

Научная статья
УДК 544.773.33: 665.622.39
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-15-21>
EDN SWDUMG

Исследование распределения капель водной фазы до и после ультразвуковой обработки устойчивых водонефтяных эмульсий

Любовь Михайловна Титова[✉],
Эльдана Руслановна Бисалиева, Альбина Бауржановна Джумаева

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

Аннотация. Интерес к возможности применения физических методов обработки сырой нефти, в частности ультразвуковых технологий, в последние годы значительно вырос. Ультразвуковые технологии минимизируют процент содержания воды в добываемой нефти. Основными преимуществами ультразвуковой обработки перед многочисленными способами улучшения структурно-механических свойств тяжелых нефтей являются ее низкая энергозатратность, высокий коэффициент полезного действия, техническая и экологическая безопасность. Проведены исследования микроскопическим методом влияния ультразвуковой обработки на структуру дисперсной фазы и устойчивость эмульсий на основе легкой нефти месторождения им. Ю. Корчагина при массовом содержании нефти 40, 60, 80 %. Показано, что устойчивость эмульсии меньше при увеличении содержания воды в эмульсии. Ультразвуковая обработка устойчивых эмульсий нефти месторождения им. Ю. Корчагина при содержании в эмульсии нефти 60 %, масс. оказывала значительное влияние на состояние эмульсии. Наблюдались как положительные (ускорение расслоения), так и отрицательные эффекты (сильный разогрев и испарение легких нефтяных фракций). Эффективность использования ультразвука для интенсификации разделения эмульсий указанного состава подтверждается микроскопическим анализом оптических изображений структуры эмульсий, т. к. при волновой обработке наблюдается значительное уменьшение размеров капель воды в слое дисперсионной среды.

Ключевые слова: водонефтяные эмульсии, разделение нефти и воды, дисперсная среда, ультразвуковая обработка, коалесценция капель

Для цитирования: *Титова Л. М., Бисалиева Э. Р., Джумаева А. Б.* Исследование распределения капель водной фазы до и после ультразвуковой обработки устойчивых водонефтяных эмульсий // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 1. С. 15–21. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-15-21>. EDN SWDUMG.

Original article

Studying distribution of droplets of aqueous phase before and after ultrasonic treatment of stable oil-water emulsions

Lyubov M. Titova[✉], *Eldana R. Bisaliev, Albina B. Dzhumayeva*

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

Abstract. Interest in application of physical processing methods, in particular, ultrasound technologies, has grown significantly in recent years. Ultrasonic technologies minimize the percentage of water in the extracted oil. The main advantages of the ultrasonic treatment over numerous methods of improving the structural and mechanical properties of heavy metals are its low energy consumption, high efficiency, technical and environmental safety. There have been carried out microscopic studies of the influence of ultrasonic treatment on the disperse phase structure and on the stability of emulsions based on light oil from the Yu. Korchagin field with a mass oil content of 40, 60, 80%. The emulsion stability is shown to become less at the increasing water content in the emulsion. Ultrasonic treatment of stable oil emulsions with 60% of oil content from the Yu. Korchagin field had a significant effect on the emulsion. Both positive (acceleration of stratification) and negative effects (strong heating and evaporation of light oil fractions) were ob-

served. The effectiveness of using ultrasound to intensify the separation of emulsions of the specified composition is confirmed by microscopic analysis of optical images of the emulsion structure, because a significant decrease in the size of water droplets in the layer of the dispersion medium is observed in the course of wave processing.

Keywords: oil-water emulsions, separation of oil and water, dispersion environment, ultrasonic treatment, droplet coalescence

For citation: Titova L. M., Bisalievа E. R., Dzhumaeva A. B. Studying distribution of droplets of aqueous phase before and after ultrasonic treatment of stable oil-water emulsions. *Oil and Gas Technologies and Environmental Safety*. 2023;1:15-21. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-15-21>. EDN SWDUMG.

Введение

Сырая нефть, извлеченная из нефтяного слоя месторождения, является эмульсией. Помимо механических примесей, таких как песок, эта эмульсия также содержит значительное количество воды и растворенных неорганических солей NaCl, MgCl₂, CaCl₂, небольшая доля которых суспендирована в сырой нефти в кристаллической форме. Известно, что сырая нефть и пластовая вода образуют относительно стабильную эмульсию типа «вода-в-масле» [1]. Если механические примеси и соледержащая вода не будут отделены и удалены из нефти, это не только увеличит транспортные расходы между добычей и переработкой нефти, увеличит нагрузку обезвоживания и обессоливания на нефтеперерабатывающем заводе, но и вызовет сильную коррозию в помещениях транспортировки и хранения сырой нефти. Поэтому в процессе добычи и транспортировки сырой нефти деэмульгирование и обезвоживание сырой нефти является одним из важных вопросов, которые необходимо решить [2].

В настоящее время в отраслях добычи и переработки сырой нефти различных стран мира большинство производственных установок используют технологию электрического обезвоживания для обезвоживания и опреснения сырой нефти; для улучшения эффекта разделения эмульсий нефти и воды обычно используются химические реагентные методы [3]. Технология разделения нефти и воды по схеме «высоковольтная электрическая обработка – химический деэмульгатор – гравитационное осаждение» широко и с успехом используется, но отличается высоким энергопотреблением и значительными потерями нефти с отделенной водой, что приводит к растрате драгоценных нефтяных ресурсов. В частности, применение этой традиционной технологии разделения нефти и воды затрудняет соответствие требуемым стандартам при подготовке тяжелых, высоковязких и с большим содержанием серы нефтей. Для решения технических проблем такого рода исследователи и компании по добыче и переработке сырой нефти в различных странах мира в течение длительного времени проводили исследования и обсуждения, но долгое время не добивались прогресса [4].

С развитием ультразвуковой технологии, особенно с успешным ее применением в пищевой, фармацевтической, сельскохозяйственной, химической и других отраслях промышленности, стало

понятно, что именно эта технология обеспечивает прорывную возможность для развития технологии разделения нефти и воды в добывающей и нефтеперерабатывающей промышленности.

В литературе имеется ряд работ, описывающих возможность и условия использования ультразвука в процессе разрушения водонефтяных эмульсий [5–8].

В работе [5] проведена оценка эффективности влияния ультразвука посредством экспериментальных исследований комбинированным воздействием ультразвукового поля с изменяемым параметром работа-пауза 95/5 (этап 1 – интенсификация) и далее 95/5 в импульсном режиме (этап 2 – стабилизация) с различной исходной обводненностью водонефтяной эмульсии. В ходе исследований определена необходимость в подаче реагента-деэмульгатора для повышения эффективности деэмульсации стойких водонефтяных эмульсий при ультразвуковом воздействии. Установлена возможность снижения дозировки реагента-деэмульгатора в этом случае, а также отмечено, что эффективность волнового воздействия значительно снижается при обводненности менее 4 %.

В работе Ю. Н. Романовой, Н. С. Мусиной [6] было рассмотрено влияние ультразвука на разрушение водонефтяных эмульсий. Способ заключается в добавлении к водонефтяной эмульсии суспензии нанопорошка нитрида алюминия в ацетоне и последующей обработке смеси ультразвуком с частотой 24,5 кГц и мощностью 1 кВт в проточном режиме, при этом характеризуется непрерывностью процесса обработки и экономичностью за счет использования суспензии нанопорошка нитрида алюминия в ацетоне, который является недорогим и доступным реагентом.

Устройству волнового воздействия для подготовки нефтяного сырья посвящена работа [7], в которой основной акцент сделан на изучении вопроса, связанного с оборудованием, которое включает три взаимозаменяемых блока (ультразвуковой, электромагнитный и магнитный блок), выполненных с возможностью соединения между собой в различной последовательности и расположенных между входной и выходной смесительными камерами. Техническим результатом изобретения является изменение углеводородного состава обрабатываемого сырья, снижение вязкости, содержания сульфида железа и воды, разрушение нефтепромысловых эмульсий.

Влияние ультразвукового воздействия на разрушение стабильных водонефтяных эмульсий было описано в работе [8], где рассмотрены результаты исследований влияния времени, температуры и интенсивности ультразвуковой обработки на устойчивость модельной и нативной эмульсий. В качестве модельной эмульсии использована смесь, содержащая (по массе) 80 % раствора нефтяного парафина в керосине (6 %-й раствор), 10 % дистиллированной воды и 10 % высокосмолистой нефти. Модельную эмульсию готовили перемешиванием компонентов смеси при температуре 20 °С в течение 10 мин. Нативная эмульсия содержала 19 % (по массе) пластовой воды. Ультразвуковую обработку эмульсий проводили при частоте поля 22 кГц, интенсивности 2, 6 и 18 Вт/см² в течение 1–15 мин при температуре бани 0 и 20 °С. Последствия ультразвукового воздействия оценивали по количеству выделившейся воды (методика «bottletest») и содержанию воды в нефтяном слое (ГОСТ 2477-65). Микроструктуру эмульсий исследовали с использованием оптического микроскопа AXIO LAB.A1 CarlZeiss. Показано, что низкочастотный ультразвук (22 кГц) вызывает деэмульсацию модельной эмульсии при оптимальных параметрах ультразвукового воздействия: температура внешнего контура – 20 °С, время – 10 мин, интенсивность поля – 18 Вт/см². Максимальное обезвоживание стабильной нативной эмульсии (до 3 % остаточной воды) достигается при более низкой интенсивности поля – 2 Вт/см². Низкочастотный ультразвук может быть перспективной технологией для транспорта сырой обводненной нефти.

Целью работы является изучение распределения капель водной фазы ультразвуковой обработкой устойчивых водонефтяных эмульсий, проведение исследований микроскопическим методом влияния ультразвуковой обработки на структуру дисперсной фазы и устойчивость эмульсий на основе легкой нефти.

Таким образом, известные опубликованные исследования направлены на применение ультразвуковой интенсификации разрушения эмульсий на основе высоковязких нефтей. В этом случае положительный эффект использования акустической обработки обусловлен снижением вязкости за счет повышения температуры и эффекта кавитации. В данной работе рассмотрим влияние ультразвука на водонефтяные эмульсии, образованные на основе легкой (плотность 807–810 кг/м³), маловязкой (0,52–0,46 мПа·с) нефти неоконского надъяруса и волжского яруса месторождения им. Ю. Корчагина в пластовых условиях, с газосодержанием 107,8–118 м³/т. Массовое содержание смол в нефти равно 2,7 %, асфальтенов 0,1 %, парафинов 9 %, солей 10 %, механических примесей 0,05 %. Температура плавления парафина равна 54 °С. Объемный выход фракций до 100 °С равен 6 %, до 200 °С – 28 %, до 300 °С – 52 %, до 350 °С – 66 %.

Объекты, методы исследования и оборудование

В качестве основного компонента водонефтяных эмульсий использовалась проба нефти с транспортного трубопровода месторождения им. Ю. Корчагина, расположенного в акватории Северного Каспия. Эмульсии были получены посредством механического смешивания на аппарате ЭЛ-1 (Сибэксприбор, РФ) нефти и дистиллированной воды в массовых соотношениях 40 : 60, 60 : 40 и 80 : 20. Аппарат состоит из штатива, держателя поворотного, блока двигателя с мешалкой и блока управления. Блок управления позволяет устанавливать и стабилизировать скорость вращения мешалки, а также задавать время ее вращения. Диапазон регулировки скорости вращения мешалки – от 600 до 5 000 об/мин. Мешалка имеет регулируемую глубину погружения в сосуд для перемешивания в зависимости от количества жидкости и регулируемый угол поворота относительно штатива. Создаваемые радиальные потоки обладают достаточно большой скоростью и, распространяясь по всему объему сосуда, обеспечивают эффективное перемешивание жидкости.

Для получения эмульсий перемешивание осуществляли в течение 10 мин при скорости вращения мешалки 2 000, 5 000 об/мин. Устойчивость эмульсий оценивалась по степени расслоения на составные фазы и характеризовалась долей свободной воды от всего ее объема, взятого при приготвлении эмульсии.

Ультразвуковая обработка водонефтяных эмульсий проводилась с помощью ультразвукового технологического аппарата серии «Волна», модель УЗТА-0,4/22-ОМ (Центр ультразвуковых технологий, РФ), предназначенного для интенсификации процессов в жидких и жидкодисперсных средах. В комплектацию прибора входит электронный генератор с таймером и регулятором выходной мощности (30–100 %), пьезоэлектрическая колебательная система в металлическом корпусе с принудительным воздушным охлаждением с двумя типами рабочих инструментов. Частота ультразвуковых колебаний – 22 ± 1,65 кГц, интенсивность ультразвукового воздействия не менее 10 Вт/см², мощность 100 Вт. Время обработки 5 минут.

Дисперсный анализ эмульсий проводился микроскопическим методом посредством обработки изображений, полученных при 10-кратном увеличении на микроскопе Altami BIO7 (Альтами, РФ) и обработанных в программе захвата и обработки изображений Altami Studio.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования были получены микрофотографии исходных водонефтяных эмульсий до и непосредственно после разложения гидратов природного газа, синтезированных в их среде (рис. 1).

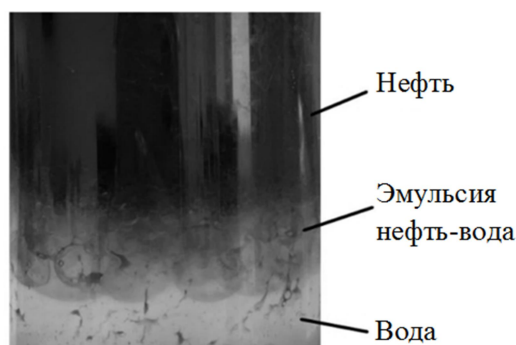


Рис. 1. Эмульсия нефть-вода при 60 % обводненности после 2 ч отстаивания

Fig. 1. Oil-water emulsion at 60% water cut after 2 hours of settling

Водонефтяные эмульсии легкой нефти различной обводненности, полученные при смешивании с частотой вращения ротора мешалки 2 000 об/мин, не являлись устойчивыми и в течение нескольких часов гравитационного отстаивания расслаивались. В зоне поверхности раздела фаз наблюдается наличие слоя обратной эмульсии с ярко выраженными крупными пузырями воды в пленке нефти (см. рис. 1).

Более стабильные эмульсии были получены смешиванием при 5 000 об/мин в течение 10 мин при массовых соотношениях нефти и дистиллированной воды 60 : 40 и 80 : 20. Эти эмульсии подвергали ультразвуковой обработке. Увеличение содержания воды в эмульсии приводит к потере ее устойчивости.

При волновой обработке исследуемых эмульсий в течение 5 мин наблюдался сильный разогрев жидкости (до 65–70 °С) и интенсивное испарение, температура тем выше, чем больше нефти в смеси. Известно, что термическое воздействие на водонефтяные эмульсии ускоряет их расслоение. Но, с другой стороны, повышение температуры нежелательно, т. к. помимо испарения ускоряет коррозионные процессы.

Микрофотографии структуры эмульсии до обработки, после ультразвуковой обработки и после обработки при остывании до температуры 20 °С при содержании в эмульсии нефти 60 %, масс. показаны на рис. 2.

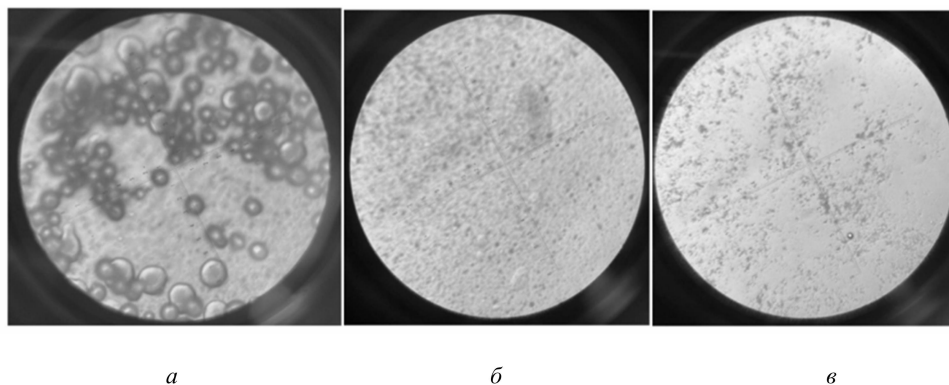


Рис. 2. Структура эмульсии до обработки (а), после ультразвуковой обработки (б) и после обработки при остывании до температуры 20 °С (в) при содержании в эмульсии нефти 60 %, масс. (нефть месторождения им. Ю. Корчагина)

Fig. 2. Structure of the emulsion before treatment (a), after ultrasonic treatment (b), and after treatment cooled up to 20 °С (v) with oil 60% of weight in the emulsion (Yu. Korchagin oil field)

Ультразвуковая обработка оказывает значительное влияние на структуру эмульсии: наблюдается значительное уменьшение размеров капель

воды в слое дисперсионной среды, что подтверждает эффективность использования ультразвука для интенсификации разделения.

Эмульсии высокой степени обводненности (60 %, масс. воды и более) после ультразвукового воздействия расслаиваются интенсивно в течение несколь-

ких часов, капли воды сливаются (рис. 3), значительно укрупняются, и быстро образуется развитая по площади поверхность раздела фаз [9].

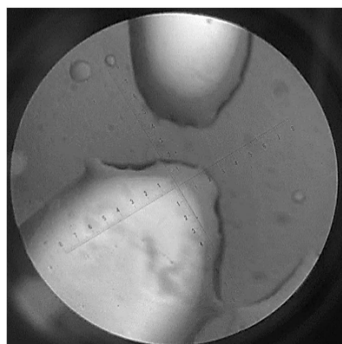


Рис. 3. Микрофотография эмульсии высокой степени обводненности (60 %, масс. воды) сразу после ультразвуковой обработки

Fig. 3. Micrograph of the emulsion with a high degree of water cut (water weight 60%) immediately after ultrasonic treatment

Таким образом, коалесценция капель воды в высокообводненных эмульсиях протекает с образованием множественных крупных капель воды, процессу слияния подвергаются преимущественно кап-

ли больших и средних размеров, а мелкие капли не проявляют заметной склонности к коалесценции. Процесс слияния крупных капель приводит к разделению эмульсии на составные фазы (рис. 4).

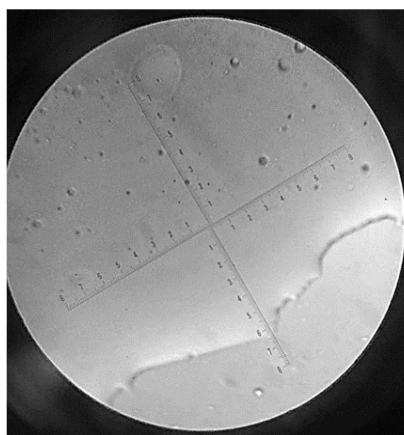


Рис. 4. Формирование поверхности раздела фаз в процессе отстаивания водонефтяной эмульсии высокой степени обводненности (60 %, масс. воды) и подвергнутой ультразвуковой обработке

Fig. 4. Formation of the phase interface in the course of oil-water emulsion settling with a high degree of water cut (water weight 60%) after ultrasonic treatment

Проведены исследования микроскопическим методом влияния ультразвуковой обработки на структуру дисперсной фазы и устойчивость эмульсий на основе легкой нефти месторождения им. Ю. Корчагина при массовом содержании нефти 40, 60, 80 %. Показано, что устойчивость эмульсии меньше при увеличении содержания воды в эмульсии.

Ультразвуковая обработка устойчивых эмульсий нефти месторождения им. Ю. Корчагина при содержании в эмульсии нефти 60 %, масс. оказывала значительное влияние на состояние эмульсии.

Наблюдались как положительные (ускорение расслоения), так и отрицательные эффекты (сильный разогрев и испарение легких нефтяных фракций). Эффективность использования ультразвука для интенсификации разделения эмульсий указанного состава подтверждается микроскопическим анализом оптических изображений структуры эмульсий, т. к. при волновой обработке наблюдается значительное уменьшение размеров капель воды в слое дисперсионной среды [10].

Заключение

Ресурсы становятся все более важными, и их глубокая переработка, такая как извлечение сырой нефти из нефтесодержащих сточных вод, все чаще встречается в числе наиболее актуальных задач. Из-за сложности структуры эмульсии и химического состава традиционная технология «высоковольтная электрическая обработка – химический деэмульгатор – гравитационное осаждение» соответствует требованиям стандартов при разделении нефти и воды. Некоторые сырые нефти специфического состава и свойств могут нанести серьезный ущерб существующим промышленным объектам, значительно усложняя их эксплуатацию. Традици-

онно к таким объектам относят высоковязкие нефти. Интенсификацию разрушения эмульсий с водой эффективно можно проводить при ультразвуковом облучении. В данной работе исследовалось влияние ультразвука на водонефтяные эмульсии на основе нефти месторождения им. Ю. Корчагина, которую можно отнести к легкой и маловязкой. Обработка режимов ультразвуковой обработки водонефтяных эмульсий на основе такой нефти требует корректировки по мощности и длительности воздействия ввиду значительного разогрева и испарения, а также обоснования целесообразности использования ультразвука с точки зрения устойчивости при различном содержании воды в эмульсии.

Список источников

1. Гаврилова Н. Н., Назаров В. В., Яровая О. В. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов: учеб. пособие. М.: Изд-во РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. 52 с.
2. Глушенко В. Н. Обратные эмульсии и суспензии в нефтегазовой промышленности. М.: Интерконтакт Наука, 2008. 725 с.
3. Пивоварова Н. А., Акишина Е. С., Рыжова М. В., Власова Г. В. Ультразвуковая интенсификация удаления сероводорода из мазута // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2020. № 2 (70). С. 27–32.
4. Волкова Г. И., Юдина Н. В. Влияние ультразвукового воздействия на разрушение стабильных водонефтяных эмульсий // Нефтяное хозяйство. 2021. № 2. С. 96–98.
5. Лекомцев А. В., Мордвинов В. А., Дворецкас Р. В., Степаненко И. Б., Баканев В. С., Силичев М. А., Корнилов К. В. Обоснование технологии ультразвукового воздействия для разрушения стойких водонефтяных эмульсий // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 5. С. 101–109.
6. Пат. 2 712 589 РФ. Способ разрушения высокоустойчивых водонефтяных эмульсий / Мусина Н. С., Романова Ю. Н., Марютина Т. А., Трофимов Д. А.; заяв. 2019121004, 05.07.2019, опубл. 29.01.2020; Бюл. № 4.
7. Пат. 2 721 955 РФ. Устройство волнового воздействия для подготовки нефтяного сырья / Мусина Н. С., Романова Ю. Н., Марютина Т. А., Трофимов Д. А.; заяв. 2019143999, 26.12.2019, опубл. 25.05.2020; Бюл. № 15.
8. Пат. 2 641 738 РФ. Способ разделения газожидкостной смеси и устройство для его осуществления / Шевченко А. И., Тугов В. В., Шевченко С. А.; заяв. 2015113489, 14.04.2015, опубл. 22.01.2018; Бюл. № 3.
9. Судькин А. Н. Исследование и разработка технологий разделения устойчивых водонефтяных эмульсий с применением физических методов. Бугульма, 2013. 159 с.
10. Жумаев К. К. Причины образования водонефтяных эмульсий // Молодой ученый. 2016. № 2 (106). С. 153–155.

References

1. Gavrilova N. N., Nazarov V. V., Iarovaia O. V. *Mikroskopicheskie metody opredeleniia razmerov chastits dispersnykh materialov: uchebnoe posobie* [Microscopic methods of determining size of dispersed particles: textbook]. Moscow, Izd-vo RKhTU im. D. I. Mendeleeva, 2012. 52 p.
2. Glushchenko V. N. *Obratnye emul'sii i suspenzii v neftegazovoi promyshlennosti* [Inverse emulsions and suspensions in oil and gas industry]. Moscow, Interkontakt Nauka Publ., 2008. 725 p.
3. Pivovarova N. A., Akishina E. S., Ryzhova M. V., Vlasova G. V. Ul'trazvukovaia intensifikatsiia udaleniia serovodoroda iz mazuta [Ultrasonic intensification of hydrogen sulfide removal from fuel oil]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 2 (70), pp. 27-32.
4. Volkova G. I., Iudina N. V. Vliianie ul'trazvukovogo vozdeistviia na razrushenie stabil'nykh vodonefitynykh emul'sii [Influence of ultrasonic action on destruction of stable water-oil emulsions]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2021, no. 2, pp. 96-98.
5. Lekomtsev A. V., Mordvinov V. A., Dvoretiskas R. V., Stepanenko I. B., Bakaneev V. S., Silichev M. A., Kornilov K. V. Obosnovanie tekhnologii ul'trazvukovogo vozdeistviia dlia razrusheniia stoikikh vodonefitynykh emul'sii [Rationale for technology of ultrasonic impact for destruction of stable water-oil emulsions]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, 2021, vol. 332, no. 5, pp. 101-109.
6. Musina N. S., Romanova Iu. N., Mariutina T. A., Trofimov D. A. *Sposob razrusheniia vysokoustoichivykh vodonefitynykh emul'sii* [Method of destruction of highly stable water-oil emulsions]. Patent 2 712 589 RF; 29.01.2020.
7. Musina N. S., Romanova Iu. N., Mariutina T. A., Trofimov D. A. *Ustroistvo volnovogo vozdeistviia dlia podgotovki nefyanogo syr'ia* [Wave action device for preparing oil raw materials]. Patent 2 721 955 RF; 25.05.2020.
8. Shevchenko A. I., Tugov V. V., Shevchenko S. A. *Sposob razdeleniia gazozhidkostnoi smesi i ustroistvo dlia ego osushchestvleniia* [Method of separating gas-liquid mixture and device for its implementation]. Patent 2 641 738 RF; 22.01.2018.
9. Sudykin A. N. *Issledovanie i razrabotka tekhnologii razdeleniia ustoichivykh vodonefitynykh emul'sii s primeneniem fizicheskikh metodov* [Research and development of technologies for separation of stable water-oil emulsions using physical methods]. Bugul'ma, 2013. 159 p.

10. Zhumaev K. K. Prichiny obrazovaniia vodoneftian-ykh emul'sii [Reasons for formation of oil-water emulsions]. *Molodoi uchenyi*, 2016, no. 2 (106), pp. 153-155.

Статья поступила в редакцию 12.01.2023; одобрена после рецензирования 24.01.2023; принята к публикации 15.02.2023
The article is submitted 12.01.2023; approved after reviewing 24.01.2023; accepted for publication 15.02.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Любовь Михайловна Титова – кандидат технических наук; доцент кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; titovalybov@mail.ru

Lyubov M. Titova – Candidate of Sciences in Technology; Assistant Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; titovalybov@mail.ru

Эльдана Руслановна Бисалиева – студент, направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии»; Астраханский государственный технический университет; eldana369@mail.ru

Eldana R. Bisalievа – Student, training area “Energy and Resource-Saving Processes in Chemical Engineering of Petrochemistry and Biotechnology”; Astrakhan State Technical University; eldana369@mail.ru

Альбина Бауржановна Джумаева – студент, направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии»; Астраханский государственный технический университет; d.a.b-12@mail.ru

Albina B. Dzhumaeva – Student, training area “Energy and Resource-Saving Processes in Chemical Engineering of Petrochemistry and Biotechnology”; Astrakhan State Technical University; d.a.b-12@mail.ru

