



ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРГЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ДОКУМЕНТ

4



Введение

Главная цель применения диспергентов состоит в фрагментации нефтяного пятна на множество мелких капелек, которые быстро распространяются в водной толще и затем подвергаются переработке под действием природных микроорганизмов. При правильном использовании диспергенты составляют эффективное средство борьбы с разливами нефти и снижают или предотвращают нанесение вреда важным уязвимым природным ресурсам.

Подобно другим методам ликвидации аварий, применение диспергентов должно тщательно анализироваться с принятием во внимание характеристик нефти, морских и погодных условий, уязвимости природных ресурсов и государственных нормативов по применению диспергентов. В некоторых случаях применение диспергентов может принести значительные экологические и экономические преимущества, особенно когда применение других методов борьбы с разливами нефти на морской поверхности ограничено погодными условиями или отсутствием ресурсов.

В настоящем документе приводится обзор преимуществ и недостатков применения диспергентов как одного из вариантов ликвидации разливов с судов при обработке нефти на водной поверхности.

Механизм дисперсии и состав диспергентов

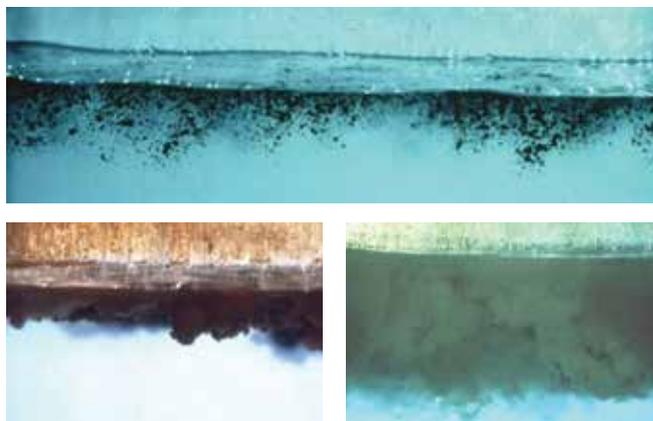
После попадания нефти в морскую акваторию некоторая часть нефти в образовавшемся пятне естественным путем рассеивается в водной толще. Степень рассеивания зависит от вида разлитой нефти и энергии смешения моря. Нефтепродукты с низкой вязкостью в большей степени подвержены природной дисперсии, чем вязкие нефтепродукты. Как правило, сырая нефть рассеивается больше, чем топливная нефть.

Естественная дисперсия происходит, когда обеспечиваемая волнами и ветром энергия смешения достаточна для преодоления поверхностной связи сцепления нефти и воды и разрывания нефтяного пятна на капельки различного размера (Рис. 1а). Более крупные капельки нефти быстро всплывают на поверхность и срастаются, вновь образуя нефтяное пятно. Более мелкие капельки остаются взвешенными в водной толще под действием движения воды и турбулентности и далее разбавляются глубинными течениями.

Процесс естественного рассеивания имеет место при умеренном волнении моря под воздействием волн и скорости ветра в 5 м/с (10 узлов). Например, сильный шторм у Шетландских островов, Великобритания, во время посадки на мель танкера BRAER в 1993 году привел к тому, что большая часть из 85 000 тонн транспортируемой сырой нефти Gulfak с очень низкой вязкостью рассеялась естественным образом с нанесением незначительного вреда береговой линии.

Диспергенты предназначены для того, чтобы способствовать естественной дисперсии путем ослабления поверхностной связи сцепления нефти и воды, что облегчает образование большего количества мелких капелек нефти под действием волнового движения (Рис. 1b и 1c). Диспергенты представляют собой смесь поверхностно-активных веществ (ПАВ) в растворителе. Растворитель несет в себе две функции: он действует как разбавитель, снижающий вязкость ПАВ, с тем чтобы его можно было распылять, а также способствует проникновению ПАВ в масляное пятно.

Каждая молекула поверхностно-активного вещества содержит олеофильную часть (притягиваемую к нефти) и гидрофильную часть (притягиваемую к воде). При напылении на нефтяное пятно растворитель переносит и распределяет молекулы ПАВ, проникая через нефть к сцеплению нефти и воды, где молекулы

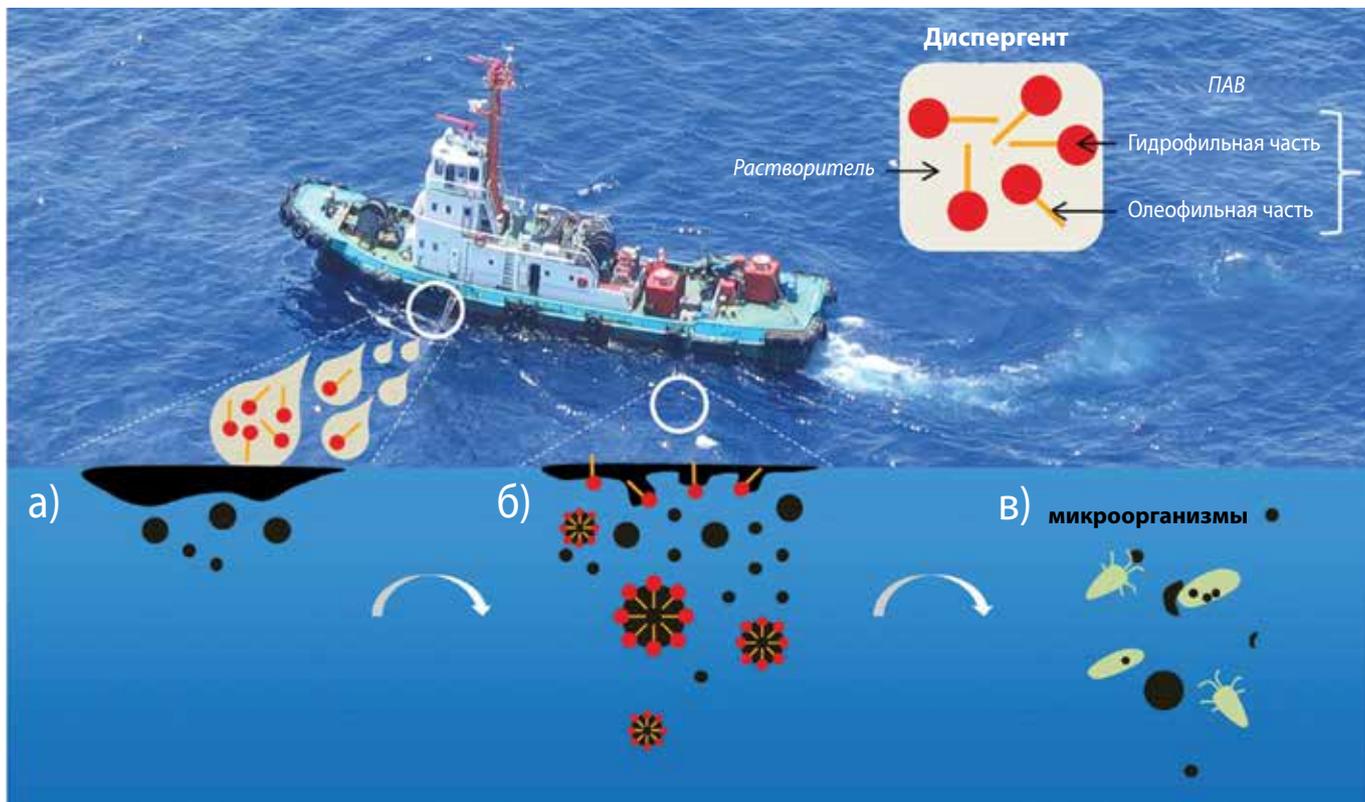


▲ Рис. 1: Успешная дисперсия в лабораторных условиях. а) Нефть без диспергента (естественная дисперсия), б) Нефть с диспергентом и с) Нефть с диспергентом через несколько секунд после нанесения, претерпевающая быстрое разбавление (любезно предоставлено Delft Hydraulics Institute).

перестраиваются таким образом, что олеофильная часть находится в нефти, а гидрофильная часть находится в воде. Это ослабляет поверхностную связь сцепления нефти и воды, что под воздействием энергии волн приводит к отрыванию капелек воды от нефтяного пятна. Капельки, которые достаточно малы, чтобы остаться взвешенными в толще воды, образуют типичный шлейф кофейного цвета с заметным распространением под поверхностью (Рис. 1с).

Для достижения эффективного рассеивания размер капелек нефти должен находиться в диапазоне от 10 мкм до 70 мкм при оптимальном размере менее 45 мкм. Скорость, с которой капельки в этом размерном диапазоне поднимаются к поверхности, уравновешивается турбулентностью моря, так что они остаются во взвешенном состоянии, позволяя смеси нефти и диспергента быстро разбавляться в верхней части водной толщи глубиной в несколько метров. Наличие молекул поверхностно-активного вещества на поверхности нефтяной капельки и снижение вероятности вступления в контакт капелек нефти по мере их разбавления и удаления друг от друга снижает возможность их объединения и повторного формирования нефтяного пятна.

* мкм = микроны = 10–6 метра. 1 мкм = 0,001 мм



▲ Рис. 2: Процесс химической дисперсии: а) Диспергент, содержащий поверхностно-активные вещества и растворитель, напыляется на нефть, и растворитель доставляет поверхностно-активные вещества в нефтяное пятно. б) Молекулы поверхностно-активного вещества мигрируют к поверхности сцепления нефти и воды и ослабляют связь между ними, позволяя мелким капелькам нефти оторваться от нефтяного пятна. в) Капельки диспергируют путем турбулентного смешивания и в конечном итоге разлагаются под действием природных микроорганизмов, таких как бактерии и плесень. Для достижения этой последней стадии могут потребоваться дни или недели.

Биоразложение под действием различных морских микроорганизмов может происходить только при контакте капельки нефти с водой, поскольку организмы присутствуют в воде и не присутствуют в нефти. Образование множества более мелких капелек нефти увеличивает площадь поверхности соприкосновения нефти и воды, а следовательно, создает более оптимальные условия для биоразложения. Например, диспергирование капельки диаметром в 1 мм в 10 000 капелек размером в 45 мкм каждая приведет к получению площади поверхности, превышающей площадь поверхности первоначальной капельки в 20 раз. На практике не все диспергированные капельки имеют одинаковый размер, однако, количество более мелких капелек гораздо больше количества более крупных капелек, что значительно повышает вероятность биоразложения.

Классификация диспергентов

Диспергенты классифицируются согласно поколению и типу. Продукты первого поколения, разработанные в 1960-е гг., имели сходство с промышленными средствами очистки и обезжиривания и были высокотоксичны для акватории. Эти продукты более не используются при ликвидации разливов нефти.

Диспергенты второго поколения, называемые также диспергентами 1 Типа, были разработаны специально для ликвидации разливов нефти в море посредством их распыления с судов. В их состав входит углеводородный растворитель с низким или нулевым содержанием ароматических веществ и, как правило, 15-25% поверхностно-активных веществ. Они предназначены для нанесения в неразбавленном (чистом) виде, т.к. предварительное разбавление морской водой делает их неэффективными. Данные диспергенты также требуют высокого уровня дозировки: от 1:1 до 1:3 (диспергент : нефть). Будучи менее токсичными, чем диспергенты первого поколения, они менее эффективны и более токсичны, чем диспергенты третьего поколения. Во многих странах диспергенты 1 Типа более не используются.

В состав диспергентов третьего поколения входит смесь двух или трех поверхностно-активных веществ с гликолем и растворителем дистиллята легкой нефти. Чаще всего используются такие поверхностно-активные вещества, как неионные (сложные эфиры жирной кислоты и этоксилированные сложные эфиры жирной кислоты) и анионные (алкил сульфаминовокислые) вещества. Концентрация поверхностно-активного вещества в растворителе находится в пределах от 25% до 65% и обычно выше, чем у продуктов 1 Типа.

Диспергенты третьего поколения могут быть подразделены на группы диспергентов 2 и 3 Типов. Обе группы представляют концентрированные диспергенты, однако диспергенты 2 Типа обычно разбавляются морской водой до применения, обычно при 10% диспергента. Для достижения необходимого уровня эффективности они требуют высокой дозировки от 2:1 до 1:5 (соотношение смеси диспергента/воды и нефти). В связи с необходимостью разбавления таких диспергентов их применение ограничено распылением с судов. Диспергенты 3 Типа используются в чистом виде и были разработаны прежде всего для обеспечения эффективного распыления с самолета, но могут распыляться и с судов. Дозировка может варьироваться от 1:5 до 1:50 (соотношение чистого диспергента к нефти), оптимальная дозировка определяется после анализа результатов испытаний во время аварийной ситуации. Диспергенты третьего поколения 3 Типа являются на сегодняшний день наиболее используемыми.

Недостатки диспергентов

Эффективность диспергентов ограничивается некоторыми физическими и химическими параметрами, наиболее важными из которых являются морские условия и свойства нефти. Об этих недостатках важно знать, оценивая целесообразность применения диспергентов в конкретных обстоятельствах.

Морские условия

Для успешного применения диспергентов необходимо наличие минимальной энергии волн. Ниже этого минимума рассеянные капельки нефти могут всплыть и снова образовать нефтяное пятно. С другой стороны, в штормовых условиях нефть может затопляться прибойными волнами, что препятствует непосредственному контакту между диспергентом и нефтью и понижает эффективность диспергента. Результаты полевых испытаний показали, что оптимальной является скорость ветра в 4–12 м/с (8–25 узлов или 3–6 по шкале Бофорта).

Диспергенты производятся главным образом для применения в морской воде с минерализацией порядка 30–35 частей на тысячу. Эффективность диспергента резко падает в солоноватой воде с минерализацией около 5–10 частей на тысячу, особенно в случае использования предварительно разбавленного диспергента. Аналогичным образом, эффективность снижается при повышении минерализации до уровня более 35 частей на тысячу. Эффективность ПАВ существенно падает в пресной воде, поскольку диспергент проникает через слой нефти в водную толщу вместо того, чтобы стабилизироваться на поверхности сцепления нефть–вода, поэтому существуют специально разработанные виды диспергентов для применения в пресной воде. В ограниченной пресноводной системе, такой как река или озеро, должны анализироваться и другие факторы, например, достаточны ли глубина и водообмен для достижения необходимого уровня разбавления рассеиваемой нефти.

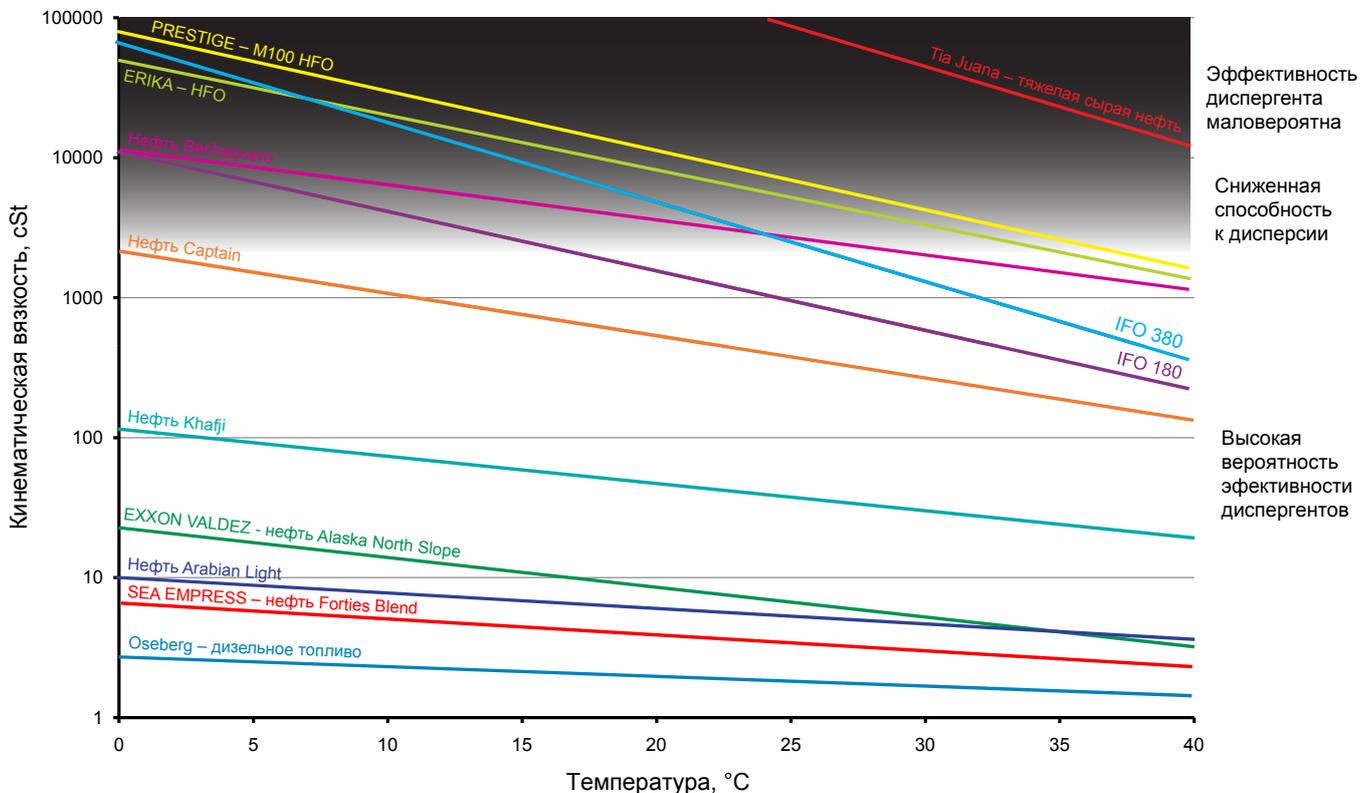
Свойства нефти

Характеристики нефти и то, как они изменяются при выветривании в море, имеют важное значение при оценке вероятной успешности диспергентов. Вязкость и температура застывания – показатели, которые дают хорошее представление о вероятном уровне рассеивания нефти.

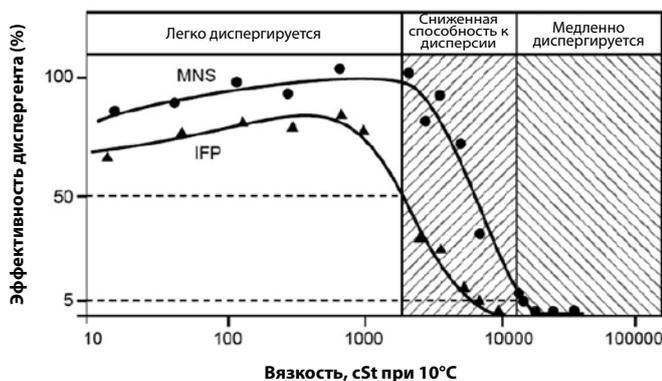
Эффективность диспергента снижается с повышением вязкости нефти (Рис. 3 и 4). Сырая нефть легких и средних фракций (нефтепродукты 2 и 3 группы, как описано в отдельном документе ИТОРП по поведению морских разливов нефти) обычно хорошо рассеивается при большинстве морских температур. Нефть тяжелых фракций представляет верхний предел для дисперсии (нефтепродукты 4 группы). При обработке нефтепродуктов с вязкостью на момент разлива выше 5 000–10 000 сентистоксов (сСт) большинство диспергентов вряд ли будет эффективно. Вязкость разлитой нефти растет под действием выветривания, прежде всего испарения и эмульгирования, следовательно, нефтепродукты, которые могут поддаваться рассеиванию сразу после разлива, могут не рассеиваться на более поздней стадии. Изменение свойств нефти с течением времени в результате выветривания означает, что возможность успешного применения диспергентов ограничена. В зависимости от вида разлитой нефти и условий окружающей среды оптимальный временной промежуток обычно составляет от нескольких часов до нескольких дней после разлива.

Таким же образом, нефтепродукты с температурой застывания выше температуры окружающей среды обычно транспортируются в нагретом состоянии, и при разливе по мере охлаждения их вязкость резко возрастает, часто достигая полутвердого состояния. Как правило, нефтепродукты с температурой застывания, близкой или более высокой, чем температура морской поверхности, не подвергаются рассеиванию.

Нефтепродукты с высокой вязкостью, включая те, которые имеют высокую температуру застывания, плохо поддаются как естественному рассеиванию, так и рассеиванию под действием диспергентов, поскольку механическое сопротивление нефти препятствует отрыванию мелких капелек нефтяного пятна. Кроме того, диспергенты обычно неэффективны при обработке данных нефтепродуктов по той причине, что они не способны проникнуть в нефть до их смывания и теряются в нижних слоях водной толщи,



▲ Рис. 3: Зависимость вязкости 10 видов нефти от температуры морской среды. График не принимает во внимание повышение вязкости по причине эмульгирования. Высоковязкие виды нефти, включая топливо, подобное разлитому с танкеров ERIKA (Франция, 1999) и PRESTIGE (Испания, 2002), обычно не диспергируются. Многие виды сырой нефти, включая разлитые из танкеров SEA EMPRESS (Уэльс, 1996) и EXXON VALDEZ (Аляска, 1989), обычно поддаются химической дисперсии. Нефтепродукты легких фракций, такие как дизельное топливо, обычно быстро рассеиваются и испаряются естественным путем без применения диспергентов.



▲ Рис. 4: Зависимость эффективности диспергирования от вязкости нефти для нескольких видов нефти и эмульсий. Нефть с вязкостью в диапазоне 5000–10 000 сП с трудом поддается диспергированию, а при вязкости выше 10 000 сП обычно совсем не рассеивается. Две кривые характеризуют применение различных протоколов испытаний MNS и IFP (Сантипуаз = Сантистоксы × плотность) (любезно предоставлено SINTEF).

что проявляется в виде белого шлейфа (Рис. 5) – процесс, резко отличающийся от успешного рассеивания (Рис. 6). Химический состав диспергентов постоянно эволюционирует, стремясь к охвату более широкого диапазона вязкости и повышению эффективности на высоковязких нефтепродуктах. В частности, разрабатываются гелевые диспергенты, которые способны продлить время контакта с нефтью и способствуют проникновению растворителя в нефтяное пятно.

Некоторые нефтепродукты особенно склонны к образованию водонефтяных эмульсий (особенно те, которые имеют относительно высокое содержание асфальтенов (>0,5%) и общую концентрацию никеля и ванадия более 15 частей на миллион). Тем не менее, если эмульсия нестойкая, то она может быть разрушена концентрированным диспергентом, в результате чего вода высвобождается, а оставшуюся относительно жидкую нефть можно рассеять вторым нанесением диспергента. В случае успешного разрушения эмульсии заметны светоотражающие пятна обезвоженной нефти.

Нефтепродукты легких фракций, такие как дизельное топливо, газолин и керосин, не столь легко образуют эмульсии, а растекаются с образованием очень тонкой нефтяной пленки или отблеска на поверхности воды, которые быстро испаряются или рассеиваются без необходимости использования диспергентов. Даже вне



▲ Рис. 5: Неэффективная обработка тяжелого дизельного топлива с помощью диспергентов характеризуется белым шлейфом в воде. Нефть остается не затронутой.

зависимости от этого, применение диспергентов для обработки нефтепродуктов легких фракций или пленок, образовавшихся из сырой или топливной нефти, не рекомендуется, т.к. капельки диспергента пробивают тонкую пленку, попадая в нижние слои водной толщи, и вызывают воссоединение нефти. Под действием диспергента нефтяная пленка немедленно отодвигается с образованием участка чистой воды, что не должно ошибочно приниматься за дисперсию (Рис. 7). Было установлено, что диспергенты с химическим составом, предназначенным для применения на минеральном топливе, имеют малый или нулевой эффект на топливах неминерального происхождения, таких как пальмовое или рапсовое масло.

Выбор диспергента

Выпускаются диспергенты различного химического состава, и их эффективность зависит от вида нефти, для обработки которого они применяются. Для сравнения эффективности разных диспергентов по отношению к конкретному виду нефти возможно проведение лабораторных испытаний, и некоторые страны требуют от операторов нефтедобывающих объектов и нефтяных терминалов, где известны типы добываемой и пропускаемой нефти, проводить исследования с целью определения наиболее эффективных диспергентов для того вида нефти, с которым они работают. Рекомендуется соблюдать осторожность при экстраполяции результатов таких исследований для предсказания рассеивания того количества нефти, которое может быть разлито в море, ввиду сложности точного воспроизведения морских условий в лабораторной среде. Для целей планирования обычно принимается дозировка 1:20 (соотношение концентрированного диспергента 3 Типа и нефти), и конфигурация распыляющего оборудования обычно настраивается для достижения такого соотношения. Дозировка уменьшается при обработке свежей нефти и, наоборот, увеличивается для вязкой или эмульгированной нефти, где может потребоваться несколько обработок диспергентом.

Сочетание с другими методами борьбы с разливами

При крупной аварии необходима координация всех мероприятий по ликвидации разлива, чтобы применение диспергента не дублировало другие методы ликвидации и им не противоречило. Например, рассеянную в толще воды нефть уже невозможно будет удержать бонами или собрать скиммерами. Кроме этого, по причине относительного поверхностного сцепления нефти она прилипает ко многим типам сорбентов, таким как полипропилен. Эффективность таких сорбентов может значительно понизиться при использовании диспергентов, поскольку диспергенты



▲ Рис. 6: Процесс диспергирования после нанесения диспергента на нефть Forties во время разлива с танкера SEA EMPRESS (любезно предоставлено AEA Technology).



▲ Рис. 7: Нанесение диспергента из смонтированных на судне распылительных консолей на нефтяную пленку приводит к отодвиганию нефтяного пятна вместо его дисперсии.

изменяют поверхностное сцепление нефти. Аналогичным образом результативность применения олеофильных скиммеров при параллельном использовании диспергентов снижается.

Методы нанесения

На нефть, разлитую в открытом море, диспергенты могут наноситься с судов или самолетов. Большие многомоторные самолеты предоставляют преимущество высокой полезной нагрузки для применения на больших морских разливах вдали от побережья, но они также могут использоваться вместе с морскими судами, вертолетами и малыми самолетами для обработки разливов меньших размеров недалеко от берега.

Важно, чтобы система распыления производила капельки диспергента нужного размера. Капельки должны быть достаточно большими, чтобы преодолеть эффекты дрейфа под воздействием ветра и потери испарением, но не настолько большими, чтобы пробивать слой нефти вместо того, чтобы мигрировать к поверхности сцепления нефти и воды. Оптимальный размер капелек диспергента находится в промежутке от 600 до 800 микронов в диаметре.

Распыление диспергента на воду или пленку неэффективно



▲ Рис. 9: Самолет сельскохозяйственной авиации проводит распыление из подкрыльевой штанги с распыляющими насадками на разлив сырой нефти с морской платформы (любезно предоставлено Mark Hamilton Photography).



▲ Рис. 8: Нанесение диспергента с помощью гидромониторов на буксире. Показано неравномерное распространение диспергента и воздействие ветра.

и приводит к расточительному использованию дорогостоящих ресурсов, поэтому диспергент должен быть быстро и целенаправленно нанесен на участок нефтяного пятна наибольшей толщины до того, как выветривание нефти и изменение морских условий сделают применение средства неэффективным.

Распыление с судов

Распыляемые с судов диспергенты обычно наносятся через несколько насадок, смонтированных на распылительных выносных консолях (Рис. 7). Дизельные или электрические насосы подают диспергент из бака-хранилища на распылительную консоль, снабженную набором насадок, калиброванных для выпуска однородной капельной струи по всей длине консоли. Разбрызгивающие устройства могут быть переносными или могут быть постоянно смонтированы на судне; предлагаются системы для нанесения как неразбавленного, так и разбавленного морской водой диспергента.

Распылительные консоли работают более эффективно, если они монтируются на судне как можно ближе к носу, с тем чтобы носовая корабельная волна не отбрасывала нефть за пределы полосы охвата струй. Установка распылительных консолей на носу позволяет судну двигаться быстрее, и, поскольку высота надводного борта судна часто выше на носу, это также позволяет сделать распылительные консоли более длинными.



▲ Рис. 10: Нанесение диспергента с многомоторного самолета. В этом случае нанесение диспергента на мелководье было сочтено целесообразным.



▲ *Рис. 11: Вертолет с закрепленной снизу строповкой системой распыления на подходе к свежему разливу топливной нефти. Для эффективного действия потребуются нанесение с более низкой высоты (любезно предоставлено Indian Coastguard).*

Это оптимизирует степень охвата, т.е. количество нефти, которое может быть обработано при ограниченной полезной нагрузке диспергента. При слишком длинных консолях существует риск их повреждения при бортовой качке судна.

Для нанесения концентрированных диспергентов, растворенных в водном потоке, иногда применяются пожарные шланги или гидромониторные установки (Рис. 8). Однако, достижение оптимального разбавления диспергента и нанесение диспергента в виде однородной струи каплей затруднительно по причине высокой скорости потока. Высокое давление водной струи также чревато прохождением диспергента сквозь нефтяное пятно. По этим причинам гидромониторы могут привести к напрасной потере и неэффективному нанесению диспергента, если только они не будут специально настроены для этой цели.

Применение судов для распыления диспергентов дает преимущества благодаря тому, что они обычно легче доступны, проще для загрузки и способны наносить диспергент достаточно точно на конкретные участки пятна. Они также более экономичны по сравнению с самолетами и могут нести более высокую полезную нагрузку. Тем не менее, они имеют и некоторые недостатки, в частности, при работе на более крупных разливах ввиду более низкой скорости обработки и трудности нахождения наибольшего скопления нефти с судового мостика, хотя эта последняя проблема может быть частично преодолена путем руководства операцией с самолета-корректировщика.

Распыление с воздуха

Нанесение диспергентов с самолета дает преимущества быстрого реагирования, высокого уровня очистки и оптимального расхода диспергента. В основном для этой цели используются три категории летательных аппаратов с неподвижным крылом: самолеты, предназначенные для сельскохозяйственного применения и борьбы с вредителями (Рис. 9), требующие незначительной модификации для нанесения диспергента, самолеты, специально приспособленные для нанесения диспергента, и грузовые самолеты с модульными баками (Рис. 10). Некоторые вертолеты снабжаются фиксированными распылительными консолями, другие способны нести закрепленные снизу строповкой системы распыления, обычно без необходимости значительных модификаций (Рис. 11). Диспергенты можно грузить с судна или с морской нефтяной

платформы на вертолеты для последующего распыления в открытом море. Идеальный тип самолета для использования в конкретной аварийной ситуации определяется прежде всего исходя из размера и местоположения разлива, хотя решающим фактором является местное наличие требуемых самолетов. Самолет должен быть пригоден для безопасной работы на малой высоте (обычно на высоте в 15–30 метров для более крупных самолетов) и при относительно низких скоростях (25–75 м/с), а также обладать высокой маневренностью. Другие важные аспекты, которые должны учитываться при выборе оптимального самолета, это расход топлива, величина полезной нагрузки, расстояние от места базирования самолета до разлива, время оборота и способность работать с коротких или импровизированных ВПП.

Диспергенты 3 Типа являются наиболее подходящими для распыления с воздуха, т.к. низкая дозировка (обычно 1:20 по содержанию диспергента и нефти) позволяет рациональнее всего использовать ограниченную полезную нагрузку. Система распыления с воздуха состоит из насоса, который производит контролируемый забор диспергента из бака и подает его на распылительные консоли, установленные на самолете. Диспергент распыляется через аэродинамические насадки или через приводимые в движение ветром вращающиеся блоки, расположенные с равными интервалами на распылительной консоли и обеспечивающие получение капелек диспергента оптимального размера. Оба типа распылительных устройств могут быть использованы на большинстве легких самолетов и вертолетов; аэродинамические насадки используются на более крупных самолетах.

Применение для очистки береговых линий

После сбора основного объема нефти с пораженной береговой линии диспергенты иногда используются в качестве очищающих веществ для устранения остатков нефти с твердых поверхностей, таких как скалы, волноломы и другие искусственные сооружения. Обычно они наносятся из ранцевых распылителей с ручным управлением, затем загрязненные участки интенсивно обрабатываются щеткой и смываются морской водой. Диспергированная нефть не поддается сбору, поэтому в случае принятия решения о применении диспергента на береговой линии оно обычно ограничено участками низкой экологической уязвимости и высокой эстетической ценности. Для очистки береговой линии также могут быть использованы специально разработанные чистящие средства. Эти продукты действуют отличным от диспергентов образом, т.к. существует необходимость сбора обработанной нефти. На борту судов часто имеются в наличии обезжиривающие вещества для очистки машинного помещения, но большинство из них более токсичны, чем диспергенты, и не должны использоваться в качестве диспергента на море или в качестве чистящих средств на береговой линии.

Норма нанесения диспергента

Для расчета необходимой нормы нанесения необходимо определить соотношение диспергента и нефти, требуемое для эффективной дисперсии. В зависимости от метода нанесения, типа диспергента, вида нефти и преобладающих условий это соотношение может составлять от 1:1 для диспергентов 1 Типа до 1:50 для диспергентов 3 Типа. Расчет расхода нанесения диспергента состоит из двух этапов и производится следующим образом:

1. Оценка объема подлежащей обработке нефти на основе наблюдений и допущений о средней толщине и площади пятна.
2. Расчет количества диспергента, необходимого для достижения требуемой дозировки (соотношение "диспергент : нефть").

Установлено, что, несмотря на существенный разброс толщины нефти в пятне, большинство видов свежей нефти растекается за несколько часов с достижением общей средней толщины пятна

в 0,1 мм (10-4м). Эта величина часто используется в качестве основы для планирования операций и определяет объем нефти на один гектар (10 000 кв. метров, 10⁴м²) как:

$$10^{-4}\text{ м} \times 10^4\text{ м}^2 = 1 \text{ м}^3 \text{ или } 1000 \text{ литров}$$

Дополнительная информация по расчету количества разлитой нефти приводится в отдельном документе Федерации ИТОРФ "Воздушное наблюдение морских разливов нефти".

Для дозировки 1:20 необходимо следующее количество диспергента:

$$\text{Количество диспергента} = 1000 \text{ литров нефти} / 20 = 50 \text{ литров.}$$

Следовательно, норма нанесения будет составлять 50 литров/гектар (4,5 английских галлона/акр). Скорость нанесения диспергента может быть рассчитана путем умножения нормы нанесения (литры/м²) на скорость самолета или судна (м/с) и ширину полосы нанесения (м).

Например, для достижения нормы нанесения в 50 литров/гектар (0,005 литра/м²) с самолета, летящего со скоростью 45 м/с (90 узлов), при ширине охвата в 15 метров, требуемая скорость нанесения будет следующей:

$$\text{Скорость нанесения} = 0,005 \text{ литра/м}^2 \times 15 \text{ м} \times 45 \text{ м/с} = 3,37 \text{ литра/с} \text{ (или около } 200 \text{ литров/мин.)}$$

Таким образом, для достижения дозировки 1:20 и рассеивания пятна толщиной в 0,1 мм производительность насоса распылительной системы должна составлять 200 литров в минуту. Такой же расчет может быть проведен для определения скорости нанесения диспергента с судна.

Значительная вариация толщины нефтяного слоя в пределах пятна означает, что точно определить оптимальную дозировку невозможно. Наиболее практичным и эффективным решением является нацеливание на части пятна с самым толстым слоем. Норма нанесения порядка 50 литров на гектар, согласно вышеприведенному расчету, уместна во многих ситуациях, но может потребоваться внесение поправок, связанное с разливом различных видов нефти и окружающими условиями, которые с течением времени изменяют толщину пятна. Норму нанесения можно регулировать путем изменения скорости нанесения диспергента насосами или скорости судна или самолета. Оценка количества диспергента, необходимого для обработки пятна, должна принимать во внимание точность нацеливания на участки наибольшего скопления нефти с некоторым допуском на выход распыливания за пределы полосы.

Логистика и управление

Нанесение диспергента представляет собой специализированный процесс, требующий обученных исполнителей и исчерпывающей подготовки для обеспечения всей необходимой техникой и материалами. Для максимальной эффективности мероприятия желательно использовать самолет-корректировщик для наведения и координации работы распыляющих судов и самолетов. Экипаж самолета-корректировщика должен уметь распознавать места наибольшего скопления нефти или представляющие наибольшую угрозу нефтяные пятна. Экипаж корректировщика должен поддерживать своевременную связь с самолетами или судами, распыляющими диспергент, для наведения их на цель, а также для наведения производящего распыление самолета на границы, в пределах которых должно осуществляться распыление для предотвращения попадания диспергента за пределы разлива и его непроизводительного расхода. Во время проведения самой операции распыления самолет-корректировщик также может использоваться для оценки точности нанесения диспергента и

эффективности обработки пятна. Данная функция имеет особое значение при наведении на распыление крупногабаритного многомоторного самолета, который способен распылять большое количество диспергента за короткий промежуток времени. На малых высотах, необходимых для эффективного нанесения диспергента, экипаж может испытывать трудности в распознавании нефти, пленки и воды, особенно в случае фрагментации нефтяного пятна.

Для обеспечения безопасности во время проведения операций по распылению должны действовать запретные воздушные зоны. Полет в море на малых высотах предъявляет высокие требования к экипажу, поэтому может быть необходимым работать со сменным экипажем. Рекомендуется также проводить периодические проверки - необходимо, чтобы диспергент не загрязнял смазочные вещества, в частности, в системе хвостового винта вертолета, и не оказывал агрессивного воздействия на незащищенные резиновые детали систем управления полетом самолета. Помимо этого, рекомендуется часто промывать поверхности самолета пресной водой для удаления следов диспергента и соленой воды.

Операции по распылению диспергента необходимо проводить в течение максимально возможного промежутка времени при дневном освещении, поэтому необходима хорошая наземная организация полета. Для этого может потребоваться проведение регулярного технического обслуживания самолета и распылительного оборудования в темное время суток. Маловероятно, что для обработки пятна окажется достаточно одной полезной загрузки, особенно при непрекращающейся утечке нефти, и поэтому дополнительные запасы диспергента должны быть подготовлены и удобно расположены для повторной загрузки судов или самолетов с минимальной задержкой. Таким же образом необходимо обеспечить запасы топлива, в частности самолетного, а также наличие оборудования для погрузки на суда и самолеты, например, высокопроизводительных насосов и автоцистерн.

Для долгосрочного хранения диспергентов оптимально использование пластиковых бочек, баков или контейнеров для насыпных грузов средней вместимости (1 м³) (Рис. 12). При отсутствии воздействия прямых солнечных лучей диспергенты, хранящиеся в запечатанных контейнерах, пригодны для использования на протяжении многих лет. После распечатывания контейнера эффективность диспергентов должна периодически проверяться. Рекомендации фирм-изготовителей включают проведение ежегодных визуальных проверок вместе с тестированием основных физических характеристик, таких как плотность, вязкость и температура возгорания продукта. В случае значительного изменения этих параметров или истечения срока годности диспергента должна быть проведена лабораторная



▲ Рис. 12: Применение контейнеров средней вместимости объемом в 1 м³ для насыпных грузов (IBC) удобно для хранения и забора диспергента (любезно предоставлено Береговая охрана США).

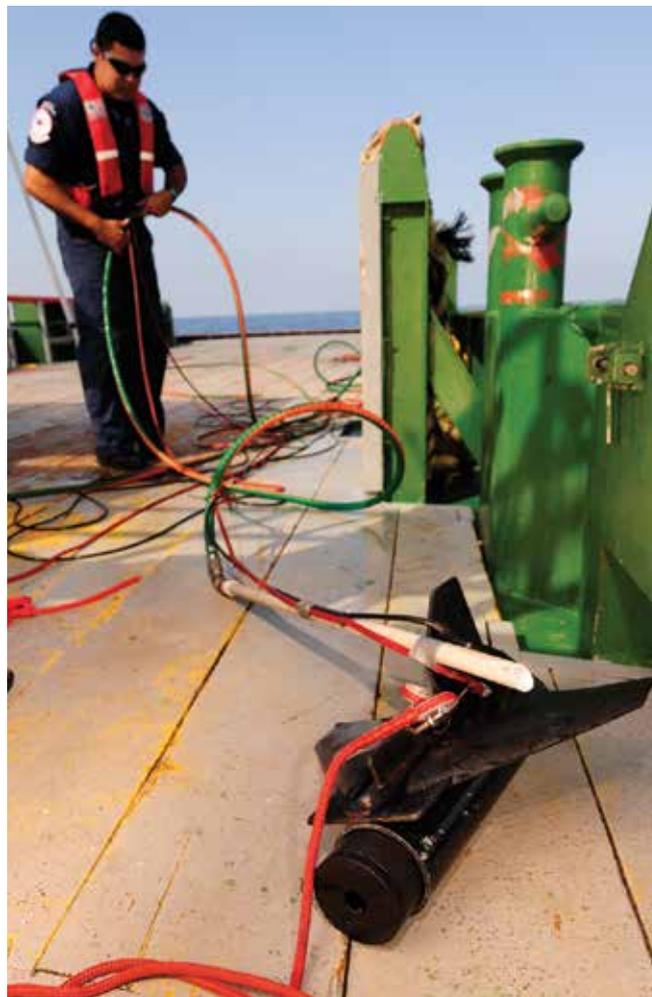
проверка его эффективности. Нельзя смешивать в одном резервуаре или контейнере диспергенты разных видов, марок и с разными сроками хранения, так как смешивание может привести к изменению вязкости диспергента, к выпадению осадка или коагуляции некоторых компонентов. Диспергенты не подлежат хранению после их разбавления морской водой. Для большинства диспергентов оптимальная температура хранения составляет от -15°C до 30°C , и изготовители рекомендуют поддержание постоянной температуры с минимальными отклонениями на протяжении всего срока хранения. При низкой температуре воздуха некоторые диспергенты могут стать слишком вязкими для прохождения через распылительные насадки.

Мониторинг эффективности диспергентов

Эффективность химической дисперсии должна подвергаться непрерывному мониторингу, и операция распыления должна быть сразу прекращена при потере эффективности диспергента. Визуальное наблюдение имеет ключевое значение, но оно может быть затруднено при плохих погодных условиях, в водах с высокой мутностью, при рассеивании нефтепродуктов бледной окраски и в условиях слабой освещенности. Очевидно, что проведение операции по распылению и визуальный мониторинг в ночное время нецелесообразны.

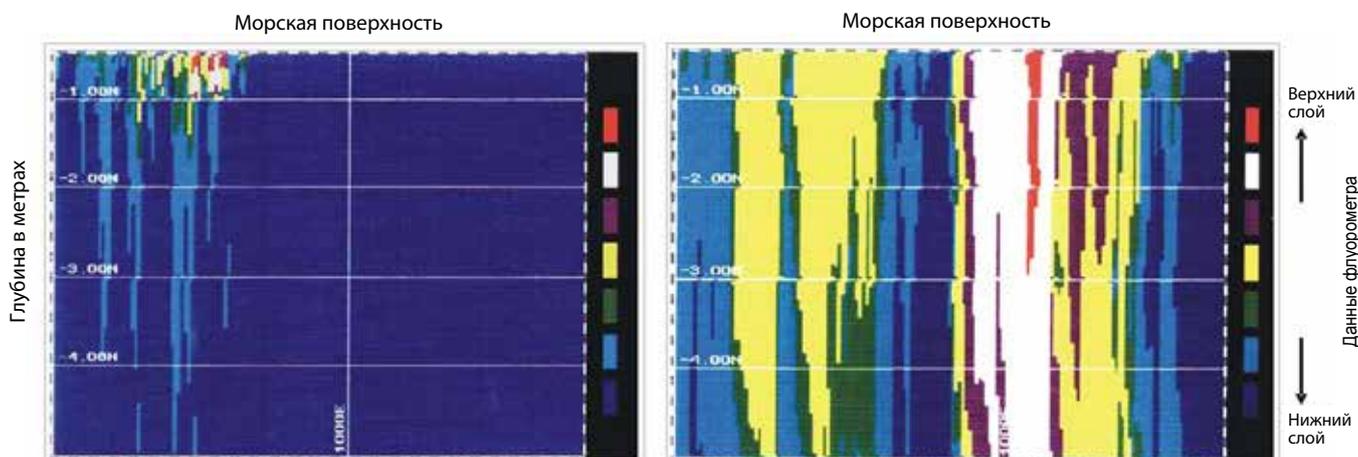
Для того, чтобы применение диспергентов было целесообразным, нефть должна быть диспергирована относительно быстро после ее разлива для снижения риска попадания на береговую линию и загрязнения уязвимых природных ресурсов. Вскоре после распыления должно быть заметно изменение внешнего вида нефтяного пятна. Отсутствие изменения внешнего вида нефти, отсутствие уменьшения площади охвата нефти или протекание диспергента через нефтяное пятно с образованием молочно-белого шлейфа (Рис. 5) указывают на то, что диспергент неэффективен. Аналогичным образом, если нефтяное пятно распространилась по широкой площади или претерпело значительную фрагментацию, то нанесение диспергента может не устранить достаточное количества нефти с поверхности воды и, таким образом, значительное снижение ущерба от загрязнения не будет достигнуто.

Эффективность операции также можно контролировать с помощью поступающих в реальном времени сведений о концентрации диспергированной нефти в толще воды методом ультрафиолетовой флуориметрии (UVF). Для этого один или несколько флуорометров (Рис. 13) буксируются за судном для отбора проб под нефтяным пятном на глубине более одного



▲ Рис. 13: Подготовка буксируемого флуорометра для измерения эффективности диспергента на море (любезно предоставлено Береговая охрана США).

метра для измерения изменяющейся концентрации нефти. Диспергирование характеризуется значительным повышением концентрации нефти, фиксируемым датчиком, относительно измеренной до нанесения диспергента концентрации (Рис. 14). С помощью UVF невозможно сделать замер количества рассеянной нефти в толще воды, поэтому данный метод должен использоваться в сочетании с визуальными наблюдениями для определения целесообразности применения диспергентов.



▲ Рис. 14: Данные, зафиксированные флуорометром на глубине акватории в 0,5-5 метров под поверхность разлива до нанесения диспергента (слева) и через несколько минут после нанесения диспергента (справа). Нефть быстро рассеивается и разбавляется после обработки (любезно предоставлено AEA Technology).



▲ *Рис. 15: Применение диспергента помогает защитить уязвимые виды морских птиц благодаря быстрому устранению нефти с морской поверхности.*



▲ *Рис. 16: Использование диспергентов на экочувствительных участках, таких как коралловые рифы, не рекомендуется за исключением особых случаев и только после тщательного анализа потенциальных экологических последствий от их применения.*

Экологические факторы

Применение диспергентов может быть спорным и время от времени порождает широкие дебаты в средствах массовой информации и на общественных форумах. Их использование может рассматриваться как метод уменьшения потенциального воздействия на уязвимые природные ресурсы путем предотвращения или снижения загрязнения береговой линии, но также иногда может рассматриваться как внесение еще одного загрязнителя в окружающую среду. Несмотря на усовершенствование химического состава диспергентов, токсичность смеси диспергента и нефти в отношении морской флоры и фауны часто представляет серьезную проблему для окружающей среды. В некоторых странах скорость биоразложения диспергентов составляет предмет озабоченности и продолжающихся исследований. Процессы принятия решений об использовании диспергентов во многих странах направлены на сопоставление их эффективности и токсичности. Вещества, допущенные для применения в одной стране, могут быть запрещены в другой стране, поэтому допустимость использования диспергентов должна проверяться по соответствующим государственным перечням.

После нанесения диспергента в открытом море в верхних слоях водной толщи (<10 метров) обычно наблюдается повышенная концентрации нефти, которая быстро снижается в связи с разбавлением и движением водных масс. Исследования нескольких видов сырой нефти показали, что сразу же после нанесения диспергента непосредственно под пятном ожидаемая концентрация нефти может составлять от 30 до 50 частей на миллион с уменьшением в верхних 10 метрах водной толщи до 1-10 частей на миллион через несколько часов. Таким образом, воздействие на морские организмы оценивается как кратковременное, нежели как хроническое, и ограниченное время воздействия снижает вероятность долгосрочных негативных последствий. Тем не менее, не рекомендуется распылять диспергент на мелководье, если только достаточный водный обмен не обеспечивает соответствующее разбавление шлейфа рассеянной нефти.

Оценка потенциального разбавления является полезной основой для принятия решения об использовании диспергента для защиты определенных ресурсов без риска излишнего ущерба для других ресурсов. Факторы, которые должны приниматься во внимание при расчете пиковой концентрации и ее продолжительности, включают глубину акватории, количество нефти на единицу площади, расстояние между местом нанесения диспергента и уязвимыми природными ресурсами, а также направление и скорость течений.

Устраняя нефть с поверхности воды, диспергенты снижают риск замасливания морских птиц (*Рис. 15*) и загрязнения уязвимых ресурсов на побережье, в частности, солончаковых болот, мангровых зарослей и общественных пляжей. Тем не менее, удаленная с поверхности нефть переносится в водную толщу, и возникает риск нанесения ущерба рассеянной нефтью, который необходимо сопоставить с преимуществами от удаления нефти с поверхности. Способность многих видов свободноплавающих рыб обнаруживать и избегать нефть в водной толще снижает риск загрязнения нефтью. С другой стороны, участки распространения кораллов (*Рис. 16*), морской травы и места нереста рыб в высшей степени уязвимы в отношении рассеянной нефти, и в случае предполагаемого вреда для этих ресурсов применение диспергентов не рекомендуется. Аналогичным образом, применение диспергентов не рекомендуется вблизи клеток для рыбы на рыбных фермах, моллюсковых садков или других рыбных промыслов на мелководье ввиду повышенного риска заражения популяции. Применение диспергентов вблизи промышленных водозаборных сооружений не рекомендуется из-за повышенной опасности попадания в них нефти.

Решение о том, стоит ли использовать диспергенты, редко бывает очевидным и должно приниматься, полагаясь, в числе прочего, на естественные природные процессы, путем сопоставления преимуществ и недостатков различных вариантов ликвидации аварийной ситуации, принимая во внимание их экономичность и приоритетность защиты различных ресурсов от загрязнения. До применения диспергентов во многих случаях потребуются провести сбалансированную оценку результирующих экологических и экономических преимуществ и консультации с государственными органами власти. Время, имеющееся в распоряжении для применения диспергентов, вероятно, будет ограничено выветриванием нефти и ее перемещением к уязвимым природным ресурсам. Во избежание задержки после разлива решение о применении диспергентов и в случае его принятия - определение точных обстоятельств их возможного использования - должно быть согласовано в ходе процесса разработки мероприятий по ликвидации аварийной ситуации.

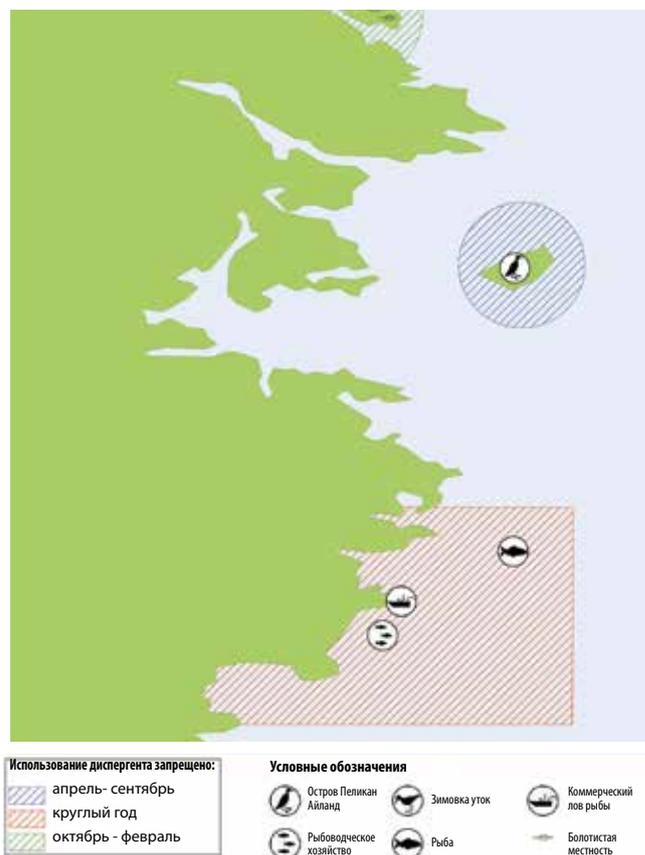
План мероприятий по ликвидации аварийной ситуации

Факторы, которые должны рассматриваться при разработке плана по ликвидации аварийной ситуации, включают виды нефти, которые могут оказаться разлитыми, эффективность диспергента в отношении этого вида нефти, уязвимые природные ресурсы

региона и возможности материально-технического обеспечения. Главным образом это местонахождение и наличие диспергентов, распыляющего оборудования, судов, самолетов, взлетно-посадочных полос и средств заправки топливом, а также вопросы таможенного контроля на случай привлечения международной поддержки, которая может потребоваться при крупной аварийной ситуации. Карты экологической уязвимости ресурсов чрезвычайно эффективны для указания районов, в которых не рекомендовано использование диспергентов; карты могут отражать сезонные воздействия на уровень уязвимости. Например, в определенное время года в регионе могут присутствовать перелетные птицы, и запрет на применение диспергентов на мелководье может быть снят с целью снижения риска загрязнения птиц плавающей нефтью (Рис. 17). Необходимо также продумать источники финансирования для обеспечения эффективной базы диспергентов. Результаты всех обсуждений должны быть четко зафиксированы в плане мероприятий по ликвидации аварийной ситуации.

Во многих странах государственные нормы требуют получения разрешения на использование диспергентов у компетентных государственных органов. Знание законодательства в области применения диспергентов важно для организаций-участников ликвидации разливов ввиду возможного возникновения разногласий и наложения штрафов в случае использования диспергентов без получения предварительного разрешения или без учета государственных норм. В некоторых странах существует перечень допущенных к применению диспергентов, составленный на основе проверки их эффективности и токсичности. Компетентные государственные органы могут предоставлять предварительные разрешения определенным объектам или портам, работающим с нефтью, на использование диспергентов без проведения консультаций при условии соответствия определенным критериям.

Важную часть планирования применения диспергентов составляют обучение и практические учения, необходимые и для всех других аспектов ликвидации разливов нефти. Оперативные группы должны пройти полное обучение по всем аспектам применения диспергентов и технике безопасности. Практические учения по мобилизации ресурсов и оборудования для распыления диспергентов должны проводиться регулярно.



▲ Рис. 17: Карты экологической уязвимости часто включаются в планы мероприятий по ликвидации аварийных ситуаций для указания районов и временных рамок возможного использования диспергентов. В данном примере использование диспергентов запрещено на красном участке из-за круглогодичного коммерческого лова рыбы, но проводится по предварительному разрешению на сезонной основе для очистки от нефти акватории вокруг птичьей колонии на острове Пеликан Айланд. В особых случаях может допускаться использование диспергентов на мелководье вблизи побережья, например, для защиты мангровых зарослей или болот, которые чрезвычайно чувствительны к воздействию нефтяных скоплений.

Основные выводы:

- Диспергенты ускоряют естественное рассеивание нефти, разбивая пятно на многочисленные мелкие капельки и перемещая нефть с поверхности воды в водную толщу с последующим разбавлением и биоразложением.
- Большинство диспергентов не способны диспергировать очень вязкие нефтепродукты и стойкие эмульсии.
- Распыление диспергента на нефтяную пленку неэффективно и не рекомендуется ввиду непроизводительного использования ресурса.
- В случае разлива большинства видов сырой нефти и некоторых видов топлива эффективное применение диспергентов возможно лишь в короткий промежуток времени, и в этой связи существенно важно быстрое и хорошо спланированное реагирование на разлив нефти.
- В то время как морские суда пригодны для борьбы с малыми разливами нефти вблизи портов, крупногабаритные многомоторные самолеты обеспечивают более эффективное реагирование на крупные морские разливы вдали от берега.
- Наблюдения в открытом море показывают, что концентрация диспергированной нефти в водной толще за считанные часы снижается до уровня, который не может вызвать неблагоприятное воздействие на морские организмы в долгосрочном периоде.
- С помощью диспергентов можно быстро и эффективно снизить ущерб от загрязнения для животных, обитающих на поверхности (морские птицы), и для уязвимых природных ресурсов на побережье (мангровые заросли).
- Применения диспергентов следует избегать, если шлейф диспергированной нефти может нанести ущерб уязвимым природным ресурсам, таким как кораллы, моллюсковые садки и промышленным водозаборным сооружениям.
- Хорошо подготовленный и проверенный на практике план мероприятий по ликвидации аварийной ситуации и четкая политика согласованного применения диспергентов значительно повышают вероятную эффективность операции по их использованию.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- 1 Воздушное наблюдение морских разливов нефти
- 2 Поведение морских разливов нефти
- 3 Применение боновых заграждений при ликвидации разливов нефти
- 4 Применение диспергентов для обработки нефтяных разливов
- 5 Применение скиммеров при ликвидации разливов нефти
- 6 Установление наличия нефти на береговой линии
- 7 Очистка береговой линии от нефти
- 8 Применение сорбентов при ликвидации разливов нефти
- 9 Избавление от нефти и мусора
- 10 Лидерство, командование и управление при разливах нефти
- 11 Последствия нефтяного загрязнения для рыбного промысла и морского фермерства
- 12 Последствия нефтяного загрязнения для социальной и экономической деятельности
- 13 Последствия нефтяного загрязнения для окружающей среды
- 14 Отбор проб и мониторинг морских разливов нефти
- 15 Подготовка и предъявление исков о возмещении ущерба от нефтяного загрязнения
- 16 Разработка планов ликвидации аварий для морских разливов нефти
- 17 Ликвидация морских разливов химических продуктов

ИТОПФ - некоммерческая организация, созданная владельцами мирового танкерного флота и их страховщиками для эффективной ликвидации морских разливов нефти, химических продуктов и других вредных веществ. Технические услуги организации включают реагирование на аварийные ситуации, предоставление консультаций по методам очистки от загрязнения, оценку нанесенного ущерба, помощь в составлении планов ликвидации разливов и предоставление обучения. ИТОПФ является источником исчерпывающей информации о нефтяном загрязнении морской среды, и данный технический документ является одним из серии, документирующей опыт технического персонала ИТОПФ. Информация из данного документа может быть воспроизведена с предварительно полученного согласия ИТОПФ. Для получения дополнительной информации, пожалуйста, свяжитесь с нашей организацией.



THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

Тел.: +44 (0)20 7566 6999

Факс: +44 (0)20 7566 6950

Круглосуточная связь:

+44 (0)7623 984 606

E-mail: central@itopf.com

Веб-сайт: www.itopf.com