komponentnogo sostava na stabil'nost' sudovykh vysokovyazkikh topliv [Influence of Dispersing Additives and Blend Composition on Stability of Marine High-Viscosity Fuels]. *Zapiski Gornogo instituta — Journal of Mining Institute*, 2017, Vol. 228, pp. 722–725. DOI: 10.25515/pmi.2017.6.722. [in Russian].

9. Kameshkov A.V., Kondrasheva N.K., Gabdulhakov R.R., Rudko V.A. Comparison of Coking Additives Obtained from Different Types of Oil Stock. *Tsvetnye Metally*, 2020, No. 10, pp. 35–42. DOI: 10.17580/tsm.2020.10.05.

10. Carter S., Clough R., Fisher A., Gibson B., Russell B., Waack J. Atomic Spectrometry Update: Review of Advances in the Analysis of Metals, Chemicals and Materials. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2019, Vol. 34, Issue 11, pp. 1802–1848. DOI: 10.1039/C8JA90039F.

11. Kopteva A.V., Koptev V.Y. Automated Monitoring System for Asphaltene-Resin-Paraffin Deposits in Main Oil Pipelines. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, Vol. 11, No. 4, pp. 2191–2198.

12. Sanchez R., Lefevreb J., Todoli J.-L. Direct Elemental Analysis Of Petroleum Heavy Fractions by Means of ICP-OES Equipped with a High Temperature Torch Integrated Sample Introduction System. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2019, Vol. 34, Issue 4, pp. 664. DOI: 10.1039/C8JA00320C.

13. Ismagilov Z.R., Sozinov S.A., Popova A.N., Zaporin V.P. Structural Analysis of Needle Coke. *Coke and Chemistry*, 2019, Vol. 62, pp. 135–142. DOI: 10.3103/S1068364X19040021.

14. Karimov R.M., Mastobaev B.N. Vliyanie soderzhaniya parafinov, smol i asfal'tenov na tovarnye kachestva neftei [Effect of Paraffins, Resins and Asphaltenes on Commodity Quality of Oil]. *Bashkirskii khimicheskii*

zhurnal — Bashkir Chemical Journal, 2012, Vol. 19, No. 1, pp. 97–102. [in Russian].

15. Lavrova A.S., Vasilyev V.V., Strakhov V.M. Comparison of the Coking Products from Heavy Petroleum Tars and Heavy Catalytic-Cracking Gas-Oil. *Coke Chemistry*, 2019, Vol. 62, pp. 164–168. DOI: 10.3103/S1068364X19040045.

16. Bugai V.T., Kishkilev G.N., Sautenko A.A. *Sposob opredeleniya stabil'nosti toplivnykh kompozitsii, soderzhashchikh ostatochnye produkty pererabotki nefi* [Method for Determining the Stability of Fuel Compositions Containing Residual Oil Refining Products]. Patent RF, No. 2305836, 2007. [in Russian].

17. Bugai V.T., Sautenko A.A., Fakhrutdinov M.I. *Sposob opredeleniya vtorichnykh ostatochnykh produktov pererabotki nefi v smesevykh toplivakh* [Method for Determination of Secondary Residual Products of Oil Refining in Mixed Fuels]. Patent RF, No. 2426116, 2011. [in Russian].

18. Deryugina L.A., Yarosh V.I. *Sposob opredeleniya sovmestimosti komponentov toplivnoi smesi* [Method for Determining the Compatibility of the Components of the Fuel Mixture]. Patent RF, No. 2444005, 2012. [in Russian].

19. Pigeon D., Lepinay M. *Fuel Compatibility and Stability Analyzer*. Patent France, No. WO2018185520, 2016.

20. Mitusova T.N., Kondrasheva N.K., Lobashova M.M., Ershov M.A., Rudko V.A., Titarenko M.A. Determination

and Improvement of Stability of High-Viscosity Marine Fuels. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2018, Vol. 53, pp. 842–845. DOI: 10.1007/s10553-018-0870-6.

21. Kondrasheva N.K., Rudko V.A., Nazarenko M.Y., Povarov V.G., Derkanskii I.O., Konoplin R.R., Gabdulkhakov R.R. Influence of Parameters of Delayed Coking Process and Subsequent Calculation on the Properties and Morphology of Petroleum Needle Coke from Decant Oil Mixture of West Siberian Oil. *Energy and Fuels*, 2019, Vol. 33, Issue 7, pp. 6373–6379. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.9b01439.

22. Sultanbekov R.R., Nazarova M.N., Shchipachev A.M. *Sposob opredeleniya sovmestimosti i stabil'nosti komponentov toplivnoi smesi* [Method for Determining the Compatibility and Stability of the Components of the Fuel Mixture]. Patent RF, No. 2733748, 2020. [in Russian].

23. Sultanbekov R.R., Nazarova M.N. Determination of Compatibility of Petroleum Products When Mixed in Tanks. *Proceedings Conference «European Association of Geoscientists and Engineers»*. Tyumen, Russia, 2019, pp. 1–5. Available at: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=96369> (accessed 20.03.2021). DOI: 10.3997/2214-4609.201900614.

24. Sultanbekov R.R., Nazarova M.N. Preserving the Quality of Petroleum Products When Mixed in Tanks. *Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources»*. St. Petersburg, Russia, 2019, pp. 914–922.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Султанбеков Радэль Рамилевич, аспирант кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Radel R. Sultanbekov, Post-Graduate Student of Oil and Gas Transport and Storage Department, Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: Radelsultanbekov@mail.ru

Шаммазов Ильдар Айратович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Ildar A. Shammazov, Doctor of Engineering Sciences, Professor Oil and Gas Transport and Storage Department, Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: shammazov_ia@pers.spmi.ru

Щипачев Андрей Михайлович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Andrey M. Schipachev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Oil and Gas Transport and Storage Department, Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: schipachev_am@pers.spmi.ru