

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2021-87-1-23-29>

## СРАВНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСПЕРГЕНТОВ НЕФТИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ: ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

© Константин Осипов<sup>1\*</sup>, Татьяна Владимировна Мокочунина<sup>1</sup>, Дарья Игоревна Панюкова<sup>1</sup>, Мария Васильевна Трухина<sup>1</sup>, Татьяна Анатольевна Марютина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Инжиниринговый центр МФТИ по полезным ископаемым», 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9; \*e-mail: osipov.kb@cet-mipt.ru

<sup>2</sup> Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук, 119334, Москва, ул. Косыгина, д. 19.

*Статья поступила 17 июля 2020 г. Поступила после доработки 20 августа 2020 г. Принята к публикации 21 октября 2020 г.*

Проведено сравнение двух стандартных лабораторных методик определения эффективности диспергентов нефти ASTM F2059-17 “Standard Test Method for Laboratory Oil Spill Dispersant Effectiveness Using the Swirling Flask” и ASTM F3251-17 “Standard Test Method for Laboratory Oil Spill Dispersant Effectiveness Using the Baffled Flask”: обе методики практически одинаковы с методической и технической точек зрения, главные различия заключаются в конструкционных особенностях используемых испытательных емкостей и создаваемых внутри них энергиях перемешивания. Установлено, что ASTM F2059-17 можно оценить как низкоэнергетическую лабораторную методику определения эффективности диспергента, а ASTM F3251-17 — как высокоэнергетическую. Приведены конкретные примеры того, как применение той или иной методики влияет на получаемые экспериментально численные значения эффективности диспергента, а также величину массового соотношения диспергента к нефти, подбираемую под их комбинацию, что неизбежно влияет на выбор коммерчески доступного диспергента при проведении операций по ликвидации разливов нефти. Установлено, что для корректного понимания эффективности применения диспергента необходимо использовать обе методики. При этом результаты, полученные по ASTM F2059-17, следует рассматривать как оценку условно нижней границы эффективности исследуемого диспергента, а таковые по ASTM F3251-17 — условно верхней границы. Особо подчеркнута, что использование рекомендованного в рассматриваемых методиках метода газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием (ГХ-ПИД) для анализа экстрактов нефти, получаемых в процессе проведения испытания, не всегда возможно. В качестве альтернативы ГХ-ПИД предложено применение УВИ спектрофотометрии при условии обязательной оптимизации параметров измерения для каждой конкретной нефти.

**Ключевые слова:** диспергент нефти; эффективность; лабораторная методика; SFT-тест; BFT-тест; низкоэнергетическая методика; высокоэнергетическая методика; энергия перемешивания.

## A COMPARISON OF STANDARD TEST METHODS FOR DETERMINING THE LABORATORY EFFECTIVENESS OF OIL SPILL DISPERSANTS: THEIR BENEFITS AND DRAWBACKS

© Konstantin Osipov<sup>1\*</sup>, Tatiana V. Mokochunina<sup>1</sup>, Daria I. Panyukova<sup>1</sup>, Maria V. Trukhina<sup>1</sup>, Tatiana A. Maryutina<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> LLC “MIPT Engineering Center for Minerals”, 9 Institutsky per., Dolgoprudny, Moscow obl., 141700, Russia; \*e-mail: osipov.kb@cet-mipt.ru

<sup>2</sup> V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, 19, Kosygina ul., Moscow, 119334, Russia.

*Received July 17, 2020. Revised August 20, 2020. Accepted October 21, 2020.*

A comparison of two standard test methods for determining the laboratory effectiveness of oil spill dispersants — ASTM F2059-17 “Standard Test Method for Laboratory Oil Spill Dispersant Effectiveness Using the Swirling Flask” and ASTM F3251-17 “Standard Test Method for Laboratory Oil Spill Dispersant Effectiveness Using the Baffled Flask” — is presented in this article. It is underlined that ASTM F2059-17 and ASTM F3251-17 are almost identical from the methodological and technical points of view.

The main differences lie in specific design features of the applied test vessels and mixing energies created inside them. It is reasonably established that ASTM F2059-17 can be defined as a low-energy, but ASTM F3251-17 — as a high-energy laboratory test method. The specific examples of application of the test methods for determining the effectiveness of commercially available dispersants are given. It is also concluded that both test methods are necessary to apply for a correct understanding of the dispersant effectiveness. Herewith, the results obtained according to ASTM F2059-17 should be conditionally considered as the lower limit and those according to ASTM F3251-17 — the upper limit of effectiveness of the dispersant. Moreover, the use of gas chromatography with flame ionization detection (GC-FID) is emphasized to be sometimes impossible as a recommended in both ASTM F2059-17 and ASTM F3251-17 method for analyzing the oil extracts obtained during the test. The UV spectrophotometry is proposed instead of GC-FID as an alternative. However, its application is possible only after mandatory optimization of the measurement parameters for each specific oil.

**Keywords:** oil spill dispersant; effectiveness; laboratory test method; SFT-test; BFT-test; low-energy method; high-energy method; mixing energy.

## Введение

Разливы нефти в морских акваториях оказывают катастрофическое влияние на водную среду и ее обитателей. К возможным их последствиям прежде всего следует отнести токсическое действие самой нефти, ограничение поступления света в толщу воды, сокращение в результате этого первичной продукции водорослей, а также удушье морских млекопитающих.

Одним из потенциальных вариантов ликвидации разливов нефти (ЛРН) на водной поверхности является использование диспергентов. Данный способ ЛРН в Российской Федерации регламентирован правилами, описанными в СТО 318.4.02–2005 [1]. Согласно п. 4.1 этих правил к применению разрешены только те диспергенты нефти (разработанные в России или предлагаемые к поставке из-за рубежа), для которых, помимо прочего, в экспериментальных условиях оценена эффективность.

Под эффективностью диспергента обычно понимают выраженную в процентах от исходных объема или массы долю нефти, рассеянной в толщу воды в результате действия данного препарата и перемешивания системы «диспергент – нефть – вода». Следует отметить, что эффективность диспергента зависит как от свойств диспергируемой нефти, так и от условий его применения (соленость воды, температура окружающей среды, в том числе и воды, волнение моря, наличие льда в случае его применения в арктических условиях и пр.). Оценить эффективность предполагаемых для использования диспергентов можно путем проведения испытаний на различных уровнях масштабирования процесса разлива: в лаборатории с помощью набора специализированной химической посуды или стендов, в бассейнах и в полевых условиях при моделировании разлива на море.

К основным преимуществам лабораторных способов тестирования следует отнести простоту исполнения, низкие материальные, временные и трудовые затраты, возможность варьирования

экспериментальных условий и строгий их контроль. В мировой практике для оценки эффективности диспергентов применяют: полевой FET-тест (Field Effectiveness Test) [2], метод раскручивания или вращения колбы — SFT-тест (Swirling Flask Test) [3], модифицированный метод раскручивания или вращения колбы — BFT-тест (Baffled Flask Test) [4], Labofina/WSL-тест (Warren Spring Laboratory Test) [5], EXDET-тест (Exxon Dispersant Effectiveness Test) [6], IFP-тест (Institut Francais du Pétrole) [7] и MNS-тест (Mackay-Nadeau-Steelman Apparatus) [8].

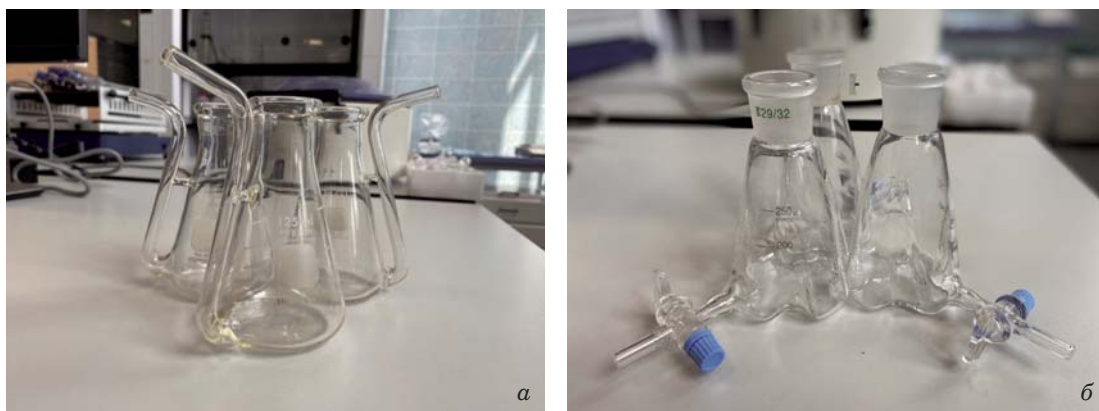
При этом только для SFT- и BFT-тестов Подкомитетом F20.13 по утилизации отходов (Subcommittee on Treatment) Комитета F20 по опасным веществам и мерам по ликвидации разливов нефти (Committee on Hazardous Substances and Oil Spill Response and is the direct responsibility) Американского общества по испытанию материалов (American Society for Testing and Materials, ASTM) разработаны стандартные методики ASTM F2059-17 [9] и ASTM F3251-17 [10] соответственно. Поскольку в РФ не существует отечественной методики определения эффективности диспергентов, применение стандартных методик может стать в нашей стране приоритетным вариантом.

Цель настоящей публикации — сравнение результатов определения эффективности диспергентов нефти, полученных по стандартным лабораторным методикам определения ASTM F2059-17 и F3251-17. Критическая оценка указанных методик дана на основании опыта их применения в ООО «Инжиниринговый центр МФТИ».

В рамках данной работы следует считать взаимозаменяемыми следующие определения: SFT-тест или ASTM F2059-17 и BFT-тест или ASTM F3251-17.

## Материалы и методы исследования

*Сущность методик и их сходство.* Сравнение условий тестирования эффективности диспергентов с использованием ASTM F2059-17 и



**Рис. 1.** Фотографии испытательных емкостей для рассматриваемых методик: *a* — SFT-теста; *б* — BFT-теста

**Fig. 1.** Testing flasks used in standard methods: *a* — SFT-test; *b* — BFT-test

ASTM F3251-17 показывает, что они методически и технически практически идентичны.

Обе методики рекомендуется применять для скринингового сравнения действия различных диспергентов на одну и ту же нефть, сопоставления эффективности одного диспергента при рассеивании нефти разной природы или степени выветрелости, а также для проверки качества партий диспергента при хранении или после воздействия каких-либо факторов, влияющих на его эффективность. При этом особо подчеркнуто, что получаемые с их помощью результаты представляют собой лишь лабораторную оценку и не могут восприниматься как значения эффективности, достигаемые в полевых условиях.

Как SFT-, так и BFT-тест, представляют собой тождественные друг другу последовательности процедур. Предварительно смешанную с диспергентом нефть наносят на поверхность воды, налитой в испытательные емкости. Полученные системы «диспергент – нефть – вода» перемешивают с помощью орбитального шейкера в течение заданного времени, после чего отстаивают содержимое испытательных емкостей и отбирают тестовые образцы для экстракции. Нефть из отобранных водонефтяных смесей извлекают дихлорметаном. Содержание углеводородов C8/C9 – C40 в полученных экстрактах определяют с использованием газового хроматографа, оснащенного пламенно-ионизационным детектором (ГХ-ПИД), методом внутреннего стандарта. Эффективность диспергента рассчитывают из градуировочной зависимости, которую устанавливают с помощью градуировочных растворов, полученных аналогичным образом одновременно с экстрактами тестовых образцов.

Массовое отношение диспергент – нефть (ОДН) в соответствующей смеси, наносимое на поверхность воды количество указанной смеси, соленость и объем используемой для заполнения испытательной емкости воды, количество парал-

лельных тестовых экспериментов и экспериментов, проводимых для получения градуировочных растворов, продолжительность отстаивания системы «диспергент – нефть – вода», объем аликвот отбираемых водонефтяных смесей, а также все значимые с методической точки зрения характеристики процессов экстракции и ГХ-ПИД анализа экстрактов строго фиксированы и являются идентичными в случае обеих методик. Рабочая температура проведения испытаний может различаться: по умолчанию она должна быть равна плюс  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ , но в случае необходимости может быть изменена в меньшую или большую сторону по усмотрению исследователя.

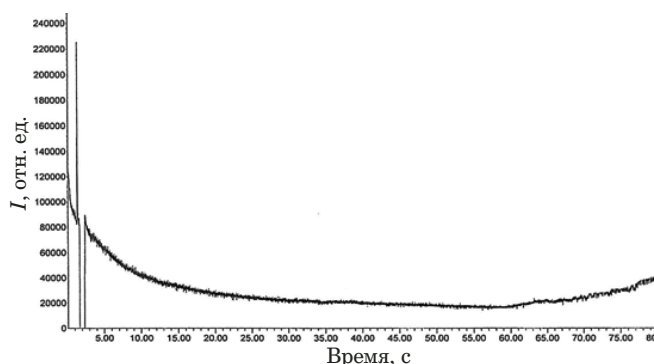
С технической точки зрения рекомендуемые к использованию оборудование, вспомогательные устройства и лабораторная посуда также абсолютно одинаковы. Исключение составляют конструкции испытательных емкостей.

*Конструкционные особенности испытательных емкостей* являются одним из очевидных отличий рассматриваемых методик.

В случае проведения SFT-теста применяют конические колбы Эрленмейера объемом 125 мл, модифицированные за счет добавления специальной длинной изогнутой стеклянной пробоотборной трубки, идущей от самого дна емкости (рис. 1, *a*). При осуществлении же BFT-теста используют колбы для трипсинизации объемом 150 мл с четырьмя формованными дефлекторами, или отбойниками, модифицированные посредством добавления специальной короткой прямой стеклянной пробоотборной трубки, расположенной на высоте не более 1,3 см от дна емкости и снабженной краном из политетрафторэтилена с отверстием диаметром 2 мм (рис. 1, *б*).

Из представленного выше описания следует, что в случае самостоятельного изготовления модификация обычных конических колб нужного объема в испытательную емкость для SFT-теста намного проще, быстрее и дешевле, чем BFT-тес-





**Рис. 2.** Пример ГХ-МС хроматограммы экстракта, соответствующего 60 %-ной эффективности диспергента (разбавление нефти — 1000 раз)

**Fig. 2.** GC-MS spectrum of an extract corresponding to 60% dispersant effectiveness (oil is diluted 1000 times)

та. Кроме того, в первом случае из-за относительной простоты конструкции менее вероятно получение неидентичных испытательных емкостей.

При проведении обоих тестов отбор аликвот водонефтяных смесей из толщи воды проводят с помощью специальных трубок, описанных выше. Использование такого подхода позволяет минимизировать возможность неправильного пробовотбора с нарушением целостности нефтяной пленки. Тем не менее вероятность захвата части уже всплывших на поверхность воды капель нефти, а значит и внесения случайной ошибки, выше в случае SFT-теста. Данная методика предполагает изменение положения испытательной емкости в пространстве при отборе аликвоты тестового образца, что может способствовать возникновению дополнительного перемешивания системы «диспергент – нефть – вода» уже после окончания стадии отстаивания. В таком варианте количество нефти, попавшей в аликвоту водонефтяной смеси, будет всегда больше, а значит, конечный результат будет завышен.

*Энергия перемешивания* является главным фактором, отличающим рассматриваемые методики.

Различие связано прежде всего с разницей в скоростях вращения платформы орбитального шейкера — 150 и 200 мин<sup>-1</sup> в случае SFT- и VFT-теста соответственно. Очевидно, что чем выше скорость вращения, тем выше энергия перемешивания, а значит и, при прочих равных условиях, определяемая эффективность диспергента нефти.

Кроме того, описанные ранее конструкционные особенности испытательных емкостей также способствуют повышению эффективности диспергирования нефти при использовании VFT-теста. Дело в том, что в применяемых в этом случае модифицированных колбах с четырьмя формованными дефлекторами (в отличие от обыч-

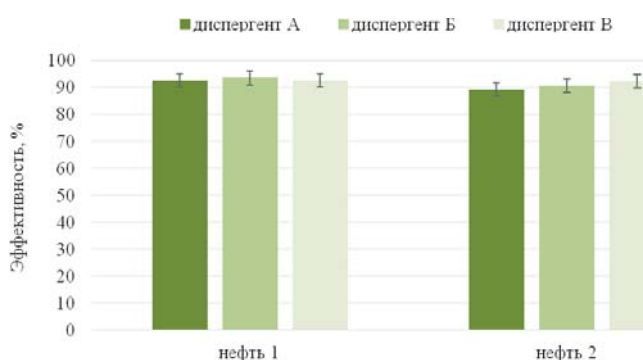
ных конических колб Эрленмейера) создается турбулентное течение, которое содействует дополнительному перемешиванию системы «диспергент – нефть – вода».

Принимая во внимание все вышеизложенное, очевидно, что SFT-тест является низкоэнергетической, а VFT-тест — напротив, высокоэнергетической лабораторной методикой определения эффективности диспергента. При этом следует иметь в виду, что продолжительность перемешивания в обеих методиках неодинакова и составляет 20 и 10 мин соответственно.

*Особенности определения нефти в экстрактах.* Предложенный в ASTM F2059-17 и ASTM F3251-17 для определения нефти в экстрактах метод ГХ-ПИД далеко не всегда может быть применен. Наш опыт показывает, что при тестировании рассеивания некоторых образцов нефти не удается зафиксировать сигналы даже при использовании более чувствительного масс-селективного детектора (вариант ГХ-МС) (рис. 2). Обнаружение индивидуальных пиков углеводородов C8/C9 – C40 и тем более их количественная обработка затруднительны, вероятнее всего, в силу специфики состава данных образцов, а также достаточно сильного разбавления при приготовлении анализируемых экстрактов.

Одним из вариантов выхода из сложившейся ситуации могло бы стать снижение коэффициента разбавления нефти на два порядка величины от исходного значения 600 – 6000. Достичь этого можно двумя способами: либо за счет введения дополнительной стадии упаривания полученных экстрактов, либо путем уменьшения объема дихлорметана, применяемого для экстрагирования. Использование первого подхода нежелательно ввиду возможной потери летучих соединений при нагревании. Осуществление же второй процедуры практически невыполнимо: при уменьшении коэффициента разбавления на порядок величины объем требуемого для экстракции дихлорметана уменьшается до 1,5 мл, т.е. до объема, с помощью которого количественное извлечение нефти из 30 мл воды не представляется возможным.

В таких случаях в качестве метода анализа вместо ГХ-ПИД/МС может быть использована УВИ спектрофотометрия. Данный метод широко применяется в вариантах SFT- и VFT-тестов, не являющихся стандартными, а также в других лабораторных способах определения эффективности диспергентов. Ключевой особенностью использования УВИ спектрофотометрии является необходимость предварительной оптимизации условий анализа — прежде всего, выбора характеристической длины волны, на которой происходит определение оптической плотности, и степени разбавления экстрактов для минимизации



**Рис. 3.** Результаты определения эффективности диспергента с помощью ВФТ-теста для различных комбинаций диспергент — нефть при ОДН 1:25 ( $n = 6$ ;  $P = 0,95$ )

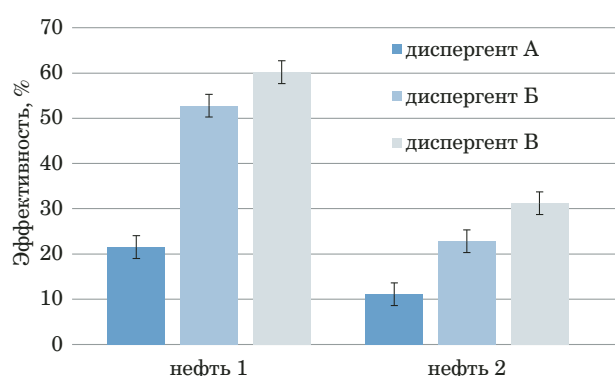
**Fig. 3.** The results of dispersant effectiveness determination using BFT-test for various dispersant-oil combinations at DOR 1:25 ( $n = 6$ ;  $P = 0.95$ )

погрешности измерения. Оптимизация необходима в силу того, что условия, используемые в той или иной методике, обычно подобраны для какой-то конкретной нефти и не являются универсальными.

### Обсуждение результатов

*Оценка эффективности диспергентов.* Использование высокоэнергетического ВФТ-теста может привести к получению одинаково высоких численных значений эффективности вне зависимости от типа исследуемого диспергента или нефти. Подобное наблюдение было сделано нами при исследовании рассеивания в морской воде с соленостью  $33 \pm 2 \text{‰}$  и температурой  $(+1 \pm 0,5) \text{°C}$  нефти двух видов (условно обозначенных как нефть 1 и 2) тремя диспергентами (условно обозначенными как диспергенты А, Б и В) (таблица). Температура воды была выбрана с учетом оценки возможности использования диспергентов в условиях, приближенных к арктическим.

Получение такого рода результатов (рис. 3) может сыграть ключевую, если не сказать, отрицательную роль при сравнении коммерчески доступных препаратов между собой. Отсутствие какой-либо дифференциации численных значений эффективности благоприятствует формированию ложного представления о слабой зависимости между составом диспергента и физико-



**Рис. 4.** Результаты определения эффективности диспергента с помощью СФТ-теста для различных комбинаций диспергент — нефть при ОДН 1:25 ( $n = 6$ ;  $P = 0,95$ )

**Fig. 4.** The results of dispersant effectiveness determination using SFT-test for various dispersant-oil combinations at DOR 1:25 ( $n = 6$ ;  $P = 0.95$ )

химическими характеристиками рассеиваемой нефти, т.е. о кажущейся универсальности любого препарата.

Применение же СФТ-теста позволяет исключить возможность возникновения таких преждевременных заключений (рис. 4). Снижение энергии перемешивания приводит к явному разделению исследуемых диспергентов на группы, особенно в случае нефти 1.

Иногда при оценке действия диспергента необходимо учитывать рассеивание нефти в воде при заданных параметрах без добавления исследуемого препарата (контрольный эксперимент). Это важно при расчете истинной эффективности диспергента, т.е. эффективности именно химического диспергирования нефти — диспергирования за вычетом вклада естественной его составляющей, который при использовании ВФТ-теста может быть существенно больше 0. Как следует из результатов контрольных экспериментов, проведенных нами для нефти 1 и 2, в случае СФТ- и ВФТ-тестов эффективность естественного диспергирования составляет порядка 0,1 и 10 % соответственно. Такую 100-кратную разницу можно заметить даже невооруженным глазом (рис. 5).

Для корректной оценки эффективности диспергента целесообразно использовать обе рас-

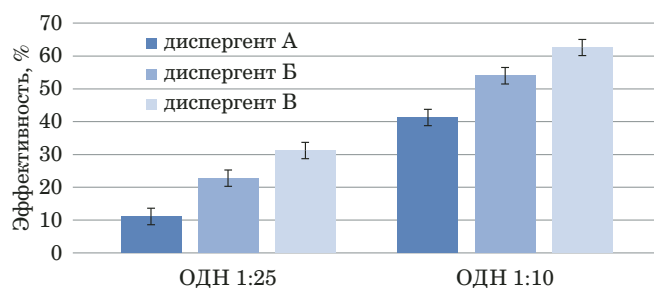
### Некоторые физико-химические характеристики нефти 1 и 2 Some physico-chemical characteristics of oil N 1 and N 2

Физико-химическая характеристика	Единица измерения	Нефть 1	Нефть 2
Плотность при 20 °C	г/см <sup>3</sup>	0,9078	0,9435
Динамическая вязкость при 20 °C	мПа · с	26,8	208,5
Точка потери текучести, верхняя	°C	-44	-14
Содержание парафинов	% масс.	0,6	1,4
Содержание асфальтенов	% масс.	1,0	1,2



**Рис. 5.** Фотографии испытательных емкостей после проведения контрольных экспериментов с применением рассматриваемых методик: *a* — SFT-тест; *b* — BFT-тест

**Fig. 5.** Testing flasks after the control experiments: *a* — SFT-test; *b* — BFT-test



**Рис. 6.** Результаты определения эффективности диспергента с помощью SFT-теста для разных комбинаций диспергент — нефть 2 при различном ОДН ( $n = 6$ ;  $P = 0,95$ )

**Fig. 6.** The results of dispersant effectiveness determination using SFT-test for various dispersant-oil N 2 combinations at various DOR ( $n = 6$ ;  $P = 0,95$ )

смагриваемые методики. При попытке соотнести перемешивание внутри испытательной емкости с реальными условиями на море вполне корректно сравнивать низкоэнергетический вариант с умеренным или сильным волнением, но частично погашенным, например, за счет наличия ледового покрова на морской поверхности в зимний период, в то время как высокоэнергетический вариант — с сильным или очень сильным волнением. Результаты, полученные с помощью SFT-теста, следует рассматривать как оценку условно нижней границы, а таковые для BFT-теста — условно верхней границы эффективности исследуемых диспергентов.

Следует отметить, что согласно ASTM F2059-17 и ASTM F3251-17 все описанные выше результаты экспериментов были получены при строго фиксированном ОДН, равном 1:25 (по массе). В исследовательских же целях логично варьировать значение данной характеристики при постоянстве прочих условий. Это актуально

на первых стадиях разработки методики нанесения диспергента, когда необходимо оптимизировать значение данного параметра. Необходимо, однако, помнить, что в соответствии с п. 4.4. СТО 318.4.02–2005 диспергент должен обеспечивать удаление нефтяной пленки с поверхности моря при ОДН не более 1:10 [1].

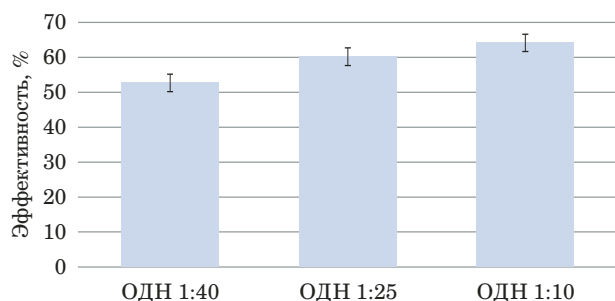
Увеличение значения ОДН, как правило, приводит к повышению эффективности диспергирования нефти, особенно в условиях низких энергий перемешивания. Так, нами действительно был зафиксирован значительный (в 2–4 раза) рост эффективности всех трех испытываемых диспергентов, определенной с помощью SFT-теста, при увеличении ОДН с 1:25 до 1:10 в случае нефти 2 (рис. 6).

При этом огромную роль играет также природа используемого диспергента и рассеиваемой нефти. Например, для нефти 1 изменение значения ОДН как в меньшую (до 1:40), так и в большую (до 1:10) сторону от 1:25 существенным образом не сказывается на эффективности диспергента В (рис. 7). Определенные с помощью SFT-теста значения эффективности диспергента В для различных ОДН находятся в пределах погрешности измерения, что представляет собой поведение, которого следовало бы ожидать в случае проведения высокоэнергетического BFT-теста. В условиях высоких энергий перемешивания влияние значения ОДН на эффективность диспергента выражено менее сильно.

### Заклучение

В настоящей работе проведено сравнение результатов определения эффективности трех различных коммерческих диспергентов для диспергирования двух нефтей с разными физико-химическими свойствами с использованием стандарт-





**Рис. 7.** Результаты определения эффективности диспергента В с помощью SFT-теста при рассеивании нефти 1 при различном ОДН ( $n = 6$ ;  $P = 0,95$ )

**Fig. 7.** The results of dispersant effectiveness determination using SFT-test for various dispersant-oil N 1 combinations at various DOR ( $n = 6$ ;  $P = 0.95$ )

ных лабораторных методик ASTM F2059-17 и ASTM F3251-17.

С методической и технической точек зрения ASTM F2059-17 и ASTM F3251-17 практически одинаковы. Различия между ними заключаются в конструкции испытательных емкостей и создаваемых внутри них энергиях перемешивания.

Показано, что методику ASTM F2059-17 можно считать низкоэнергетической лабораторной методикой определения эффективности диспергента, а ASTM F3251-17 — напротив, высокоэнергетической. Приведены конкретные примеры того, как применение той или иной методики влияет на получаемые экспериментально численные значения эффективности диспергента, а также подбираемую для конкретной комбинации диспергент – нефть величину ОДН, что, в свою очередь, неизбежно влияет на выбор коммерчески доступного диспергента при проведении ЛРН.

Для корректной оценки действия диспергента целесообразно использовать обе методики. При этом результаты, полученные с помощью SFT-теста, следует рассматривать как оценку условно нижней границы эффективности исследуемого диспергента, а таковые для BFT-теста — условно верхней границы.

Особо подчеркнуто, что использование ГХ-ПВД как метода анализа экстрактов нефти не всегда возможно. В качестве альтернативы предложено применение УВИ спектрофотометрии после обязательной оптимизации условий измерения для каждой конкретной нефти. Оптимизация должна включать в себя, как минимум, выбор характеристической длины волны и степени разбавления экстрактов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. СТО 318.4.02–2005. Правила применения диспергентов для ликвидации разливов нефти. — СПб.: ЦНИИМФ, 2005. — 30 с.

2. **Stout S. A., Wang Zh.** Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics: Fingerprinting and Source Identification. 2nd Edition. — Academic Press, 2016. — 1142 p. DOI: 10.1016/C2015-0-00228-3.
3. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Swirling flask dispersant effectiveness test. Title 40 code of federal regulations, Pt. 300, Appendix C. — Naragansett, RI: 1996, P. 245 – 250.
4. **Srinivasan R., Lu Q., Sorial G. A., et al.** Dispersant effectiveness of heavy fuel oils using baffled flask test / Environ. Eng. Sci. 2007. Vol. 24. N 9. P. 1307 – 1320. DOI: 10.1089/ees.2006.0245.
5. Appendix A to WSL Report LR 448 (OP) “Specification for oil spill dispersants: The determination of the efficiency index of oil spill dispersants”. — Department for the Environment, Food, and Rural Affairs, United Kingdom, 2007. — 11 p.
6. **Becker K. W., Coker L. G., Walsh M. A.** A method for evaluating oil spill dispersants Exxon dispersant effectiveness test (EXDET) / Proc. of Oceans ‘91 (1991, Honolulu, Hawaii). P. 1486 – 1490.
7. **Bocard C., Castaing G.** Dispersant effectiveness evaluation in a dynamic flow-through system: The IFP dilution test / Oil Chem. Pollut. 1986/1987. Vol. 3. N 6. P. 433 – 444. DOI: 10.1016/S0269-8579(86)80024-7.
8. **Mackay D., Szeto F.** The laboratory determination of dispersant effectiveness: method development and results / Proc. of International Oil Spill Conference, 1981. Vol. 1981. N 1. P. 11 – 17. DOI: 10.7901/2169-3358-1981-1-11.
9. ASTM F2059-17. Standard Test Method for Laboratory Oil Spill Dispersant Effectiveness Using the Swirling Flask. 2017-04-15. — ASTM, 2017. — 5 p.
10. ASTM F3251-17. Standard Test Method for Laboratory Oil Spill Dispersant Effectiveness Using the Baffled Flask. 2017-04-15. — ASTM, 2017. — 6 p.

## REFERENCES

1. STO 318.4.02–2005. Oil spill dispersant manual. — St. Petersburg: TsNIIMF, 2005. — 30 p. [in Russian].
2. **Stout S. A., Wang Zh.** Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics: Fingerprinting and Source Identification. 2nd Edition. — Academic Press, 2016. — 1142 p. DOI: 10.1016/C2015-0-00228-3.
3. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Swirling flask dispersant effectiveness test. Title 40 code of federal regulations, Pt. 300, Appendix C. — Naragansett, RI: 1996, P. 245 – 250.
4. **Srinivasan R., Lu Q., Sorial G. A., et al.** Dispersant effectiveness of heavy fuel oils using baffled flask test / Environ. Eng. Sci. 2007. Vol. 24. N 9. P. 1307 – 1320. DOI: 10.1089/ees.2006.0245.
5. Appendix A to WSL Report LR 448 (OP) “Specification for oil spill dispersants: The determination of the efficiency index of oil spill dispersants”. — Department for the Environment, Food, and Rural Affairs, United Kingdom, 2007. — 11 p.
6. **Becker K. W., Coker L. G., Walsh M. A.** A method for evaluating oil spill dispersants Exxon dispersant effectiveness test (EXDET) / Proc. of Oceans ‘91 (1991, Honolulu, Hawaii). P. 1486 – 1490.
7. **Bocard C., Castaing G.** Dispersant effectiveness evaluation in a dynamic flow-through system: The IFP dilution test / Oil Chem. Pollut. 1986/1987. Vol. 3. N 6. P. 433 – 444. DOI: 10.1016/S0269-8579(86)80024-7.
8. **Mackay D., Szeto F.** The laboratory determination of dispersant effectiveness: method development and results / Proc. of International Oil Spill Conference, 1981. Vol. 1981. N 1. P. 11 – 17. DOI: 10.7901/2169-3358-1981-1-11.
9. ASTM F2059-17. Standard Test Method for Laboratory Oil Spill Dispersant Effectiveness Using the Swirling Flask. 2017-04-15. — ASTM, 2017. — 5 p.
10. ASTM F3251-17. Standard Test Method for Laboratory Oil Spill Dispersant Effectiveness Using the Baffled Flask. 2017-04-15. — ASTM, 2017. — 6 p.