

Сравнительная оценка эффективности твёрдых и жидких диспергентов в условиях моделирования разливов нефти и нефтепродуктов

© 2022. С. Г. Литвинец¹, к. с.-х. н., доцент, проректор,
Е. А. Мартинсон¹, к. т. н., доцент, директор института,
С. М. Кузнецов¹, д. м. н., профессор, Е. О. Задорина¹, инженер,
О. А. Новикова¹, микробиолог, В. Г. Комоско¹, руководитель НОЦ,
А. В. Николаева², к. г. н., начальник отдела,
М. А. Трошин², к. т. н., в. н. с., М. Т. Гайсин², зав. лабораторией,
¹Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
²Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта,
117186, Россия, г. Москва, Севастопольский проспект, д. 47а,
e-mail: litvinets@vyatsu.ru

Изучена эффективность разработанного в интересах ПАО «Транснефть» твёрдого диспергента «Димэкс» для очистки поверхности воды от нефти и нефтепродуктов за счёт диспергирования, в том числе в зимних (ледовых) условиях. В качестве препарата сравнения использовали разрешённый для применения в России жидкий диспергент «Finasol OSR 52» производства компании «Total Fluides» (Франция).

Показана возможность использования модифицированного теста Warren Spring Laboratory (WSL-тест) в качестве метода оценки эффективности диспергирования для твёрдых диспергентов.

В условиях широкого диапазона изменяющихся параметров, включающих: солёность модельной морской воды, температуру воды, наличие шуги и битого льда, отношение диспергент:нефть, вид нефтепродукта показана высокая эффективность твёрдого диспергента «Димэкс», которая составила для средней сернистой нефти с плотностью 870,0 кг/м³ – 35,7–60,7%, для лёгкой, малосернистой нефти с плотностью 844,0 кг/м³ – 39,2–58,7%, для дизельного топлива с плотностью 830,8 кг/м³ – 50,7–72,2%, для керосина с плотностью 785,5 кг/м³ – 52,3–60,5%, для бензина с плотностью 739,2 кг/м³ – от 40,4 до 49,8%. Полученные значения сопоставимы со значениями для зарегистрированного на территории Российской Федерации жидкого диспергента «Finasol OSR 52», что позволяет рекомендовать твёрдый диспергент «Димэкс» для применения при ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на морских акваториях в условиях Севера.

Ключевые слова: твёрдый диспергент, жидкий диспергент, диспергирующая активность, нефть и нефтепродукты, бензин, керосин, дизельное топливо, метод оценки диспергирующей активности, WSL-тест.

Comparative evaluation of the efficiency of solid and liquid dispersants in simulation of oil and oil product spills

© 2022. S. G. Litvinets¹ ORCID: 0000-0001-8583-5274, E. A. Martinson¹ ORCID: 0000-0002-0364-4106,
S. M. Kuznetsov¹ ORCID: 0000-0002-4444-5170, E. O. Zadorina¹ ORCID: 0000-0002-2509-8193,
O. A. Novikova¹ ORCID: 0000-0003-0735-1607, V. G. Komosko¹ ORCID: 0000-0002-2083-6169,
A. V. Nikolaeva² ORCID: 0000-0001-7345-8416, M. A. Troshin² ORCID: 0000-0002-6749-7248,
M. T. Gaysin² ORCID: 0000-0002-9301-4289,
¹Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
²Pipeline Transport Institute,
47A, Sevastopolskiy Prospekt, Moscow, Russia, 117186,
e-mail: litvinets@vyatsu.ru

The effectiveness of the “Dimex” solid dispersant developed in the interests of PJSC “Transneft” for cleaning the water surface from films of oil and oil products through dispersion, including in winter (ice) conditions, has been studied. Liquid dispersant “Finasol OSR 52”, manufactured by Total Fluides, France, approved for use in Russia, was used as a reference drug.

The possibility of using the modified Warren Spring Laboratory test as a method for evaluating the effectiveness of dispersion for solid dispersants is shown.

Under conditions of a wide range of changing parameters, including: salinity of model seawater, water temperature, presence of sludge and broken ice, dispersant:oil ratio, type of oil product, the high efficiency of the solid dispersant "Dimex" was shown, which was for medium sulphurous oil with a density of 870.0 kg/m³ – from 35.7 to 60.7%, for light, sweet oil with a density of 844.0 kg/m³ – from 39.2 to 58.7%, for diesel fuel with a density of 830.8 kg/m³ – from 50.7 to 72.2%, for kerosene with a density of 785.5 kg/m³ – from 52.3 to 60.5%, for gasoline with a density of 739.2 kg/m³ – from 40.4 to 49.8%. The obtained values are comparable with the values for the "Finasol OSR 52" liquid dispersant registered in the territory of the Russian Federation, which makes it possible to recommend the "Dimex" solid dispersant for use in the elimination of emergency oil and oil products spills in offshore areas in the North.

Keywords: solid dispersant, liquid dispersant, dispersant activity, oil and oil products, gasoline, kerosene, diesel fuel, dispersant activity assessment method, WSL-test.

По мере роста степени освоения ресурсов арктических регионов возрастает и потребность в появлении новых методов снижения степени антропогенного воздействия на уникальные экосистемы Арктики [1]. Моря арктического континентального плато содержат в своих глубинах основную долю (почти 80%) начальных суммарных углеводородных ресурсов всего российского шельфа [2]. Активное освоение нефтяных месторождений приведёт к увеличению объёма нефтяных углеводородов, поступающих в моря в случае чрезвычайной аварийной ситуации. Известно, что полярные регионы наиболее восприимчивы к загрязнению окружающей среды (ОС) [3]. Утечка углеводородов в арктических условиях, даже в незначительных количествах, может привести к непоправимому экологическому ущербу. Для предотвращения негативного воздействия на ОС в результате нарушений в добыче и транспортировке углеводородов требуется разработка комплекса мер по предупреждению загрязнения воды, почвы и атмосферного воздуха в результате разработки новых месторождений [4].

В настоящее время в условиях Арктики для ликвидации нефтяных разливов предложены механические, термические и химические способы [5–7]. Основным является механический, который позволяет проводить сбор нефтепродуктов (НП) с использованием нефтесборщиков, откачку смеси НП и воды триммерами, локализацию нефти с последующим удалением при применении сорбентов. Использование термического метода, основанного на сжигании НП, проводится при толщине нефтяного слоя, превышающего 3 см, при безветренной погоде до начала смешения нефти с водой. Применение данного метода затруднено из-за необходимости быстрого реагирования на разлив НП, в особенности при значительной удалённости месторождения и неблагоприятных метеоусловиях. Химические способы устранения разливов нефти и НП предполагают использование

веществ, диспергентов, применение которых разрушает целостность плёнки нефти или НП, что приводит к распределению нефти или НП в объёме и повышению скорости микробиологической биодеструкции [8].

Диспергенты возможно применять для борьбы с разливами нефти в морях и океанах при высоком волнении и ветре, когда затруднён сбор НП механическим методом. Их можно наносить с самолёта или с судна с помощью распылительных насадок при помощи насосов или самотёком. Диспергенты возможно наносить непосредственно на пятно, рассчитывая при этом необходимую концентрацию, исходя из типа нефти, солёности воды, температуры и погодных условий. В связи с вступившими в силу 1 января 2021 г. изменениями в экологическом законодательстве становится актуальным применение в Российской Федерации (РФ) диспергентов в качестве независимого способа ликвидации разливов нефти или дополнительного к механическому сбору для возможности доочистки акватории от нефтяного разлива [9].

Применение диспергентов в РФ производится в соответствии с СТО 318.4.02-2005 [10]. В данном документе указаны сведения об эффективности и токсичности трёх диспергентов: «ОМ-6», «ОМ-84» и «Corexit 9527», однако отечественные диспергенты из приведённого перечня не производятся, а диспергент «Corexit 9527» фактически не доступен. На сегодняшний день при ликвидации аварийных разливов нефти на территории РФ одобрены для применения два иностранных диспергента – «Corexit 9527А» (США) и «Finasol OSR 52» (Франция), имеющие свидетельство о государственной регистрации продукции Таможенного союза.

Твёрдые диспергенты являются перспективными препаратами для устранения последствий нефтяных загрязнений. Как правило, в их основе используются природные материалы, способные образовывать стабильные

эмульсии в водной среде. Твёрдые диспергенты являются многокомпонентными смесями и отличаются от традиционных жидких диспергентов механизмом действия. Входящие в состав твёрдых диспергентов мелкодисперсные порошки нерастворимых материалов являются стабилизатором эмульсий [11]; вещества, обладающие поверхностно-активным действием, разрушают плёнки углеводородов и обеспечивают эмульгирование [12].

Одним из первых примеров, демонстрирующих возможность использования мелкодисперсных нерастворимых материалов, стала обработка разлива мазута в Канаде на реке Св. Лаврентия около г. Матана, Квебек. Для обработки мазутного пятна использовалась смесь мела с морской водой, которую распыляли на мазутное пятно, дополнительно перемешивая образующуюся эмульсию винтами ледокола. Авторы констатируют, что при 0,5 °С через 56 дней подверглось биодеструкции 56% НП [12].

За последние несколько лет ПАО «Транснефть» совместно с ООО «НИИ Транснефть», ООО «Транснефть-порт Приморск» и ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» разработали твёрдый диспергент «Димэкс» (патент № RU2752312С1). Особенностью твёрдого диспергента является использование природных соединений на основе монтмориллонита, входящего в состав бентонитовых глин, образующих стабильные прямые эмульсии в системах вода–нефть [13].

В соответствии с [10], максимальное эффективное отношение диспергент:нефть (ОДН) – 1:10. Применяемое ОДН зависит от условий применения и соотносится с токсичностью диспергента, измеряемого в ПДК. Для зарубежных диспергентов «Corexit 9527А» и «Finasol OSR 52» установлены значения ПДК 0,02 и 0,80 мг/л соответственно [14]. Для твёрдого диспергента «Димэкс» ПДК в настоящее время находится в стадии разработки. Информация о токсичности всех его компонентов представлена в [14], что позволяет предполагать, что разработанный норматив ПДК для смеси охарактеризует твёрдый диспергент «Димэкс» как безопасный для морских экосистем.

Целью данной работы стала оценка эффективности диспергирования нефти и нефтепродуктов твёрдым диспергентом «Димэкс» в сравнении с эффективностью диспергирования под воздействием традиционного жидкого диспергента «Finasol OSR 52» в различных сочетаниях вида нефтепродукта, солёности и температуры воды.

Объекты и методы исследования

Для оценки эффективности диспергирования в мире одновременно используются несколько основных методов: методы с низкой энергией воздействия, например, IFP-тест [15], SF-тест [16], методы со средней или высокой энергией воздействия, например, MNS-тест [17] и методы с высокой энергией воздействия, например, Labofina/WSL-тест [18].

В качестве метода сравнительной оценки эффективности твёрдого диспергента «Димэкс» и жидкого диспергента «Finasol OSR 52» был выбран метод WSL-тест (Warren Spring Laboratory test) [19]. Выбор метода обусловлен следующими причинами. WSL-тест характеризуется высокой скоростью рассеивания энергии, что важно для твёрдых диспергентов, частицы которых могут препятствовать истечению жидкости, в особенности в местах сужения путей перемещения жидкости. Для WSL-теста используются стандартные делительные воронки, что снижает стоимость серийных экспериментов. Метод стандартизован для определения эффективности диспергирования и предполагает использование определённых параметров вязкости НП, температуры, солёности модельной воды и т. д. Методику можно легко модифицировать, оставляя неизменным всего лишь один параметр – скорость вращения делительных воронок вокруг своей оси. При этом модифицированный WSL-тест становится своеобразным переходным методом между лабораторными методами и натурными испытаниями, так как позволяет в меняющихся условиях солёности воды, температуры и ОДН делать выводы о тенденциях поведения того или иного диспергента в условиях совокупности параметров, характерных для определённой акватории, а наличие препарата сравнения позволяет подтвердить, что данные, полученные для испытываемого диспергента, являются достоверными с сохранением воспроизводимости опытных данных в нескольких повторях. Кроме того, фактически единственным документом в РФ, в котором упоминается методика лабораторной оценки эффективности диспергирования, является инструкция по применению диспергентов нефти ОМ-6, ОМ-84 и Корексит 9527 [20]. Методика ЦНИИМФ, указанная в инструкции [20], как основной метод оценки эффективности диспергирования, по большому счёту является переводом на русский язык методики WSL-тест.

На территории РФ разрешены только диспергенты с известной эффективностью диспергирования, которая определяется как отношение количества диспергировавшейся, перешедшей в объём воды нефти к вносимому количеству нефти [18].

Методика WSL-тест предполагает нанесение исследуемого диспергента, предназначенного для очистки поверхности воды от плёнок углеводородов, на поверхность известного количества углеводорода, находящегося на поверхности модельной морской воды в стандартной конической делительной воронке объёмом 250 мл. После герметизации и выдерживания системы в течение 2,5 мин осуществляют перемешивание путём вращения делительной воронки вокруг горизонтальной оси в течение 2 мин со скоростью 33 об./мин. Количество углеводородов, перешедших в объём модельной морской воды, определяют в пробе объёмом 50 мл спектрофотометрическим методом при длине волны 580 нм после экстракции хлороформом [19]. Эффективность диспергирования определяется по формуле:

$$\text{Процент эффективности} = \frac{\text{вес нефти в 50 мл образце} \cdot 500}{\text{вес нефти, введённой в 250 мл воды}}$$

Технически метод WSL-тест был реализован путём изготовления лабораторного

смесителя, позволяющего стандартизировать время и частоту вращения и обеспечить удобное и безопасное закрепление делительных воронок (рис. 1).

При определении эффективности диспергирования предлагаемой композиции для очистки поверхности воды от плёнок нефти и НП использовали НП, транспортируемые ПАО «Транснефть»: средняя нефть, сернистая, степень подготовки 1. 201 ГОСТ Р 51858-2002, плотность при 20 °С 870,0 кг/м³ (далее – «Нефть Порт Приморск»); лёгкая, малосернистая, степень подготовки 1. 111 ГОСТ Р 51858-2002, плотность при 20 °С 844,0 кг/м³ (далее – «Нефть Порт Козмино»); топливо дизельное ЕВРО, летнее, сорта С, экологического класса К5 (ДТ-Л-К5) плотность при 15 °С 830,8 кг/м³ (далее – «Дизельное топливо»); бензин неэтилированный марки АИ-92-К5, плотность при 15 °С 739,2 кг/м³ (далее – «Бензин»); топливо для реактивных двигателей марки ТС-1, высший сорт по ГОСТ 10227-86 с изменениями 1-6, плотность при 15 °С 785,5 кг/м³ (далее – «Керосин»).

Перечень изменяемых условий диспергирования включал в себя солёность морской воды, температуру воды, наличие шуги и битого льда, ОДН; вид НП.

Исследования проводили в термокамере, в которой поддерживалась температура, заданная для конкретного испытания. Все реагенты,

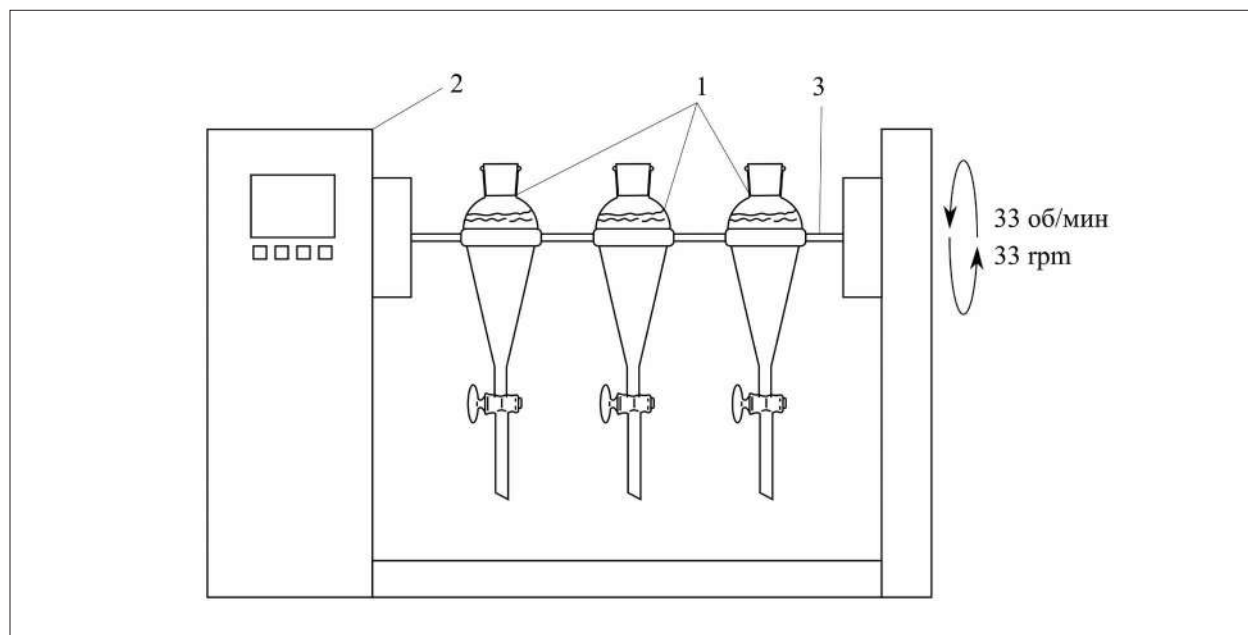


Рис. 1. Схема установки для проведения испытаний по оценке эффективности диспергентов по методике WSL-тест: 1 – делительные воронки; 2 – двигатель и блок управления; 3 – вал с креплениями для делительных воронок

Fig. 1. Scheme of equipment for testing the effectiveness of dispersants using the WSL-test method: 1 – dividing funnels; 2 – engine and control unit; 3 – shaft with fasteners for dividing funnels

тестовые материалы и аппаратура хранились в термокамере в течение 24 ч перед проведением теста. В экспериментах использовали модельную морскую воду солёностью 3, 15 и 33‰, приготовленную за 24 ч до проведения эксперимента из сухих компонентов по ГОСТ 31959-2012 (ISO 14669:1999).

В экспериментах, предполагавших проведение испытаний в ледовых условиях, на поверхность воды в каждую из делительных воронок добавляли колотый лёд, приготовленный из модельной морской воды солёности, соответствующей солёности воды в делительной воронке. Лёд замораживали в морозильнике при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в формах объёмом 10 мл. Перед применением лёд измельчали до частиц с диаметром 0,5–1,5 см и добавляли в делительные воронки так, чтобы поверхность воды была полностью покрыта льдом.

Последовательность нанесения компонентов, массу добавляемой нефти или НП, время перемешивания, число оборотов, время выдерживания устанавливали в соответствии с методикой WSL-тест [19]. Эксперимент проводили при ОДН равном 1:10 и 1:3. Каждое исследование проводили в трёх повторностях, рассчитывая среднее значение.

Твёрдый диспергент «Димэкс» использовали в сухом виде. В качестве препарата сравнения использовали жидкий диспергент «Finasol OSR 52» производства компании «Total Fluides» (Франция).

Результаты и обсуждение

Исследование сравнительной эффективности твёрдого диспергента «Димэкс» и жидкого диспергента «Finasol OSR 52» методом WSL-тест показало, что при ОДН, равном 1:10, твёрдый диспергент «Димэкс» в целом проявляет эффективность диспергирования, идентичную традиционному жидкому диспергенту «Finasol OSR 52» (рис. 2).

При ОДН, равном 1:10, твёрдый диспергент «Димэкс» проявлял эффективность в диапазоне от 35,7 (диспергирование нефти Порт Приморск в ледовых условиях $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, лёд, солёность 33‰) до 70,6% (диспергирование дизельного топлива, $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, лёд, солёность 33‰). По сравнению с жидким диспергентом «Finasol OSR 52» эффективность диспергирования твёрдым диспергентом «Димэкс» при ОДН 1:10 была выше при всех сочетаниях условий. Наибольшую сравнительную эффективность (на 33,7% по сравнению с жидким диспергентом «Finasol OSR 52»)

твёрдый диспергент «Димэкс» показал при диспергировании бензина в ледовых условиях при солёности 33‰. По-видимому, это связано со снижением вязкости лёгких НП в ледовых условиях и преобладании диспергирования над испарением в условиях низких температур.

Для оценки возможности повышения эффективности диспергирования количество вносимого диспергента было увеличено до ОДН, равного 1:3 (в 3,33 раза). Результаты эксперимента показывают, что увеличение количества вносимого диспергента не даёт ощутимого прироста эффективности диспергирования (рис. 3).

В целом для всего эксперимента повышение эффективности диспергирования для твёрдого диспергента «Димэкс», при увеличении ОДН до 1:3 находилось в диапазоне от 1,5 до 25,0%. Максимальное увеличение (на 25,0%) эффективности диспергирования наблюдалось для средней сернистой нефти (нефть Порт Приморск) при температуре $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, наличии колотого льда и солёности модельной морской воды 33‰.

Диапазон полученных значений эффективности диспергирования для твёрдого диспергента «Димэкс» при ОДН 1:3 составил от 40,8 до 72,2%, что в целом несколько выше, чем значения для жидкого диспергента «Finasol OSR 52», которые составили 35,7–70,6%. Максимальное увеличение сравнительной эффективности диспергирования для твёрдого диспергента «Димэкс» по сравнению с жидким диспергентом «Finasol OSR 52» составило 33,7% и наблюдалось при диспергировании бензина при температуре $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и солёности модельной морской воды 33‰.

Заключение

В результате выполненной работы можно сделать заключение о возможности использования модифицированного метода оценки эффективности диспергирования Warren Spring Laboratory test для твёрдого диспергента в ледовых условиях с получением воспроизводимых результатов.

Твёрдый диспергент «Димэкс» проявляет высокую диспергирующую активность в отношении различных видов нефти, дизельного топлива, бензина и керосина, что позволяет рекомендовать его в качестве средства для ликвидации аварийных разливов нефти и НП на морских акваториях, в том числе в ледовых условиях.

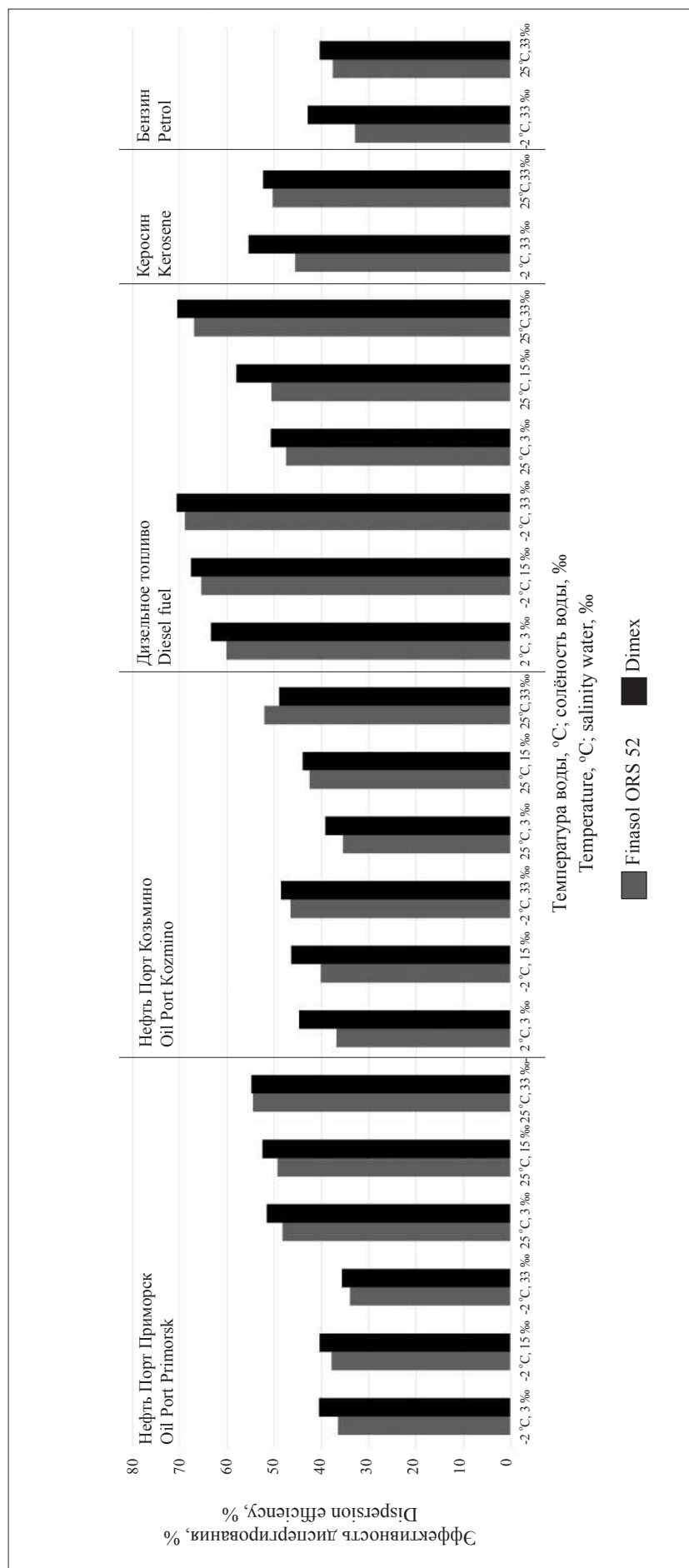


Рис. 2. Результаты сравнительной оценки эффективности диспергирования нефти и нефтепродуктов твёрдым диспергентом «Димэкс» и жидким диспергентом «Finasol ORS 52» при ОДН равном 1:10.
Fig. 2. The results of a comparative assessment of the efficiency of dispersing oil and oil products with “Dimex” solid dispersant and “Finasol ORS 52” liquid dispersant at a dispersant:oil (oil product) ratio of 1:10.

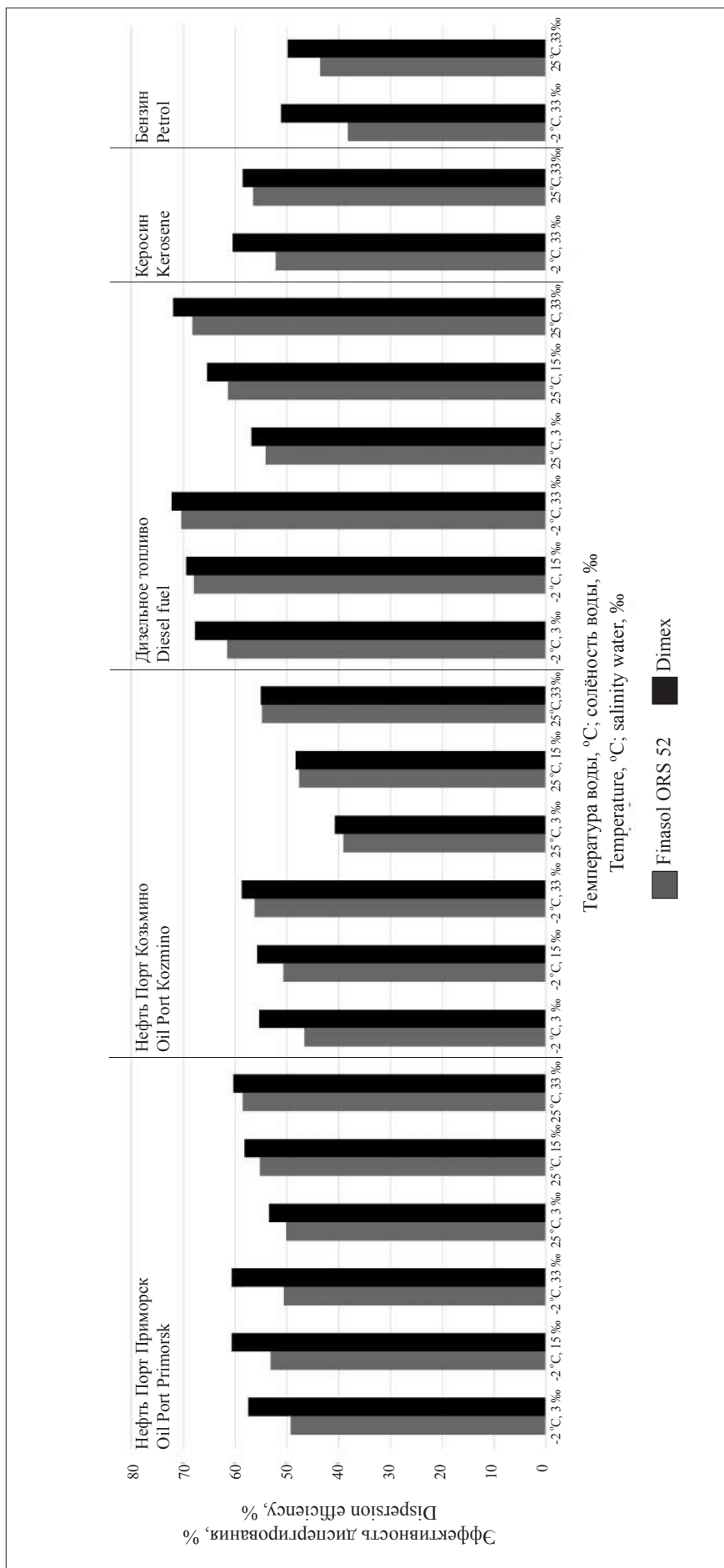


Рис. 3. Результаты сравнительной оценки эффективности диспергирования нефти и нефтепродуктов твёрдым диспергентом «Димэкс» и жидким диспергентом «Finasol ORS 52» при ОДН 1:3
 Fig. 3. The results of a comparative assessment of the efficiency of dispersing oil and oil products with “Dimex” solid dispersant and “Finasol ORS 52” liquid dispersant at a dispersant: oil (oil product) ratio of 1:3

Значения эффективности диспергирования твёрдого диспергента «Димэкс» находятся в диапазоне для средней сернистой нефти с плотностью 870,0 кг/м³ – от 35,7 до 60,7%, для лёгкой малосернистой нефти с плотностью 844,0 кг/м³ – от 39,2 до 58,7%, для дизельного топлива с плотностью 830,8 кг/м³ – от 50,7 до 72,2%, для керосина с плотностью 785,5 кг/м³ – от 52,3 до 60,5%, для бензина с плотностью 739,2 кг/м³ – от 40,4 до 49,8% и сопоставимы со значениями, полученными для зарегистрированного на территории РФ жидкого диспергента «Finasol OSR 52».

Как твёрдый диспергент «Димэкс», так и жидкий диспергент «Finasol OSR 52» проявили наибольший диспергирующий эффект на дизельном топливе (плотность при 15 °С 830,8 кг/м³), что подтверждает литературные данные о том, что при снижении плотности НП диспергирование с участием диспергентов становится более эффективным. При этом для бензина (плотность при 15 °С 739,2 кг/м³) и керосина (плотность при 15 °С 785,5 кг/м³) эффективность диспергирования была ниже, что объясняется преобладанием испарения над диспергированием у легколетучих типов НП.

Традиционное для диспергентов ОДН, равное 1:10, является эффективным, увеличение количества диспергента в 3,33 раза (ОДН 1:3) при исследовании с использованием метода WSL-тест повышает эффективность диспергирования на 1,5–25,0%, что в натуральных условиях будет приводить к перерасходу препарата и значительному повышению стоимости работ по ликвидации аварийных разливов нефти и НП.

References

1. Eremin N.A., Kondratyuk A.T., Eremin A.N. Resource base of oil and gas of the Arctic shelf of Russia // *Georesursy. Geoenergetika. Geopolitika*. 2010. No. 4. P. 23 (in Russian).
2. Selin V.S., Cukerman V.A., Vinogradov A.N. Economic conditions and innovative opportunities to ensure the competitiveness of hydrocarbon deposits on the Arctic shelf. Apatity: Kolsky Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2008. 267 p. (in Russian).
3. Gramberg I.S., Dodin D.A., Laverov N.P., Pogrebickij Ju.E. The Arctic on the threshold of the third millennium (resource potential and environmental problems). Sankt-Peterburg: Science, 2000. 247 p. (in Russian).
4. Reshetnikova L.M., Poroh A.N. The current situation in the Arctic and the Caspian: a comparative analysis and prospects for cooperation in solving global problems // *Istoricheskie, filosofskie, politicheskie i*

juridicheskie nauki, kul'turologiya i iskusstvovedenie. Voprosy teorii i praktiki. 2012. No. 24. Part 1 (10). P. 142–153 (in Russian).

5. Beskid P.P., Duryagina E.G. Characterization of oil transformation processes in the marine environment and their impact on oil spill response operations // *Ekspluatatsiya morskogo transporta*. 2011. No. 63 (1). P. 71–75 (in Russian).

6. Ivanova M.A., Chikina N.S., Zenitova L.A. Elimination of oil pollution // *Butlerovskie chtenija*. 2012. V. 3 (29). P. 1–12 (in Russian).

7. Oil spills. Problems associated with the elimination of the consequences of oil spills in the Arctic seas. Nuka Research and Planning Group report [Internet resource] https://wwf.ru/upload/iblock/011/arctic_oil.pdf (Accessed: 19.12.2021).

8. Dispersants: surface application. Practical recommendations for personnel responsible for the management and liquidation of emergency situations. IPIECA-IOGP. 2015 [Internet resource] <https://www.ipieca.org/resources/good-practice/dispersants-surface-application> (Accessed: 21.12.2021).

9. Mokochunina T.V., Osipov K., Maryutina T.A. Rules for the use of dispersants for the elimination of emergency oil spills in the offshore areas of the Russian Federation // *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*. 2021. No. 3 (3). P. 38–44 (in Russian). doi: 10.33285/2411-7013-2021-3(300)-38-44

10. STO 318.4.02-2005. Rules for the use of dispersants for oil spill response. Sankt-Peterburg: CNIIMF, 2005. 30 p. (in Russian).

11. Pickering S.U. Emulsions // *J. Chem. Soc.* 1907. V. 91. P. 2001–2021.

12. Lee K., Li Z., Robinson B., Kepkay P.E., Ma X., Cobanli S., King T., Blouin M., Doyon B. *In situ* remediation of oil spills in ice-packed waters: Enhanced dispersion and biodegradation of petroleum hydrocarbons // *Proceedings of the 10th International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium*. Baltimore: Battelle Memorial Institute, Columbus, OH, 2009. P. 1–8.

13. Savostjanova M.Ju., Nikolaeva A.V., Troshin M.A., Salnikov A.V., Litvinets S.G., Martinson E.A. Composition for cleaning the surface of water from films of oil and oil products // Patent RU 2752312 C1. Application: 2020140939, 11.12.2020. Date of publication: 26.07.2021. Bull. 21 (in Russian).

14. On approval of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, December 13, 2016. No. 552 [Internet resource] <https://base.garant.ru/71586774/> (Accessed: 19.12.2021) (in Russian).

15. Bocard C., Castaing G. Dispersant effectiveness evaluation in a dynamic flow-through system: The IFP dilution test // *Oil Chem. Pollut.* 1986. V. 3. No. 6. P. 433–444. doi: 10.1016/S0269-8579(86)80024-7

16. Cornell Law School. Legal Information Institute [LII] 40 CFR Appendix C to Part 300 – Swirling flask dispersant effectiveness test, revised standard dispersant toxicity test, and bioremediation agent effectiveness test [Internet resource] https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-C_to_part_300 (Accessed: 21.12.2021).

17. Crowley S. An assessment of the Mackay apparatus for testing oilspill dispersants // Oil and Petrochemical Pollution. 1984. No. 1 (2). P. 47–56. doi: 10.1016/S0143-7127(84)90717-8

18. Ananchenko B.A., Litvinets S.G., Martinson E.A., Nikolaeva A.V., Troshin M.A. Laboratory methods for

assessing the effectiveness of dispersants used in various countries for oil spill response in offshore conditions // Theoretical and Applied Ecology. 2021. No. 1. P. 40–52 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-1-040-052

19. Specification for oil spill dispersant. Appendix A to WSL Report LR 448 (OP). Revised February 2007 [Internet resource] https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/915352/002_approval_lr448.pdf (Accessed: 21.12.2021).

20. RD 31.04.24-86. Guidance document. Instructions for the use of oil dispersants OM-6, OM-84 and Corexit 9527. Moskva: CNIIMF, 1987. 8 p. (in Russian).