

Научная статья
УДК 66.086.4:66.022.389:66.665.6/7
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-29-36>
EDN UFVKBW

Участие химических реагентов в изменении физико-химических свойств мазута

Галина Владимировна Власова[✉], *Татьяна Владимировна Сальникова,*
Надежда Анатольевна Пивоварова

Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, ranec2003@mail.ru[✉]

Аннотация. Ухудшение качества технологических потоков и товарных нефтепродуктов происходит в результате образования отложений, т. к. этот процесс снижает эффективность тепло- и массообмена и, соответственно, четкость ректификации, в результате чего происходят изменения в компонентном и фракционном составе перерабатываемого сырья. Изучено влияние различных химических реагентов, вводимых на стадиях добычи, подготовки и переработки газового конденсата и нефти, на изменение физико-химических свойств получаемых темных нефтепродуктов, которые способствуют образованию отложений в промышленном и заводском оборудовании при дальнейшей переработке или хранении. Приведены результаты экспериментальных исследований. Показано, что на физико-химические свойства мазута влияют не только природа углеводородного сырья, но и состав и концентрация химических реагентов, вводимых на разных стадиях добычи, промышленной подготовки и транспортировки. В результате эксперимента установлено, что в зависимости от концентрации реагента и его основного действующего вещества изменяется структура нефтяной системы, а вслед за ней кинематическая вязкость и температура застывания сырья. Показано, что химические реагенты, улучшающие заданные показатели нефтепродуктов, способны ухудшать другие.

Ключевые слова: деэмульгатор, ингибитор коррозии, мазут, отложения, температура застывания, физико-химические свойства

Для цитирования: Власова Г. В., Сальникова Т. В., Пивоварова Н. А. Участие химических реагентов в изменении физико-химических свойств мазута // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 1. С. 29–36. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-29-36>. EDN UFVKBW.

Original article

Participation of chemical reagents in changing physico-chemical properties of fuel oil

Galina V. Vlasova[✉], *Tatyana V. Salnikova, Nadezhda A. Pivovarova*

Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, ranec2003@mail.ru[✉]

Abstract. Quality of process flows and commercial oil products deteriorates due to developing the deposits, which reduces the efficiency of heat and mass transfer and, accordingly, the clarity of rectification, resulting in changes in the component and fractional composition of the processed raw materials. There has been studied the influence of different chemical reagents introduced at the stages of production, treatment and processing of gas condensate and oil on the change in the physicochemical properties of the resulting dark oil products, which are responsible for deposit formation in the field and plant equipment during further processing or storage. The results of experimental studies are presented. Physicochemical properties of fuel oil are shown to be affected not only by the properties of the hydrocarbon feedstock, but also by the composition and concentration of chemical reagents introduced at different stages of production, field preparation and transportation. In the course of the experiment it has been stated that, depending on the concentration of the reagent and its main active substance, the structure of the oil system changes followed by the kinematic viscosity and pour point of the raw material. It has been found that chemical reagents improving the specified characteristics of oil products are able to worsen others.

Keywords: demulsifier, corrosion inhibitor, fuel oil, deposits, pour point, physico-chemical characteristics

For citation: Vlasova G. V., Salnikova T. V., Pivovarova N. A. Participation of chemical reagents in changing physico-chemical properties of fuel oil. *Oil and Gas Technologies and Environmental Safety*. 2023;1:29-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-29-36>. EDN UFVKBW.

Введение

Устойчивость работы нефтегазодобывающих и перерабатывающих комплексов обусловлена многими факторами, одним из которых является отсутствие сбоев, связанных с образованием различных отложений в технологическом оборудовании. В общем объеме перерабатываемого нефте- и газосодержащего сырья образуется большое количество нежелательных отложений, которые пагубно влияют на состояние технологического оборудования, что приводит к уменьшению межремонтного пробега, росту экономических затрат на поддержание норм технологических процессов. Происходит снижение производительности установок в результате образования отложений в отстойниках, электродегидраторах, теплообменных аппаратах, трубчатых печах, ректификационных колоннах, химических реакторах, вследствие уменьшения поперечного сечения нефте- или газопроводов, в некоторых случаях до полного прекращения перекачивания, а также изменения показаний приборов контроля и автоматизации и т. д.

Общие сведения о проблеме исследования

Одной из причин образования отложений в технологических аппаратах является использование при добыче нефти хлорорганических соединений [1, 2]. Данная проблема особенно остро возникла в конце прошлого века, когда из-за коррозии и засорения внутренней поверхности оборудования участились случаи отключения технологических установок для проведения внеплановых ремонтных работ. Причиной вывода из строя были хлорорганические соединения в поступающей на переработку нефти, удельная концентрация которых превышала грамм на тонну сырья.

Наибольшее количество повреждений технологического промышленного оборудования, а именно резервуаров, сепараторов, термохимических отстойников, происходит в результате коррозии, вызванной образованием асфальто-смолопарафиновых отложений и солевых отложений [3, 4].

Отложения в оборудовании вызывают различного рода проблемы, связанные не только с добычей углеводородного сырья, но и с процессами транспортирования, переработки и хранения углеводородного сырья и нефтепродуктов. Это может быть солеотложение в трубах, отравление катализаторов, загрязнение пластовыми породами внутренних поверхностей оборудования и, как следствие, снижение эффективного диаметра труб, уменьшение КПД теплообменного и энергетиче-

ского оборудования, коррозия, коксообразование в печах, засорение резервуаров, снижение качества полупродуктов и товарных нефтепродуктов [5–7].

Нефтеперерабатывающий завод работает в условиях высоких температур, давлений, объемных скоростей сырьевых потоков, разогретых дымовых газов, а также с участием химических реагентов, вводимых в сырьевой поток на различных стадиях добычи, транспорта и переработки сырья. В результате воздействия агрессивных сред и высоких температур могут увеличиваться скопления осадков и отложений, прогрессировать различные коррозионные и эрозионные процессы, приводящие в совокупности к потере прочности змеевиков, их формоизменению и, в конечном счете, к их разгерметизации и разрушению.

Также образование отложений в оборудовании перерабатывающих заводов часто происходит из-за применения поглотителей сероводорода при добыче и транспортировке нефти [8]. С середины 2012 г. на нефтеперерабатывающих заводах были отмечены «нетипичные» случаи образования коррозионных отложений в конденсаторах воздушно-го охлаждения и рефлюксных емкостях. Так, установки первичной переработки нефти АВТ-3,4 и ЭЛОУ-АТ-4 нефтеперерабатывающего завода ОАО «Славнефть-ЯНОС» вынуждены в период межремонтного пробега выключать из работы конденсатно-холодильное оборудование для чистки от отложений, что приводит к нерациональному использованию энергетических, материальных и трудовых ресурсов [9]. Отложения данной природы способствуют ускоренному изнашиванию оборудования, вызывая общую и язвенную коррозию, а физико-химические свойства обнаруженного вещества не позволяют нейтрализовать его негативное воздействие на стадии переработки нефти.

Причиной снижения долговечности змеевиков нагревательных и реакционных печей является воздействие технологической среды на металл труб. На внутренних поверхностях труб выпадают в осадок продукты конденсации и частичного коксования углеводородов, а также соли недостаточно обессоленной нефти.

Отложения снижают теплопередачу, приводя к перерасходу энергоносителей. Из-за отложений на внутренней поверхности змеевиков печей и ухудшения теплообмена происходит снижение температур нагреваемого потока, что ведет к необходимости увеличения расхода топливного газа для обеспечения поддержания температуры потока на должном уровне. Это приводит к изменению

температурного профиля работы печи за счет увеличения температуры дымовых газов на перевале и после камеры конвекции, к перегреву и прогару труб, что в конечном итоге негативно отражается на сроке службы змеевиков печи [10].

Также отложения увеличивают локальную температуру стенки, что ускоряет процессы коксования продукта и деградации материала змеевиков. Происходит снижение производительности печей из-за нарушения температурных режимов.

В результате процесса оседания на стенках змеевиков теплообменников шлама, который представляет собой смесь углеводородной сажи и неорганических отложений, происходит снижение КПД печи из-за снижения пропускной способности и ухудшения процесса теплообмена, что уменьшает производительность аппарата и ведет к экономическим потерям. Также следствием процесса коксообразования является непродолжительный срок службы трубопроводов, необходимость проведения регламентных работ по очистке и замене змеевиков теплообменников, применение в качестве материалов трубопроводов дорогих жаропрочных специальных марок стали для уменьшения их коррозии (прежде всего от контакта с продуктами отложений), применение системы впрыска различных ингибиторов, а также необходимость установки дорогих узлов подготовки нефтепродуктов по очистке от воды и соли. Эксплуатация данных установок создает серьезные проблемы с утилизацией сточных вод и влечет за собой большие затраты электроэнергии, а использование различных способов уменьшения коксообразования ведут к дополнительным расходам [11].

Отслоение продуктов коррозии приводит к утончению стенки трубы и локальному перегреву в местах утончения.

В стояночных режимах печей стали печных змеевиков подвержены коррозионному воздействию кислых продуктов разложения технологических отложений при контакте с влажным воздухом. В этих условиях из-за контакта с влагой коррозия протекает по электрохимическому механизму [12].

Немаловажным является ухудшение качества технологических потоков и товарных нефтепродуктов в результате образования отложений, т. к. это снижает эффективность тепло- и массообмена и, соответственно, четкость ректификации, в результате чего происходят изменения в компонентном и фракционном составе перерабатываемого сырья.

Соли в основном, так же как и механические примеси, при перегонке сконцентрированы только в мазутах и гудронах. По имеющимся наблюдениям, в аппаратуре выпадает в осадок только 10–20 % солей, которые присутствуют в исходном сырье. Концентрация солей в гудронах и мазутах лишает возможности выработки из них качественных оста-

точных продуктов. Так, например, битумы при этом не выдерживают нормы на растворимость в сероуглероде и, кроме того, содержат водорастворимые примеси-соли, что, в частности для дорожных битумов, недопустимо. Остаточные масла из полумазутов, содержащие соли и продукты коррозии/эрозии, имеют повышенную зольность. Мазуты, содержащие соли, непригодны для выработки моторной продукции. При переработке засоленных нефтей получены следующие данные: при переработке сызранской нефти содержание хлоридов в мазуте достигает 10 000 мг/л, т. е. 1 %. Зольность гудрона после переработки небитдагской нефти на масла возросла до 0,3 %. Также мазуты и гудроны непригодны не только на производство каких-либо остаточных продуктов, но даже и в качестве топлива, т. к. соли вызывают засорение форсунок, дымоходов, образуют осадения на обогревочной поверхности и вызывают их коррозию [13].

Таким образом, часто при переработке нефтей с повышенным содержанием солей вынужденной мерой является отказ от получения из них указанных остаточных продуктов, т. е. снижение ассортимента вырабатываемой продукции. Если есть возможность, мазуты и гудроны, предназначенные для использования в качестве топлива, смешивают с другими, более чистыми нефтепродуктами в целях понижения зольности.

Солеотложение крайне негативно влияет на безопасность эксплуатации трубопроводов. Оно вызывает усиление локальной коррозии металла труб, что приводит к их ускоренному разрушению, которое ведет к разливу нефти. Последнее создает на трубопроводах пожароопасную ситуацию, особенно при наличии в перекачиваемом продукте попутного нефтяного газа. Число отказов нефтегазопроводов по причине солеотложения вследствие развития локальной коррозии составляет до 40 % от общего числа отказов. Такие аварии приводят к необходимости регулярной замены и ремонта поврежденных деталей, расходам на техническое обслуживание, что является затратным и трудоемким, но и это не становится решающим фактором [14].

Помимо больших потерь производства на внеплановые ремонтные работы, вызванные солеотложением на внутренних поверхностях аппаратов, предприятие вынуждено затрачивать больше средств на чистку оборудования.

При наличии большого количества механических примесей и отложений на внутренних поверхностях трубопроводов затраты на их очистку многократно возрастают вследствие необходимости привлечения специализированных организаций, имеющих технологии для удаления отложений из труднодоступных участков технологической системы [15].

В результате дорогостоящей очистки оборудования возникает дополнительная экологическая нагрузка на окружающую среду из-за необходимости утилизации твердых осадков, отложений и продуктов коррозии.

Следовательно, переработка углеводородного сырья, склонного к образованию отложений, приводит к преждевременному выходу из строя и ремонту оборудования, росту динамических нагрузок, коррозии металла оборудования, увеличивает расход электроэнергии, требует дополнительных материальных и трудовых затрат, т. е. приводит к ухудшению технико-экономических показателей работы производства и компаний в целом.

Известны многочисленные способы борьбы с образованием отложений. Наиболее распространенными являются введение химических реагентов, предотвращающих или ингибирующих процесс осадкообразования в нефтяных дисперсных системах, и различные физические воздействия (ультразвук, магнитное поле и т. д.).

Присутствие в углеводородном сырье большого количества различных химических реагентов может приводить к негативным последствиям. Установлено влияние природы и концентрации техно-

логических добавок на дисперсную структуру нефтяных систем [10, 16–18]. Взаимное влияние технологических добавок и изменяющиеся свойства сырья и продуктов могут приводить в дальнейшем к образованию отложений в трубопроводах и оборудовании [10, 18, 19].

Сырье и методика испытаний

В данной статье авторы приводят результаты влияния различных реагентов на изменение физико-химических свойств мазута нефтяного и газоконденсатного происхождения.

В качестве объектов исследования выступали остаток первичной переработки газового конденсата с комбинированной установки первичной перегонки Астраханского газоперерабатывающего завода (мазут АГПЗ) и остаток первичной переработки нефти с установки первичной переработки Волгоградского нефтеперерабатывающего завода (мазут ВНПЗ). Основные показатели качества остатков первичной переработки, которые анализировали с помощью стандартных методик, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Характеристика мазутов

Characteristics of oil fuels

Показатель	ГОСТ	Мазут АГПЗ	Мазут ВНПЗ
Плотность при 15 °С, кг/м ³	33364-2015	920,0	923,0
Кинематическая вязкость при 80 °С, мм ² /с	33-2016	16,60	24,16
Температура застывания, °С	20287-91	23	21
Температура вспышки в открытом тигле, °С	4333-2014	177	168

Для проведения исследования были приготовлены следующие смеси модельных систем:

- с ингибитором коррозии ИКБ-2-2 (далее ИКБ);
- с деэмульгатором «ФЛЭК-Д-010» (далее ФЛЭК);
- с ингибитором коррозии ««Додиген 4482-1С» (далее «Додиген»);
- с деэмульгатором «Геркулес 1603» (далее «Геркулес»).

Используемые химические реагенты применяются непосредственно на производстве, поэтому изучение влияния данных компонентов на изменение физико-химических свойств нефтепродуктов, получаемых в процессе первичной переработки газового конденсата и нефти, имеет принципиальное значение.

Концентрация вводимых реагентов обусловлена рекомендациями производителей (0,001–0,05 % об.).

В качестве критериев оценки влияния химических реагентов на физико-химические свойства остатка первичной переработки нефтяного и газоконденсатного сырья были выбраны следующие показатели: плотность, кинематическая вязкость и температура застывания.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования влияния химических реагентов в различных концентрациях на показатели качества остатков первичной переработки нефтяного и газоконденсатного сырья представлены в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2

Table 2

Изменение физико-химических свойств нефтяного мазута
Changing physico-chemical properties of petroleum fuel oil

Добавка	Концентрация реагента, % об.	Значение показателя для мазута		
		Плотность, кг/м ³	Кинематическая вязкость, мм ² /с	Температура застывания, °С
Без добавки	0	923,0	24,16	21
Ингибитор коррозии «Додиген 4482-1С»	0,001	923,0	25,46	22
	0,026	924,9	26,07	22
	0,05	927,2	26,25	22
Деэмульгатор «Геркулес 1603»	0,001	923,1	24,41	21
	0,026	923,4	24,77	21
	0,05	924,4	25,02	22
Деэмульгатор «ФЛЭК-Д-010»	0,001	921,8	24,16	20
	0,026	921,1	23,38	19
	0,05	920,3	23,04	19
Ингибитор коррозии «ИКБ-2-2»	0,001	918,0	23,91	21
	0,026	920,0	23,15	20
	0,05	920,0	22,30	20

Таблица 3

Table 3

Изменение физико-химических свойств газоконденсатного мазута
Changing physico-chemical properties of gas condensate fuel oil

Наименование добавки	Концентрация реагента, % об.	Значение показателя для мазута		
		Плотность, кг/м ³	Кинематическая вязкость, мм ² /с	Температура застывания, °С
Без добавки	0	920,0	16,60	23
Ингибитор коррозии «Додиген 4482-1С»	0,001	922,4	17,14	27
	0,026	922,9	17,99	27
	0,05	923,6	18,25	28
Деэмульгатор «Геркулес 1603»	0,001	921,2	16,92	26
	0,026	922,3	17,38	28
	0,05	923,2	17,99	28
Деэмульгатор «ФЛЭК-Д-010»	0,001	919,6	16,20	24
	0,026	919,0	16,10	26
	0,05	918,7	16,10	26
Ингибитор коррозии «ИКБ-2-2»	0,001	919,0	16,60	27
	0,026	918,7	16,04	28
	0,05	918,3	15,73	29

Известно, что введение поверхностно-активных веществ в нефть, газовый конденсат и нефтепродукты приводит к изменению межмолекулярных взаимодействий и перестройке структуры нефтяной дисперсной системы, ее дисперсности [20], в связи с чем изменяются ее макроскопические показатели, такие как вязкость, плотность и температура застывания [21].

Из полученных данных можно сделать вывод, что введение в мазут нефтяного и газоконденсатного происхождения деэмульгатора «Геркулес» приводит к повышению плотности мазутов на 0,16 %, вязкости на 4 %. Введение ингибитора коррозии

«Додиген» также приводит к увеличению исследуемых параметров сырья, в то время как ингибитор коррозии ИКБ и деэмульгатор ФЛЭК вызывают обратный эффект.

Можно предположить, что ингибиторы коррозии и деэмульгаторы, содержащие ПАВ – азот- и кислородсодержащие функциональные группы, – попадая в мазут, взаимодействуют с надмолекулярными образованиями, вытесняя, благодаря своей поверхностной активности, внешние слои дисперсной частицы, а именно насыщенные углеводороды, имеющие более высокую, чем молекулы дисперсионной среды, молекулярную массу и наличие циклов.

Между этими крупными молекулами потенциал парного взаимодействия выше, чем с молекулами дисперсионной среды, и они объединяются в ассоциаты. При этом средний размер частиц дисперсионной фазы уменьшается, что приводит к некоторому снижению вязкости. Но эти появившиеся ассоциаты одновременно представляют собой дозародыши кристаллообразования, которые при понижении температуры становятся центрами кристаллизации парафиновых углеводородов дисперсионной среды с последующим образованием пространственной сетки. Поэтому температура застывания в присутствии ингибиторов и демульгаторов повышается.

Заключение

Таким образом, следует иметь в виду, что химические реагенты, вводимые в нефтяное и газоконденсатное сырье на различных стадиях его добычи, промышленной подготовки и транспортировки, изменяют его физико-химические свойства в зависимости от природы и концентрации этих добавок. А это, в свою очередь, в дальнейшем может привести к образованию отложений в трубопроводах и на внутренних поверхностях технологического оборудования и повлечет за собой снижение экономической эффективности технологического процесса в целом из-за частых остановов на ремонт или выхода из строя аппаратного оформления.

Список источников

1. Li X., Wu B. Understanding to the composition and structure of organic chlorides in petroleum and its distillates // *Petroleum Science and Technology*. 2019. V. 37 (2). P. 119–126. URL: <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1514407> (дата обращения: 28.12.2022).
2. Носов В. В., Пресняков А. Ю., Бадамшин А. Г., Невядовский Е. Ю., Волошин А. И., Докичев В. А. Хлорорганические соединения в нефти: проблемы и решения // *Нефтяное хозяйство*. 2021. № 4. С. 110–113. URL: <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2021-4-110-113> (дата обращения: 28.12.2022).
3. Veliev M. M., Veliev E. M., Mukhametshin V. Sh., Le Viet Zung, Andreev A. V., Gabzalilova A. Kh. Change of physical and chemical properties of asphaltene-resin-paraffin deposits in tubing // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. V. 866. N. 1. P. 012022. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/866/1/012022> (дата обращения: 28.12.2022).
4. Лифанов Д. П., Орлова Г. М. Обзор методов и средств борьбы с АСПО в промышленных трубопроводах и оборудовании нефтедобычи // *Тенденции развития науки и образования*. 2022. № 85-1. С. 103–106. URL: <https://doi.org/10.18411/trnio-05-2022-30> (дата обращения: 29.12.2022).
5. Jegla Z., Kohoutek J., Stehlik P. Design and operating aspects influencing fouling inside radiant coils of fired heaters operated in crude oil distillation plants // *Proceedings of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning*. 2011. № 5. P. 7–14.
6. Patil P. D., Kozminski M., Peterson J., Kumar S. Fouling Diagnosis of Pennsylvania Grade Crude Blended with Opportunity Crude Oils in a Refinery Crude Unit's Hot Heat Exchanger Train // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2019. V. 58 (38). P. 17918–17927. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b03921> (дата обращения: 29.12.2022).
7. Степанова Т. В., Гончаров В. М., Чернышева Е. А., Амиров Н. Н. Изменение физико-химических свойств нефтяного сырья в зависимости от остаточной концентрации реагентов, применяемых для нефтеотдачи пласта // *Химическая технология*. 2006. № 4. С. 11–15.
8. Попадин Н. В., Прохоров Е. М., Нурахмедова А. Ф., Тараканов Г. В. Некоторые аспекты нейтрализации сероводорода в остаточных углеводородных топливах // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та*. 2014. № 2 (58). С. 31–41.
9. Винтилов С. В., Акишев Д. А., Жолобов В. П., Зайцев В. И. Анализ проблем, связанных с образованием отложений в процессах переработки нефти и ростом коррозионного износа оборудования на НПЗ // *Химическая техника*. 2015. № 6. С. 15–22.
10. Пивоварова Н. А., Власова Г. В., Колосов В. М., Нестеров В. А. Проблемы образования отложений в технологическом оборудовании при переработке газового конденсата // *Газовая промышленность*. 2019. № 3. С. 73–77.
11. Хафизов А. М. и др. Совершенствование информационно-управляющей системы обеспечения безопасности трубчатых печей нефтегазовых производств с использованием генетических алгоритмов // *Сетевое издание «Нефтегазовое дело»*. 2019. № 1. С. 104–124.
12. Добротворский А. М., Балутев А. В., Денисенко Е. П., Копыльцов А. В., Легостаев Д. А., Саватеев А. Г. Змевики технологических печей нефтеперерабатывающих производств. Основные особенности эксплуатации, технического диагностирования и анализа технического состояния // *Химическая техника*. 2016. № 1. С. 50–55.
13. Тошбоев С. У., Сатторов М. О. Влияние солей на использование нефти и нефтяного сырья // *Научный аспект*. 2018. Т. 7. № 4. С. 860–862.
14. Уфимское технологическое предприятие. Коррозионные среды. Причины и условия отложения неорганических солей. URL: http://corrosion.su/the_reasons_and_conditions_of_adjournment_of_inorganic_salts.php (дата обращения: 30.12.2022).
15. Алшавка Х. Х. Пути решения проблемы очистки нефтепроводов от парафина и других отложений // *Теория и практика современной науки*. 2021. № 4 (70). С. 36–40.
16. Гришин Р. С. Разработка системы удаления отложений резервуаров // *Транспорт и хранение углеводородов: тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых*. Омск, 2021. С. 135–137.
17. Шайхутдинова М. Ш., Дудников Ю. В., Ямалетдинова К. Ш., Гоц С. С. К вопросу о предотвращении образования и накопления донных отложений в резервуарах // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 4. С. 172–175.
18. Сальникова Т. В., Власова Г. В., Пивоварова Н. А., Теличкина Э. Р. Уменьшение образования отложений из модельных нефтяных смесей под воздействием магнитного и ультразвукового полей // *Технологии нефти*

и газа. 2021. Т. 137. № 6. С. 20–23. DOI:10.32935/1815-2600-2021-137-6-20-23.

19. Колосов В. М., Пивоварова Н. А., Кириллова Л. Б. К вопросу о влиянии используемых реагентов на образование отложений в технологическом оборудовании при переработке газового конденсата // *Технология нефти и газа*. 2014. № 1. С. 3–10.

20. Туманян Б. П. Научные и прикладные аспекты теории нефтяных дисперсных систем. М.: ООО «ТУМА ГРУПП», Изд-во «Техника», 2000. 170 с.

21. Зверева Э. Р., Плотникова В. П., Сафина Г. Г., Дударовская О. Г., Шагеев М. Ф., Зверев Л. О., Романов С. Р., Назаров А. И. Исследование механизма влияния многофункциональной присадки к котельному топливу // *Вестн. Казан. гос. энергет. ун-та*. 2021. Т. 13. № 2 (50). С. 89–99.

References

1. Li X., Wu B. Understanding to the composition and structure of organic chlorides in petroleum and its distillates. *Petroleum Science and Technology*, 2019, vol. 37 (2), pp. 119-126. Available at: <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1514407> (accessed: 28.12.2022).

2. Nosov V. V., Presniakov A. Iu., Badamshin A. G., Neviadovskii E. Iu., Voloshin A. I., Dokichev V. A. Khlrororganicheskie soedineniia v nefiti: problemy i resheniia [Organochlorine compounds in oil: problems and solutions]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2021, no. 4, pp. 110-113. Available at: <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2021-4-110-113> (accessed: 28.12.2022).

3. Veliev M. M., Veliev E. M., Mukhametshin V. Sh., Le Viet Zung, Andreev A. V., Gabzalilova A. Kh. Change of physical and chemical properties of asphaltene-resin-paraffin deposits deposits in tubing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. Vol. 866, no. 1, p. 012022. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/866/1/012022> (accessed: 28.12.2022).

4. Lifanov D. P., Orlova G. M. Obzor metodov i sredstv bor'by s ASPO v promyslovyykh truboprovodakh i oborudovanii nefteodobychi [Review of methods and means of combating asphaltene-paraffine deposits in field pipelines and oil production equipment]. *Tendentsii razvitiia nauki i obrazovaniia*, 2022, no. 85-1, pp. 103-106. Available at: <https://doi.org/10.18411/trnio-05-2022-30> (accessed: 29.12.2022).

5. Jegla Z., Kohoutek J., Stehlik P. Design and operating aspects influencing fouling inside radiant coils of fired heaters operated in crude oil distillation plants. *Proceedings of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning*, 2011, no. 5, pp. 7-14.

6. Patil P. D., Kozminski M., Peterson J., Kumar S. Fouling Diagnosis of Pennsylvania Grade Crude Blended with Opportunity Crude Oils in a Refinery Crude Unit's Hot Heat Exchanger Train. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2019, vol. 58 (38), pp. 17918-17927. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b03921> (accessed: 29.12.2022).

7. Stepanova T. V., Goncharov V. M., Chernysheva E. A., Amirov N. N. Izmenenie fiziko-khimicheskikh svoistv nefitanogo syr'ia v zavisimosti ot ostatochnoi kontsentratsii reagentov, primeniaemykh dlia nefteotdachi plasta [Changes in physical and chemical properties of crude oil depending on residual concentration of reagents used for oil recovery]. *Khimicheskaiia tekhnologiia*, 2006, no. 4, pp. 11-15.

8. Popadin N. V., Prokhorov E. M., Nurakhmedova A. F., Tarakanov G. V. Nekotorye aspekty neutralizatsii serovodoroda v ostatochnyykh uglevodorodnykh toplivakh [Aspects of hydrogen sulfide neutralization in residual hydrocarbon fuels]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 2 (58), pp. 31-41.

9. Vintilov S. V., Akishev D. A., Zholobov V. P., Zaitsev V. I. Analiz problem, sviazannykh s obrazovaniem

otlozhenii v protsessakh pererabotki nefiti i rostom korrozionnogo iznosa oborudovaniia na NPZ [Analysis of problems associated with formation of deposits in oil refining processes and growth of corrosive wear of equipment at refineries]. *Khimicheskaiia tekhnika*, 2015, no. 6, pp. 15-22.

10. Pivovarova N. A., Vlasova G. V., Kolosov V. M., Nesterov V. A. Problemy obrazovaniia otlozhenii v tekhnologicheskome oborudovanii pri pererabotke gazovogo kondensata [Problems of deposit formation in technological equipment during gas condensate processing]. *Gazovaiia promyshlennost'*, 2019, no. 3, pp. 73-77.

11. Khafizov A. M. i dr. Sovershenstvovanie informatsionno-upravliaiushchei sistemy obespecheniia bezopasnosti trubchatykh pechei neftegazovykh proizvodstv s ispol'zovaniem geneticheskikh algoritmov [Improving information management system for ensuring safety of tube furnaces in oil and gas industries using genetic algorithms]. *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo»*, 2019, no. 1, pp. 104-124.

12. Dobrotvorskii A. M., Balutov A. V., Denisenko E. P., Kopyltsov A. V., Legostaev D. A., Savateev A. G. Zmeeviki tekhnologicheskikh pechei neftepererabatyvaiushchikh proizvodstv. Osnovnye osobennosti ekspluatatsii, tekhnicheskogo diagnostirovaniia i analiza tekhnicheskogo sostoianiia [Coils of technological furnaces of oil refining industries. Main features of operation, technical diagnostics and analysis of technical condition]. *Khimicheskaiia tekhnika*, 2016, no. 1, pp. 50-55.

13. Toshboev S. U., Sattorov M. O. Vliianie soli na ispol'zovanie nefiti i nefitanogo syr'ia [Influence of salts on oil and oil raw materials]. *Nauchnyi aspekt*, 2018, vol. 7, no. 4, pp. 860-862.

14. *Ufinskoe tekhnologicheskoe predpriiatie. Korrozionnye sredy. Prichiny i usloviia otlozheniia neorganicheskikh soli* [Ufa technological enterprise. Corrosive environments. Causes and conditions of deposition of inorganic salts]. Available at: http://corrosion.su/the_reasons_and_conditions_of_adjournment_of_inorganic_salts.php (accessed: 30.12.2022).

15. Alshavka Kh. Kh. Puti resheniia problemy ochildki nefteprovodov ot parafina i drugikh otlozhenii [Ways to solve problem of cleaning oil pipelines from paraffin and other deposits]. *Teoriia i praktika sovremennoi nauki*, 2021, no. 4 (70), pp. 36-40.

16. Grishin R. S. Razrabotka sistemy udaleniia otlozhenii rezervuarov [Developing system of removing deposits from reservoirs]. *Transport i khranenie uglevodorodov: tezisy dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh*. Omsk, 2021. Pp. 135-137.

17. Shaikhutdinova M. Sh., Dudnikov Iu. V., Jamaletdinova K. Sh., Gots S. S. K voprosu o predotvrashchenii obrazovaniia i nakopleniia donnykh otlozhenii v rezervuarakh [Of problem of preventing formation and accumulation

of bottom sediments in reservoirs]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia*, 2018, no. 4, pp. 172-175.

18. Sal'nikova T. V., Vlasova G. V., Pivovarova N. A., Telichkina E. R. Umen'shenie obrazovaniia otlozhenii iz model'nykh neflianykh smesei pod vozdeistviem magnitnogo i ultrazvukovogo polei [Reducing formation of deposits from model oil mixtures under influence of magnetic and ultrasonic fields]. *Tekhnologii nefli i gaza*, 2021, vol. 137, no. 6, pp. 20-23. DOI: 10.32935/1815-2600-2021-137-6-20-23.

19. Kolosov V. M., Pivovarova N. A., Kirillova L. B. K voprosu o vliianii ispol'zuemykh reagentov na obrazovanie otlozhenii v tekhnologicheskome oborudovanii pri pererabotke gazovogo kondensata [On problem of influence of reagents used on formation of deposits in process equip-

ment during processing of gas condensate]. *Tekhnologiia nefli i gaza*, 2014, no. 1, pp. 3-10.

20. Tumanian B. P. *Nauchnye i prikladnye aspekty teorii neflianykh dispersnykh sistem* [Scientific and applied aspects of theory of petroleum dispersed systems]. Moscow, OOO «TUMA GRUPP», Izd-vo «Tekhnika», 2000. 170 p.

21. Zvereva E. R., Plotnikova V. P., Safina G. G., Dudarovskaia O. G., Shageev M. F., Zverev L. O., Romanov S. R., Nazarov A. I. Issledovanie mekhanizma vliianiia mnogofunktsional'noi prisadki k kotel'nomu toplivu [Research mechanism of influence of multifunctional additive to boiler fuel]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2021, vol. 13, no. 2 (50), pp. 89-99.

Статья поступила в редакцию 21.01.2023; одобрена после рецензирования 05.02.2023; принята к публикации 16.02.2023
The article is submitted 21.01.2023; approved after reviewing 05.02.2023; accepted for publication 16.02.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Галина Владимировна Власова – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; ranec2003@mail.ru

Татьяна Владимировна Сальникова – старший преподаватель кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; t_salnikowa@mail.ru

Надежда Анатольевна Пивоварова – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; nadpivov@mail.ru

Galina V. Vlasova – Candidate of Sciences in Technology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing; Astrakhan State Technical University; ranec2003@mail.ru

Tatyana V. Salnikova – Senior Lecturer of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing; Astrakhan State Technical University; t_salnikowa@mail.ru

Nadezhda A. Pivovarova – Doctor of Sciences in Technology, Professor; Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing; Astrakhan State Technical University; nadpivov@mail.ru

