



ЦНИИМФ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ
ИНСТИТУТ МОРСКОГО ФЛОТА

Технологии ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в арктических морях: преимущества, ограничения и перспективы

**Заведующий лабораторией
«Экологическая безопасность
морского транспорта», канд. тех. наук**

ИВАНЧИН А.А.

**ТРАДИЦИИ
ИННОВАЦИИ
ОПЫТ**

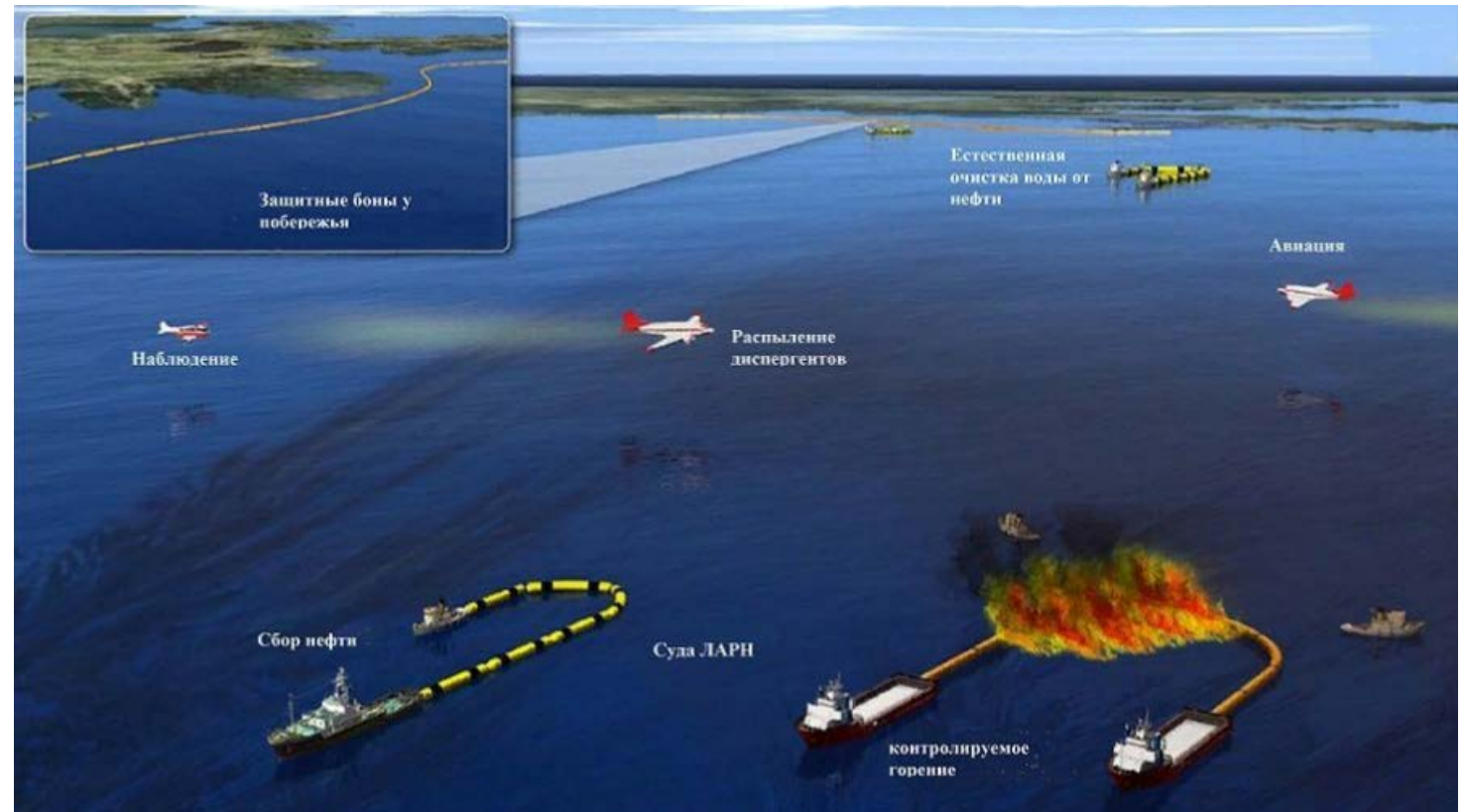


ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ



В настоящее время основными методами ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов являются:

- механический сбор,
- физико-химический,
- термический,
- биологический.



Этот способ является одним из основных, применяемых в настоящее время. Наиболее эффективно его применение в самом начале разлива (в первые его часы), поскольку толщина нефтяного слоя в этот момент наибольшая.

Данная технология основана на локализации разлива нефти на морской акватории с помощью боновых заграждений и последующего сбора нефти с помощью нефтесборных устройств-скиммеров.



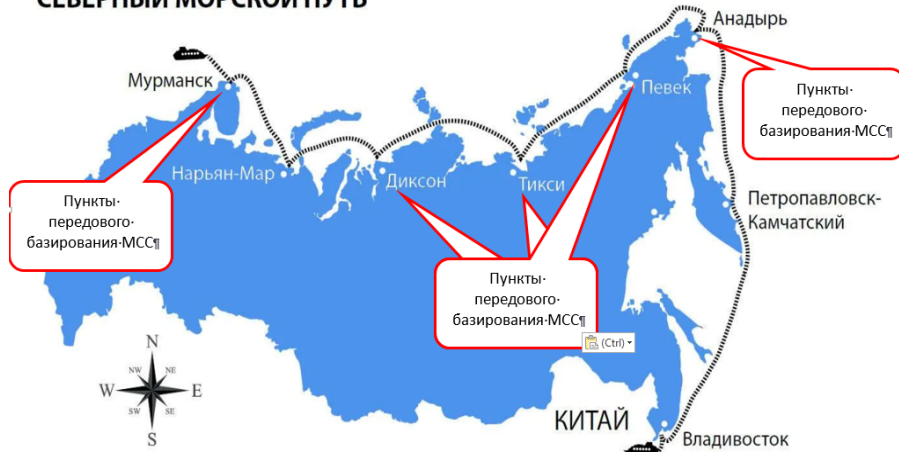
Преимущества:

- Нет ограничений предварительных согласований от ФОИВ перед применением.
- Отсутствует вторичное негативное воздействие на окружающую среду.
- Позволяет собирать при определенных условиях практически все типы нефтепродуктов, за исключением ультравысоковязких (мазут М-100) и ультрамаловязких (бензин, керосин).

Ограничения и недостатки:

- При высоте волны более 1,5 м и скорости ветра более 12-15 м/с боновые заграждения пропускают нефтепродукт.
- При тонких пленках нефтепродуктов (менее 50 микрометров) сбор малоэффективен, особенно с использованием пороговых скиммеров.
- В ледовых условиях Арктики, при сплоченности льда более 10-15%, постановка бонов невозможна (риск утраты и разрыва).
- Требуется наличие инфраструктуры: оборудованных судов, причалов, баз, ёмкостей, свободного палубного пространства.
- Практически не эффективен для ультравысоковязких и ультрамаловязких нефтепродуктов.
- Требуется оборудованное место (площадка) для последующей очистки оборудования ЛРН.
- Необходимо задействование большого количества сил и средств ЛРН для ликвидации разлива, большие финансовые затраты

СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ



ВЫВОДЫ: МЕХАНИЧЕСКИЙ СБОР

- Продолжительные ледовые условия (до 8-9 месяцев в году) влияют на возможность эффективной организации сбора разлитой нефти в море. В настоящее время отсутствуют эффективные технологии по мониторингу и сбору нефти ушедшей под лед.
- Ледовые условия препятствуют волновой активности и, как следствие, естественному процессу диспергирования нефти и нефтепродуктов в толще воды.
- Скорость смыкания канала при ледовой проводке судов составляет 20-30 минут, что не позволяет провести реагирование на разлив нефти и нефтепродуктов при аварийной ситуации с судном.
- Низкие температуры воды и окружающей среды приводят к возрастанию вязкости нефти и нефтепродуктов и её возможному осаждению на дно и уход под лед.
- Все указанные факторы приводят к снижению эффективности операций ЛРН с 30% до 15-20% в Арктических условиях. Наличие ограниченной инфраструктуры, а также изменчивость погодных и гидрометеорологических условий приводят к задержке реагирования, которая может достигать нескольких недель и месяцев. Кроме того, погодные условия значительно снижают эффективность механического сбора.



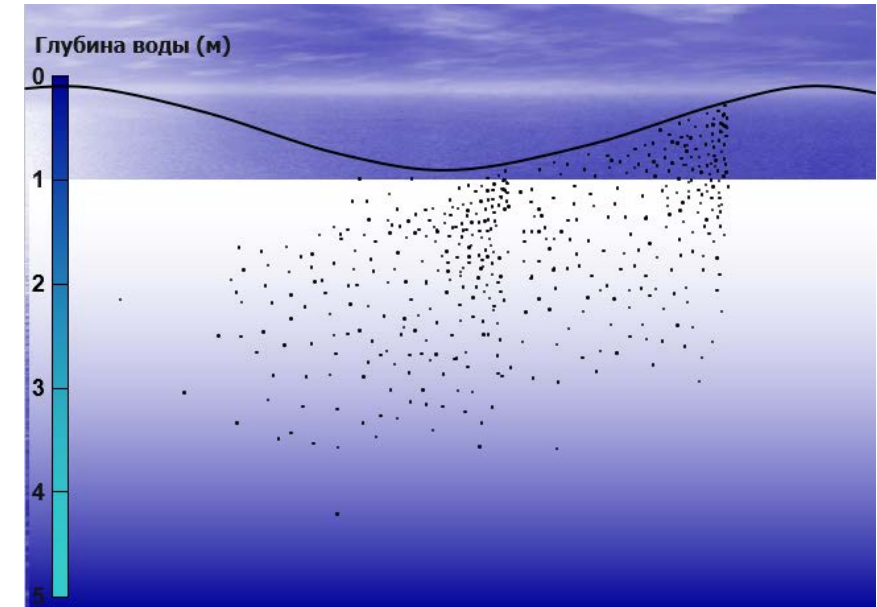
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ: ДИСПЕРГИРОВАНИЕ

Физико-химические методы реализуются в двух вариантах –
эмульгирование и сорбция.

*Диспергенты – это усиление природных процессов
эмульгирования за счёт воздействия химических веществ.*



Распыление диспергента по поверхности разлитой нефти



Волны порождают локальные
импульсы диспергированной
нефти. После того, как по нефтяной
пленке пройдут многочисленные
волны, нефть переместится с
поверхности в толщу воды.

СОСТАВ ДИСПЕРГЕНТОВ

- ✓ Современные диспергенты включают поверхностно–активные вещества, близкие по свойствам к веществам, применяемым в шампунях, пищевой промышленности, а также в растворителях и технологических добавках.
- ✓ Они применяются в количестве, не превышающем 5 – 10% от количества обрабатываемой нефти.
- ✓ Диспергенты чувствительны к температуре окружающей среды (температура воды выше 5 С), а также для их эффективного применения требуется наличие устойчивой волновой энергии (наличие ледового покрова).

№ п/п	Продукт	Токсичность, LC ₅₀ 96 ч. (для радужной форели) (Концентр. при которой за 96 ч. гибнет 50% особей)
1	PALMOLIVE, посудомоечное средство	13
2	Sunlight, посудомоечное средство	13
3	Мистер Клин, посудомоечное средство	30
4	Корексит 9527, диспергент ОМ-84	108
5	Корексит 9500, диспергент	354
6	Биопродукт для биохимической очистки от загрязнений нефтью	135



ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСПЕРГЕНТОВ НЕФТИ

Преимущества	Недостатки	Возможность нивелирования недостатков
Снижают налипание нефти к перьям птиц и покровам морских млекопитающих, тем самым защищая их от загрязнения и гибели в нефтяном пятне.	При эмульгировании нефти в воде в ограниченном районе моря наносится вред морским организмам, обитающим в месте нанесения диспергентов (планктон, рыба, водоросли).	Отказ от применения на мелководье и в замкнутых водоемах с низкой скоростью обмена вод.
Снижают вредное воздействие нефти на береговую линию, береговые сооружения.	Обработанное диспергентом нефтяное пятно трудно собрать механическими средствами.	Обработка только тех частей пятна диспергентами, которые не планируется собирать механическими средствами.
За счет многократного увеличения площади контакта с кислородом и нефтеокисляющими бактериями ускоряются естественные процессы разложения разлитой нефти.	Диспергенты эффективны не для всех типов нефти.	На стадии планирования определяют окно возможности диспергента. В среднем оно составляет до 48-72 часа, возможна оценка диспергируемости в реальной ситуации.
Предотвращают образование «шоколадного мусса» - устойчивых агломератов нефти.	В морскую среду вносятся 1-10% поверхностно-активных веществ с известными ПДК.	Недостаток не устраним. Однако следует иметь в виду низкую токсичность диспергентов или диспергированной нефти, не превышающую токсичности обычных шампуней.
Могут использоваться при условиях, неблагоприятных для других методов ликвидации разливов (волнение более 1,5 м, сильные течения, ветер до 15 м/с).	Имеются ограничения по применению диспергентов в зависимости от времени, прошедшего с момента разлива («окно возможности»).	Проведение АСЭВ и разработка сценариев на стадии подготовки Планов ЛРН.
Резко снижают количество нефти, находящейся на поверхности и подвергаемой ветровому переносу в море.		

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ ДИСПЕРГЕНТОВ

В настоящее время для нанесения диспергентов применяются следующие технологии:



нанесение с борта судна



нанесение с борта вертолета



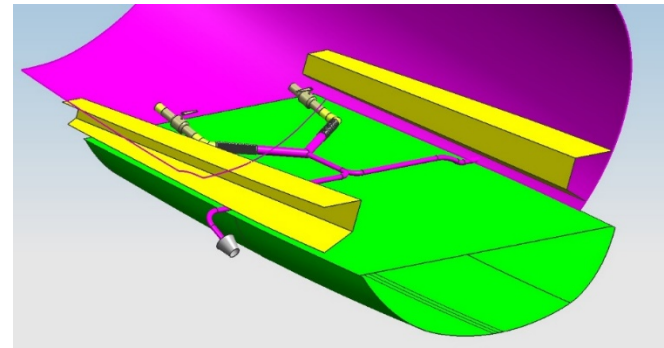
нанесение с борта самолета

- ✓ Использование диспергентов с борта судна позволяет наносить его точно и в требуемом количестве, так как в процессе работы возможна регулировка расхода. Однако скорость обработки значительно ниже, чем при обработке с использованием авиасредств.
- ✓ Наибольшая производительность обработки достигается при использовании крупных транспортных самолетов со специальным оборудованием для распыления диспергента.
- ✓ Наименее эффективна обработка разлитой нефти с использованием судовой пожарной магистрали, в которую эжектируется диспергент.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ САМОЛЕТА ИЛ-76ТДМ АВИАОТРЯДА МЧС РОССИИ К НАНЕСЕНИЮ ДИСПЕРГЕНТОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АКВАТОРИИ

В настоящее время МЧС России совместно с ПАО «Ил» (Письмо от 21.08.2023 г. № ИВ-21-301) прорабатывает возможность доработки конструкции ВАП-2 для распыления диспергента.

По информации, представленной главным конструктором ПАО «Ил» в январе 2024 г. завершены проектные работы по переоборудованию и дооборудованию ВАП-2 конструктивными элементами, позволяющими производить нанесение диспергента. Вся техническая документация передана на рассмотрение в МЧС России. В последующем потребуются проведение лётных испытаний по нанесению диспергентов.



Основные технические характеристики технологии нанесения диспергента с задействованием ИЛ-76ТДМ, принятые ПАО «ИЛ»:

- Скорость полета при нанесении диспергента 280-350 км/ч.
- Высота полета 50-80 м.
- Регулируемая интенсивность нанесения (расход диспергента) 800-1400 л в минуту.
- Время нанесения 42 м³ диспергента 30-35 минут.
- Ширина обрабатываемой поверхности - 80 м.
- Площадь обработанной акватории за один полет - 11 км²(разлив 1000-1500 м³ через 12 часов)

К диспергентам третьего поколения относятся диспергенты, разработанные в РФ в виде опытных и предсерийных образцов.

К применению в территориальных водах России разрешены только диспергенты, эффективность которых оценена в лабораторных условиях, и на которые установлены ПДК для морских рыбохозяйственных водоемов. В настоящее время рассматривается возможность применения следующих диспергентов:

- Диспергент, разработанный ООО «Газпром Нефть Шельф» в сотрудничестве с МФТИ (Шельфовый диспергент «Газпром Нефть»). На изобретение получен патент № 2773528.
- Диспергент «Димэкс», разработчик ООО «НИИ Транснефть». На изобретение получен патент № 2752312, правообладателями которого являются ПАО «Транснефть», ООО «НИИ Транснефть» и ООО «Транснефть – Порт Приморск». Данный диспергент зарегистрирован под товарным знаком «Димэкс».
- Диспергент, разработанный ПАО «НК Роснефть». Патент на изобретение № 2743308.

Полноценный вывод их на рынок возможен после получения всех необходимых разрешений от природоохранных органов.

Диспергент	Определение ПДК	Включение в приказ Минсельхоза от 13.12.2016 г. № 552	Получение положительного заключения Государственной экологической экспертизы на вещество
Шельфовый диспергент «Газпром Нефть»	Определен	Включен	Не получено
Диспергент «Димэкс»	Определен	Не включен	получено
Диспергент ПАО «НК «Роснефть»	Не определен	Не включен	Не получено



ПРОЦЕДУРА ПОЛУЧЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ НА ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРГЕНТОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ





Преимущества:

- ✓ Гораздо большее «окно возможностей» (погодные, гидрометеорологические условия, количество задействованного оборудования ЛРН и техники) по применению диспергентов по сравнению с механическим методом.
- ✓ Большая скорость обработки загрязненного водного пространства (особенно с помощью авиатранспорта).

Недостатки и ограничения:

- Необходимость ***предварительного согласования с контролирующими органами исполнительной власти.***
- Отсутствие принимаемого ФОИВ законодательного механизма и процедуры получения разрешения на применение диспергентов.
- Низкие температуры и пониженная волновая активность в ледовых условиях значительно снижают эффективность применения диспергентов.
- Низкие температуры воды в арктических морях снижают количество микроорганизмов, осуществляющих биодеструкцию нефти, диспергированной в толще воды.

Вступая во взаимодействие с водной средой, они сразу начинают впитывать(сорбция) в себя нефть и нефтепродукты, собирая их с воды.

Сорбенты условно разделяются на:

- ☐ Углеродные сорбенты, в основе которых углеродные материалы.
- ☐ Сорбенты на основе природного и растительного сырья.
- ☐ Биосорбенты. Биосорбенты представляют собой широкопористые материалы, способных не только поглощать жидкие углеводороды, но и разлагать их благодаря наличию в их составе микроорганизмов-деструкторов.



ПРЕИМУЩЕСТВА

- ❖ Увеличивают плавучесть, препятствуя затоплению тяжёлых видов нефтепродуктов.
- ❖ Практически отсутствуют погодные ограничения по их применению и нанесению.

НЕДОСТАТКИ

- ❖ Увеличивают парусность нефтепродукта, растаскивая его по большей площади акватории.
- ❖ Большинство сорбентов после применения, в последующем требуют организации механического сбора.

Биосорбенты:



Важное достоинство состоит в том, что отсутствует необходимость сбора и утилизации насыщенного нефтью материала.



Главный недостаток: малая скорость процесса деструкции – несколько месяцев, в зависимости от географической широты разлива; практически полное отсутствие активности микроорганизмов в интервале 0–5°C, и очень низкая активность в интервале 5–15°C, а также сравнительная устойчивость ароматических углеводородов к микробиологическому окислению.

ТЕРМИЧЕСКИЙ МЕТОД: СЖИГАНИЕ

Сжигание нефти — это метод ликвидации аварийных разливов, который предполагает контролируемое сжигание нефти, плавающей на поверхности воды или попавшей на лед. Эффективность сжигания достигает 70-80% .



Применение буксируемого огнеупорного бонового заграждения, с помощью которого улавливается разлитая нефть, увеличивает ее толщину, а также изолирует некоторую часть разлива на открытой воде или в разреженных льдах.

Воспламенение нефти осуществляется путем выброса на нефть запального устройства, как правило, с вертолета или с судна. В случае успешного воспламенения некоторая часть или вся нефть выгорает с поверхности воды или льда.

Но некоторое количество нефтепродуктов после горения остается в любом случае. Эти остаточные продукты могут оставаться на плаву, оседать на дно или обладать нейтральной плавучестью (в зависимости от типа разлитой нефти и условий горения).

Преимущества:

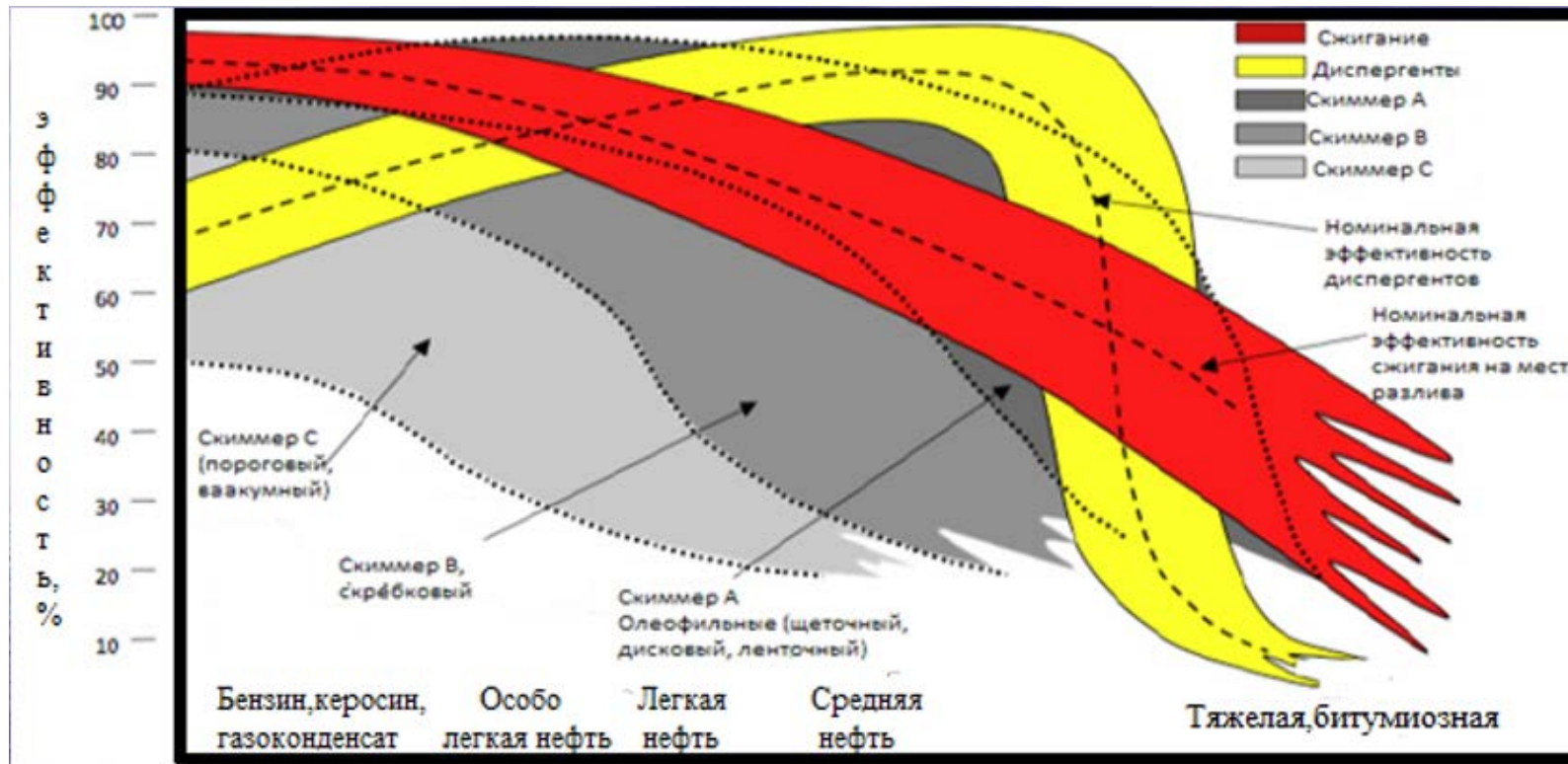
- Метод эффективно работает и хорошо себя зарекомендовал для ликвидации разливов в ледовых условиях. Сжигается до 70-80% от разлитой нефти. Окно возможностей до 24-48 часов.
- Ключ к эффективному применению технологии сжигания - это достаточная толщина нефтяного пятна.
- С помощью огнеупорного бонового заграждения можно собирать пятна и поддерживать их достаточную толщину на относительно открытой воде.
- Однако при повышении сплоченности льда применение бонового заграждения становится затруднительным. В таком случае для увеличения толщины нефтяного пятна применяют собирающие поверхностно-активные вещества (ПАВ) - собиратели нефти.

Недостатки:

- Необходимость предварительного согласования с ФОИВ. СТО 318.04.69-2015 «Правила сжигания нефти в море на месте ее разлива».
- Опасения по поводу вторичных возгораний, представляющих угрозу для человеческой жизни, имущества и природных ресурсов.
- Потенциально вредные воздействия на окружающую среду и здоровье человека со стороны побочных продуктов сжигания, в первую очередь - дыма.
- практически полное отсутствие соответствующего оборудования (оборудования для поджигания, огнестойкие боны) у ПАСФ и Организаций.
- Необходимо проводить перед использованием АСЭВ
- Необходима толщина пленки более 5 мм



Сжигание и диспергенты имеют значительно меньше ограничений по применению, чем другие средства реагирования. В связи с этим они могут быть рассмотрены как одно из средств борьбы с разливами нефти, и как важный компонент стратегии реагирования на разлив нефти на акватории арктических морей.



Эффективность технологий
реагирования
(AI Allen Standart Guide for Oil Spill
Dispersant Application)

Матрица технической эффективности технологий ликвидации разливов нефти при различных гидрометеорологических условиях

Наименование технологии	Гидрометеорологические условия		
	Спокойная вода	Слабый ветер и волнение	Сильный ветер и волнение
Механическое ограждение и сбор нефти			
Применение химических реагентов			
Сжигание на месте			
Комплексная технология (боны+сжигание)			



Матрица технической эффективности технологий ликвидации разливов нефти при различной ледовитости

Название технологий и оборудования	Площадь покрытия водной поверхности льдом, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Механический сбор											
— обычные боны и скиммеры	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red
— обычные боны и скиммеры (с ледокола)	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
— арктические скиммеры (с ледокола)	White	White	White	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Применение химических реагентов											
— распыление через рукав на судне, применение винтов судна (ледокола) для перемешивания	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red
— распыление с самолета	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
— распыление с вертолета	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Сжигание на месте											
— без использования огнестойких бонов	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
с использованием огнестойких бонов	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
на поверхности сплоченного льда	White	White	White	White	White	White	White	Yellow	Yellow	Green	Green

МЕХАНИЧЕСКИЙ СБОР

- Механический сбор разлитой нефти в ледовых условиях возможен при определенных ограничениях с использованием оборудования ЛРН, адаптированного для арктических условий .
- Сбор нефти в сезон открытой воды с использованием механических технологий может быть более эффективен в арктических условиях, чем в средних широтах, из-за долгого светового дня.
- Высокая концентрация льда ($> 70\%$) снижает растекаемость нефти при отсутствии боновых заграждений, что уменьшает площадь нефтяного пятна и позволяет применять механические средства для сбора нефти при условии, что нефтесборное оборудование имеет к ней доступ.
- Низкая скорость обработки нефтяного пятна и трудности, связанные с доступом к нефти при большой сплоченности льда, ограничивают использование механической уборки применением на небольших разливах.

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ

- Испытания в волновых бассейнах, а также лабораторные и полевые испытания показали, что диспергенты могут быть эффективным средством ЛРН в условиях низких температур, во льду и даже при наличии солоноватой воды.
- В условиях открытого дрейфа льда (до 40-50% ледяного покрова) энергии волн может оказаться достаточной для эффективной дисперсии нефтяного пятна, обработанного диспергентами.
- При образовании более сплоченного ледового покрова требуется дополнительная энергия для перемешивания. Применение винтов ледоколов для создания энергии смешения является эффективным способом использования диспергентов при наличии льда.
- Использование диспергентов является методом, требующим специального анализа (АСЭВ), и в некоторых регионах и условиях их применение может быть ограничено.

СЖИГАНИЕ

- Технология сжигания нефти на месте является проверенным способом ЛПРН, который позволяет быстро уничтожить нефть с эффективностью до 70-80%.
- Технология сжигания на месте является очень важным средством для ликвидации аварийных разливов нефти в арктических условиях. Она может успешно применяться при различных типах и степенях сплоченности льда. Ключевым преимуществом этого способа является безопасное и эффективное уничтожение больших количеств нефти при минимальном привлечении персонала и оборудования. В итоге сжигание позволяет эффективно и рационально распорядиться имеющимися силами и средствами для уменьшения воздействия на окружающую среду нефти, разлитой на поверхности воды.
- -Использование сжигания является методом, требующим специального анализа (АСЭВ), и в некоторых регионах и условиях применение может быть ограничено.
- -эта технология сможет стать одним из главных методов реагирования на разливы нефти в Арктике.



- Необходима выработка процедуры по одобрению применения альтернативных методов ЛРН: сжигание и диспергирование
- Необходима актуализация действующих НПА с включением и описанием, альтернативных методов ЛРН
- Необходимо проведение дополнительных НИР с исследованием и выработкой предложений для наиболее эффективного применения альтернативных технологий
- Проведение дальнейших работ на разработку новых химических средств, выделение финансирования на закупку оборудования ЛРН для обеспечения работы альтернативных методов борьбы с разливами нефти и нефтепродуктов
- Создание соответствующей инфраструктуры (баз, причалов и т.д) для сокращения времени реагирования в Арктике