

Д. И. Фаткуллина, Р. И. Юлдашев, Н. Ю. Башкирцева,
Д. А. Куряшов, Р. Р. Мингазов

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСПЕРГЕНТОВ

Ключевые слова: диспергент, разлив нефти, ЛАРН, групповой состав нефти, мезомасштабное моделирование.

Применение диспергентов для очистки поверхности воды от нефти относят к физико-химическому методу ликвидации аварийных разливов. Их эффективность зависит от широкого спектра условий, в том числе и свойств нефти. Большая часть научной литературы, посвященной диспергентам, заявляет о прямом влиянии плотности и вязкости нефти на успешность ее диспергирования. Однако, эти характеристики зависят от группового состава нефти, а именно содержания асфальтенов, смол и парафинов. В данной статье приведены результаты исследований диспергирующей способности двух диспергентов (марка Corexit и диспергирующая композиция на основе алкилполиглюкозидов) на эффективность рассеивания нефтей с различными физическими свойствами. Испытания проводились в два этапа; в ходе первого использовался метод Baffled Flask Test (ASTM F3251-21), во время второго этапа применялась мезомасштабная установка, описанная в предыдущих работах авторов. Исследования показали, что эффективность исследуемых диспергирующих композиций снижается линейно с увеличением плотности и вязкости нефти. Данная зависимость также подтверждается результатами, полученными на экспериментальной мезомасштабной установке. Однако, при анализе результатов относительно группового состава, выявленная закономерность перестает быть очевидной. Так, эффективность диспергирования легких нефтей может объясняться наибольшим содержанием смол и асфальтенов в них. Исследуемые тяжелые нефти, несмотря на свою высокую плотность, отличаются низким содержанием этих компонентов. Авторы предполагают, что роль содержания смолисто-асфальтеновых веществ, являющихся природными эмульгаторами, становится менее значимой с увеличением плотности нефти. В то же время, этот параметр определяет склонность к процессу диспергирования для легких и средних нефтей с низкой плотностью.

Д. I. Fatkullina, R. I. Yuldashev, N. Yu. Bashkirtseva,
D. A. Kuryashov, R. R. Mingazov

INFLUENCE OF PHYSICAL PROPERTIES OF OIL ON THE EFFICIENCY OF DISPERSANT APPLICATION

Keywords: dispersant, oil spill, oil spill response, oil group composition, mesoscale modeling.

The use of dispersants to clean oil from the water surface is considered to be a physicochemical method of oil spill response. Their effectiveness depends on a wide range of conditions, including oil properties. Much of the scientific literature on dispersants states the direct influence of density and viscosity on dispersant success. However, these characteristics depend on the group composition of the oil, namely the content of asphaltenes, resins and paraffins. This paper presents the results of studies on the dispersing ability of two dispersants (Corexit grade and an alkyl glucoside-based dispersing composition) on the dispersion efficiency of oils with different physical properties. The tests were conducted in two phases; during the first phase the Baffled Flask Test method (ASTM F3251-21) was used and during the second phase the mesoscale setup described in the authors' previous works was used. The studies show that the efficiency of the investigated dispersing compositions decreases linearly with increasing oil density and viscosity. This dependence is also confirmed by the results obtained on the experimental mesoscale unit. However, by analyzing the results with respect to the group composition, the revealed regularity becomes no longer obvious. Thus, the dispersing efficiency of light oils can be explained by the highest content of resins and asphaltenes in them. The studied heavy oils, despite their high density, are characterized by low content of these components. The authors suggest that the role of the content of resinous asphaltene substances, which are natural emulsifiers, becomes less significant with increasing oil density. At the same time, this parameter determines the propensity to the dispersion process for light and medium oils with low density.

Введение

Большое количество научных исследований посвящено проверке влияния плотности и вязкости разлитой нефти на эффективность использования диспергентов, так как физические свойства нефти существенно влияют на результативность применения диспергентов.

В 1970-х годах исследователи впервые начали изучать влияние вязкости нефти на процесс диспергирования. Это было сделано с целью объяснения низкой эффективности использования диспергентов при ликвидации разливов складского мазута [1].

Авторы Стивенс [2], Колкомб [3] и Холдер [4] провели исследования, посвященные влиянию вязко-

сти нефти на эффективность диспергентов при ликвидации разливов нефти. Результаты их работы показали корреляцию между вязкостью нефти и способностью диспергента разбивать нефтяные пятна. Например, эксперименты Стивенса [2] показали, что увеличение вязкости нефти снижает эффективность диспергирования, особенно в случае мазутов. Колкомб [3] провел полевые испытания с флотским мазутом IFO-180 и IFO-380, при которых он обнаружил, что наиболее вязкий продукт марки IFO-380 не диспергируется. Холдер [4] в своем исследовании диспергента Corexit 9500 подтвердил важное влияние вязкости на эффективность диспергирования, выявив экспоненциальную зависимость на 23-х нефтях. Был

установлен высокий коэффициент корреляции равный 0,84. Данные исследования проводились с использованием метода BFT.

Исследования авторов [5, 6], проведенные с использованием метода WSL, показали, что эффективность диспергирования остается на высоком уровне при вязкости нефти до 2500 мПа·с. При увеличении вязкости нефти эффективность уменьшается, и достигает нуля при вязкости нефти более 10000 мПа·с. Ли и коллеги [6] объяснили эти результаты тем, что вязкие нефти устойчивы к дроблению на мелкие капли под воздействием диспергентов. Низкая эффективность диспергирования вязких нефтей может быть связана с недостаточным смешиванием нефти и диспергента, который, при попадании на пленку вязкой нефти, смывается с нее морской водой до того, как успевает адсорбироваться на границе "нефть-вода". Следовательно, Ли и соавторы пришли к выводу, что удовлетворительное диспергирование возможно только при вязкости нефти до 7500 мПа·с. Ранее эта работа широко использовалась в качестве основных указаний для применения диспергентов [7].

В последующих исследованиях было показано, что существует более высокий "барьер вязкости", чем тот, что был установлен в работе Ли и соавторов. Каневари [8] и соавторы, проводили исследование диспергента Corexit 9500 с использованием метода Exxon Dispersant Effectiveness Test (EXDET), выяснили, что эффективное диспергирование становится проблематичным при вязкости нефти выше 20000 мПа·с. В работе Фиокко [155] было показано, что при использовании метода Mackay-Nadeau-Steelman (MNS) отсутствие эффективности диспергента Corexit 9500 наблюдается при вязкости нефти 47000 мПа·с, а при использовании метода испытаний Французского института нефти (IFP) эффективное применение диспергента находится в диапазоне вязкости нефти от 20000 до 30000 мПа·с.

Очевидно, что различия в результатах исследований о «барьере вязкости» возникают из-за использования различных марок диспергентов и нефтей, а также различных методов тестирования. Анализ этих результатов не только не дает ответа на вопрос о том, при каких значениях вязкости нефти применение диспергентов становится неэффективным, но также вызывает вопрос о том, какой из лабораторных методов наилучшим образом отражает работу диспергентов в реальных условиях.

Трудель и др. [10], выполняя исследования в испытательном бассейне Ohmsett, обнаружили, что снижение эффекта от применения диспергента начинается при вязкости нефти 18690 мПа·с и полностью прекращается при вязкости 33400 мПа·с. Также авторы [10] показали, что с данными модельных испытаний наилучшим образом коррелируют результаты, полученные с использованием методик IFP и EXDET (рисунок 1). В другом исследовании, выполненном в испытательном бассейне Ohmsett было обнаружено, что его результаты хорошо согласуются с результатами лабораторного метода BFT [11].

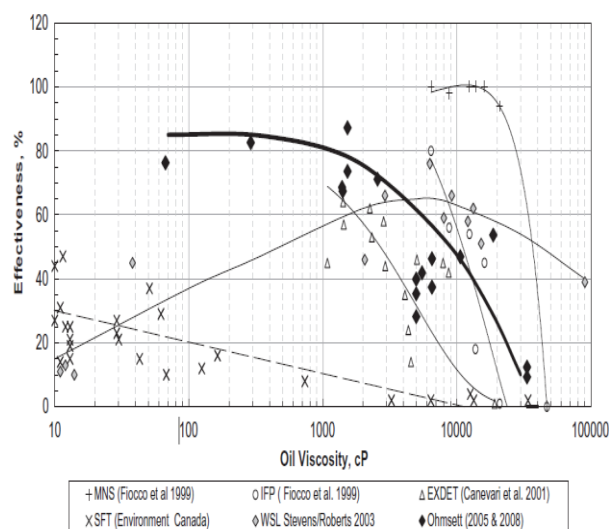


Рис. 1 – Сравнение результатов определения эффективности диспергирования, полученных лабораторными методами и в испытательном бассейне Ohmsett [11]

Fig. 1 – Comparison of dispersing efficiency results obtained by laboratory methods and in the Ohmsett test pool [11]

Таким образом, все исследователи согласны в том, что вязкость нефти играет значительную роль в эффективности использования диспергентов. Чем более вязкая нефть, тем менее эффективно происходит ее диспергирование.

Однако, влияние плотности нефти на ее способность к диспергированию не является столь однозначным. Предположение о том, что, чем больше плотность нефти, тем меньше она диспергируется, подтверждается лишь некоторыми исследованиями. Например, это предположение подтверждается в работе [11], в которой с помощью метода BFT были исследованы 23 образца нефти различной вязкости и плотности (рисунок 2). Авторы обнаружили, что эффективность диспергента Corexit 9500 характерно снижается с увеличением вязкости нефти. Поскольку в данной выборке вязкость нефти пропорционально увеличивается с ростом плотности, повышение плотности нефти также приводит к снижению ее диспергирования. Однако в другой работе [12] авторы указывают, что тяжелая нефть не всегда характеризуется низкой степенью диспергируемости. Согласно авторам [12], нефть с плотностью 10 градусов API более, чем 90% процентов диспергируется, в то время как нефть с плотностью 16 градусов API показывает степень диспергирования не более 10%. Из 345 испытаний, представленных на рисунке 3, у более, чем одной трети тяжелых нефтей степень диспергирования превысила 60%, в то время как у трети легких нефтей эффективность диспергирования оказалась менее 20%. Таким образом, результаты говорят о низкой корреляции между плотностью нефти и ее способностью к диспергированию.

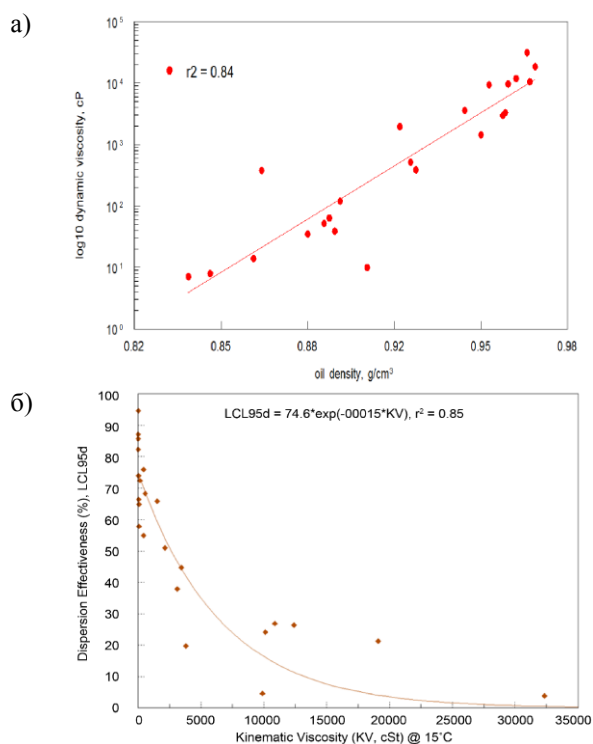


Рис. 2 – Исследование эффективности диспергирования методом BFT [11]: а) зависимость вязкости от плотности нефти; б) зависимость эффективности диспергирования от вязкости нефти

Fig. 2 - Study of dispersing efficiency by the BFT method [11]: a) Dependence of viscosity on oil density; b) dependence of dispersing efficiency on oil viscosity

Таким образом, важность вязкости нефти для прогнозирования эффективности диспергентов становится очевидной. Некоторые исследователи утверждают, что вязкость играет определяющую роль и влияет более сильно, чем другие факторы. Однако, исследование Каневари и его коллег показывает [8], что это не всегда так. В своем эксперименте они использовали нефти La Rosa и Murban с различной вязкостью - 73 мм²/с и 6 мм²/с соответственно. Они обнаружили, что эффективность диспергента Cogehit 9500 была значительно выше при диспергировании нефти Murban с низкой вязкостью (78%), чем при диспергировании нефти La Rosa с высокой вязкостью (30%). После этого они разбавили вязкую нефть La Rosa изопарафинами до достижения вязкости, равной вязкости нефти Murban, и обнаружили, что степень диспергирования улучшилась. Эффективность диспергирования такой смеси улучшилась до 50%, оставаясь значительно ниже, чем 78%, что характерно для нефти Murban. Исследователи сделали вывод, что помимо вязкости, химический состав нефти также оказывает значительное влияние на эффективность диспергента. Такой же вывод сделал Фингалс [13] в своем исследовании, где он использовал метод Swirling Flask Test (далее – SFT) для изучения степени диспергирования 25 образцов нефти. Он отметил, что нефть с большим содержанием преиму-

щественно предельных углеводородов диспергируется лучше, чем нефть с высоким содержанием смол и асфальтенов.

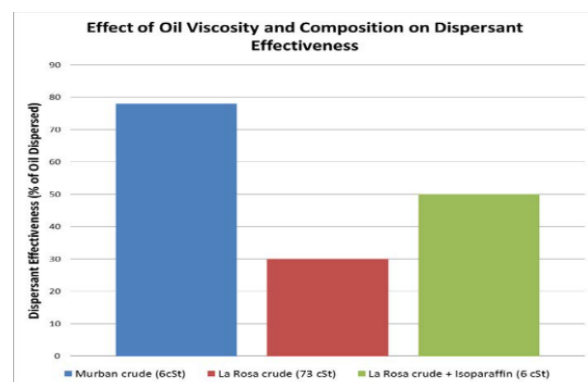


Рис. 3 – Влияние вязкости нефти на степень ее диспергируемости

Fig. 3 – Influence of oil viscosity on the degree of its dispersibility

Следовательно, эффективность применения диспергента сильно зависит от химического состава нефти, также как и от ее физических свойств, поскольку химический состав нефти в значительной степени определяет ее физические свойства. Однако эта зависимость не является прямой. Поэтому важным является проведение масштабных экспериментов с использованием различных образцов нефти различной плотности и вязкости, и, следовательно, с разным химическим составом.

Экспериментальная часть

Проводилось исследование изменения диспергирующей способности 2-х диспергентов на эффективность рассеивания нефтей различного группового состава. Первым составом была отечественная композиция, на основе алкилсорбитанов и алкилглюкозидов [14], вторым – коммерческий диспергент Cogehit 9527 [15].

Исследование проводилось в два этапа.

Первый – лабораторное исследование с применением метода BFT. Выбранный метод является высокоэнергетическим, что приводит к образованию капель нефти диаметром около 50 мкм. В условиях реального применения диспергентов, диаметр обрезающихся капель продиспергированной нефти находится в диапазоне 50 – 200 мкм. Из двух наиболее применяемых методов оценки диспергирующей способности SFT (ASTM F-2059-00) и BFT (ASTM F-3251-21), именно последний дает возможность получить данные схожие с натурными испытаниями.

Второй этап заключался в оценке диспергирующей способности составов на мезомасштабной установке. Установка моделирует условия в широком диапазоне метеорологических условия, что позволяет оценить действительную способность диспергирования нефтей.

Выбор нефтей объясняется их разным групповым составом, а также их принадлежностью ко всем типам нефти по плотности. Характеристики используемых нефтей приведены в таблице 1.

Проводимые исследования направлены на подтверждение зависимостей, описанных авторами [2, 3,

4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] о влиянии плотности, вязкости и группового состава нефти на эффективность диспергирования нефти.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых нефтей

Table 1 – Characteristics of the studied oils

Месторождение	Плотность, г/см ³	Вязкость мм ² /с	Содержание асфальтенов, %	Содержание смол, %	Содержание парафинов, %
Вернеколик-Еганское	0,808	3,57	0,93	20,11	2,37
Хохряковское	0,831	7,33	1,42	32,34	0,38
Правдинское	0,858	13,6	6,84	4,11	24,17
Нагорное (Турней)	0,896	54	3,95	29,10	19,12
Русское	0,939	522	1,17	10,20	21,87

Определение эффективности диспергирующей композиции от изменения типа нефти проводилось при солёности воды 30 г/л и температуре окружающей среды 20 °С лабораторным методом – ВФТ. ОДН – 1:10. Результаты представлены на рисунке 4.

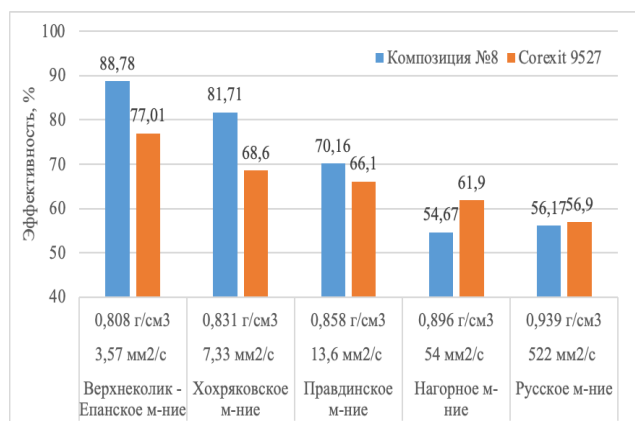


Рис. 4 – Влияние типа нефти на эффективность диспергирующей композиции методом ВФТ

Fig. 4 – Influence of oil type on the efficiency of dispersing composition by BFT method

Нефть с повышенной плотностью и вязкостью представляет собой более сложный объект для диспергирования из-за механического сопротивления, которое затрудняет отделение капель. Это сопротивление зависит от характеристик структуры и механических свойств нефтяной пленки, которые определяются ее плотностью и вязкостью. Результаты исследования показывают, что использование нефти с минимальной вязкостью и плотностью, например, как на Верхнеколик-Еганском месторождении, обеспечивает наивысшую эффективность — 88,78%. При увеличении плотности и вязкости нефти эффективность этого процесса снижается почти линейно. Эффективность использования диспергента для битуминозной нефти с Русского месторождения, которая является самой тяжёлой, снижается до 56,17%.

САВ, присутствующие в нефти, известны как природные эмульгаторы, и могут оказывать влияние

на свойства эмульсий, образующихся в процессе. Поэтому было исследовано воздействие содержания данных веществ на процесс диспергирования нефти.

В таблице 1 представлен групповой состав нефтей, используемых для проверки влияния диспергирующей способности разработанной композиции на нефтях различной плотности и группового состава (рисунок 4).

Нефть, добываемая из месторождений Верхнеколик-Еганского и Хохряковского, обладает высокой способностью к диспергированию под воздействием специальных диспергирующих составов. Эффективность диспергирования составляет 88,78% для нефти из Верхнеколик-Еганского месторождения и 81,71% для нефти из Хохряковского месторождения. Групповой состав этих нефтей указывает на их принадлежность к классу высокосмолистых. Нефть из Верхнеколик-Еганского месторождения содержит 21,04% смолисто-асфальтеновых веществ, из которых 20,11% приходится на смолы. В то же время, нефть из Хохряковского месторождения имеет более высокий процент САВ — 33,76%, а доля смол составляет 32,34%. Из-за низкой плотности и высокого содержания САВ эти нефти особенно чувствительны к воздействию диспергентов.

Нефть из Правдинского месторождения содержит 10,95% САВ и отличается низким содержанием смол — всего 4,11%. Согласно данным, представленным на рисунке 5, эффективность диспергирования этой нефти составляет 70,16%. По сравнению с двумя предыдущими образцами нефти, можно заметить снижение склонности нефти из Правдинского месторождения к диспергированию. Это связано с двумя факторами: повышением плотности нефти и снижением содержания смол. Однако увеличение плотности не должно существенно влиять на эффективность диспергирования. Нефть, использованная в эксперименте, имеет средние характеристики, а это значит, что её структурно-механические свойства подходят для применения метода химического диспергирования. Однако отсутствие природных эмульгаторов может привести к негативным последствиям. Без дополнительного стабилизирующего воздействия на

формирующуюся эмульсию нефти и воды эффективность процесса может снизиться на 10-15%.

Нефть, добываемая на Нагорном месторождении, является тяжелой нефтью с плотностью $0,896 \text{ г/см}^3$. В её составе содержится 33,05% смолисто-асфальтовых веществ (САВ), из которых 29,1% составляют смолы. Эффективность процесса диспергирования этой нефти составляет 54,67%. Высокое содержание смол и асфальтенов затрудняет процесс диспергирования, делая его более сложным. Возможная причина заключается в высокой плотности исследуемой нефти. Нефть из Русского месторождения характеризуется низким содержанием природных эмульгаторов: САВ составляет 11,37% массы, а смол - 10,2% массы. Эта нефть относится к категории битуминозных, имеет плотность $0,939 \text{ г/см}^3$. Эффективность процесса диспергирования составила 56,17%. Несмотря на различное содержание САВ, нефть из Нагорного и Русского месторождений отличается высокой плотностью среди всех исследуемых типов нефти.

Corexit 9527 показывает меньшую эффективность на оболёгкой, легкой и средней исследуемой нефти. Снижение его диспергирующей способности происходит более линейно, отсутствует резкое снижение эффективности на нефти Нагорного месторождения, как в случае с Композицией 1. Наблюдается чуть большая диспергирующая способность на нефти Русского месторождения в 0,6 %.

Можно предположить, что для тяжелых и битуминозных нефтей роль содержания природных эмульгаторов в процессе диспергирования становится менее значимой. В то же время, для легких и средних нефтей важным параметром, определяющим склонность к химическому диспергированию, является именно содержание смолисто-асфальтовых веществ.

Влияние свойств нефти на эффективность процесса диспергирования

Проводилось исследование диспергирующей способности составов на мезомасштабной установке. Предполагалось оценить возможность влияния метеорологических факторов на процесс диспергирования.

Условия проведения испытаний следующие: температура воды и воздуха - 10°C , скорость течения воды в канале - $0,35 \text{ м/с}$, высота волн - 8 см , скорость ветра - $3,5 \text{ м/с}$, количество воды в канале - $5,5 \text{ м}^3$, количество нефти - $3,7 \text{ л}$, толщина пленки нефти - 5 мм , ОДН - 1:10, соленость модельной морской воды - 25 г/л . Нефти: Верхнеколик-Еганского месторождения (плотность - $0,808 \text{ г/см}^3$, вязкость - $3,57 \text{ мм}^2/\text{с}$), Правдинского месторождения (плотность - $0,858 \text{ г/см}^3$, вязкость - $13,6 \text{ мм}^2/\text{с}$), Русское месторождения (плотность - $0,939 \text{ г/см}^3$, вязкость - $522 \text{ мм}^2/\text{с}$), Характеристики нефти, применяемой при работе на мезомасштабной установке, приведены в таблице 1.

Эффективность диспергентов оценивалась в результате анализа проб воды, отобранных с глубины 95 см от поверхности воды, спустя 3 часа после нанесения диспергента и моделирования воздействия волн, течения воды и ветра.

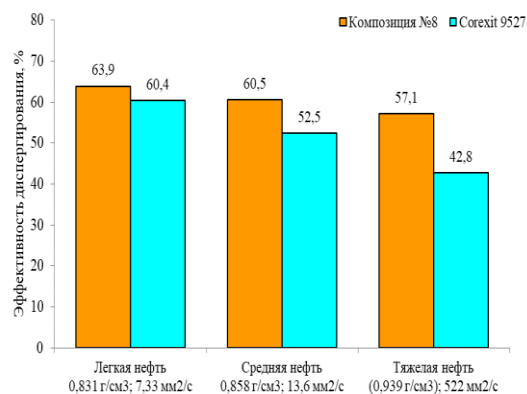


Рис. 5 – Результаты оценки эффективности диспергентов в зависимости от плотности нефтей

Fig. 5 – Results of dispersant efficiency evaluation depending on oil density

В результате испытаний установлено, что разработанная композиция №8 менее подвержена изменению диспергирующей способности в зависимости от плотности и вязкости нефти, в отличие от промышленного диспергента Corexit 9527.

С увеличением вязкости и плотности нефти все исследуемые диспергирующие составы демонстрируют линейное снижение способности к диспергированию. Эта зависимость была подтверждена авторами [148, 149, 150, 151, 152], которые отметили уменьшение эффективности диспергирования при увеличении вязкости обрабатываемой нефти. Проверяемые диспергирующие композиции подчиняются этой зависимости. Влияние плотности нефти на эффективность диспергирования было также подтверждено [158]. Например, при плотности $0,831 \text{ г/см}^3$ для состава №8 и Corexit 9527 эффективность составляет 63,9% и 60,4% соответственно. При увеличении плотности до $0,858 \text{ г/см}^3$, эффективность снижается до 60,5% и 52,5% соответственно. При максимальной плотности исследуемой нефти $0,939 \text{ г/см}^3$ эффективность составляет 57,1% для разрабатываемого состава и 42,8% для Corexit 9527. Следовательно, промышленные образцы проявляют более низкую эффективность на всех типах нефти.

Сравнив полученные результаты с данными, полученными методом ВФТ (рисунок 4), можно отметить уменьшение эффективности новой композиции при обработке легкой нефти с плотностью $0,831 \text{ г/см}^3$: при использовании мезомасштабной установки эффективность упала с $88,78\%$ до $63,9\%$. Также было замечено уменьшение эффективности при обработке средней нефти с плотностью $0,858 \text{ г/см}^3$: эффективность сократилась с $70,16\%$ до $60,5\%$. Однако при обработке тяжелой нефти с плотностью $0,939 \text{ г/см}^3$ наблюдалось незначительное увеличение диспергирующей способности с $56,17\%$ до $57,1\%$. Возможно, это объясняется тем, что мезомасштабная установка обладает большим потенциалом для перемешивания системы вода-нефть-диспергент. Этот эффект усиливается наличием воздушных потоков, подводного течения и неоднородности волн. Подобные явления характерны и для реальных случаев раз-

лива нефти, что позволяет предположить, что исследование на мезомасштабной установке достаточно точно отражает возможный процесс ликвидации аварийных разливов нефти.

Заключение

Исследование было направлено на определение влияния физических свойств нефти на эффективность их диспергирования после обработки реагентом. В ходе испытания лабораторными методом ВФТ и эксперимента на мезомасштабной установке, подтвердилась линейная зависимость склонности к диспергированию от величины плотности и вязкости нефти. После анализа содержания смолисто-асфальтеновых веществ в каждой испытуемой нефти, можно сделать вывод о не очевидном влиянии этих природных эмульгаторов на процесс диспергирования. Таким образом, высокая эффективность к диспергированию легких нефтей может быть объяснена не только низкой плотностью, но и высоким содержанием смол и асфальтенов.

Литература

- 1.F. Martinelli, B.W.J. Lynch. *WSL Report*, 363, (1980).
- 2.L. Stevens, J. Roberts, *International Oil Spill Conference*, (Vancouver, Canada, April 6-11, 2003). Proceedings. Washington, 2003. P. 509-513.
- 3.K. Colcomb, D. Salt, M. Peddar, A. Lewis, *International Oil Spill Conference* (Miami, USA, May 16-19). Proceedings. Washington, 2005. P. 53-58.
- 4.E. Holder. Master of Science's thesis, University of Cincinnati, Cincinnati, 2011. P. 108.
- 5.F. Martinelli, D. Cormack. *WSL Report.*, 313, (1979)
- 6.M. Lee, F. Martinelli, B. Lynch, P. Norris, *Oil Spill Conference*, (Atlanta, USA, March 2-5). Proceedings. Washington, 1981. P. 31-35.
- 7.D. Cormack, W. Lynch, B. Dowsett. *Oil and Chemical Pollution*, 3, 87-103 (1986/87).
- 8.G. Canevari, P. Calcavecchio, K. Becker, R. Lessard, R. Fiocco, *International Oil Spill Conference*, (Tampa, USA, March 26-29). Proceedings. Washington, 2001 P. 479 - 483.
- 9.R. Fiocco, P. Daling, G. DeMarco, R. Lessard, G. Canevari, *22nd Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*, (Calgary Canada, June 2-4). Proceedings. 1999. P.173-186.
10. K. Trudel, R. Belore, J. Mullin, A. Guarino. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 9, 1606-1614 (2010).
11. L. Holder, N. Conmy, D. Venosa. *Journal of Environmental Protection*, 6, 628-639 (2015).
12. J. Clark, T. Coolbaugh, R. Belore, J. Mullin, R. Lessard, A. Findlay, *Interspill*, (Marseilles, France), Proceedings. 2009.
13. M. Fingas, I. Bier, M. Bobra, S. Callaghan, *International Oil Spill Conference* (San Diego, USA, March 4-7). Proceedings. Washington, 1991. P. 419-426.
14. Пат. РФ 2800052 (2023).
15. C. González-Penagos, J. Zamora-Briseño, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 116019, 443 (2022).

References

- 1.F. Martinelli, B.W.J. Lynch. *WSL Report*, 363, (1980).
- 2.L. Stevens, J. Roberts, *International Oil Spill Conference*, (Vancouver, Canada, April 6-11, 2003). Proceedings. Washington, 2003. P. 509-513.
- 3.K. Colcomb, D. Salt, M. Peddar, A. Lewis, *International Oil Spill Conference* (Miami, USA, May 16-19). Proceedings. Washington, 2005. P. 53-58.
- 4.E. Holder. Master of Science's thesis, University of Cincinnati, Cincinnati, 2011. P. 108.
- 5.F. Martinelli, D. Cormack. *WSL Report.*, 313, (1979)
- 6.M. Lee, F. Martinelli, B. Lynch, P. Norris, *Oil Spill Conference*, (Atlanta, USA, March 2-5). Proceedings. Washington, 1981. P. 31-35.
- 7.D. Cormack, W. Lynch, B. Dowsett. *Oil and Chemical Pollution*, 3, 87-103 (1986/87).
- 8.G. Canevari, P. Calcavecchio, K. Becker, R. Lessard, R. Fiocco, *International Oil Spill Conference*, (Tampa, USA, March 26-29). Proceedings. Washington, 2001 P. 479 - 483.
- 9.R. Fiocco, P. Daling, G. DeMarco, R. Lessard, G. Canevari, *22nd Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*, (Calgary Canada, June 2-4). Proceedings. 1999. P.173-186.
10. K. Trudel, R. Belore, J. Mullin, A. Guarino. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 9, 1606-1614 (2010).
11. L. Holder, N. Conmy, D. Venosa. *Journal of Environmental Protection*, 6, 628-639 (2015).
12. J. Clark, T. Coolbaugh, R. Belore, J. Mullin, R. Lessard, A. Findlay, *Interspill*, (Marseilles, France), Proceedings. 2009.
13. M. Fingas, I. Bier, M. Bobra, S. Callaghan, *International Oil Spill Conference* (San Diego, USA, March 4-7). Proceedings. Washington, 1991. P. 419-426.
14. Pat. RF 2800052 (2023).
15. C. González-Penagos, J. Zamora-Briseño, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 116019, 443 (2022).

© **Р. И. Юлдашев** – ассистент кафедры Химической технологии переработки нефти и газа (ХТПНГ), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, ruslan8695@mail.ru; **Д. И. Фаткуллина** – аспирант, ассистент кафедры ХТПНГ, КНИТУ, difatkullina@gmail.com; **Н. Ю. Башкирцева** – д-р тех. наук, заведующий кафедрой ХТПНГ, КНИТУ, BashkirtsevaNYu@corp.knrtu.ru; **Д. А. Куряшов** – канд. хим. наук, доцент кафедры ХТПНГ, КНИТУ, dkuryashov@gmail.com; **Р. Р. Мингазов** – кандидат тех. наук, кафедры ХТПНГ, КНИТУ, rifat18@mail.ru; **Е. А. Латыпова** – магистрант кафедры ХТПНГ, КНИТУ, ekat.latypowa@yandex.ru.

© **R. I. Yuldashev** - Assistant of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing (CTOGP), Kazan National Research Technological University (KNRTU) Kazan, Russia, ruslan8695@mail.ru; **D. I. Fatkullina** – PhD-student, Assistant of the CTOGP department, KNRTU, difatkullina@gmail.com; **N. Y. Bashkirtseva** – Doctor of Science (Technical Sci.), Head of the CTOGP department, KNRTU, BashkirtsevaNYu@corp.knrtu.ru; **D. A. Kuryashov** – PhD (Chemical Sci.), Associate Professor of the CTOGP department, KNRTU, dkuryashov@gmail.com; **R. R. Mingazov** – PhD (Chemical Sci.), the CTOGP department, KNRTU, rifat18@mail.ru; **E. A. Latypova** – Master-student of the CTOGP department, KNRTU, ekat.latypowa@yandex.ru.