

## РАЗРУШЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ЭМУЛЬСИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОДИСПЕРГИРОВАННЫХ ФУЛЛЕРЕНОВ

Р.И. Вахитова, Д.А. Сарачева, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов, Е.Б. Думлер

Роза Ильгизовна Вахитова, Диана Азатовна Сарачева\*

Кафедра электро- и теплоэнергетики, Альметьевский государственный нефтяной институт, ул. Ленина, 2а, Альметьевск, Республика Татарстан, Российская Федерация, 423450

E-mail: roza-w@mail.ru, sarachevadiana85@mail.ru\*

Ильгам Киямович Киямов, Линар Салихзанович Сабитов

Кафедра биомедицинской инженерии и управления инновациями, Инженерный институт, Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420008

E-mail: kiyamov.ilgam@mail.ru, sabitov-kgasu@mail.ru

Елена Борисовна Думлер

Кафедра машин и оборудования нефтегазовых промыслов, Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450062

E-mail: dumler08@mail.ru

*В данной статье описаны результаты проведенных авторами исследований по изучению процессов разрушения устойчивых эмульсионных суспензионных нефтешламных систем. Процессы разрушения достигаются добавлением в деэмульгирующие составы наночастиц. В настоящее время не существует деэмульгатора универсального состава, который эффективно разрушал бы эмульсии, образуемые в нефтешламах. Для решения этой проблемы авторами были проведены исследования по созданию эффективного деэмульгатора, имеющего в составе нанодисперсные частицы фуллеренов. Исследования были проведены с дисперсными нефтешламными эмульсионно-суспензионными системами, отобранными из открытых прудов-накопителей предприятий АО «Татойлгаз» и АО «ТАИФ-НК». Для разрушения нефтесодержащей системы эмульсионно-суспензионного типа разработана композиционная смесь комплексного действия, в состав которой входят анионоактивные смачиватели, неионогенные поверхностно-активные вещества, флотореагенты, моющие вещества и буферные щелочные растворы, которые обеспечивают требуемую величину постоянного показателя кислотно-щелочного равновесия водной среды. Композиционная деэмульгирующая смесь комплексного действия, которая увеличивает эффективность смачивающего моющего действия поверхностно-активных веществ, а именно изменяется дифильная структура дисперсной среды на гидрофильную, то есть нарушаются контакты частиц, имеющих монофильную поверхность, с углеводородной фазой эмульсионной среды. Далее частицы переходят из границы разделения фаз в водной объем, способствуя тем самым разрушению слоев на поверхности эмульгированной воды. Процесс обезвоживания нефтепродуктов интенсифицируется, длительность с 6 - 8 ч сокращается до 3 - 4 ч. При проведении исследований удалось интенсифицировать и повысить эффективность процесса подготовки нефти при ее обезвоживании.*

**Ключевые слова:** эмульсия, деэмульгатор, фуллерен, нефтешлам

**Для цитирования:**

Вахитова Р.И., Сарачева Д.А., Киямов И.К., Сабитов Л.С., Думлер Е.Б. Разрушение устойчивых эмульсий с применением нанодиспергированных фуллеренов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 4. С. 74–80

**For citation:**

Vakhitova R.I., Saracheva D.A., Kiyamov I.K., Sabitov L.S., Dumler E.B. Destruction of stable emulsions using nanodispersed fullerenes. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 4. P. 74–80

## DESTRUCTION OF STABLE EMULSIONS USING NANODISPERSED FULLERENES

R.I. Vakhitova, D.A. Saracheva, I.K. Kiyamov, L.S. Sabitov, E.B. Dumler

Roza I. Vakhitova, Diana A. Saracheva\*

Department of Electrical and Thermal Power Engineering, Almet'yevsk State Oil Institute, Lenin st., 2a, Almet'yevsk, 423450, Russia

E-mail: roza-w@mail.ru, sarachevadiana85@mail.ru\*

Ilgam K. Kiyamov, Linar S. Sabitov

Department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Engineering Institute, Kazan (Volga Region) Federal University, Kremlin st., 18, Kazan, Republic of Tatarstan, 420008, Russia

E-mail: kiyamov.ilgam@mail.ru, sabitov-kgasu@mail.ru

Elena B. Dumler

Department Machines and Equipment of Oil and Gas Fields, Ufa State Oil Technical University, Cosmonauts st., 1, Ufa, 450062, Russia

E-mail: dumler08@mail.ru

*This article describes the results of studies conducted by the authors to study the destruction processes of stable emulsion suspension sludge systems. Destruction processes are achieved by adding nanoparticles to demulsifying compositions. Currently, there is no universal composition of demulsifier that effectively destroys emulsions formed in oil sludges. To solve this problem, the authors conducted research on the creation of an effective demulsifier containing nanosized particles of fullerenes. The studies were carried out with dispersed oil-slurry emulsion-suspension systems, selected from open storage ponds of enterprises of JSC «TatOilgaz» and JSC «TAIF-NK». For the destruction of the oil-containing system of the emulsion-suspension type, a composite mixture of complex action has been developed, which includes anionic wetting agents, nonionic surfactants, flotation reagents, detergents and alkaline buffer solutions that provide the required value of a constant indicator of the acid-base balance of the aqueous medium. A composite demulsifying mixture of complex action, which increases the effectiveness of the wetting washing action of surfactants, namely, the diphilic structure of the dispersed medium changes to hydrophilic, that is, the contacts of particles having a monophilic surface with the hydrocarbon phase of the emulsion medium are broken. Then the particles pass from the boundary of the phase separation into the water volume, thereby contributing to the destruction of the layers on the surface of emulsified water. The process of dehydration of petroleum products is intensified, the duration from 6 to 8 hours is reduced to from 3 to 4 hours. During the research, it was possible to intensify and increase the efficiency of the oil preparation process during its dehydration.*

**Key words:** emulsion, demulsifier, fullerene, oil sludge

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, когда наблюдается усовершенствование и развитие реагентных технологий, широко применяются деэмульгаторы, поверхностно-активные вещества (ПАВ), многофункциональные реагенты комплексного действия, деэмульгирующие композиционные составы в системах сбора, транспорта и подготовки сверхвязких нефтей, в области нефтехимических технологий, на нефте- и газоперерабатывающих заводах в технологических процессах обессоливания и глубокого обезвоживания нефтяного промыслового сырья [1-9]. Тем не менее, исследователям и ученым не удается разработать деэмульгатор универсаль-

ного состава, обеспечивающий достаточно высокую эффективность при разрушении эмульсионных водонефтяных систем, особенно устойчивых, сформированных природными битумами и сверхвязкими нефтями на различных месторождениях.

Даже при выборе максимально эффективного деэмульгирующего вещества или синергетической композиционной смеси из различных реагентов из имеющегося ассортимента, выпускаемых промышленностью соединений для разрушения водонефтяной индивидуальной эмульсии, в основном при деэмульсации нефти не всегда удается добиться требуемого результата.

Исследования направлены на повышение эффективности и интенсификацию деэмульсации нефтесодержащих смесей методом обезвоживания

устойчивых водонефтяных эмульсий, которые стабилизированы большим количеством механических примесей. Объектами исследований являлись нефтешламовые дисперсные эмульсионно-суспензионные системы, которые были отобраны из прудов-накопителей открытого типа на нефтешламовой установке №1 в АО «Татойлгаз» и блока обезвоживания нефтяных продуктов и очистки активного избыточного ила в АО «ТАИФ-НК» [10-12].

Отобранная проба нефтешлама на установке №1 является отходом нефтепромысловой подготовки в различных малых нефтяных компаниях и нефтегазодобывающих управлениях. Выделенные из отстойников промежуточные стойкие эмульсионные слои временно хранятся в виде амбарных или ловушечных нефтей в больших объемах резервуаров, открытых или закрытых емкостей. Далее их централизовано направляют на комплексную подготовку и переработку. Ввиду значительных объемов скоплений нефтешламов на установках организуются открытые пруды-накопители, которые расположены на различных уровнях для ступенчатого перетекания частично обезвоженной нефти из пруда в пруд. Они предназначены не только для хранения, но и для предварительного максимального отстоя и дренажа отделившейся воды и механических примесей на дно прудов в течение длительного времени пребывания нефтешлама в них.

Установили, что агрегативная аномальная устойчивость эмульсии к разрушению и влияние на положительные значения температур застывания углеводородной части, и соответственно, самого нефтешлама определяется низкой минерализацией связанной воды и наличием значительного количества механических примесей, высокого содержания смолисто-асфальтеновых веществ, тугоплавких и высокомолекулярных парафинов и церезинов в нефтешламе.

Изменение физических свойств нефтешламовой эмульсии (прокачиваемость, подвижность) в блоках для подачи сырья на нефтешламовых установках в зимний период способствует срыву работы оборудования. В связи с этим по технологическому регламенту работа нефтешламовых установок является сезонной (весенний, летний и осенний периоды года), что ограничивает время утилизации нефтешламовых отходов.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В нефтешламовых прудах-накопителях собираются некондиционная продукция в процессах обессоливания, нефтесодержащие отходы углубленной переработки продукции нефтедобывающих

скважин и аварийные нефтяные проливы. На различных предприятиях из прудов-накопителей были взяты пробы.

Для разрушения нефтесодержащей системы эмульсионно-суспензионного типа разработана композиционная смесь комплексного действия (КСКД), в состав которой входят анионоактивные смачиватели, неионогенные поверхностно-активные вещества, флотореагенты, моющие вещества и буферные щелочные растворы, которые обеспечивают постоянный показатель кислотно-щелочного равновесия  $pH = 7-8$  водной среды (отделившейся и эмульгированной воды).

При добавлении КСКД с дозировкой 250 г/т в нефтяные отходы с нефтешламой установки №1 обезвоженный нефтешлам имел следующий состав: нефть – 96,5 % мас., механические примеси – 1,2 % мас., вода – 2,8 % мас. Ранее проводили деэмульсацию нефтешламов с применением различных деэмульгаторов, таких как Деэмульсифер, Реапон, Дисолван, Доуфакс, и Сепарол. При прочих равных условиях обработанный деэмульгаторами нефтешлам имел следующий состав: механические примеси – не менее 2 % мас., вода – более 5 % мас.

Для повышения эффективности подготовки нефтешламов авторы предлагают в состав ПАВ добавлять нанодисперсные частицы углерода, которые имеют пространственную шарообразную структуру (фуллерены) и уникальные свойства.

Среди фуллеренов наиболее распространенной является наночастица  $C_{60}$ , образующая сферическую замкнутую поверхность, которая составляется из правильных многоугольников (пяти- и шестиугольников) [13-20].

После исследования фуллеренов различных производств были отобраны два контрольных образца. На первоначальном этапе провели идентификацию фуллеренов методом определения массовых концентраций нанодиспергированных фуллеренов в органических составах. При этом методе производят разбавление проб с дальнейшим разделением и определением количественного состава фуллеренов с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии. В качестве элюента применялся толуол. Процесс фотометрического детектирования проводился в интервале до 324 нм.

Хроматографический анализ определил состав образцов. Образец № 1 имел состав: фуллерен  $C_{60}$  – 99,5%,  $C_{120}O$  – частичное присутствие, образец № 2 имел состав: наночастицы  $C_{60}$ ,  $C_{60}O$  и тяжелые наночастицы –  $C_{70}$ ,  $C_{70}O$ ,  $C_{76}$ ,  $C_{78}$ ,  $C_{84}$ . Составы исследуемых образцов представлены в таблице.

**Таблица**  
**Составы контрольных образцов**  
**Table. The compositions of the control samples**

Образец №1			Образец №2		
Соединения	Время, мин	Состав, %	Соединения	Время, мин	Состав, %
C <sub>60</sub>	8,500	99,520	C <sub>60</sub>	7,690	61,240
C <sub>60</sub> O		0,000	C <sub>60</sub> O	8,590	1,170
C <sub>70</sub>		0,000	C <sub>70</sub>	12,530	34,710
C <sub>70</sub> O		0,000	C <sub>70</sub> O	14,730	0,100
C <sub>120</sub> O	20,270	0,480	(C <sub>76</sub> , C <sub>78</sub> , C <sub>84</sub> )	17,420; 18,770; 19,570; 23,590	2,780

Фуллерены C<sub>70</sub> – C<sub>120</sub> по своим свойствам принципиально не отличаются от C<sub>60</sub>, тем не менее, имеются расхождения в размерах наночастиц и изменения пространственной формации шарообразной структуры, которая стремится к эллиптической форме. Способность с легкостью захватывать атомы у других веществ заложена в основе процессов приготовления, дозирования и воздействия поверхностно-активных нанодиспергированных деэмульгаторов.

Приготовление нанодисперсных поверхностно-активных веществ осуществлялось с применением акустического роторного пульсационного аппарата. Для достижения максимальной эффективности в процессе гомогенизации нанодисперсной среды подбирались оптимальные условия для работы акустического аппарата. Установили, что за 10 дней агрегативная устойчивость исследуемой нанодисперсной смеси (в КСКД добавлено 0,5% фуллерена) составила 100%. В образцах №1 и №2 не наблюдалось самопроизвольного разделения нанодисперсной системы и при центрифугировании с частотой вращения 3500 об/мин и в течение 5 мин.

Процесс дозирования деэмульгирующего состава производили через сопловые устройства дозатора реагентов с применением аэрозоля, который позволяет равномерно распределять нанодисперсные частицы фуллерена с молекулами ПАВ в суспензионно-эмульсионной среде исследуемого нефтешлама.

Удельный расход созданного деэмульгатора (в КСКД добавлено 0,5% фуллерена) для разрушения нефтешлама составил 180 г/т нефти. В период хранения нефтешламов в открытых прудах-накопителях меняется её фракционный состав. Поэтому совместно с деэмульгирующим составом применили среднестиллятную фракцию (н.к. – 350 °С в объеме 20% мас. на нефть), которая обеспечила снижение вязкости дисперсной нефтяной

среды и интенсифицировала разрушение эмульсионно-суспензионной смеси.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс разрушения нефтешламовой эмульсии представлен на рисунке. При разрушении нефтешламовой смеси, отобранной в прудах-накопителях АО «ТАИФ-НК», были получены аналогичные результаты.

В результате исследований установили, что, несмотря на наличие в нефти низкого содержания воды, солей, механических примесей (0,50% мас.; 396 мг/л; 0,050% мас. соответственно), глубина разрушения рассматриваемой эмульсии достигает до 85% (рис. а, б). Данный факт указывает на наличие промежуточного слоя, в составе которого имеются нефть, минерализованная вода и частицы механических примесей (рис. в). Поэтому при подготовке и переработке нефтешламов в производственных условиях требуется организация рецикла с целью обработки повторно основного потока и промежуточного (вновь образовавшегося) слоя. Также и дренажная вода должна пройти дополнительную обработку от мелких диспергированных глобул нефти и мехпримесей методом отстаивания и фильтрации при необходимости (рис. г).

При анализе результатов процесса разрушения, разделения эмульсионных суспензионных нефтешламов контрольных образцов теоретически обоснована разрушительная способность композиционной деэмульгирующей смеси в составе с нанодиспергированными частицами фуллеренов.

При дозировании реагента в нефтешламовой состав распределенные однородно в объеме деэмульгатора наночастицы фуллеренов увлекают за собой гидрофобные молекулы поверхностно-активных веществ, облегчают транспорт, диффузионные процессы в сплошной среде последних до границы разделения фаз, усиливают адсорбцию на микрочастицах механических примесей, которые являются стабилизаторами эмульсионной среды. Также увеличивается эффективность смачивающего моющего действия поверхностно-активных веществ, а именно изменяется дифильная структура дисперсной среды на гидрофильную (моnofильную). В результате этого нарушаются контакты частиц, имеющих монофильную поверхность, с углеводородной фазой эмульсионной среды. Далее частицы переходят из границы разделения фаз в водной объем, способствуя тем самым разрушению слоев на поверхности эмульгированной воды. Процесс обезвоживания нефтепродуктов интенсифицируется, с периода времени с 6 до 8 ч сокращается до периода с 3 до 4 ч.

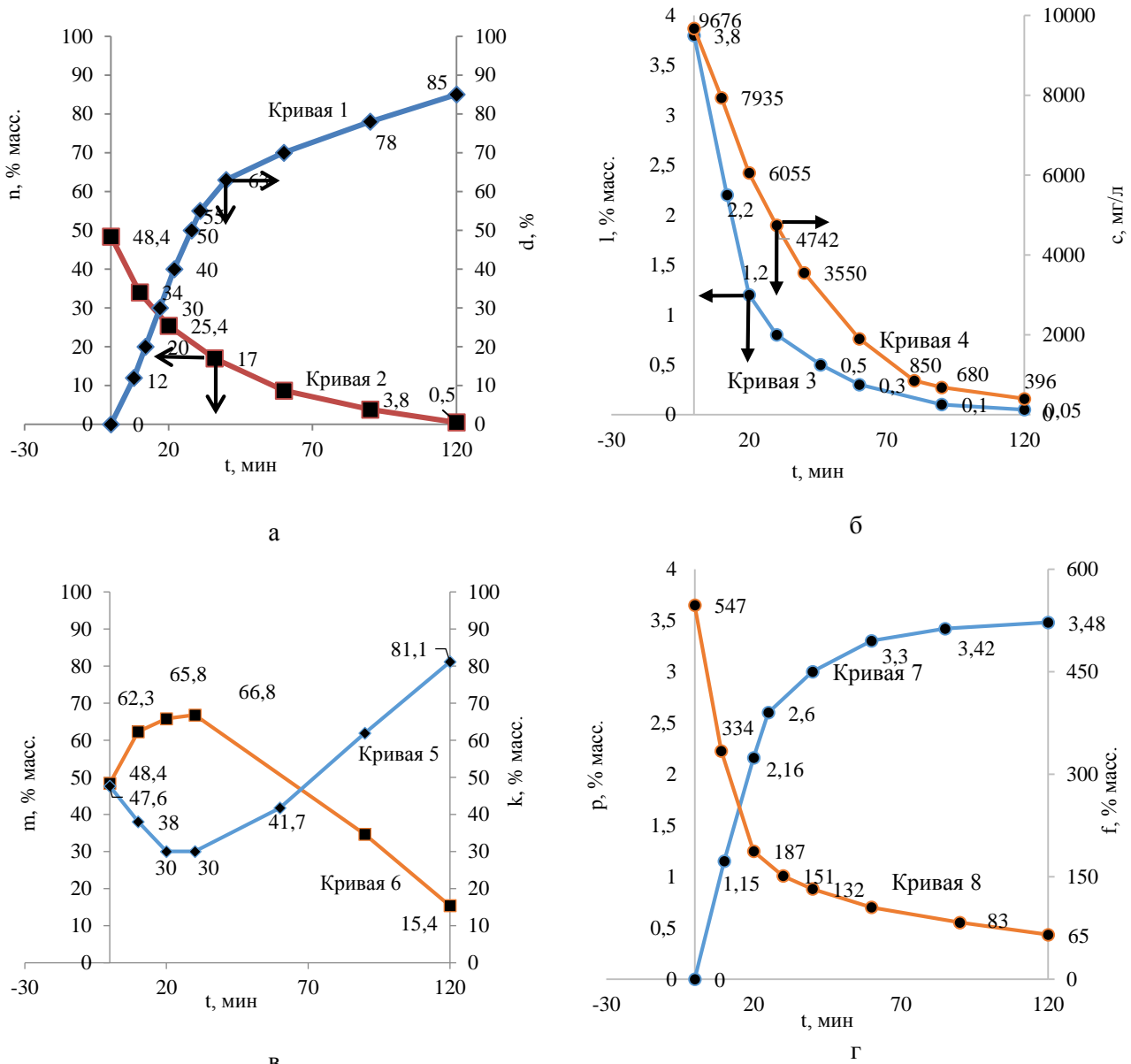


Рис. Процесс разрушения нефтешламовой эмульсии: кривая 1 – глубина разрушения эмульсии нефтешлама, %; кривая 2 – остаточное содержание воды в нефти, % масс.; кривая 3 – остаточное содержание механических примесей в нефти, %; кривая 4 – остаточное содержание солей в нефти, мг/л; кривая 5 – содержание нефти в исследуемом слое, % масс.; кривая 6 – содержание воды в исследуемом слое, % масс.; кривая 7 – содержание механических примесей в воде, % масс.; кривая 8 – содержание нефтепродуктов в воде, % масс

Fig. The process of destruction of oil sludge emulsion: curve 1 - the depth of destruction of the emulsion of oil sludge, %; curve 2 - residual water content in oil, % mass.; curve 3 - residual content of solids in oil, %; curve 4 - residual salt content in oil, mg/l; curve 5 - oil content in the studied layer, % mass.; curve 6 - water content in the studied layer, % mass.; curve 7 - the content of solids in water, % mass.; curve 8 - the content of petroleum products in water, % mass

### ВЫВОД

В работе рассмотрены процессы разрушения устойчивых эмульсионных суспензионных нефтешламowych систем, которые достигаются добавлением в деэмульгирующие среды наночастиц

фуллеренов. При проведении экспериментов с контрольными образцами продемонстрирована разрушительная способность предлагаемого деэмульгатора в составе с нанодиспергированными фуллеренами по отношению к устойчивым эмульсиям. Удалось интенсифицировать и повысить эффективность процесса обезвоживания нефти.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Чулкова А.О., Прочухан К.Ю., Шафикова Е.А., Апкаримова Г.И., Прочухан Ю.А.** Эффективность деэмульгаторов в процессе разрушения нефтекислотных эмульсий. *Нефтепромысл. дело*. 2016. № 7. С. 26 – 29.
2. **Сладовская О.Ю., Отажонов С.И., Галина Л.А., Сладовский А.Г.** Современные реагенты-деэмульгаторы для разрушения водонефтяных эмульсий. *Вестн. Технол. ун-та*. 2018. Т. 21. № 2. С. 49–53.
3. **Kang W., Yin X., Yang H., Zhao Y., Huang Z., Hou X., Sarsenbekuly B., Zhu Z., Wang P., Zhang X., Geng J., Aidarova S.** Demulsification performance, behavior and mechanism of different demulsifiers on the light crude oil emulsions. *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2018. V. 545. P. 197 – 204. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.02.055.
4. **Акберова А.Ф.** Интенсификация процесса разрушения устойчивых водонефтяных эмульсий с использованием новых эффективных композиционных деэмульгаторов. *Нефтегаз. дело*. 2019. Т. 17. № 2. С. 68 – 73. DOI: 10.17122/ngdelo-2019-2-68-73.
5. **Ахмадова Х.Х., Такаева М.А., Мусаева М.А., Сыркин А.М.** История разработки и применения деэмульгаторов при добыче и подготовке нефти к переработке. *История и педагогика естествозн.* 2015. № 1. С. 27 – 34.
6. **Cao J., Xu Z., Gong Q., Jin Z., Zhang L.** Study on the emulsion stability of shengli oilfield chunliang crude oil. *Shiyou Xuebao, Shiyou Jiagong*. 2016. V. 32. N 5. P. 997 – 1004. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8719.2016.05.018.
7. **Sladovskaya O.Y., Tsyganov D.G., Bashkirtseva N.Y., Mukhametzyanova A.A.** Peculiarities of the process of destruction of stable water-oil emulsions in intermediate layers. *J. Chem. Technol. Metallurg.* 2018. V. 53. N 2. P. 191 – 201.
8. **Grenoble Z., Trabelsi S.** Mechanisms, performance optimization and new developments in demulsification processes for oil and gas applications. *Adv. Colloid Interf. Sci.* 2018. V. 260. P. 32 – 45. DOI: 10.1016/j.cis.2018.08.003.
9. **Тюгаева Е.С., Долوماتов М.Ю.** Причины образования устойчивых нефтяных эмульсий и способы их разрушения. *Universum: технич. науки*. 2017. № 4 (37). С. 64 – 69.
10. **Huseynova L.V., Huseynova M.A.** The environmentally friendly technologies for oil sludge utilizing. *Modern Sci.* 2018. N 3. P. 143 – 147.
11. **Нафикова Р.А., Дихтярь Т.Д.** Совершенствование технологии предварительной подготовки промышленных нефтешламов к центрифугированию с применением токов сверхвысокой частоты. *Нефтепромысл. дело*. 2014. № 4. С. 52 – 55.
12. **Гронь В.А., Коростовенко В.В., Шахрай С.Г.** Проблема образования, переработки и утилизации нефтешламов. *Усп. современ. естествозн.* 2013. № 9. С. 159 – 162.
13. **Ширинкин С.В.** Фуллерены. История открытия и использования. *Энергия: экономика, техника, экология*. 2013. № 10. С. 63 – 66.

## REFERENCES

1. **Chulkova A.O., Prochukhan K.Yu., Shafikova E.A., Aпкаrimova G.I., Prochukhan Yu.A.** The effectiveness of demulsifiers in the destruction process of oil acid emulsions. *Neftepromysl. Delo*. 2016. N 7. P. 26 – 29 (in Russian).
2. **Sladovskaya O.Yu., Otazhonov S.I., Galina L.A., Sladovsky A.G.** Modern demulsifiers for the destruction of oil-water emulsions. *Vestn. Tekhnolog. Un-ta*. 2018. V. 21. N 2. P. 49 – 53 (in Russian).
3. **Kang W., Yin X., Yang H., Zhao Y., Huang Z., Hou X., Sarsenbekuly B., Zhu Z., Wang P., Zhang X., Geng J., Aidarova S.** Demulsification performance, behavior and mechanism of different demulsifiers on the light crude oil emulsions. *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2018. V. 545. P. 197 – 204. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.02.055.
4. **Akberova A.F.** Intensification of the process of destruction of stable oil-water emulsions using new effective composite demulsifiers. *Neftegaz. Delo*. 2019. V. 17. N 2. P. 68 – 73 (in Russian). DOI: 10.17122/ngdelo-2019-2-68-73.
5. **Akhmadova Kh.Kh., Takaeva M.A., Musaeva M.A., Syrkin A.M.** The history of the development and use of demulsifiers in the extraction and preparation of oil for refining. *Istoriya Pedagog. Estestvozn.* 2015. N 1. P. 27 – 34 (in Russian).
6. **Cao J., Xu Z., Gong Q., Jin Z., Zhang L.** Study on the emulsion stability of shengli oilfield chunliang crude oil. *Shiyou Xuebao, Shiyou Jiagong*. 2016. V. 32. N 5. P. 997 – 1004. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8719.2016.05.018.
7. **Sladovskaya O.Y., Tsyganov D.G., Bashkirtseva N.Y., Mukhametzyanova A.A.** Peculiarities of the process of destruction of stable water-oil emulsions in intermediate layers. *J. Chem. Technol. Metallurg.* 2018. V. 53. N 2. P. 191 – 201.
8. **Grenoble Z., Trabelsi S.** Mechanisms, performance optimization and new developments in demulsification processes for oil and gas applications. *Adv. Colloid Interf. Sci.* 2018. V. 260. P. 32 – 45. DOI: 10.1016/j.cis.2018.08.003.
9. **Tyugaeva E.S., Dolomatov M.Yu.** Reasons for the formation of stable oil emulsions and methods for their destruction. *Universum: Tekhnich. Nauki*. 2017. N 4 (37). P. 64 – 69 (in Russian).
10. **Huseynova L.V., Huseynova M.A.** The environmentally friendly technologies for oil sludge utilizing. *Modern Sci.* 2018. N 3. P. 143 – 147.
11. **Nafikova R.A., Dikhtyar T.D.** Improving the technology for the preliminary preparation of oil sludge for centrifugation using ultra-high frequency currents. *Neftepromysl. Delo*. 2014. N 4. P. 52 – 55 (in Russian).
12. **Gron V.A., Korostovenko V.V., Shakhrai S.G.** The problem of the formation, processing and disposal of oil sludge. *Usp. Sovremen. Estestvozn.* 2013. N 9. P. 159 – 162 (in Russian).
13. **Shirinkin S.V.** Fullerenes. History of discovery and use. *Energiya: Ekonomika, Tekhnika, Ekologiya*. 2013. N 10. P. 63 – 66 (in Russian).

14. Михайлов А.Г., Новикова Э.Э. Фуллерены как модификация углерода: способы получения и использование. *Россия молодая: передовые технологии – в промышленность!* 2013. № 2. С. 289 – 292.
15. Содиков Ф., Табаров С., Туйчиев Ш., Туйчиев Л., Акназарова Ш. Фуллерены C60 и C70 – поверхностно-активные вещества. *Вестн. Таджик. нац. ун-та. Сер. естествен. наук.* 2016. № 1-3 (200). С. 88 – 90.
16. Кель А.В. Фуллерены и углеродные нанотрубки. *Инноваци. наука.* 2016. № 11-3. С. 23 – 25.
17. Altunina L.K., Svarovskaya L.I. Detergent compositions for oil sludge reclamation. *Petrol. Chem.* 2012. V. 52. N 2. P. 130 – 132. DOI: 10.1134/S0965544112010033.
18. Saikia N.J., Sengupta P., Gogoi P.K., Borthakur P.C. Physicochemical and cementitious properties of sludge from oil field effluent treatment plant. *Cement Concr. Res.* 2001. V. 31. N 8. P. 1221 – 1225.
19. Deza M., Sikirić M.D., Shtogrin M.I. Fullerenes and disk-fullerenes. *Russ. Mathemat. Surv.* 2013. V. 68. N 4. P. 665 – 720. DOI: 10.1070/RM2013v068n04ABEH004850.
20. Kroto H. C60, fullerenes, giant fullerenes and soot. *Pure and Appl. Chem.* 1990. V. 62. N 3. P. 407 – 415. DOI: 10.1351/pac199062030407.
14. Mikhailov A.G., Novikova E.E. Fullerenes as a modification of carbon: production methods and use. *Rossiia Molodaya: Peredovye Tekhnologii – Promyshlennost'!* 2013. N 2. P. 289 – 292 (in Russian).
15. Sodikov F., Tabarov S., Tuychiev Sh., Tuychiev L., Aknazarova Sh. Fullerenes C60 and C70 are surface-active substances. *Vestn. Tadjik. Nats. Un-ta. Ser. Estestvenn. Nauk.* 2016. N 1-3 (200). P. 88 – 90 (in Russian).
16. Kel A.V. Fullerenes and carbon nanotubes. *Innovatsion. Nauka.* 2016. N 11-3. P. 23 – 25 (in Russian).
17. Altunina L.K., Svarovskaya L.I. Detergent compositions for oil sludge reclamation. *Petrol. Chem.* 2012. V. 52. N 2. P. 130 – 132. DOI: 10.1134/S0965544112010033.
18. Saikia N.J., Sengupta P., Gogoi P.K., Borthakur P.C. Physicochemical and cementitious properties of sludge from oil field effluent treatment plant. *Cement Concr. Res.* 2001. V. 31. N 8. P. 1221 – 1225.
19. Deza M., Sikirić M.D., Shtogrin M.I. Fullerenes and disk-fullerenes. *Russ. Mathemat. Surv.* 2013. V. 68. N 4. P. 665 – 720. DOI: 10.1070/RM2013v068n04ABEH004850.
20. Kroto H. C60, fullerenes, giant fullerenes and soot. *Pure and Appl. Chem.* 1990. V. 62. N 3. P. 407 – 415. DOI: 10.1351/pac199062030407.

Поступила в редакцию 17.09.2019

Принята к опубликованию 20.02.2020

Received 17.09.2019

Accepted 20.02.2020