

ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 628.33

doi: 10.23968/2305–3488.2018.23.1.3–8

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Дремичева Е. С., Шамсутдинов Э. В.

INTENSIFICATION OF SEDIMENTATION TREATMENT OF WASTEWATER FROM OIL PRODUCTS

Dremicheva E. S., Shamsutdinov E. V.

Аннотация

Разделение водонефтяных эмульсий в гравитационных отстойниках является наиболее простым в аппаратурном оформлении процессом. Однако при использовании в качестве отстойников полых емкостей эффективность процесса разделения ограничивается целым рядом факторов. В статье рассмотрен способ разделения водонефтяных эмульсий для очистки нефтесодержащих сточных вод в гравитационных отстойниках по аналогии с разделением эмульсий при добыче нефти. Проведены экспериментальные исследования, по результатам которой получена зависимость всплытия, согласующаяся с аналогичными работами других авторов. Для интенсификации процесса разделения была рассмотрена возможность добавления ПАВ, которая повысила эффективность гравитационного осаждения с 50 до 75 %. Также была оценена эффективность при изменении кислотности и солесодержания среды. Полученные положительные результаты могут быть использованы для выделения нефтепродуктов из сточных вод при помощи ПАВ на существующем типовом оборудовании, а также при модернизации промышленных отстойных аппаратов.

Ключевые слова: очистка сточных вод, водонефтяные эмульсии, отстаивание, деэмульгатор, ПАВ.

Abstract

The separation of water-oil emulsions in gravity sedimentation tanks is the simplest in the instrumental design process. However, when using hollow containers as settlers, the efficiency of the separation process is limited by a number of factors. The method of separation of water-oil emulsions for cleaning oily wastewater in gravity sedimentation tanks by analogy with the separation of emulsions during oil extraction is considered in the article. Experimental studies have been carried out, according to which the dependence of the ascent has been obtained, consistent with the analogous works of other authors. To intensify the separation process, the possibility of adding a surfactant, which increased the efficiency of gravity deposition from 50 to 75 %, was considered. The efficiency was also evaluated when the acidity of the medium and salt content changed. The obtained positive results can be used on the existing standard equipment for separation of oil products from sewage with the help of surfactants, as well as in the modernization of industrial settling apparatus.

Keywords: wastewater treatment, water-oil emulsions, sedimentation, demulsified, surfactant, MPC.

Введение

Процессы нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств связаны с использованием большого количества воды. Предприятия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности активно развиваются, наращивая объемы производства, что вызывает необходимость решения проблемы загрязнения окружающей среды вредными выбросами. Основная масса загрязнений попадает в водоемы со сточными водами предприятий химической

промышленности и топливно-энергетического комплекса. Сточной водой является любой поток воды, выводимый из цикла промышленного предприятия. Особую угрозу окружающей среде представляют сточные воды, загрязненные нефтепродуктами, так как нефть и нефтепродукты, попадая в водные источники, наносят им существенный вред: попавшие в водоем нефтепродукты в результате биохимического окисления постепенно разлагаются на углекислоту и воду [15].

При добыче, переработке и транспортировке нефтепродуктов образуется большое количество нефтесодержащих вод с малым содержанием нефтепродуктов. В производственных сточных водах нефтесервисных, нефтеперерабатывающих предприятий в качестве загрязняющих веществ присутствуют сложные смеси нефтепродуктов переменного состава и разнообразных физико-химических свойств. При попадании в окружающую среду сточные воды, содержащие нефтепродукты, ухудшают санитарно-гигиеническое состояние почвы, воздушного и водного бассейнов.

Многочисленные предприятия хранения, транспортировки, отпуска нефтепродуктов, например, такие как автотранспортные, автозаправочные комплексы, не всегда располагают эффективными очистными сооружениями. При этом именно такие мелкие и средние предприятия дают в сумме огромное количество нефтесодержащих сточных вод [1].

Такие нефтесодержащие воды в зависимости от технико-экономических возможностей предприятия можно подвергать разделению с повторным использованием компонентов или вводить в топливные темные нефтепродукты (мазут) для последующего сжигания. Утилизация сжиганием крайне энергозатратна и дорога, хотя объективно более экологична, но первый путь — разделение водонефтяных эмульсий — является ресурсосберегающим [12].

Опыт эксплуатации промышленных предприятий показывает, что удаление нефтепродуктов (мазута, масел) из воды — одна из наиболее сложных проблем в работе водно-химических систем. Концентрация нефтепродуктов в некоторых видах сточных вод может достигать 1000 мг/л, а при аварийных и залповых сбросах намного больше. Высокая летучесть нефтепродуктов при выпаривании является причиной загрязнения дистиллята, в котором их может содержаться до 10 мг/л [8].

Глубина очистки воды от нефтепродуктов зависит от вида или комплекса различных видов очистки, что, в свою очередь, зависит от вида и концентрации нефтепродуктов в воде. По физическим свойствам различают легкоотделяемые, трудноотделимые и растворимые в воде нефтепродукты. К числу главных проблем при очистке

нефтесодержащих сточных вод относится выделение эмульгированных минеральных масел, мазута и других видов нефтепродуктов. Поэтому однозначно дать рекомендацию о выборе метода очистки, не имея четкого представления о качестве и количестве загрязненной воды, практически невозможно [6]. Кроме того, агрегативную устойчивость эмульсий измеряют временем их существования до полного разделения образующих эмульсию жидкостей. В случае эмульсий, полученных из разных нефтепродуктов, их устойчивость может составлять от нескольких секунд до года и более [7].

Наиболее простым и распространенным способом выделения из сточных вод нефтепродуктов, которые под действием гравитационной силы оседают на дне аппарата или всплывают на его поверхность, является процесс отстаивания. Однако эффективность метода отстаивания обычно не превышает 40–60 %. Кроме того, если концентрация нефтепродуктов незначительна и, соответственно, размер частиц нефтепродуктов мал, то продолжительность разделения таких эмульсий увеличивается и может достигать бесконечности.

Предмет, задачи и методы исследования

В статье представлены результаты проведенных исследований кинетики осаждения нефтепродуктов из сточных вод ТЭС и промышленных предприятий, а также возможность интенсификации данного процесса путем добавления химических реагентов — деэмульгаторов аналогично методам разрушения эмульсий в условиях добычи нефти.

Кривые кинетики осветления воды хорошо описываются уравнением:

$$\mathcal{E}_\tau = (\tau/60)^{a/\tau} \mathcal{E}_{60}, \quad (1)$$

где \mathcal{E}_{60} и \mathcal{E}_τ — эффекты осветления воды при продолжительности отстаивания соответственно 60 и τ мин; a — коэффициент, зависящий от свойств нефтепродуктов в эмульсиях, их концентраций в воде и высоты столба воды.

Величина \mathcal{E}_{60} может быть вычислена с использованием данных, определяемых при контроле качества воды:

$$\mathcal{E}_{60} = \frac{C_0 - C_{60}}{C_0} 100 \%, \quad (2)$$

где C_0 и C_{60} — концентрация нефтепродуктов соответственно в исходной воде и после отстаивания в течение 60 мин; $C_0 - C_{60}$ — количество выделенных нефтепродуктов в процессе осаждения.

Сущность определения агрегативной устойчивости водонефтяных эмульсий заключается в измерении ее обводненности, расхода эмульсии, плотности воды и нефти. С целью более точного определения агрегативной устойчивости водонефтяных эмульсий необходимо знать дисперсный состав эмульсии или распределение нефти по размерам капель [9].

Эксперимент проводился на модельной водонефтяной эмульсии. Для ее создания бралась дистиллированная вода и нефть Ромашкинско-го месторождения плотностью $\rho = 908 \text{ кг/м}^3$, вязкостью $\eta_{20} = 33,8 \text{ сПз}$. Концентрация нефти в эмульсии составила 10–30 %. Эмульсия готовилась пропеллерной мешалкой с частотой вращения 1500 об/мин и временем перемешивания 10 мин. Тщательно перемешанная эмульсия переливалась в мерный цилиндр объемом 250 мл, и далее замерялось время осаждения и толщина слоя нефти. Замеры проводили каждые 0,5–1 мин и далее каждые 10 мин для получения более четкой картины по количеству отделившейся воды.

Опыт получения товарной обезвоженной нефти из водонефтяных эмульсий осуществляется при нагреве эмульсии до 40–60 °С. Сложность подготовки нефти на территории России обусловлена тем, что температура водонефтяной эмульсии в зимнее время опускается до 10–25 °С, при которой эффективность разделения снижается [10], поэтому эксперимент проводился при температуре 20 °С. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1.

Результаты исследования

В результате анализа и обобщения эксперимента получена зависимость скорости всплытия нефти от диаметра частиц, представлен-

ная на рис. 1, и было получено уравнение $u = 0,0493e^{-0,025d}$ с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,8349$.

Приведенные результаты экспериментальных исследований процессов подчиняются закону Стокса (процессы седиментации и всплытия). Аналогичные зависимости, но с другими коэффициентами получены в работах [4, 13, 14].

Известно, что одним из направлений совершенствования технологии предварительного обезвоживания нефти является использование интенсификации разделения эмульсии. В качестве интенсификатора широко применяют обработку водонефтяных сред с помощью деэмульгаторов. Поэтому в данной работе для интенсификации процесса отстаивания нефтесодержащих сточных вод был выбран метод добавления деэмульгаторов.

Использование реагентов представляет собой достаточно сложный многофакторный процесс, успешная реализация которого зависит от скрупулезного учета влияния каждого из факторов (строение и свойства реагента, характер его взаимодействия с заряженными оболочками глобул и механическими примесями, влияние термодинамических условий и др.) на механизм и эффективность деэмульсации [2].

Существует большое количество деэмульгирующих композиций для обезвоживания и обессоливания водонефтяных эмульсий на основе алкилбензосульфоната кальция и алкансульфоната натрия, азотсодержащих соединений, оксиэтилированного алкилфенола и тримеров пропилена, блок-сополимера оксида этилена и пропилена, а также глутарового альдегида, продуктов окислалкилирования с подвижным атомом водорода и метилдиэтилалкоксиметилом аммония метилсульфатом. Высокоэффективные деэмульгаторы, применяемые на нефтепромыслах и нефтеперерабатывающих заводах для обезвоживания и обес-

Таблица 1

Зависимость эффективности разделения водонефтяной эмульсии от времени

Концентрация нефти в эмульсии, %	Эффективность разделения водонефтяной эмульсии, %, за время										
	0,5 мин	1 мин	1,5 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин	20 мин	40 мин	60 мин	90 мин
10	25	30	32,5	32,5	35	36,25	37,5	45	50	50	50
15	16,7	43,3	46,7	50	51,7	52,5	53,3	60	61,7	61,7	61,7
20	18,75	27,5	35	38,75	43,75	50	56,25	63,75	63,75	63,75	63,75

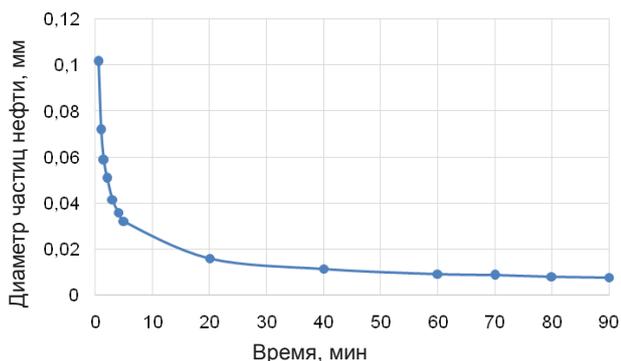


Рис. 1. Зависимость величины частиц нефти от времени их осаждения

соливания нефти, содержат смесь ПАВ различных структур и модификаций, которые, как правило, являются синергистами. Любое органическое вещество, обладающее моющими свойствами, может с той или иной эффективностью использоваться в качестве деэмульгатора [3].

Теории, объясняющие механизм действия таких моющих средств как деэмульгаторов, подразделяют на две группы:

1. Физическая, предполагающая протекание физической адсорбции молекул деэмульгатора на коллоидных частицах, разрыхляющее и модифицирующее действие моющих средств на межфазный слой, которое способствует вытеснению и миграции молекул (частиц) стабилизатора в ту или иную фазу.

2. Химическая, основанная на предположении о преобладающей роли хемосорбции молекул деэмульгатора на компонентах защитного слоя с образованием прочных химических связей, в результате чего природные стабилизаторы нефти теряют способность эмульгировать воду [3].

В качестве интенсификатора разделения эмульсии гравитационным осаждением использовали добавление ПАВ следующего состава: вода, лауретсульфат натрия, оксид лаурамина, полипропиленгликоль. Плотность ПАВ 1,1 г/см³. Концентрационный диапазон деэмульгаторов выбирался аналогично, как для нефтепромыслов для подготовки нефти для России (100 мг/дм³ нефти) [10]. При пересчете на воду концентрация ПАВ составила 1,25; 1,8; 2,5 мг/дм³ воды. Для экспериментов бралась проба воды с концентрацией нефтепродуктов 10 %. Эксперимент проводился аналогично с замером времени осаждения

и толщины слоя нефти. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 2.

Как видно из результатов экспериментальных исследований, добавление ПАВ интенсифицирует разделение водонефтяной эмульсии, эффективность процесса увеличивается с 50 до 63 % и 75 % при добавлении ПАВ в концентрации 1,25 и 2,5 мг/дм³ соответственно. Причем увеличение количества добавляемых ПАВ с 1,8 до 2,5 мг/дм³ не влияет на скорость разделения водонефтяной эмульсии.

Также были проведены экспериментальные исследования по изменению pH и электропроводности среды при интенсификации разделения водонефтяной эмульсии деэмульгатором. Водородный показатель эмульсии изменялся от 2 до 11 единиц путем добавления 0,1 н раствора HCl для создания кислой среды и 0,1 н раствора NaOH для создания щелочной среды. Электропроводность изменялась путем увеличения содержания при добавлении 0,1 н раствора NaCl. Концентрация ПАВ была взята 1,8 мг/дм³. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 3.

Как видно из результатов экспериментальных исследований, уменьшение pH и изменение содержания среды не влияет на эффективность разделения, а увеличение pH среды, наоборот, замедляет скорость разделения и снижает эффективность. В соответствии с гигиеническими требованиями к условиям отведения сточных вод в водные объекты [6] водородный показатель pH

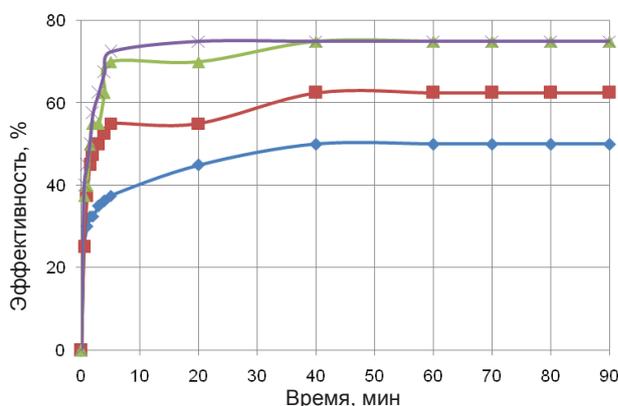


Рис. 2. Зависимость эффективности разделения водонефтяной эмульсии: ◆ — «холостое» испытание; ■ — ПАВ 1,25 мг/дм³; ▲ — ПАВ 1,8 мг/дм³; × — ПАВ 2,5 мг/дм³

не должен выходить за пределы 6,5–8,5. Таким образом, для разделения водонефтяных эмульсий целесообразно поддержание pH в пределах нейтрального.

Из всех экспериментов выяснилось, что оптимальное время разделения составило 40 мин, далее проводить разделение экономически нецелесообразно.

Данные результаты в дальнейшем могут быть использованы для расчетов отстойников сточных вод различных типов для выделения нефтепродуктов.

Выводы

Многочисленные предприятия хранения, транспортировки, отпуска нефтепродуктов не всегда располагают эффективными очистными сооружениями. Одним из наиболее простых способов разделения сточных вод и нефтепродуктов является разделение под действием гравитационных сил в отстойниках различных конструкций. В результате экспериментальных исследований установлено, что процесс седиментации подчиняется закону Стокса, получена зависимость скорости всплытия от диаметра частиц нефти с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,8349$, согласующаяся с аналогичными работами других авторов.

Для интенсификации процесса разделения водонефтяных эмульсий по аналогии с добычей нефти была рассмотрена возможность добавления ПАВ. Установлено, что ПАВ интенсифицирует разделение водонефтяной эмульсии по эффективности с 50 до 75 %, причем увеличение количества добавляемых ПАВ после определенного

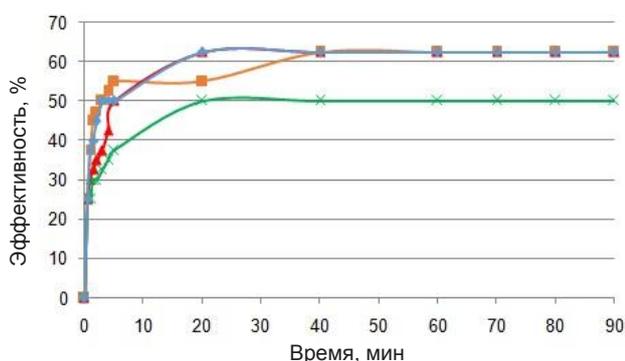


Рис. 3. Зависимость эффективности разделения водонефтяной эмульсии при интенсификации ПАВ концентрацией 1,25 мг/дм³: ■ — ПАВ; ▲ — pH 2; × — pH 11; ◆ — NaCl

значения (1,8 мг/дм³ воды) на скорость разделения водонефтяной эмульсии не влияет. Оптимальное значение кислотности среды для разделения эмульсии составило 6,5–8,5, что соответствует гигиеническим требованиям к условиям отведения сточных вод в водные объекты.

Полученные положительные результаты могут быть использованы на существующем типовом оборудовании для выделения нефтепродуктов из сточных вод при помощи ПАВ, а также при модернизации промышленных отстойных аппаратов.

Литература

1. Веприкова, Е. В., Терещенко, Е. А., Чесноков, Н. В. (2010). Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, № 3, сс. 285–303.
2. Гладий, Е. А., Кемалов, А. Ф., Гайнуллин, В. И., Бажиров, Т. С. (2015). Оценка эффективности широко применяемых реагентов-деэмульгаторов для обезвоживания нефти термохимическим способом. *Экспозиция нефть газ*, № 5 (44), сс. 16–18.
3. Зачиняев, Я. В., Сергиенко, Ю. В., Гладиллин, Ю. А., Харитоненко, А. Л. (2012). Модульные передвижные установки с воздействием на водонефтяные эмульсии магнитным полем. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, № 3, сс. 46–51.
4. Кашаев, Р. С., Фасхиев, Н. Р. (2011). Обезвоживание нефтей во вращающемся магнитном поле и контроль процесса методом ЯМР-релаксометрии. *Нефтепромысловое дело*, № 6, сс. 49–55.
5. Лаптев, А. Г., Сергеева, Е. С. (2011). Водоподготовка и водоочистка в энергетике. Часть 2. *Вода: химия и экология*, № 4, сс. 32–37.
6. Минздрав России (2000). *Гигиенические требования к охране поверхностных вод*. СанПиН 2.1.5.980–00. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России.
7. Позднышев, Г. Н. (1982). *Стабилизация и разрушение эмульсий*. М.: Недра, 221 с.
8. Путилов, В. Я. (ред.) (2003). *Экология энергетики*. М.: МЭИ, 715 с.
9. Расулов, С. Р., Рзаев, А. Г., Нуриева, И. А. (2016). Определение агрегативной устойчивости и дисперсного состава нефтяной эмульсии. В: *Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию высшего образования в Республике Татарстан «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли»*. Альметьевск: АГНИ, сс. 48–51.
10. Семихина, Л. П., Москвина, Е. Н., Кольчевская, И. В. (2012). Влияние физико-химических свойств реагентов на кинетику разрушения водонефтяных эмульсий при различных температурах. *Вестник Тюменского государственного университета*, № 5, сс. 72–79.
11. Семихина, Л. П., Семихин, Д. В., Перекупка, А. Г. (2003). Подбор деэмульгаторов с учетом температурно-

го режима подготовки нефти. *Нефтяное хозяйство*, № 9, сс. 25–27.

12. Таранцев, К. В., Коростелева, А. В. (2013). Топливные водонефтяные эмульсии как способ утилизации нефте-содержащих вод. *Экология и промышленность России*, № 2, сс. 14–17.

13. Фахретдинов, Р. Р. (2003). *Совершенствование технологии предварительного обезвоживания нефти на промыслах*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 21 с.

14. Шаврин, А. М. (2013). К вопросу интенсификации предварительного обезвоживания нефти на удаленных необустроенных скважинах. *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*, № 4 (94), сс. 72–76.

15. Shuncun, S., Tongqing, Z., Jianxian, Z. (2003). Sewage treatment from petrochemical manufacture. *Gongyeshui chuli = Ind. Water Treat.*, № 23, pp. 23–25.

References

1. Veprikova, Ye. V., Tereshchenko, Ye. A., Chesnokov, N. V. (2010). Osobennosti ochistki vody ot nefteproduktov s ispol'zovaniyem neftyanykh sorbentov, fil'truyushchikh materialov i aktivnykh ugley [Features of water purification from petroleum products using oil sorbents, filtering materials and active coals]. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, № 3, pp. 285–303. (in Russian).

2. Gladiy, Ye. A., Kemalov, A. F., Gaynullin, V. I., Bazhirov, T. S. (2015). Otsenka effektivnosti shiroko primenyayemykh reagentov-deemul'gatorov dlya obezvozhivaniya nefiti termokhimicheskim sposobom [Evaluation of the efficiency of widely used reagents-demulsifiers for dehydration of oil by a thermochemical method]. *Ekspozitsiya nefi' gaz*, № 5 (44), pp. 16–18. (in Russian).

3. Zachinyayev, Ya. V., Sergiyenko, Yu. V., Gladilin, Yu. A., Kharitonenko, A. L. (2012). Modul'nyye peredvizhnyye ustanovki s vozdeystviyem na vodoneftyanyye emul'sii magnitnym polem [Modular mobile installations with influence on water-oil emulsions by a magnetic field]. *Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk*, № 3, pp. 46–51. (in Russian).

4. Kashayev, R. S., Faskhiyev, N. R. (2011). Obezvozhivaniye neftey vo vrashchayushchemsya magnitnom pole i kontrol' protsessa metodom YAMR-relaksometrii [Dewatering of oils in a rotating magnetic field and process control by NMR-relaxometry]. *Neftepromyslovoye delo*, № 6, pp. 49–55. (in Russian).

5. Laptev, A. G., Sergeyeva, Ye. S. (2011). Vodopodgotovka i vodoochistka v energetike. Chast' 2 [Water treatment in power engineering. Part 2]. *Voda: khimiya i ekologiya*, № 4, pp. 32–37. (in Russian).

6. Minzdrav Rossii (2000). *Gigiyenicheskiye trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod* [Hygienic requirements for the protection of surface waters]. SanPiN 2.1.5.980-00. M.: Federal'nyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii. (in Russian).

7. Pozdnyshv, G. N. (1982). *Stabilizatsiya i razrusheniye emul'siy* [Stabilization and destruction of emulsions]. M.: Nedra, 221 p. (in Russian).

8. Putilov, V. Ya. (ed.) (2003). *Ekologiya energetiki* [Ecology of power engineering]. M.: MEI, 715 p. (in Russian).

9. Rasulov, S. R., Rzayev, A. G., Nuriyeva, I. A. (2016). Opredeleniye agregativnoy ustoychivosti i dispersnogo sostava neftyanoy emul'sii [Determination of aggregative stability and dispersed composition of oil emulsion]. In: *Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 60-letiyu vysshego obrazovaniya v Respublike Tatarstan «Dostizheniya, problemy i perspektivy razvitiya neftegazovoy otrasli»*. Al'met'yevsk: AGNI, pp. 48–51. (in Russian).

10. Semikhina, L. P., Moskvina, Ye. N., Kol'chevskaya, I. V. (2012). Vliyaniye fiziko-khimicheskikh svoystv reagentov na kinetiku razrusheniya vodoneftyanykh emul'siy pri razlichnykh temperaturakh [Influence of physical and chemical properties of reagents on the kinetics of destruction of water-oil emulsions at different temperatures]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, № 5, pp. 72–79. (in Russian).

11. Semikhina, L. P., Semikhin, D. V., Perekupka, A. G. (2003). Podbor deemul'gatorov s uchetom temperaturnogo rezhima podgotovki nefiti [Selection of demulsifiers taking into account the temperature regime of oil preparation]. *Neftyanoye khozyaystvo*, № 9, pp. 25–27. (in Russian).

12. Tarantsev, K. V., Korosteleva, A. V. (2013). Toplivnyye vodoneftyanyye emul'sii kak sposob utilizatsii neftesoderzhashchikh vod [Fuel oil-water emulsions as a way of utilization of oily waters]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, № 2, pp. 14–17. (in Russian).

13. Fakhretdinov, R. R. (2003). *Sovershenstvovaniye tekhnologii predvaritel'nogo obezvozhivaniya nefiti na promyslakh* [Perfection of technology of preliminary dehydration of oil on the fields]: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. Ufa, 21 p. (in Russian).

14. Shavrin, A. M. (2013). K voprosu intensivatsii predvaritel'nogo obezvozhivaniya nefiti na udalennykh neobustroyennykh skvazhinakh [To the issue of intensifying preliminary dehydration of oil in remote, unconfined wells]. *Problemy sbera, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov*, № 4 (94), pp. 72–76. (in Russian).

15. Shuncun, S., Tongqing, Z., Jianxian, Z. (2003). Sewage treatment from petrochemical manufacture. *Gongyeshui chuli = Ind. Water Treat.*, № 23, pp. 23–25.

Авторы

Дремичева Елена Сергеевна, канд. техн. наук
Казанский государственный энергетический университет
E-mail: lenysha@mail.ru

Шамсутдинов Эмиль Васильевич

канд. техн. наук
Казанский государственный энергетический университет
E-mail: kgeunr@mail.ru

Authors

Dremicheva Elena Sergeevna, PhD in Engineering
Kazan state power engineering university
E-mail: lenysha@mail.ru

Shamsutdinov Emil Vasilovich

PhD in Engineering
Kazan state power engineering university
E-mail: kgeunr@mail.ru