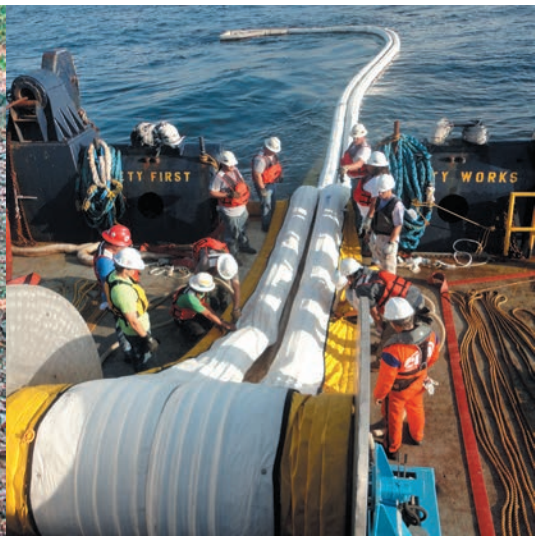
IPIECA

International Association of Oil & Gas Producers

Контролируемое сжигание нефтяного пятна на месте разлива

Практические рекомендации для персонала, отвечающего за управление и ликвидацию чрезвычайных ситуаций



IPIECA

Международная ассоциация представителей нефтегазовой промышленности
по экологическим и социальным вопросам

Level 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, United Kingdom (Великобритания)
Тел.: +44 (0)20 7633 2388 Факс: +44 (0)20 7633 2389
Эл. почта: info@ipieca.org Веб-сайт: www.ipieca.org

International Association of Oil & Gas Producers

Международная ассоциация производителей нефти и газа

Офис в Лондоне
Level 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, United Kingdom (Великобритания)
Тел.: +44 (0)20 7633 0272 Факс: +44 (0)20 7633 2350
Эл. почта: reception@iogp.org Веб-сайт: www.iogp.org

Офис в Брюсселе
Boulevard du Souverain 165, 4th Floor, B-1160 Brussels, Belgium
Тел.: +32 (0)2 566 9150 Факс: +32 (0)2 566 9159
Эл. почта: reception@iogp.org Веб-сайт: www.iogp.org

Отчет IOGP № 523

Дата публикации: 2016

© IPIECA-IOGP 2016 Все права защищены.
Репродукция, сохранение в системах поиска или передача любой части данной публикации, в любой форме или с использованием любого рода средств связи, будь то электронные, механические, копировальные, записывающие или другие, без предварительного письменного разрешения IPIECA запрещены.

Заявление об ограничении ответственности
Несмотря на все усилия, предпринятые для обеспечения точности информации, содержащейся в данной публикации, ни IPIECA, ни IOGP, ни их прошлые, настоящие или будущие члены не гарантируют ее точность и не несут ответственности за любое предполагаемое или не предполагаемое использование данной публикации, вне зависимости от возможных случаев небрежности. Следовательно, получатель может использовать эту публикацию на свой собственный риск на основании того, что такое использование предполагает согласие с условиями данного отказа от ответственности. Информация, приведенная в этой публикации, не является профессиональной консультацией и ни IPIECA, ни IOGP, ни их члены не несут никакой ответственности за последствия правильного или неправильного использования данной документации. Этот документ может служить руководством, дополняющим местное законодательство. Тем не менее, никакая часть этого документа не может заменить, изменить или отменить вышеупомянутые требования или каким-либо другим образом отступить от них. При любых конфликтах или противоречиях между положениями настоящего документа и местным законодательством преимущественную силу имеет действующее законодательство.

Контролируемое сжигание нефтяного пятна на месте разлива

Практические рекомендации для персонала, отвечающего за управление и ликвидацию чрезвычайных ситуаций

Предисловие

Данная публикация является частью серии практических рекомендаций IPIECA-IOGP, в которой обобщаются текущие представления о действующих подходах к обеспечению готовности к разливам и их ликвидации. Серия практических рекомендаций содействует объединению и согласованию имеющихся в отрасли практических подходов и процессов, информированию заинтересованных сторон и является средством повышения осведомленности и знаний.

Серия представляет собой обновленный вариант известной «Серии отчетов по разливам нефти» IPIECA, издаваемой в 1990 - 2008 годах. Здесь затрагиваются вопросы, имеющие значение как в поисково-разведочных работах, так и в производстве и процессах транспортировки и отгрузки.

Изменения внесены в рамках совместного отраслевого проекта по вопросам ликвидации разливов нефти IOGP-IPIECA (JIP). Проект JIP была создан в 2011 году для того, чтобы предоставить знания и информацию об обеспечении готовности к разливам нефти и их ликвидации, полученные по итогам ликвидации инцидента на Мексиканском заливе в апреле 2010 года.

Исходная серия отчетов IPIECA будет последовательно изыматься по мере публикации различных документов из новой серии методических руководств в 2014–2015 годах.

Примечание о практических рекомендациях

«Практическая рекомендация» в контексте проекта JIP является изложением признанных международным сообществом руководящих принципов, подходов и процедур, которые позволят нефтегазовой промышленности обеспечить надлежащий уровень здоровья персонала, безопасности и экологической эффективности.

Практические рекомендации в конкретной области изменяются по мере появления новых достижений в технологиях, практическом опыте и научном понимании, а также по мере изменений в политической и социальной сферах.

Содержание

Предисловие **2**

Введение **4**

Общие сведения о контролируемом сжигании **6**

Наука сжигания 6

Требования к воспламенению и сжиганию 8

Принятие решений при контролируемом сжигании **9**

Принятие решений на основе анализа суммарной экологической пользы 9

Согласование с органами государственного регулирования 10

Здоровье человека и экологические вопросы 10

Оперативная осуществимость контролируемого сжигания 12

Поведение нефти и ее свойства *12*

Эмульгированная и сверхтяжелая нефть *13*

Реактивы *13*

Влияние условий окружающей среды *14*

Применение контролируемого сжигания **16**

Разливы на суше 16

Разливы на воде 17

Прибрежные и береговые линии *17*

Неконтролируемые пятна на воде *18*

Операционные риски и факторы 18

Контроль дыма (управление дымом) *18*

Биота *19*

Нагрев почвы *19*

Погодные условия *20*

Планирование сжигания 21

Оборудование, резервуары и транспортные средства группы управления сжиганием *21*

Управление дымом *21*

Эвакуация и зона безопасности *22*

Противопожарные заграждения *22*

Управление огнем *23*

План воспламенения *24*

Проведение сжигания 24

Инструктаж по безопасности перед сжиганием *24*

Воспламенение *24*

Контроль сжигания *25*

Ликвидация остатков очагов и очистка участка *25*

Действия после сжигания 25

Сводные отчеты *25*

Стабилизация аварийной ситуации *26*

Наблюдения после сжигания и контроль восстановления *26*

Реабилитация *26*

Остатки от сжигания 27

Оборудование для контролируемого сжигания **29**

Устройства для воспламенения 29

Подвесные вертолетные устройства воспламенения *29*

Переносные и мобильные платформы для воспламенителей *29*

Непромышленные устройства воспламенения *30*

Огнеупорные боны 32

Стандартные боны 33

Вспомогательные суда для контролируемого сжигания на воде 33

Вспомогательные воздушные суда для контролируемого сжигания 33

Оперативный контроль для обеспечения безопасности и управления сжиганием **34**

Действие повышенных температур на ликвидаторов 34

Поведение и распространение выбросов при контролируемом сжигании 34

Взвешенные вещества *35*

Безопасное расстояние *36*

Контроль и отбор проб выбросов *36*

Оперативное наблюдение *38*

Библиография **39**

Приложение 1. Оценка объемов сжигаемой нефти и эффективности сжигания **42**

Приложение 2. Развертывание боновых заграждений и способы буксировки **44**

Развертывание боновых заграждений для контролируемого горения 44

Способы буксировки огнеупорных боновых заграждений 45

От авторов **47**

Введение

Контролируемое сжигание нефтяного пятна представляет собой управляемое горение паров углеводородов на месте разлива. Контролируемое сжигание позволяет быстро удалить нефть на суше, снегу, льду или воде, превращая ее главным образом в CO_2 и воду. Контролируемое сжигание может быстро уменьшить объем разлитой нефти, таким образом значительно сокращая объем, подлежащий сбору, хранению, транспортировке и утилизации нефти. Контролируемое сжигание может также сократить время, необходимое на реагирование, что способствует защите окружающей среды.
Этот документ содержит сведения о процессе сжигания нефтяных пятен, а также научные аспекты процесса горения и его последствий. Здесь также приводится практическая информация о процедурах и оборудовании, необходимом во время операций по контролируемому сжиганию.

Контролируемое сжигание является вариантом реагирования, который не относится к механическим, как, например, использование диспергентов. В данном случае, вместо использования химикатов для удаления нефтяного пятна используется процесс горения паров углеводородов. Лучшая стратегия удаления разлива вероятнее всего будет включать сочетание всех доступных методов ликвидации разлива нефти. При сочетании различных методов очистки важной задачей является поиск оптимального сочетания оборудования, персонала и методов ликвидации, которое обеспечит максимальный уровень защиты окружающей среды и сократит потенциальное воздействие нефти.

- Процесс контролируемого сжигания может использоваться для удаления нефти с твердых поверхностей, почвы, льда и снега на суше, снега и льда на воде и в морских ледовых условиях.
- При разливе на воде контролируемое сжигание может быть использовано в открытых водах (на удаленной от моря территории и в прибрежных зонах).
- Горение можно повторять при наличии достаточного объема остатков нефти после предыдущей операции.
- Контролируемое сжигание может быть использовано в сочетании с другими методами для удаления различных областей одного пятна.

Летучая нефть легко поджигается, тогда как для розжига тяжелой нефти зачастую требуется использование легковоспламеняющегося вещества или стимуляторов горения, такого как дизельное топливо. Если выделяется недостаточное количество паров, горение трудно достигается и огонь может быстро погаснуть. Объем выделяемых паров зависит от количества тепла, направляемого обратно в нефть, что стимулирует дальнейшее испарение. Если нефтяное пятно слишком тонкое, то часть этого тепла проходит сквозь пятно и теряется в расположенных ниже слоях воды. Недостаточный нагрев пятна снижает скорость испарения и концентрацию паров, что в конечном итоге приводит к падению концентрации до уровня, недостаточного для поддержания горения. Сильно эмульгированную в воде нефть можно поджечь при подаче тепла, достаточного для удаления воды и выделения паров углеводородов. Во время контролируемого сжигания может потребоваться локализация нефти на воде, так как толщина пятна должна быть достаточной для розжига и поддержания горения. Как только горение будет стабилизировано, выделяемого тепла будет достаточно для распространения горения по всей толще пятна вплоть до 0,5–1 мм. Скорость горения нефти в основном зависит от типа нефти и степени ее выветривания.

Контролируемое сжигание можно успешно применять во многих различных местах обитания. При контролируемом сжигании на суше затрагиваются загрязненные болота, растительность и тундра. Контролируемое сжигание также успешно применяется как на твердом, так и разреженном льду. В водных условиях контролируемое сжигание применяется в открытых водах, прибрежных средах, закрытых бухтах и реках. Хотя основы контролируемого сжигания остаются неизменными, тактика его применения может быть различной в зависимости от условий места обитания и обстоятельств разлива. Например:

- контролируемое сжигание на суше может включать применение бульдозеров и вилочных погрузчиков, которые будут блокировать распространение и толщину пятна, а также траншеекопателей для создания рвов для сбора нефти с целью обеспечения лучшего горения;
- контролируемое сжигание на снегу и льду может не требовать использования дополнительных средств сдерживания, так как снег и лед уже являются природными преградами;
- расщелины во льду могут использоваться для создания более толстых карманов для нефти и ее хранения во время горения;
- контролируемое сжигание на воде обычно подразумевает привлечение судов для буксирования огнеупорных боновых заграждений со скоростью, достаточной для локализации и удерживания нефтяного пятна.

Сжигание нефти на суше или болотистой местности позволяет сократить влияние нефтяных разливов на окружающую среду. Сжигание растительности является часто используемым методом для защиты и сохранения некоторых экосистем. К важнейшим факторам сжигания относятся уровень воды в болотистой местности и влажность почвы. Сжигание при соответствующих условиях не ведет к повреждению корней, обеспечивая таким образом быстрое восстановление.

Опыт показал, что сжигание может быть осуществлено с обеспечением полной безопасности для ликвидаторов, общественности и окружающей среды. Расстояние отступа позволяют исключить воздействие высокой температуры при горении. Во избежание распространения огня на другие регионы создаются противопожарные заграждения.

Основные преимущества и недостатки контролируемого сжигания кратко изложены в таблице 1. Наиболее важным преимуществом является способность быстро удалять большое количество нефти. Наиболее заметным недостатком является образование клубов черного дыма, что вызывает беспокойство общественности по поводу эстетических свойств и опасностей от выбросов.

Таблица 1 *Преимущества и недостатки контролируемого сжигания*

Преимущества	Недостатки
• Быстрое удаление нефти • Минимальные требования к оборудованию • Высокая эффективность • Уменьшение объемов загрязненных отходов для утилизации • Возможность применения практически в любых средах обитания и с любыми типами нефти	• Клубы черного дыма (вопросы эстетики и опасности выбросов) • Риск распространения пожара или потери контроля над пламенем • Вероятность возникновения необходимости в удалении остатков

Метод контролируемого сжигания обеспечивает быстрое удаление больших объемов разлитой нефти; он позволяет предотвратить распространение пятна в другие области и сокращает риск контакта нефти с иными средами обитания, например береговой линией в случае с прибрежными разливами. Кроме того, контролируемое сжигание можно применять в удаленных областях, где иные методы неприменимы из-за ограничений доступности и инфраструктуры, например на льду.

В результате горения образуются взвешенные вещества (сажа). Твердые частицы на земле являются угрозой здоровью, особенно вблизи огня и под нефтяным шлейфом. Концентрации этих выбросов при контролируемом сжигании достаточно широко изучены и имеются подтверждения того, что их уровень достаточно низок для создания угрозы здоровью людей.

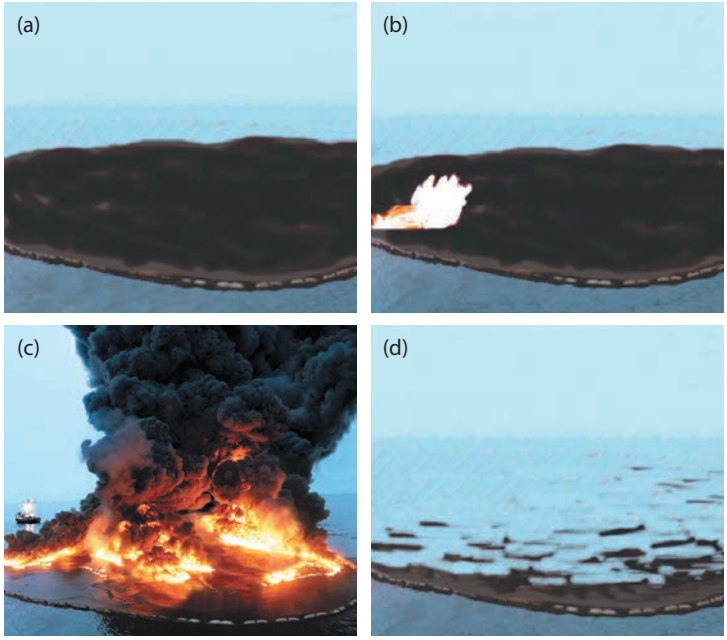
Общие сведения о контролируемом сжигании

Наука сжигания

Основы метода контролируемого сжигания схожи с любыми методиками, связанными с огнем, включая необходимость применения топлива, кислорода и тепла для розжига нефти. При нефтяных разливах топливом для поддержания горения являются нефтяные пары. Свежая нефть обычно загорается сразу после применения воспламенителя. При горении нефтяных паров выделяется тепло, которое стимулирует последующее выделение паров. Этот процесс называется выпариванием. Выделяемых из нефти паров обычно достаточно для поддержания стабильного горения, при котором скорость выделения паров и горения относительно равны. Скорость горения ограничивается объемом доступного кислорода и тепла, направленного обратно в нефть. Скорость горения также будет зависеть от типа нефти и степени его выветривания, т.е. от испарения. Если паров будет недостаточно, нефть не загорится или быстро погаснет после воспламенения. Объем выделяемых паров зависит от количества тепла, направляемого обратно в нефть, которое по оценкам составляет 2–3% от всего выделяемого тепла. Толщина пленки свежей сырой нефти должна составлять по крайней мере 1 мм, чтобы выделялось достаточно паров для розжига нефти на воде, в то время как для поддержания горения достаточно выветренной нефти требуемая толщина пленки должна составлять 2–5 мм. Для розжига тяжелой топливной нефти потребуются средства для образования и сохранения пятна толщиной около 10 мм. После воспламенения передаваемого обратно тепла, как правило, будет достаточно для продолжения горения до тех пор, пока толщина пленки не уменьшится до 2–3 мм. По мере сокращения толщины пятна ее изотермические свойства ослабляются и все больше тепла теряется под пятном (например, в почве или воде), что в конечном итоге приведет к тому, что выделяемого тепла будет недостаточно для испарения нефти и поддержания горения.

Исследования показали, что практически все типы нефти могут гореть при поддержании нужной толщины пленки. Зачастую для увеличения толщины пленки или поддержания нужной толщины пятна используются боновые заграждения и другие методы удержания нефтяного пятна.

Основные принципы контролируемого сжигания показаны на следующих фотографиях и сведены в таблицу 2 на странице 7.



Elastec Inc.

(a) *Собранная нефть, удерживаемая в огнеупорных боновых заграждениях или зоне сегрегации.*

(b) *Воспламенение — пламя, направленное на нефть, которое приводит к образованию воспламеняющихся паров.*

(c) *Пламя распространяется по пятну и сжигает нефть Толщина 1 мм.*

(d) *Когда объема выделяемых паров становится недостаточно для поддержания горения, пламя гаснет.*

Таблица 2 *Основные вопросы и ответы о контролируемом сжигании*

Вопросы	Ответы
Что горит?	Пары углеводородов из нефтяного разлива.
Как происходит горение?	Воздействие тепла на нефть приводит к выделению горючих паров, и если их концентрация достаточна, горение будет поддерживаться.
На какую глубину проникает тепло?	Лишь около 2% от выделяемого тепла направлено вниз, где оно быстро распределяется по поверхностным водам или насыщенным почвам.
Какая минимальная толщина пленки требуется для горения?	Это зависит от типа нефти, однако для устойчивого горения обычно требуется толщина около 2–4 мм.
Какова стандартная схема сжигания?	После воспламенения горение пятна распространяется по ветру, а по мере уменьшения толщины пленки до 1 мм пламя гаснет.
Какова ожидаемая эффективность удаления нефти?	Это зависит от исходной толщины нефтяного пятна. Эффективность может превышать 90%.
Какова стандартная скорость удаления нефти?	При горении нефтяного бассейна (толстое пятно) скорость горения составляет от 1 до 4 мм в минуту.
Какова стандартная скорость удаления нефти по объему?	В день можно удалять от 2000 до 5000 литров на каждый 1 $м^2$ нефтяного пятна. Если пятно находится в воде, стандартная скорость удаления составляет около 150 $м^2$ разлитой нефти в час.
Как быстро может распространяться пламя?	В случае с легкими видами нефти скорость перемещения может быть достаточно высокой (0,1–0,2 м/с); скорость распространения пламени может до двух раз превышать скорость ветра, достигая показателя в 100 км/час.
Какова высота пламени?	Как правило, высота примерно в 1,5 раза больше диаметра пламени.
Каков риск образования сажи?	Он повышается, если скорость испарения превышает скорость горения (то есть неполное сгорание из-за ограниченного объема O_2).

Выветренная или эмульгированная нефть с трудностью поддается горению, так как требуется большая энергия для удаления воды, прежде чем нефть можно будет прогреть. Кроме того, для воспламенения может потребоваться применение воспламеняющих веществ (например, дизельного топлива) или стимуляторов горения. Эмульгированная и неэмульгированная нефть на поверхности воды внутри боновых ограждений может быть сожжена, если сначала поджечь неэмульгированную часть. Тепло от горения неэмульгированной нефти ведет к отводу воды из эмульгированной нефти, и постепенно выделяемых паров становится достаточно для поддержания горения. После воспламенения большая часть эмульсий воды в нефти будет продолжать гореть. На фотографии справа показано распространение пламени с неэмульгированной на эмульгированную нефть (красным); в результате вся нефть горит одновременно.

Elastec Inc.

Горение эмульгированной и неэмульгированной нефти

Elastec Inc.

Пример остатков после эффективного многочасового сжигания нефти на море.

В результате неполного сгорания часть продукта остается после тушения огня. Это называется остатками горения. Остатки могут представлять собой как хрупкий или мягкий материал, так и жидкость, схожую с исходной нефтью. Высокоэффективное сжигание тяжелой сырой нефти может привести к формированию густого осадка, который погружается в толщу воды. Небольшое количество остатков характерно для каждой операции сжигания (см. фотографию), которые по объему составляют менее 0,1% от исходного объема нефти.

Требования к воспламенению и сжиганию

В общем, большинство типов нефти горит, если толщина пятна составляет более 2–4 мм. На суше или в болотистой местности ситуация аналогична, хотя на лугу может гореть без затухания нефтяное пятно толщиной 1 мм и менее благодаря теплу от сжигания растительного топлива. Для горения тяжелой нефти потребуется небольшое количество воспламенителя (воспламеняющего вещества или стимулятора горения), например дизельного топлива. Воспламеняющее вещество или стимулятор горения всего в нескольких местах пятна, которые по оценкам располагаются вблизи самого толстого участка или непосредственно на нем. Легкое воспламенение воспламеняющего вещества или ускорителя горения поможет нагреть нефть и повысить скорость ее испарения и воспламеняемость. После воспламенения тяжелая нефть будет хорошо гореть, и даже эмульгированная нефть может распадаться и сгорать. Характеристики горения различных типов нефти приведены в таблице 3. Эти характеристики не зависят от места разлива (не суше или воде).

Таблица 3 *Характеристики горения различных типов нефти*

Тип нефти	Общая горючесть[a]	Воспламеняемость	Скорость распространения пламени	Скорость горения[b] (мм/мин)	Образование копоти в пламени[c]	Эффективность[d] (%)
Бензин	очень высокая	очень высокая	очень высокая	4	средняя	95–99
Дизельное топливо	высокая	высокая	средняя	3,5	очень высокая	90–98
Легкая нефть	высокая	высокая	от средней до высокой	3,5	высокая	85–98
Нефть средней плотности	средняя	высокая	средняя	3,5	средняя	80–95
Тяжелая сырая нефть	средняя	средняя	средняя	3	средняя	75–90
Выветренная нефть	средняя	добавление воспламенителя	низкая	от 2,5 до 3	низкая	60–90
Сырая нефть со льдом	средняя	низкая, добавление воспламенителя	низкая	2	средняя	50–90
Легкое дистиллятное топливо	средняя	низкая, добавление воспламенителя	низкая	2,5	низкая	50–80
Тяжелое дизельное топливо	средняя	добавление воспламенителя	низкая	2 а 3	низкая	60–90
Дилбит	средняя	высокая, если свежая	средняя	2 а 3	средняя	40–60
Выветренный дилбит	средняя	добавление воспламенителя	низкая	2 а 3	средняя	50–70
Эмульгированная нефть	низкая	добавление воспламенителя	низкая	2 а 3	низкая	30–70
Битум	низкая	добавление воспламенителя	низкая	2 а 3	низкая	30–50
Отработанное масло	очень низкая	добавление воспламенителя	низкая	1 а 2	средняя	15–50

(a) Общая горючесть в целом отражает легкость воспламенения, устойчивость горения и эффективность удаления нефти. (b) Только стандартные значения. Для перевода скорости в литры/м^2/часть умножить на 60. (c) Описание с указанием степени горения и количества копоти в шлейфе (т.е. темнота или дымность шлейфа). (d) Эффективность горения здесь оценивается на основании данных за прошлые годы о зарегистрированных объемах остатков.

Принятие решений при контролируемом сжигании

Когда происходит разлив нефти, требуется провести сбор информации о различных факторах, которые могут влиять на решение об использовании контролируемого сжигания. К таким факторам относятся нормативные требования, безопасность, свойства нефти, условия окружающей среды и погодные условия, ресурсы и географическое положение. Основные вопросы приведены в таблице 4.

Таблица 4 *Факторы выбора в пользу контролируемого сжигания при ликвидации аварийного разлива нефти*

Целесообразность	Осуществимость
Подходит ли место разлива для операции сжигания? • Расстояние от загрязненной области • Расстояние от пламени до других горючих материалов • Расстояние от траектории дыма до жилых домов	Является ли нефть горючей? • Воспламеняется ли нефть (испаряется <25–30%) • Толщина нефтяного пятна меньше 2–3 мм • Эмульгирование: воды <20–25%
Возможно ли сжигание, и является ли эта операция безопасной?	Каков прогноз погоды? • Ветер <18 узлов для розжига/ <20 узлов для устойчивого горения • Если требуется применение боновых заграждений, является ли высота волны <1 м?
Законодательство и нормативные акты • Можно ли получить необходимые согласования? • Можно ли выполнить предписанные условия?	Доступность оборудования?
Каковы результаты анализа суммарной экологической пользы (NEBA), т.е. является ли сжигание лучшим вариантом в конкретном случае?	

Анализ осуществимости контролируемого сжигания зачастую включает оценку географического положения и все существующие ограничения. Например, получение согласования на проведение контролируемого сжигания может быть затруднительным при расположении пятна вблизи от:

- зон проживания людей;
- промышленных объектов с опасностью возгорания, например заводов по загрузке или производству горюче-смазочных материалов или разведке нефти, участков для военных учений или зон захоронения боеприпасов.

Сжигание в чувствительных зонах, таких как береговые линии, заповедники, птичьи колонии или государственные парки, также может быть запрещено, хотя эти области идеально подходят для контролируемого сжигания с минимальными последствиями и быстрым удалением загрязнения.

Принятие решений на основе анализа суммарной экологической пользы

Анализ суммарной экологической пользы помогает определить соответствующие стратегии ликвидации последствий, которые минимизируют общее воздействие на окружающую среду и социально-экономическую сферу. Анализ суммарной экологической пользы (NEBA) используется для планирования действий при аварийном разливе нефти и принятия решений во время процесса ликвидации последствий. Анализ NEBA рассматривает и сравнивает преимущества и недостатки различных методов ликвидации аварийных разливов нефти с неприменением каких-либо мер и с учетом оперативной обстановки и предполагаемой эффективности каждого метода и фактических условий разлива, включая его географическое расположение. Ни один из методов ликвидации не является полностью эффективным и безопасным. В любом процессе ликвидационных работ зачастую предусматривается применение различных методов, поскольку:

- каждый метод обладает различными сильными и слабыми сторонами относительно условий разлива;
- условия разлива меняются с течением времени;
- крупные разливы с пятнами, простирающимися на большие площади, можно более эффективно устранить, используя одновременно несколько методов в различных местах.

Анализ NEBA следует проводить совместно с соответствующими регулирующими органами и прочими заинтересованными сторонами в рамках процесса планирования действий при аварийном разливе нефти (см. IPIECA-IOGP 2015).

Согласование с органами государственного регулирования

В большинстве стран на данный момент не существует установленного порядка получения согласования на проведение контролируемого сжигания. В США, где действует наиболее развитое законодательство в области управления и утверждения процесса контролируемого сжигания:

- контролируемое сжигание включено во многие межштатные и региональные планы ликвидации аварийного разлива нефти, а процесс согласования на применение контролируемого сжигания достаточно полно определен на региональном уровне в рамках Национального плана ликвидации аварийного разлива нефти США;
- процесс принятия решений относительно применения контролируемого сжигания учитывает масштаб разлива и предполагаемого сжигания: более крупные разливы требуют участия большего количества регулирующих органов, а запросы на получение согласования требуют более внимательного изучения; при небольших разливах и масштабах сжигания согласование может быть получено у местных ликвидаторов и пожарников;
- на региональном уровне определены прибрежные зоны, получившие заблаговременное одобрение, для упрощения процесса принятия решений.

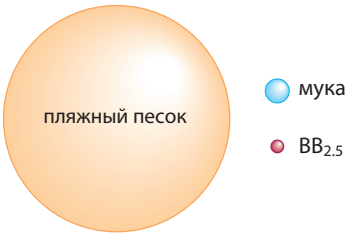
По мере того, как все большее количество стран прибегают к контролируемому сжиганию в операциях по ликвидации разливов нефти, потребуется разработка соответствующего порядка согласования, аналогичного порядку согласования применения диспергентов. А это потребует привлечения государственных органов и прочих заинтересованных сторон. Во многих штатах/провинциях уже разработаны положении, регулирующие вопрос выжигания на суше, поэтому данные положения вполне могут подойти для контролируемого сжигания нефти.

Как правило, регулирующие органы во время ликвидационных работ больше озабочены безопасностью проводимых операций (т.е. управлением пламенем и безопасностью ликвидаторов) и общественной безопасностью (т.е. управлением пламенем и вероятностью воздействия дыма на качество воздуха и здоровье людей). Сведения по безопасности приведены в разделе *Оперативный контроль для обеспечения безопасности и управления сжиганием* (страница 34). В некоторых юрисдикциях в особых случаях (т.е. в чрезвычайных ситуациях) ограничения по качеству воздуха перестают действовать.

Здоровье человека и экологические вопросы

Основные вопросы здравоохранения касаются выбросов при контролируемом сжигании. Данные показывают, что при горении нефть главным образом выделяет в атмосферу CO_2 и воду (до 85% выбросов), инертные углеродные частицы, то есть сажу, которая окрашивает шлейф дыма (около 10%), и небольшое количество различных других газов и ПАУ (полициклических ароматических соединений — органических соединений, содержащих углерод и водород). Среди частиц сажи особое внимание главным образом уделяется классу взвешенных веществ, $ВВ_{2,5}$ — частиц размером 2,5 мкм (рис. 1).

Рисунок 1 *Относительные размеры частиц*
(на основе данных, любезно предоставленных Национальной координационной группой по лесным пожарам)



Вдыхание частиц $ВВ_{2,5}$ может быть опасным для здоровья уязвимых групп, таких как пожилые люди, дети и люди с легочными болезнями. Проблемы охраны здоровья при выбросе $ВВ_{2,5}$ связаны с долгосрочным воздействием, а не краткосрочными процессами (такими как горение). Тем не менее, воздействие этих взвешенных веществ в существенных количествах может привести к раздражению глаз, носа, гортани, дыхательных путей и может усугубить имеющиеся болезни, такие как астма. Эти последствия, как правило, носят временный характер и устраняются после прекращения воздействия.

Следует отметить, что:

- углеводороды испаряются из нефтяных пятен независимо от горения;
- данные мониторинга неизменно показывают, что концентрации частиц в выбросах быстро снижаются по мере увеличения расстояния до места сжигания;
- данные мониторинга при пожарах во время войны в Кувейте и при разливе Deepwater Horizon не подтверждают того факта, что концентрации выбросов при горении могут создавать проблемы для человеческого здоровья.

Газы и выбросы в атмосферу, характерные для контролируемого сжигания, приведены во вставке 1. Ранее вставал вопрос о выделении диоксинов и дибензофуранов при контролируемом сжигании. Анализ перемещаемых ветром частиц и остатков после нескольких операций сжигания показал присутствие диоксинов и дибензофуранов на естественных уровнях, что подтверждает отсутствие выделения этих веществ при контролируемом сжигании.

Вставка 1 *Газы и другие выбросы в атмосферу при контролируемом сжигании*

- **Углекислый газ (CO_2):** углекислый газ является конечным продуктом сгорания и выделяется во время контролируемого сжигания. Нормальный уровень в атмосфере составляет около 300 частей на миллион, тогда как вблизи пламени уровни могут достигать приблизительно 500 частей на миллион, что не представляет угрозы для здоровья людей. Концентрации на уровне земли обычно намного выше, чем в шлейфе.

  Кроме выделения CO_2 и воды (объем которых составляет приблизительно 85% от содержания дыма) и взвешенных веществ (ВВ, сажа в дыме), при контролируемом сжигании выделяется ряд других веществ с низкой концентрацией.
- **Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ):** концентрация ПАУ в дыме и в твердых частицах на уровне земли зачастую на порядок меньше, чем исходная концентрация ПАУ в разлитой нефти. Сюда включается концентрация ПАУ с многокольцевой структурой (5 или 6 колец), которые уничтожаются огнем.
- **Летучие органические соединения (ЛОС):** при горении нефти эти элементы выделяются, а затем сгорают или освобождаются. Концентрация летучих соединений во время нескольких испытаний по сжиганию была относительно низкой по сравнению с испарениями из несгоревшего пятна.
- **Карбонилы:** при горении нефти выделяется небольшое количество частично окисленных соединений, которые иногда называются карбонилами или, по их основной составляющей, альдегидами (формальдегидами, уксусными альдегидами и т.д.) или кетонами (ацетонами и т.д.). Объем выделений карбонилов при горении сырой нефти очень низок и находится ниже опасных для здоровья концентраций даже непосредственно вблизи пламени.
- **Окись углерода:** уровень окиси углерода зачастую находится ниже рабочего предела большинства измерительных приборов, поэтому он не представляет угрозы для здоровья человеку. Концентрацию удается определить только при неэффективном горении, например при распылении воды на пламя.
- **Диоксид серы (SO_2):** это образование в основном не достигает каких-либо значимых уровней, а иногда и вовсе не может быть обнаружено при контролируемом сжигании. SO_2 вступает в реакцию с водой, образуя серную кислоту, уровень которой находится ниже уровня содержания серы в разлитой нефти.
- **Другие газы:** кроме прочего, предпринимались попытки измерить содержание оксидов азота и других постоянных газов. На протяжении ряда экспериментов ни один из этих газов обнаружен не был.

Другие вопросы, касающиеся контролируемого сжигания, связаны с потенциальным качеством воды и воздействием на окружающую среду (см. таблицу 5). Предыдущие операции сжигания и испытания показывают, что контролируемое сжигание оказывает минимальное воздействие на качество воды. Исследования показывают, что во время сжигания в толщу воды не попадают измеримые объемы нефти. Риск воздействия на качество воды возрастает в случае неприменения контролируемого сжигания при нефтяных разливах на воде. При разливах на суше или на береговых линиях удаление поверхностной нефти путем сжигания позволяет достичь положительного результата, а влияние тепла и вопросы контроля горения могут быть решены на этапе планирования и выполнения операции. Удаленность операций по контролируемому сжиганию от уязвимых групп является основным фактором, ограничивающим возможное воздействие на уязвимые группы, является удаленность проведения операций по контролируемому сжиганию.

Таблица 5 *Проблемные вопросы, связанные с контролируемым сжиганием*

Вопрос	Снижение рисков
Здоровье людей	• Чтобы выделяемые взвешенные вещества не превышали установленные пределы, огонь должен быть удален от населенного пункта, находящегося по направлению ветра, не менее чем на 1 км.
	• Если по направлению ветра находится множество населённых пунктов, то огонь должен быть удален не менее чем на 4 км для предоставления дополнительного времени на укрытие и временную эвакуацию.
Качество воздуха	• Предполагаемые выбросы и безопасные расстояния.
Качество воды	• Исследования показывают, что влияние сжигания минимально.
Воздействие на почву	• Зависит от среды обитания и сезона, но эти факторы могут быть учтены при планировании операции сжигания и выборе времени.
Воздействие на животных и растения	• Зависит от среды обитания и сезона, но эти факторы могут быть учтены при проектировании операции сжигания, выборе времени и путем отпугивания животных.
Нагрев поверхностных слоев воды и почвы	• Вода является интенсивным поглотителем тепла. Исследования показывают, что горение оказывает незначительное воздействие на температуру поверхностных вод или почвы.

Оперативная осуществимость контролируемого сжигания

Существует несколько ключевых моментов, которые следует учитывать при определении оперативной осуществимости контролируемого сжигания. При оценке осуществимости контролируемого сжигания основным приоритетом должна всегда оставаться безопасность ликвидаторов. К процессу горения требуется привлекать специально обученных ликвидаторов, при этом предпочтение должно отдаваться людям, имеющим опыт проведения контролируемого сжигания. Также требуется соответствующее оборудование, необходимое для розжига и поддержания пламени. Ликвидаторы и оборудование должны быть готовы и доступны в тот момент, когда будет возможно начать операцию контролируемого сжигания. Для обеспечения коммуникации и информирования должна быть налажена соответствующая организационная структура. К необходимым должностям относятся: «руководитель операции сжигания», «группа проведения воспламенения», «группа контроля горения» и т.д. На успешность операции, стратегию и тактику сжигания, необходимость согласования для проведения сжигания оказывают влияние обстоятельства разлива (например, тип нефти, ее поведение и свойства, местоположение, погодные условия и т.д.).

Поведение нефти и ее свойства

После разлива нефти начинается ряд процессов, определяемых условиями разлива, изменяющих ее состояние. Этот процесс известен как выветривание. Выветривание представляет собой изменение физических и химических свойств нефти под влиянием природных процессов, включая распространение, испарение, растворение, фотоокисление, эмульгирование, осаждение и биологическое разложение.

Подробную информацию о поведении нефти и ее свойствах можно найти в техническом информационном документе ITOPF *«Fate of Marine Oil Spills»* (*«Поведение нефти при разливе на море»*, см. *перечень литературы* на странице 39).

Чтобы определить осуществимость контролируемого сжигания в конкретных условиях, важно понимать принципы изменения свойств нефти в течение этих процессов, особенно в части способности нефти к воспламенению и поддержанию горения. Заблаговременное знание отдельных свойств нефти, например способность нефти к эмульгированию или скорость испарения при различных температурах, ускорит процесс принятия решений во время чрезвычайной ситуации.

Основным свойством нефти, определяющим ее горения, является летучесть. Как правило, чем больше процентное содержание летучих соединений в нефти, тем выше ее способность к воспламенению и поддержанию горения. Скорость испарения зависит от температуры окружающего воздуха и скорости ветра. Как правило, компоненты нефти с точкой кипения <200°C испаряются в течение 24 часов. В связи с этим может быть трудно разжечь выветренную нефть (из-за испарения большинства более летучих соединений) и тяжелую нефть, для которых характерно низкое содержание летучих соединений. В этом случае может потребоваться увеличить температуру розжига, воспользоваться воспламеняющими веществами или стимуляторами горения и/или увеличить время розжига.

Эмульгированная и сверхтяжелая нефть

Обычно неустойчивые нефтяные эмульсии могут разгораться и поддерживать горение, так как в процессе горения эмульсия быстро распадается. Устойчивые нефтяные эмульсии, наоборот, трудно воспламеняются, так как требуется большое количество энергии для прогрева воды (чтобы она выпарилась) и последующего прогрева разлитой нефти. Таким образом, прежде чем можно будет поддерживать устойчивое горение, потребуется дополнительная энергия для испарения нефти из эмульсии.

Испытания по сжиганию показали, что после розжига эмульгированная нефть могла гореть достаточно долго, так как выделяемого тепла хватало для распада эмульсии и продолжения горения пятна. Эмульгированная нефть может сжигаться вместе с неэмульгированной, так как тепла от горения неэмульгированной нефти будет достаточно для распада эмульсии (см. фотографию на странице 7).

Тяжелая нефть не содержит много легких летучих углеводородов. Тем не менее, в настоящее время считается, что, несмотря на мнение о плохом или невозможном горении, тяжелая нефть в большинстве случаев хорошо сгорает. Также проводились испытания по сжиганию битума (сверхтяжелой нефти) вместе с водой, которые показали достаточный потенциал полезного сжигания. Тяжелая нефть, например бункерное топливо, также хорошо горит. При горении тяжелой нефти уровень выбросов достаточно низок по сравнению с сырой нефтью и, в частности, в атмосферу выпускаются значительно меньше летучих соединений и ПАУ. Остатки от горения тяжелой нефти отличаются высокой вязкостью, и при охлаждении могут затвердевать, а иногда принимать «стеклянную» форму.

Реактивы

Химические добавки (реактивы) для стимулирования воспламенения, улучшения качества горения или управления дымообразованием изучались на протяжении многих лет. К этим добавкам относятся реагенты для разложения эмульсии, реагенты для сбора нефти, ферроцены, ускорители или стимуляторы горения, а также сорбенты (см. описание ниже). Обратите внимание, что использование всех добавок, за исключением сорбентов, во время нефтяных разливов, скорее всего, потребует предварительного получения одобрения в соответствующих государственных органах. В настоящее время для использования допущены только некоторые.

- **Реактивы для разложения эмульсии и ингибиторы** предназначены для отслоения воды от нефти после выветривания или для ограничения пенообразования в эмульсиях. Эти добавки недостаточно широко использовались в полевых испытаниях и редко применяются для разливов на воде или береговой линии. Они не потребуются при разливах на суше.
- **Реагенты для сбора нефти** были разработаны и испытаны с целью увеличения толщины нефтяных пятен на воде для улучшения свойств горения. Испытания на открытом воздухе в условиях льда и на открытых водах показали, что реагенты для сбора нефти эффективны для увеличения толщины пятна. Реагенты для сбора нефти наиболее эффективны в спокойных спокойных погодных условиях, поскольку скорость ветра выше 1,5 м/с или наличие волн может отрицательно сказаться на действии реагента.
- **Ферроцены** предназначены для тушения пожаров в дикой природе с целью ограничения или исключения образования сажи при горении. Испытания показали, что при смешивании с разлитой нефтью ферроцены демонстрируют высокую эффективность при содержании 1–2%. Эти вещества обладают большей плотностью в сравнении с нефтью и водой, поэтому при разливах на воде подготовка и нанесение этих веществ осуществляются непосредственно перед началом сжигания. Нанесение этого вещества затруднительно ввиду временных ограничений. Для обеспечения плавучести ферроцены могут заключаться в капсульную оболочку, что позволяет добавлять их в огонь на воде сразу после розжига, однако в настоящее время такое применение не является общепринятой практикой.
- **Ускорители и стимуляторы** (воспламенители) представляют собой вещества, которые при попадании в определенное место на нефтяном пятне позволяют обеспечить выделение достаточного количества углеводородов для розжига нефти. После воспламенения тепло, выделяемое при горении ускорителя, направляется на ускорение испарения разлитой нефти и поддержание горения.
- **Сорбенты**, например болотный мох, доказали свою эффективность при впитывании нефти из отложений и почвы, повышая эффективность удаления нефти путем извлечения и сжигания дополнительных объемов нефти.

Влияние условий окружающей среды

Условия разлива и прогноз погоды могут повлиять на принятие решения об использовании метода контролируемого сжигания. Ниже приведены примеры различных погодных условий и их влияния на контролируемое сжигание:

- Скорость ветра, порывы и изменения в направлении ветра, а также разливы на воде, высота и геометрия волны могут значительно повлиять на безопасность и эффективность операций сжигания.
  - Сильные ветра могут усложнить задачу розжига нефти или значительно повысить опасность этой операции. В целом, нефть может воспламеняться и гореть при скорости ветра менее 10 м/с (<18 узлов). Тем не менее, для обеспечения контроля пламени желательно, чтобы скорость ветра была ниже (<5 м/с и <10 узлов).
  - Испытания в резервуарах показали, что при скорости ветра более 15 м/с (более 30 узлов) пламя не может продвигаться в направлении против ветра. В зависимости от расположения пламени на пятне, этот эффект может как содействовать управлению пламенем, так и ограничить объем удаляемой нефти.
  - При высоких скоростях ветра становится сложно поддерживать достаточную концентрацию испарений, и огонь может погаснуть.
- Испытания в резервуарах показали, что при температурах от -11 до 23 °C и температурах воды от -1 до 17 °C свойства горения нефти не изменяются.
- Дождь может снизить эффективность горения из-за эффекта охлаждения воды и возможности нарушения однородности пятна, что сокращает испарение.
- Сильное волнение при разливах на воде затрудняет задачу контроля нефти и сохранения нужной толщины пленки, необходимой для поддержания нужной концентрации испарений. Подобранные боновые заграждения могут могут не справиться с волнами высотой более 1 метра.
- Лед оказывает минимальное воздействие на возможность горения пятна на суше. На воде лед может ослаблять волны и помогать сдерживать пятно, повышая таким образом способность горения.
- Вода, лед и снег на земле могут выступать изоляторами, защищая почву и растения от направленного вниз тепла.

Безопасность горения ночью может быть обеспечена только при наличии достаточных сведений о свойствах пятна и погодных условиях. Существуют примеры проведенных ночью операций сжигания при разливах вблизи берега или в болотистой местности. В этих случаях ликвидаторы обладали достаточными данными о концентрации и расположении нефти и были приняты соответствующие меры предосторожности для защиты от распространения пламени на окружающие районы. Сжигание в ночное время является относительно безопасным методом в случаях морских разливов, для которых характерна достаточная толщина и неконтролируемость пятна, особенно если разлив произошел в открытой части моря, известен его масштаб и приняты меры по перенаправлению проходящих судов. Однако, буксирование заграждений в ночное время в большинстве случае является небезопасной операцией.

Успешное сжигание в болотистой местности хорошо документировано, и имеется важная информация о защите болотных растений и лучшем времени года для проведения операции сжигания. Например:

- Заливка водой является удобным методом смывания нефти в болотистой местности для последующего сжигания. Это позволяет защитить корни растений от тепла и повысить уровень управления огнем. Для заливки водой иногда можно прибегнуть к способу возведения вала через дренажные канавы или перекачиванию воды на участки с повышенной высотой. Следует позаботиться о том, чтобы соленость заливаемой воды соответствовала ее текущему уровню в болотистой местности, а после сжигания должны быть возвращены исходные условия дренажа.
- Лучше всего сжигание осуществлять, когда болота увлажнены, а почва — насыщена, т.е. весной. Было отмечено, что насыщенные водой грунты обеспечивают достаточную изоляцию от тепла при горении, и температура остается ниже точки воздействия на биоту почвы и корни растений. В сухое время года в процессе принятия решения поможет анализ суммарной экологической пользы (NEBA).

Лед и снег в холодное время года в умеренном климате, гористой местности, в Арктике или Антарктике может служить природной преградой для распространения разлитой нефти. Снег и лед также играют роль барьера, защищающего от проникновения нефти в почву и от нагрева почвы при горении. Многие операции сжигании проводились на загрязненном нефтью снегу, на льду и даже среди льдин (см. фотографии справа). Большинство ранних исследований контролируемого сжигания, проводимых в Канаде, помогли разработать меры ликвидации последствий разлива нефти на морском льду. Сжигание можно проводить, если нефть:

- находится в условиях сплоченного пакового льда (сплошной лед на 7/10 покрытия или больше);
- находится в условиях плавающего льда или обладает достаточной толщиной для поддержания горения (дрейфующие лед от 2/10 до 6/10 покрытия);
- находится внутри огнеупорных боновых заграждений (обычно в открытой воде с объемом льда до 1/10 покрытия);
- находится внутри плавучей льдины или удерживается ветром и обладает достаточной толщиной для поддержания горения;
- находится в бассейне таяния на ледяном покрове;
- находится в открытых трещинах или полосах на льду.

Environment Canada

Слева: сжигание нефти, полностью находящейся внутри ледяных обломков.

Ниже: сжигание нефти в расщелинах во льду после экспериментального разлива.

Environment Canada

Применение контролируемого сжигания

Важным преимуществом контролируемого сжигания является тот факт, что этот метод может эффективно применяться на суше, на море, в условиях снега и льда. В этом разделе описывается процесс применения метода контролируемого сжигания в различных условиях.

Разливы на суше

Сжигание нефти на суше является устоявшейся техникой, которая применяется чаще, чем при разливах на воде. Отличительные вопросы, возникающие при контролируемом сжигании на суше:

- Основным вопросом является воздействие нефти и выделяемого тепла на почву и растения. Некоторые виды растений очень чувствительны к огню, в то время как чувствительность других видов может быть различной.
- Предыдущие факты сжигания в определенном местоположении (т.е. применение метода контролируемого сжигания или выжигания в прошлом) должны быть проанализированы и приняты во внимание. История поведения пламени и данные о восстановлении среды обитания помогут оценить последствия сжигания и восстановление. Во многих странах часто проводятся операции выжигания для создания или поддержания условий дикой природы (например, на лугах, пастбищах, в лесах) и решения проблем, связанных с инвазивными видами. В настоящее время по вопросу выжигания имеется множество литературы и накопленных знаний, которые могут использоваться в вопросах контролируемого сжигания на суше.
- Влияние тепла и последствия для подпахотных слоев почвы (включая корни растений, клубни и микроорганизмы): во многом зависит от влажности почвы, глубины сорбции нефти и интенсивности огня. Если огонь повреждает почву и корни, восстановление значительно замедляется. Для обеспечения соответствующей изоляции от тепла требуется создавать условия стоячих вод и насыщенных почв.
- Объем нефти, попавшей в почву, и глубина проникновения, до и после возможного сжигания: если до сжигания проникновение небольшое, то большую часть нефти можно будет удалить. Разливы в торфяной местности вызывают трудности, так как, согласно исследования, пламя в сухой местности трудно поддается тушению. Тем не менее, насыщенный водой торф не горит, поэтому разливы в областях увлажненного торфа подходят для применения метода контролируемого сжигания.

С точки зрения сжигания, большинство вопросов, характерных для операции на суше, применимы и к операциям на воде. Тем не менее, существует ряд важных отличий:

- Простота воспламенения и толщина пятна могут не представлять проблем, если доступен горючий материал (горючее топливо), например сухая трава. Сжигание в местах наличия сухого горючего материала или древесины заключается в простом розжиге этого материала.
- Процедура управления огнем на суше отличаются от таковых на воде. Во-первых, по периметру предполагаемой области горения необходимо создать противопожарное заграждение. Иногда в качестве противопожарного заграждения могут выступать естественные барьеры, такие как реки, дороги и т.д. После установки противопожарного заграждения розжиг следует начинать с подветренного положения для обеспечения лучшего контроля, так как огню сложно распространяться против ветра. После розжига пламя необходимо контролировать, особенно вблизи противопожарных заграждений.
- Должны быть предусмотрены соответствующие ресурсы для тушения пламени и защиты от неуправляемого распространения пожара. К таким ресурсам обычно относятся обученные пожарные бригады. После тушения основного пламени в течение нескольких часов потребуется контролировать весь район, вплоть до охлаждения горячих точек и исключения вероятности повторного возгорания (вспышки).
- После тушения пламени потребуется мониторинг, включающий контроль всей местности со сбором образцов для последующего анализа, а также прямое наблюдение поверхностных слоев. Подлежащие сбору данные: (1) факт полного сжигания нефти; (2) остатки нефти, которые могут повлиять на последующий рост растений; (3) факты проникновения нефти в почву; (4) наличие несгоревшей нефти, требующей последующей очистки (и если да, то имеется ли возможность сжигания?).

Создание противопожарных заграждений может быть затруднено в болотистой местности, так как на периферии зачастую прорастают уязвимые виды. Для создания противопожарных заграждений в болотистой местности могут применяться глиссеры для обрезки растительности и/или пропитывания периферийного участка вокруг загрязненной растительности.

Разливы на воде

Базовый процесс выглядит следующим образом: (a) сбор нефти внутри огнеупорного бонового заграждения; (b) медленное движение огнеупорного бонового заграждения против течения для перемещения пятна в высшую точку заграждения и повышения его толщины; (c) воспламенение нефти. В большинстве случаев огнеупорные боновые заграждения развертываются по направлению ветра разлива, а затем буксируются. Когда внутри бонового заграждения собирается достаточное количество нефти, она поджигается, что показано на фотографии справа. Если пламя гаснет из-за недостатка нефти внутри заграждения, то для возобновления горения судна и буксируемые боны можно направлять по ветру с последующим поворотом против ветра. Управление пламенем на воде в чрезвычайной ситуации может осуществляться путем отвязывания одного края заграждения или путем увеличения скорости буксирования для разрыва заграждения. Любое действие ведет к быстрому уменьшению толщины пятна, замедлению испарения и снижению способности горения.

Береговая охрана США

Координация судов при буксировании, розжиге и вспомогательных операциях при сжигании нефти на воде.

Боновое заграждение обычно остается развернутым до момента тушения пламени. Персонал воздушного или крупнейшего судна должен регулярно проверять процесс горения и буксирования.

Другой возможной ситуацией при разливах на воде является разлив и удерживание нефти на льду или среди льдин. Летучие масла, если доступны, могут быть воспламенены напрямую, с применением или без применения ускорителя горения. В прошлом операции сжигания проводились в различных условиях морского льда, ограничивающего распространение нефти (наледи, глыбовый лед, дрейфующий и паковый лед) (Buist, *et al.*, 2013). Если разлитая нефть оказывается внутри некоторого природного «контейнера», она становится недоступной, пока теплый воздух не растопит лед и нефть не сможет переместиться на поверхность льда.

Прибрежные и береговые линии

Естественные барьеры, такие как береговые линии, волнорезы, отмели или морской лед, могут сдерживать нефть, которую можно сжигать без применения огнеупорных боновых заграждений. К таким средам обитания относятся, среди прочих, береговые уступы, скалы, гравий, дамбы, волноотводы и песчаные склоны. Если толщины нефтяного пятна достаточно для выделения нужного объема испарений, способного обеспечить горение, а прочие условия не создают дополнительных ограничений, то возможно применение метода контролируемого сжигания. При этом должно быть соблюдено безопасное расстояние между нефтяным разливом и горючими материалами, такими как деревья и зоны обитания. Операции сжигания у береговой линии успешно проводились в Арктике, особенно показательны случаи, когда нефть удерживалась непосредственно береговой линией. При наличии ветра на берегу нефть собирается напротив береговой линии, в результате чего увеличивается толщина пятна и горение может поддерживаться дольше.

Возможны случаи, когда нефть застревает на мелководье у берегов, что создает опасность для ликвидаторов при выполнении ликвидационных работ механическим методом. В этом случае сжигание становится единственным возможным решением, так как этот метод обладает минимальными логистическими требованиями и позволяет выполнить розжиг на расстоянии. Противопожарные заграждения в этих местах могут включать зоны прибоя и незаросшие береговые области, очищенные от незагрязненного нефтью мусора. Период возможного применения метода контролируемого сжигания относится на промежуток между отливами и приливами.

Четыре операции сжигания неконтролируемых пятен в море

Береговая охрана США

Неконтролируемые пятна на воде

Для сжигания неконтролируемых пятен на воде имеется две возможности: (1) в зонах конвергенции; (2) когда условия разлива образуют на воде множество нефтяных пятен достаточной толщины. Зоны конвергенции представляют собой поверхностные явления, движимые ветрами, в результате которых разлитая нефть естественным образом собирается в пятна увеличенной толщины, которые могут быть пригодны для сжигания. Контролируемое сжигание неконтролируемых пятен проводится достаточно редко, однако это возможно, если толщина пятна достаточна. Если нефтяное пятно обладает достаточной толщиной, то в качестве первой меры может быть целесообразно сжечь как можно больше нефти, после чего размещаются огнеупорные боновые заграждения для сбора оставшихся пятен для повторного сжигания.

При сжигании неконтролируемого пятна персонал должен исключить прямую связь сжигаемой нефти с источником, чтобы защититься от бесконтрольного распространения пламени. В ходе аварии на Macondo часть пролитой нефти была подожжена без средств ее удержания (см. фотографию слева). Сжигание неконтролируемых пятен привело к тому, что потребовалось провести несколько подобных операций, однако это позволило удалить значительно больший объем нефти.

Операционные риски и факторы

Сжигание нефти на суше может создавать опасности, не характерные для сжигания на море. Например, море выступает барьером между пламенем на воде и береговой линией, защищая от бесконтрольного распространения пламени; однако при сжигании на суше разрыв между зоной сжигания и иными возможными очагами воспламенения отсутствуют. Поэтому при проведении операции сжигания на суше необходимо принимать особые меры предосторожности. К рискам внутри или поблизости областей сжигания относятся:

- другие горючие материалы, которые не должны загореться;
- физические источники опасности, такие как мусор, колючая проволока, и т.д.;
- районы с мягкой землей, ямами или крутыми склонами;
- районы, где могут застревать транспортные средства.

Контроль дыма (управление дымом)

Для определения стратегии сжигания необходимо провести оценку возможного воздействия дымового шлейфа на здоровье людей. Размер и траекторию дымового шлейфа можно менять за счет уменьшения масштабов отдельных очагов горения, а также за счет проведения операций при различных направлениях ветра и в различное время суток. Как правило, безопасное расстояние до места проживания людей составляет минимум 1 км по ветру от места сжигания (см. таблицу 5 на стр. 12). Этот расчет основан на скромных оценках разбавления концентраций $ВВ_{2,5}$ до значений ниже порога 24-часового воздействия или 35 мкг/м^3. Аналогичное пороговое значение относится и к ликвидаторам, работающим на месте сжигания, несмотря на то, что использование средств индивидуальной защиты позволяет свести воздействие к минимуму или полностью исключить его.

Биота

При принятии решения о проведении контролируемого сжигания особое внимание следует уделить биологическим видам в месте разлива, включая:

- птиц, особенно в период гнездования;
- чувствительные растения в сезон роста;
- землеройные и гнездящиеся животные, не являющиеся доминантными;
- мигрирующие виды и виды, стремящиеся использовать зону разлива для поиска пищи и кормления;
- воздействие дымового шлейфы на соседние места обитания.

Использование анализа суммарной экологической пользы при планировании операции по ликвидации последствий поможет заблаговременно оценить перечисленные выше факторы. Быстрое удаление нефти с помощью контролируемого сжигания может ограничить и/или исключить воздействие нефти на окружающую среду. При планировании сжигания учитывается следующее:

- местная дикая природа; возможно, следует рассмотреть вопрос отпугивания животных;
- охраняемые виды, которые должны учитываться при планировании и выполнении операции; при обращении с охраняемыми видами может потребоваться привлечение специально обученного и лицензированного персонала.

Следует отметить, что операции сжигания проводятся в некоторых наземных местах обитания в рамках их жизненного цикла, например в сосновых лесах и на многих лугах.

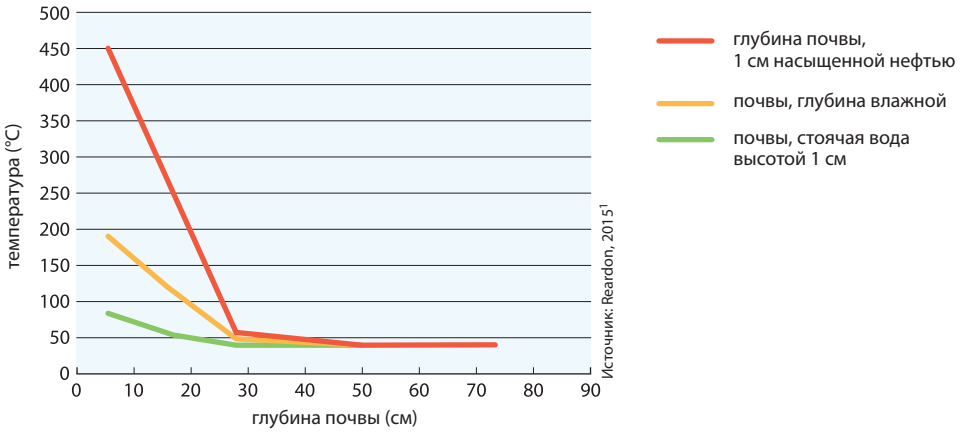
Нагрев почвы

Нагрев почвы может влиять на растительность путем изменения свойств почвы и повреждения частей растений под землей, например корней и клубней. Повреждение и гибель микроорганизмов и растительности может возникать, если температура превышает пороговое значение в 60°C. Помимо глубины и степени нагрева почвы, воздействие огня на почву зависит от свойств различных видов, например от глубины проникновения корней и чувствительности к нагреву. Чтобы повысить качество оценки возможного воздействия контролируемого сжигания, создана информационная система последствий от пожара США (FEIS), которая содержит сведения о воздействии огня на растения и животных и может применяться в отношении других местоположений с аналогичной растительностью. База данных FEIS доступна по адресу www.feis-crs.org/beta.

Наблюдения интенсивности энергии, выделяемой при горении нефтяного топлива во время контролируемого сжигания, указывают на серьезный нагрев почвы. Тем не менее, нагрев, который ведет к передаче тепла из зоны горения в почву, зависит от ряда факторов, включая влажность почвы. Исследования показали, что небольшой процент от общего объема энергии, выделяемой при сжигании, направляется вниз в почву, но при наличии влаги значение температуры не превышает 100°C, пока влага не уходит из почвы или не перемещается на более низкие уровни.

Результаты лабораторных операций сжигания в нефти на образцах грунта показали влияние воды в почве на передачу тепла в почву и внутри нее (см. рис. 2 на стр. 20). Максимальный уровень температуры на поверхности почвы зависит от насыщения водой. Тем не менее, при высокой влажности максимальная температура почвы на глубине более 2 см не превышала 60°C, за исключением случаев очистки почвы, насыщенной дизельным топливом. Результаты подтверждают применимость метода контролируемого сжигания при различных уровнях повышенной влажности почвы.

Рисунок 2 *Данные лабораторных операций сжигания о влиянии уровня влажности на нагрев почвы*



Погодные условия

Некоторые погодные условия могут влиять на процесс планирования и реализации сжигания из-за вопросов, связанных с безопасностью и концентрацией $ВВ_{2,5}$. К таким условиям относятся инверсия температуры воздуха (текущая или прогнозируемая), что препятствует подъему дымового шлейфа и разбавлению составляющих дыма. На приведенной ниже фотографии показаны последствия влияния ветра и инверсии температуры на дымовой шлейф, который двигался горизонтально на протяжении одного километра.

Дымовой шлейф, движущийся вдоль земли под действием бокового ветра и инверсии температуры.

Environment Canada

Еще одним примером является погодный фронт, который по прогнозу может двигаться в сторону разлива в течение следующих 12 часов; это явление может привести к быстрым изменениям в поведении ветра (скорости и направлении) или выпадению осадков. В зависимости от предполагаемого масштаба и продолжительности горения может быть целесообразным завершить процесс до наступления погодного фронта, чтобы избежать возможных осложнений из-за дождя или снега в области нефтяного пятна, воздействия ветра на управление пламенем, а также проблем, связанных с траекторией движения дыма вблизи чувствительных мест обитания.

[1] Reardon, James, 2015. Лесники у пожарной лаборатории лесной службы США в г. Мзула, штат Монтана. Обсуждение результатов после сжигания на грунтовом слое, проведенном Американским институтом нефти.

Планирование сжигания

Перед проведением контролируемого сжигания должен быть подготовлен и утвержден план сжигания, который в минимальной степени описывает обстоятельства разлива, предполагаемые действия в процессе сжигания и соответствующие меры предосторожности. Общий план или шаблон плана сжигания могут быть подготовлены заблаговременно. В них включается максимум практических сведений из таблицы 6, которые ускорят последующую подготовку конкретного плана сжигания с учетом фактических условий.

Таблица 6 *Содержание общего плана сжигания*

Общее содержание	Составные части плана
Цель сжигания и ожидаемые результаты	План коммуникаций, включая контакты местных пожарных бригад: • ключевой персонал служб • планы доведения информации до общественности
Описание физических характеристик места сжигания и правовое описание на основании карт и фотографий: • обстоятельства разлива и состояние выветривания нефти • риски и проблемы в области сжигания • дикая природа в области сжигания, требующая внимания*	
Сферы ответственности ликвидаторов в группе и контактная информация	План воспламенения
Оборудование и расходные материалы: • воспламенение** и управление пламенем • транспортные средства и суда • поддержка с воздуха • средства индивидуальной защиты • инструменты для ликвидации оставшихся очагов и окончательной очистки	План мероприятий по технике безопасности и гигиене труда, включая: • контроль / тушение пламени (если требуется) • план эвакуации ликвидаторов с соответствующими картами • план эвакуации населения • правила навигации судов на воде и движения транспортных средств на земле
Разработка, размещение и создание противопожарных заграждений, плюс контроль по периметру	Контрольный список годности
Информация об управлении дымом и прогнозировании траектории шлейфа	План осмотра и наблюдения
Дата подготовки плана и заверяющие подписи	Операции после сжигания: • ликвидация оставшихся очагов • окончательная очистка и переработка остатков

* Это может потребовать подготовки и применения «Методики эффективного управления» дикой природой/видами. Пример см. в следующем документе: https://awionline.org/sites/default/files/uploads/documents/govleg-bestpracticesseaturtles-102011.pdf

** см. ASTM F1990 - 07(2013): *Стандартное руководство по контролируемому сжиганию нефтяных разливов: устройства для воспламенения.*

Оборудование, резервуары и транспортные средства группы управления сжиганием

Для бригады, проводящей контролируемое сжигание, должны быть доступны необходимое оборудование, суда и/или транспортные средства, позволяющие реагировать на чрезвычайные происшествия и контролировать распространение пламени в нескольких направлениях. Во время сжигания на суше или на воде в каждом транспортном средстве должны находиться как минимум два человека, а их перемещения должны контролироваться из безопасного места. Члены бригады должны иметь при себе лопаты, грабли и специализированные воронки. После завершения операции сжигания для сбора и утилизации остатков могут потребоваться дополнительные принадлежности и контейнеры.

Управление дымом

Необходимо провести оценку и анализ возможного воздействия дыма. Дымовой шлейф от пламени можно контролировать за счет уменьшения размеров пламени, а также проведения операций при различных направлениях ветра и в различное время суток.

Эвакуация и зона безопасности

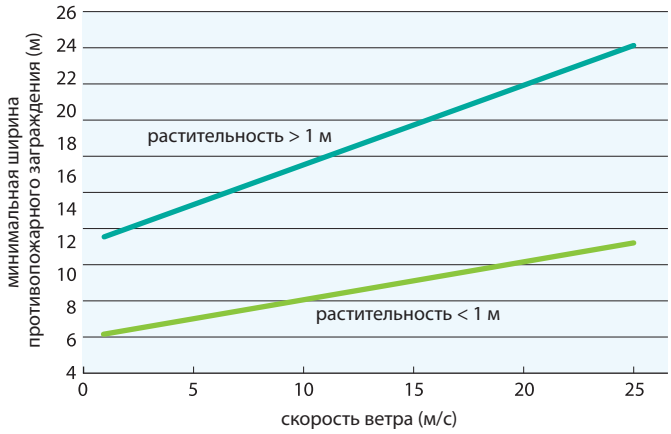
В качестве меры предосторожности необходимо разработать план эвакуации и определить зоны безопасности, которые будут использованы при эвакуации жителей из областей вокруг пламени. В плане должны быть учтены все детали, вплоть до наихудшего сценария. Одно из основных правил заключается в том, что площадь зоны безопасности должна быть достаточно большой, чтобы расстояние между пожарными и пламенем по крайней мере в четыре раза превышало максимальную высоту пламени. Другое правило заключается в том, что длина зоны эвакуации с подветренной стороны пламени должна как минимум в 10 раз превышать подветренное расстояние до пламени и составлять не меньше 1,5 км (1 мили). Наветренное расстояние эвакуации равняется подветренному расстоянию до зоны сжигания. До начала любых операций сжигания до персонала, работающего в зоне сжигания, требуется довести доскональные сведения об установленных зонах эвакуации и провести инструктаж.

Противопожарные заграждения

Противопожарные заграждения устанавливаются вокруг земельных участков или береговых линий для защиты окружающих областей от возможного распространения огня. Ширина и длина заграждения зависит от ландшафта, ветра, увлажненности почвы и растительности, а также от высоты растений. Минимальная ширина составляет около 6 метров (15–20 футов). В операциях сжигания на воде имеется два естественных факта противопожарной защиты: расстояние до судна (дальность буксирования) и возможность открепления боновых заграждений.

На рисунке 3 приведен калькулятор расчета ширины противопожарного заграждения с подветренной стороны. Поскольку ширина противопожарного заграждения с подветренной стороны больше минимального наветренного расстояния, область огня и противопожарных заграждений образуют форму четырехугольника.

Рисунок 3 *Ширина противопожарного заграждения в зависимости от ветра*



Для создания противопожарных заграждений на суше и на море существуют различные способы, включая:

- участок с завершенной операцией сжигания с минимальным или нулевым содержанием нефти или горючих видов топлива;
- скашивание и/или увлажнение почвы;
- естественные изменения в топографии (например, реки);
- возделанную землю;
- дороги;
- создание ограждений с помощью бульдозеров, грейдеров и другой техники.

Служба национального парка США

Environment Canada

Слева: противопожарное заграждение, образуемое путем скашивания травы, и сжигание нефти с использованием заснеженной дороги в качестве заграждения.

Пожарной полосой при сжигании нефти на воде обычно выступают зоны между парой судов, буксирующих боновые заграждения, и полосы между ближайшими суднами.

Источники информации о сжигании на суше и создании противопожарных заграждений см. в *списке литературы* на стр. 39.

Управление огнем

Для исключения ситуаций распространения пламени за пределы планируемой области требуется разработать соответствующий план и выделить ресурсы. В отношении операций сжигания на суше и берегу к ним относятся подробные сведения о доступных ресурсах пожаротушения, средства удаления незагрязненного мусора и установка противопожарных заграждений.

Одним из методов на суше является распыление или заливка водой защищаемого участка. Этот способ также поможет поднять нефть на поверхность почвы для последующего сжигания.

В операциях сжигания на воде основным средством контроля пламени является возможность отвязывания одного края буксируемого бонового заграждения для обеспечения расплывания пятна, что ведет к уменьшению его толщины и сокращению концентраций горючих паров. Другой вариант заключается в том, чтобы разорвать заграждения для достижения того же эффекта (например, путем увеличения скорости буксировки). Для незначительного изменения характеристик судно может резко увеличить скорость прохождения мимо бонового заграждения и горящего пятна, в результате чего волна подействует на расположенное поблизости пятно и позволит поддержать горение.

Служба национального парка США

Агентство по контролю загрязнений штата Миннесота

Крайнее слева: танкер с водой, готовый оказать поддержку в управлении пламенем.

Рядом слева: распыление огнезащитного состава с воздуха для защиты от огня на суше.

Использование капельного факела для воспламенения пятна.

Служба национального парка США

План воспламенения

План воспламенения должен описывать методы воспламенения, используемое для этого оборудование, пути доступа к участку, линию воспламенения и ее расположение, зоны безопасности, а также время и скорость проведения операции по воспламенению. Вышеупомянутые пункты относятся к наземным, береговым и водным операциям сжигания. Способ розжига определяется направлением ветра и течения на воде, а на суше определяющими факторами становятся ветер, уклон земли и растительность. Наиболее часто используемым методом розжига на земле является капельный факел (см. фотографию слева). На воде наиболее часто используется факел, который крепится к контейнеру с желеобразным топливом.

Проведение сжигания

Проведение операций контролируемого сжигания должно соответствовать нормативным требованиям. На различных государственных уровнях уже могут быть определены процедуры утверждения операций контролируемого сжигания. План контролируемого сжигания и его исполнение должны быть согласованы или связаны (при необходимости) с принятыми планами выжигания в соответствующей юрисдикции.

Инструктаж по безопасности перед сжиганием

Перед каждой операцией сжигания ликвидаторы должны проходить подробный инструктаж. Такой инструктаж обычно включает актуальную информацию о погодных условиях, состоянии разлива и планах розжига, а также позволяет скоординировать действия и дать важнейшие наставления.

Служба национального парка США

Воспламенение

После поступления сигнала от руководителя операции группы розжига отправляются на выполнение задачи воздействия теплового источника на пятно с целью его воспламенения. На снимках ниже приведены примеры розжига на воде (слева) и на суше (справа). Стабильные эмульсии может быть трудно зажечь, так как содержащаяся в нефти вода выступает поглотителем тепла; следовательно, для нагрева и начала выделения испарений из нефти, которые будут поддерживать горение, потребуется больше энергии.

Справа: пример плавающего ручного воспламенителя на основе морской сигнальной ракеты, дизельного топлива и желирующего состава.

Крайнее справа: горелка для воспламенения нефти по мере разогрева замерзшей земли.

Elastec Inc.

Служба национального парка США

Контроль сжигания

Огонь должен контролироваться визуально и с использованием мониторов твердых частиц, соответствующих масштабам разлива и пламени, а также погодным условиям. Для документирования процесса горения и операции в целом будут полезны снимки со спутников и фотографии с отметкой времени. Для оценки процесса горения вокруг противопожарных заграждений должно осуществляться патрулирование с соблюдением всех мер предосторожности. Наблюдение за пламенем на суше может осуществляться с транспортных средств или воздушных судов. Наблюдение на воде может осуществляться с водных или воздушных судов. Мониторы твердых частиц могут быть стационарными/мобильными или наземными/воздушными (для измерения уровней в дымовом шлейфе). См. раздел *Оперативный контроль для обеспечения безопасности и управления горением* на странице 34.

Ликвидация остатков очагов и очистка участка

После завершения операции сжигания потребуется провести проверку и очистку участка. Сюда относятся увлажнение точек тления и участков возможного повторного возгорания. Требуется собрать информацию об остатках тяжелой нефти, которые могут негативно сказаться на будущем восстановлении растительности, с целью их последующей ликвидации. Этот этап имеет повышенное значение для операций, проводимых на суше и берегу, что связано с вероятностью пожаров от горения или тления растительности и оставшихся пятен нефти.

Служба национального парка США

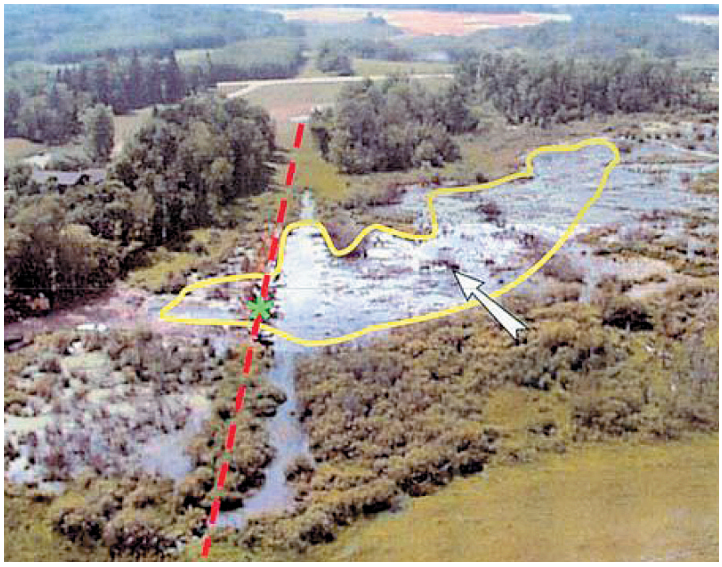
Тушение очагов после горения во время операций ликвидации очагов.

Действия после сжигания

После завершения операции сжигания нефтяного разлива могут быть проведены дополнительные мероприятия. Основными среди них является подготовка отчетов, планов стабилизации пострадавшего участка, контроль восстановления среды обитания после сжигания, а также реабилитационные операции по ускорению восстановления.

Сводные отчеты

Сводные отчеты обязательны в большинстве планов сжигания. Эти отчеты предоставляются в государственные органы для утверждения. Такие отчеты содержат сводную информацию о состоянии участка до операции сжигания, документы по осуществлению сжигания, оценки удаленных объемов нефти, наблюдения за пламенем (которые представляют особую важность в наземных и береговых операциях сжигания), а также подробные сведения об утере контроля над пламенем и предпринятых действиях по восстановлению контроля. Оперативные итоговые отчеты зачастую сопровождаются фотодокументацией. Например, на фотографии справа желтым цветом показана загрязненная область при разливе из трубопровода, а красным отмечен маршрут прокладки трубопровода. Сведения в итоговом отчете должны отражать масштабы разлива и сложность операции сжигания.



Jacqui Michel, RPI

Пример фотодокументации с участка проведения сжигания.

Стабилизация аварийной ситуации

Стабилизация после аварийной ситуации на суше или берегу включает все восстановительные действия, проведение которых может потребоваться на участке сжигания для минимизации воздействия на схемы дренажа, состояние почвы и растительности. Эти действия включают исключительно ближайшие мероприятия по стабилизации земли или береговых линий до того, как будет начат процесс дальнейшего принудительного или естественного восстановления. Этот этап не относится к операциям сжигания на воде.

Наблюдения после сжигания и контроль восстановления

В зависимости от масштаба разлива и последующего сжигания на суше или берегу, в области сжигания потребуется наладить мониторинг для оценки эффективности удаления нефти и процессов восстановления растительности и среды обитания в течение согласованного времени после завершения операции сжигания. Рекомендуется периодически посещать участок для оценки и документирования процесса восстановления. При низкой скорости восстановления можно прибегнуть к методам посева растений и другим формам реабилитации.

Наблюдения после сжигания на воде в основном направлены на оценку степени удаления нефти и целесообразности дополнительных операций по удалению остатков.

Реабилитация

Реабилитация — это долгосрочный процесс, направленный на ускорение восстановления участка сжигания на суше или воде, который может быть включен в план сжигания или запланирован для последующей реализации (до трех и даже пяти лет). Сюда относится долгосрочное восстановление растительности и почвы, а также схем дренажа, например, путем посева, добавления почвенных аэраторов, изменения схем дренажа и т.д. Этот этап не относится к операциям сжигания на воде.

После операции сжигания необходимо обеспечить контрольный осмотр на предмет наличия плотных остатков нефти в зоне нахождения растительности. Остатки, способные негативно сказаться на восстановлении растительности, подлежат обработке, восстановлению или перепахиванию. Может потребоваться применение почвоулучшителей и повторная посадка растений.

На фотографии ниже и на странице 27 показаны три различных участка до и после сжигания, а также во время последующего контроля и после него.

Справа: (a) растительность в болоте до операции сжигания; (b) растительность на том же болоте через один год после операции сжигания.

(a)

Jacqui Michel, RPI

(b)

Jacqui Michel, RPI

NOAA

NOAA

Слив: (a) аэрофотосъемка заросшего берега после разлива из отстойника; (b) аэрофотосъемка того же берега после операции сжигания.

NOAA

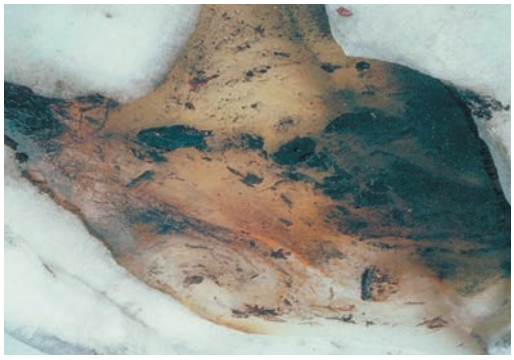
NOAA

Слева: (a) поверхность заросшего берега сразу после тушения огня; (b) поверхность того же заросшего берега через три недели после операции сжигания.

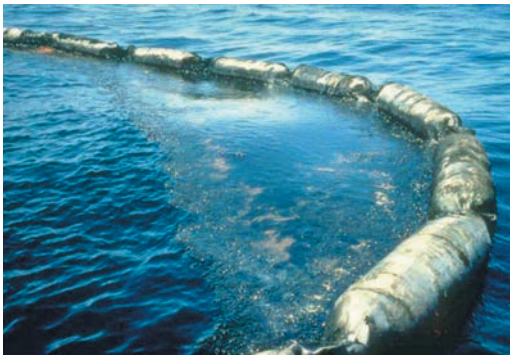
Остатки от сжигания

Остатки после сжигания обычно включают частично сгоревшую нефть, нефть, выделенную из летучих веществ, и/или осадки сажи. Их свойства схожи с выветренной нефтью того же типа, и они обычно обладают повышенной вязкостью и плотностью (см. примеры ниже). Несгоревшая нефть к остаткам не относится. По оценкам, вес остатков на фотографии справа составляет 20 кг, или около 0,05% от исходного объема нефти.

Плотность остатков после сжигания зависит от тяжести исходной нефти и полноты сжигания. В результате эффективного сжигания тяжелой сырой нефти на воде образуется густой осадок, который может оседать и представлять угрозу удушения для бентических видов. Тем не менее, оседание является редким явлением, которое наблюдалось лишь после нескольких операций сжигания во всем мире. Результаты ряда испытаний показали, что остатки после сжигания менее токсичны для водных видов, чем выветренная нефть.



NOAA



Environment Canada

Крайнее слева: остатки от сжигания дизельного топлива на снегу и льду.

Слева: остатки в верхней части боно-вого заграждения после сжигания 50 тонн нефти.

Решение о механическом восстановлении остатков или их естественном разложении зависит от общего объема остатков, плотности (которая определяет оседание отложений после проведения управляемого сжигания на воде) и ожидаемом направлении движения в случае отсутствия восстановительных операций. К другим факторам относятся немедленная доступность оборудования и персонала, поскольку они могут быть задействованы в других восстановительных операциях, а также условия безопасного проведения операций по удалению остатков. Факторы очистки от остатков могут быть включены в общий процесс принятия решений по проведению контролируемого сжигания с применением анализа NEBA.

Ниже приводятся возможности переработки остатков:

- В зависимости от объема, возможна механическая переработка остатков, а также их сбор с применением вакуумной системы или погружных насосов, либо вручную с помощью бульдозеров и экскаваторов.
- На воде возможен сбор остатков нефти в одной области с помощью насосов или водяных шлангов, погружаемых в воду с небольших лодок. После сбора пятна его можно повторно поджечь или впоследствии сжечь вместе с новым объемом собранной нефти, что позволит сократить объем остатков, подлежащих переработке.
- Остатки на воде можно также собрать в дополнительном боновом заграждении, а затем обработать при помощи сорбентов или пеногасителей, совместимых с тяжелой нефтью.
- На суше наиболее быстрым способом сбора остатков является использование механических средств. В средах обитания, чувствительных к вытаптыванию (например, в болотистой местности) может оказаться предпочтительнее не трогать остатки после проведения операции сжигания.

Несгоревшая нефть может оставаться после сжигания, и если толщины пятна будет достаточно для поддержания горения, операцию сжиганию можно впоследствии повторить.

Оборудование для контролируемого сжигания

Для проведения управляемого сжигания требуется два типа оборудования: система розжига (т.е. само устройство и соответствующий контейнер или пусковое устройство, если имеются), а для разливов на воде — боновое заграждение.

Устройства для воспламенения

Для розжига нефтяных пятен используются самые разнообразные устройства и методики. Многие из них представляют собой модификации существующих приспособлений для воспламенения. В целом, приспособления для воспламенения должны отвечать двум следующим критериям:

1. Они должны быть безопасны.
2. Они должны быть способны создавать достаточное количество тепла для розжига паров нефти.

Подвесные вертолетные устройства воспламенения

Для транспортировки устройств воспламенения иногда используются вертолеты. Эти подвесные устройства, которые часто называются системами типа «Гелиторч», позволяют сбрасывать пакеты с горящим желеобразным топливом. Данный тип устройств был разработан для лесной промышленности и широко используется при тушении лесных пожаров. Пилоты, использующие системы «Гелиторч», должны проходить специальную подготовку. Ниже приведены системы двух вертолетных систем.

Clean Caribbean and Americas

OSRL

Крайнее слева: вертолет с пустым резервуаром для запала, сброшенного перед возвратом на базу.

Слева: вертолет с подвесным капельным факелом, сбрасывающим горящее топливо в полете.

Переносные и мобильные платформы для воспламенителей

Существует множество видов переносных запальных устройств, от очень простых (например, спички) до сложных (навесные капельные факелы, огнеметы и устройства запуска пластмассовых горючих сфер). Существуют переносные устройства для розжига на земле, что показано на фотографиях в верхней части страницы. При нахождении в непосредственной близости от разжигаемых материалов необходимо проявлять осторожность, особенно если в воздухе присутствуют летучие соединения. Бензин и легкую нефть запрещается поджигать при нахождении в непосредственной близости от нее. Кроме того, следует отметить, что скорость распространения огня через облака пара (выделяемые из бензина или аналогичного топлива) может достигать 50 м/сек (100 узлов).

Справа: член бригады поджигателей, разжигающий огонь с помощью ракетного пистолета.

Крайняя справа: использование горелки для розжига управляемого огня.

Служба национального парка США

Национальная координационная группа по лесным пожарам

Мобильные платформы розжига огня на суше включают транспортные средства и вертолеты. На фотографии справа показан желоб бокового крепления, разработанный для сброса с вертолета пластиковых сферических воспламенителей. Эти воспламенители заполнены перманганатом калия; при выпуске в шарики подается гликоль, который реагирует с перманганатом калия, образуя экзотермическую реакцию зажигания. По мере реагирования компонентов через 20–40 секунд происходит воспламенение, образуя устойчивое пламя в течение приблизительно двух минут.

Справа: вездеход, перевозящий желеобразное топливо для выпуска через капельный факел вдоль установленной линии розжига.

Крайняя справа: боковой воспламенитель для сброса пластиковых сферических воспламенителей с воздуха.

Национальная координационная группа по лесным пожарам

Служба национального парка США

Непромышленные устройства воспламенения

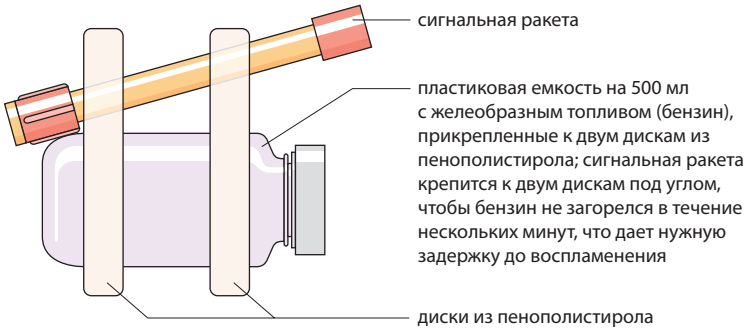
Для розжига нефти во время реальных и испытательных разливов применялись различные простые и неформальные способы розжига, такие как смоченная нефтью бумага. Для розжига нефтяных пятен существует множество доступных ручных воспламенителей. Эти устройства:

- можно бросать на пятно с транспортного средства, судна или вертолета;
- обычно создают задержку перед воспламенением, оставляя время на естественное перемещение в центр нефтяного пятна после сброса;
- обычно используют ракетное топливо, желеобразное топливо, желеобразные керосиновые кубики, реактивные химические составы или сочетание указанных видов, которые горят от 30 секунд до 10 минут при температурах от 1000 до 2500°C.

Следует отметить, что в качестве смачивающего топлива или основы для желеобразного топлива в переносных поджигателях предпочтительнее и безопаснее применять дизельное топливо, а не бензин.

Пример ручного воспламенителя, который использовался в ходе нескольких проверочных операций контролируемого сжигания, показан на рисунке 4 ниже. Он состоит из пластиковой бутылки, заполненной желеобразным бензином или дизельным топливом. Бутылка и стандартная 15-сантиметровая портативная сигнальная ракета скреплены с помощью двух колец из пенополистирола. Ракета поджигается, и устройство бросается на разлитую нефть, где оно горит приблизительно 60 секунд, после чего пластиковая бутылка расплавляется и воспламеняется желеобразный бензин, который в свою очередь поджигает нефть.

Рисунок 4 *Воспламенитель, состоящий из пластиковой емкости и ракеты*



Источник: Environment Canada

Устройство, аналогичное показанному на рисунке 4, было использовано для розжига нефти при разливе на скважине Macondo. Устройства, отличающиеся простотой изготовления и использования, показаны на фотографиях ниже.

Береговая охрана США

Береговая охрана США

Крайняя слева: один из воспламенителей, использованных в операциях по контролируемому сжиганию во время ликвидации последствий разлива Macondo.

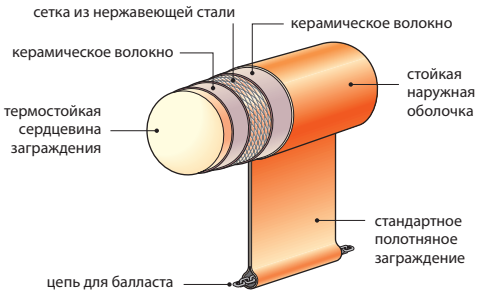
Слева: поджигание запала (ракетницы) воспламенителя перед сбросом устройства в воду.

Огнеупорные боны

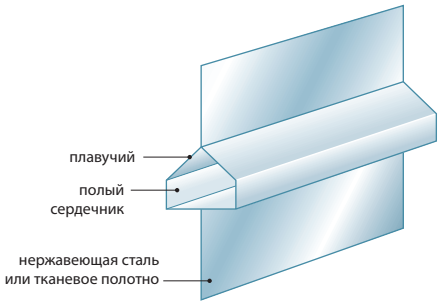
Основным требованием для огнеупорных боновых заграждений (и их компонентов), используемых при контролируемом сжигании, является тепловая стойкость в течение длительных периодов времени. Огнеупорные боновые заграждения обычно производятся для использования в нескольких операциях, после которых они утилизируются или отправляются на переработку. На рисунке 5 ниже показано несколько конструкций огнеупорных боновых заграждений. Чтобы боновое заграждение было способно выдержать несколько операций контролируемого сжигания, в ASTM были разработаны специальные испытания. Минимальный стандарт составляет пятичасовые испытания, включающие три этапа горения по 1 часу и два часовых периода охлаждения между горением.

Рисунок 5 *Типы огнеупорных боновых заграждений*

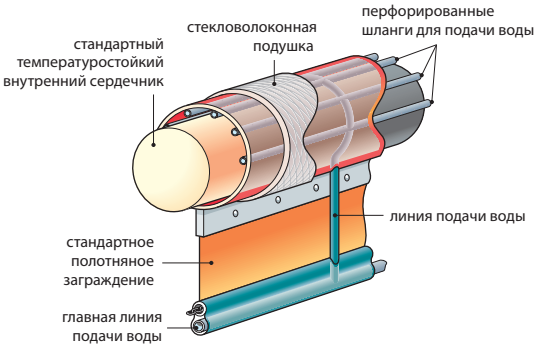
Термостойкий бон на основе волокна



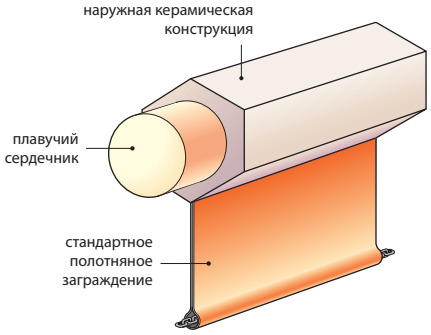
Конструкция заграждения из нержавеющей ста



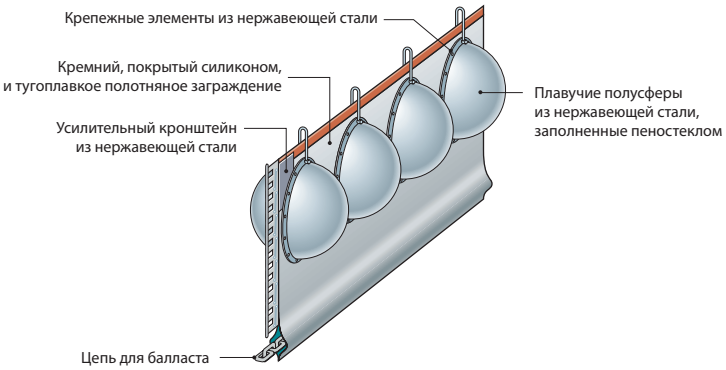
Боновое заграждение с охлаждаемым водой покрытием



Керамическое боновое заграждение



Жесткий плавучий огнеупорный бон с полушариями из нержавеющей стали («пиробон»)



Важное значение у огнеупорных боновых заграждений имеет их способность локализовать нефть. Проведенные исследования позволили определить скорость буксирования, при которой боны начинают «терять нефть» («первая потеря»), и скорость, при которой возникает продолжительная потеря («общие потери»). Можно также определить скорость потери нефти при определенных скоростях буксирования, а также скорость буксирования, при которой происходит физический разрыв бонового заграждения, т.е. скорость, при которой заграждение тонет или получает структурные повреждения. Подробная информация о развертывании и буксировке бонов приведена в приложении 2.

Стандартные боны

Стандартные боновые заграждения обычно не способны удерживать горящую нефть, так как используемые при изготовлении таких заграждений материалы также сгорают или плавятся, снижая способность заграждения к локализации нефти. Стандартные боны можно применять для локализации пятна до момента установки огнеупорного заграждения либо в качестве боковых удлинительных секций к огнеупорным заграждениям с целью увеличения дистанции буксирования.

Вспомогательные суда для контролируемого сжигания на воде

Успех операции контролируемого сжигания во многом зависит от судов. Суда доставляют оборудование и персонал на место операции, буксируют боновые заграждения и перевозят оборудование для наблюдения. Для контроля безопасности и выполнения задач наблюдения, а также для сбора остатков и хранения оборудования могут дополнительно применяться баржи и небольшие лодки.

Для перевозки и развертывания длинных боновых заграждений на место операции требуется достаточное количество судов. Вспомогательные суда должны соответствовать выполняемым задачам:

- Палуба должна быть достаточно длинной для перевозки боновых заграждений, а также другого оборудования и материалов, необходимых при обращении с боновыми заграждениями. Также они должны быть достаточно стабильными и маневренными на низких скоростях (< 0,5 м/с).
- Судно с низким бортом обеспечивает более быстрый доступ к поверхности воды и рекомендуется к использованию при обработке остатков после сжигания. В стандартных операциях по ликвидации аварийного разлива нефти для этой цели идеально подойдут баржи или десантные суда.

Вспомогательные воздушные суда для контролируемого сжигания

Успех операции контролируемого сжигания во многом зависит от авиации. Воздушные суда с неподвижным и вращающимся крылом (вертолеты) могут использоваться для наблюдения и ведения фотосъемки, воспламенения пятна, оказания поддержки судам и летательным средствам при поиске пятна, помощи при тушении пламени и перевозки оборудования для мониторинга. Во всех воздушных операциях важное значение имеет надежная связь с землей.

Агентство по контролю загрязнений штата Миннесота

Наблюдение с воздуха по периметру горения.

Оперативный контроль для обеспечения безопасности и управления сжиганием

Наблюдение позволяет получать информацию об эффективности горения, обеспечивает контроль безопасности ближайших ликвидаторов и о ходе контроля за пламенем. В таблице 7 приведены ключевые моменты операции сжигания, требующие наблюдения.

Таблица 7 *Аспекты операций контролируемого сжигания, требующие постоянного мониторинга*

Aspecto	Objetivos de la observación	Interpretación
Seguridad ante el fuego	Proximidad del personal a la quema	Peligro para las personas, la infraestructura y las instalaciones
	Control y movimiento del fuego	
Integridad de la contención de la barrera de fuego	Pérdida de la capacidad de una barrera para contener la mancha	Proporcionar advertencia temprana a los operadores de embarcaciones y al personal de respuesta
Eficacia de la quema	Zona impregnada de hidrocarburos encendida y quema en el tiempo	Eficacia de la eliminación del hidrocarburo; volumen de la eliminación del hidrocarburo
Emisiones de la quema	Partículas	Monitorear la exposición humana

Действие повышенных температур на ликвидаторов

Необходимо четко понимать и соблюдать принципы обеспечения безопасности ликвидаторов и ограничения теплового воздействия. Основное правило для ликвидаторов заключается в том, чтобы соблюдать безопасную дистанцию до пламени, которая должна в четыре раза превышать максимальную высоту пламени. Скорость распространения пламени, как правило, составляет около 0,02–0,16 м/сек. Тем не менее, этот показатель может увеличиваться под действием ветра. Другие вопросы включают следующее.

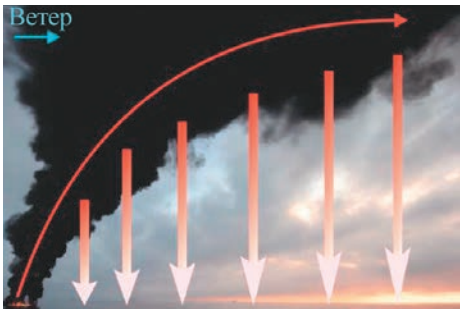
- На суше пламя двигается в сторону горючих материалов, таких как деревья и трава. Поэтому для обеспечения контроля пламени и защиты от тепла требуется установка соответствующих противопожарных заграждений.
- Экипаж каждого судна, участвующего в буксировке, подвержен риску оказаться в непосредственной близости от огня, если пламя выйдет за пределы ограждения. Такая ситуация возможна при образовании новых пятен нефти достаточной толщины, по которым будет распространяться пламя. Пламя не будет распространяться в сторону буксирующих судов, если боновое заграждение двигается со скоростью минимум 0,4 м/с (0,7 узлов) в подветренную сторону. При сильных колебаниях в направлении ветра необходимо принять меры по предотвращению образования толстых слоев нефти при низких скоростях буксировки.

Поведение и распространение выбросов при контролируемом сжигании

Основные вопросы здравоохранения, связанные с контролируемым сжиганием, касаются выбросов во время горения. Эмпирические измерения выбросов показывают, что их концентрация в атмосфере быстро уменьшается по мере увеличения расстояния от участка сжигания. Для устранения связанных с выбросами проблем необходимо обеспечить достаточную удаленность места сжигания от населенных и чувствительных районов. Существуют методы оценки уровней выбросов и безопасных расстояний по направлению ветра для операций сжигания различных размеров и типов. Например, при горении сырой нефти (500 м^2) концентрации выбросов не будут превышать опасные для здоровья пределы на расстоянии более 500 м от огня. Основными продуктами сгорания при сжигании нефти являются углекислый газ, вода и побочные продукты, т.е. взвешенные частицы (сажа), органические соединения и газы.

Отслеживание поведения выбросов является важной частью мониторинга при контролируемом сжигании. Наиболее важными выбросами являются частицы сажи (PM): они поднимаются в воздух и впоследствии опускаются на землю (рисунок 7). По оценкам, половина частиц, содержащихся в дыме, прошедшем не более 1 км, оседает на землю (в зависимости от скорости ветра). Некоторые частицы сажи остаются в дымовом шлейфе в течение длительного времени. Сам дым, если он поднимается вверх и не содержит опасных концентраций веществ, не представляет опасность для людей.

Рисунок 7 *Поведение различных типов выбросов в дымовом шлейфе*



a) *Взвешенные частицы с адсорбированной органикой, например ПАУ, поднимаются и затем опускаются в направлении ветра.*

b) *Водяные пары и легкие газы поднимаются, переносятся на большие расстояния и рассеиваются.*

c) *двуокись углерода и другие тяжелые газы поднимаются и затем медленно оседают, обладая способностью циркулировать через огонь.*

d) *органические газы, такие как ЛОС и карбонилы, переносятся на большие расстояние и разбавляются.*

Merv Fingas

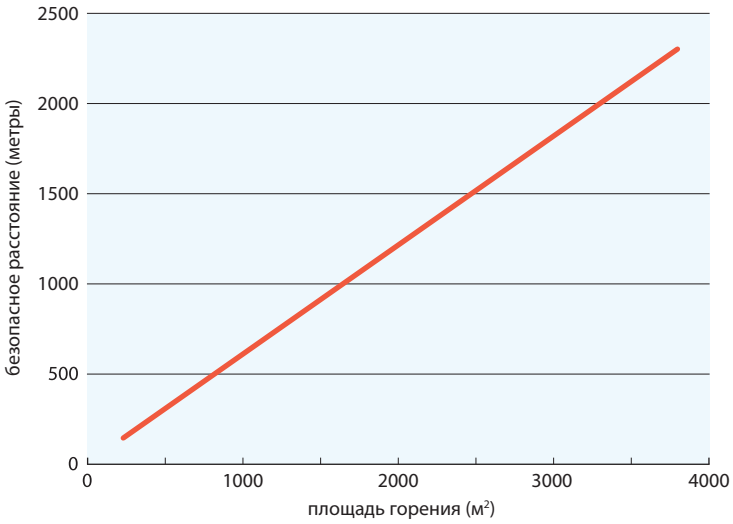
Взвешенные вещества

В процессе контролируемого сжигания образуются взвешенные вещества, которые являются основной причиной для беспокойства при оценке влияние выбросов при горении нефти на здоровье человека. Взвешенные вещества разносятся ветром от места горения по экспоненциальному закону. Концентрация на уровне земли (1 м) может превышать безопасную для здоровья (35 мкг/м^3) даже на расстоянии 500 м (по ветру) от места горения небольшого объема сырой нефти. Наибольшую озабоченность вызывают небольшие, вдыхаемые твердые частицы, т.е. фракции ВВ$_{2,5}$ (частицы размером менее 2,5 мкм). Следует отметить, что эти частицы часто не видны глазу, как дымовой шлейф, даже при концентрациях выше пороговых уровней.

Безопасное расстояние

Для прогнозирования концентраций более чем 150 соединений и основных химических составных групп существует широкая информационная база. Эти данные собирались при различных скоростях ветра (от 2 до 5 м/с (4-10 узлов) и без инверсии. Уравнения для прогнозирования концентраций некоторых групп выбросов и отдельных соединений приведены в литературе, указанной в *списке источников* на странице 39.

Рисунок 8 *Безопасное расстояние по ветру от участков проведения сжигания с различными масштабами пламени*



В рамках ряда испытательных операций сжигания на воде, во время которых скорость ветра колебалась от 2 до 10 м/с (4–20 узлов) были определены безопасные расстояния по ветру от места сжигания сырой нефти (на основе концентрации $ВВ_{2,5}$). См. рисунок 8. Безопасное рабочее расстояние по ветру определяется как расстояние, при достижении которого не требуется применение респираторов для взвешенных веществ. Хотя данные результаты основаны на показателях водных операций, они применимы и к операциям сжигания на суше различных масштабов. Тем не менее, необходимо учитывать следующее:

- повышение скорости ветра увеличивает эти расстояния, тогда как уменьшение скорости ветра сокращает их;
- указанные расстояния не относятся к условиям инверсии, так как дымовой шлейф в этом случае прижимается к земле.

Контроль и отбор проб выбросов

Хорошо спланированная программа наблюдения, которая предполагает сбор данных до, во время и после сжигания, поможет задокументировать процесс сжигания и позволит ответить на вопросы, возникающие после завершения операции. Минимальные требования к плану наблюдения и отбора проб:

- визуальный мониторинг дымового шлейфа, его траектории и, если возможно, контроль влияние на людей и чувствительные зоны (запись ведется с указанием времени и физического расположения);
- контроль частиц размером 2,5 мкм ($ВВ_{2,5}$) с подветренной стороны от пламени на высоте рецептора 1,5 м, и в частности на расстоянии 1–3 километра по ветру от пламени на высоте рецепторов и во всех возможных местах нахождения человека.

Изменения в погодных условиях могут значительно влиять на характер появления взвешенных веществ в дыме. В некоторых случаях дым может опускаться до уровня земли. Для получения прогнозов погоды и поведения ветра, а также информации о возможной атмосферной инверсии следует обращаться к соответствующим должностным лицам.

Визуальный контроль

Необходимо вести визуальный контроль и документирование траектории дымового шлейфа и его прохождения над землей, населенными пунктами и другими важными точками с указанием временных отметок. Эта информация будет полезна при анализе потенциального воздействия выбросов от контролируемого сжигания. Основные участки осаждения требуют контроля после завершения операции на предмет образования сажи. При наличии сажи следует взять ее пробы и провести анализ, при необходимости.

Контроль твердых частиц в реальном времени

Если того требуют регулирующие органы или если прогнозируемая траектория движения дымового шлейфа создает риск воздействия на чувствительные группы, потребуется организовать мониторинг выбросов в реальном времени по ветру от пламени и в точках, близких к населенным районам. Концентрации твердых частиц по ветру могут меняться с течением времени, и в одном месте показания могут превышать максимальные значения, а в другом они будут находиться на допустимом уровне. Фоновые значения следует измерять и вычитать из получаемых результатов. Показания приборов требуют учета в электронном виде, а на основании полученных и откорректированных данных определяются взвешенные по времени средние значения. Некоторые приборы предоставляют возможность получения средних показателей, которые применимы для использования в режиме реального времени. Общепризнано, что при мониторинге твердых частиц концентрация частиц диаметром 2,5 мкм и менее ($ВВ_{2,5}$) должна быть меньше 35 мкг/м^3 в течение 24-часового периода. Этот стандарт применяется многими государственными органами.

Существует несколько методов сбора и анализа образцов для оценки выбросов при контролируемом сжигании. Источники информации об отборе проб для оценки выбросов приведены в *списке литературы* на стр. 39.

Служба национального парка США

Станция мониторинга качества воздуха в национальном парке Great Smoky Mountains, Северная Каролина и Теннесси

Оперативное наблюдение

Цели оперативного наблюдения:

- обеспечение успеха операции сжигания;
- предоставление документации по операциям сжигания и процессам горения;
- оценка площади горения нефти в определенные периоды времени для учета времени горения (для оценки площади горения и объема удаленной нефти может использоваться номограмма в приложении 1). Для каждого места проведения сжигания данные записываются с 10-минутными интервалами при небольших масштабах пламени. В более крупных и длительных операциях этот интервал может быть увеличен. Периодически требуется вести фотосъемку операций сжигания. Рекомендуется использовать камеру с возможностью установки временных меток и местоположения по спутнику;
- на суше или береговых линиях — для обеспечения безопасности оперативных бригад и транспортных средств; для контроля траектории движения дымового шлейфа и его близости к месту обитания людей; для заблаговременного предупреждения об опасности и принятия мер (например, для начала эвакуации или заблаговременного тушения огня);
- на море — для определения направления движения буксирующих судов с целью синхронизации скорости движения с разлитой нефтью и повышения качества сбора нефти в огнеупорные боновые заграждения для последующего удаления с помощью контролируемого сжигания.

На море можно применять две методики наблюдения:

1. воздушное наблюдение;
2. наблюдение с большого судна.

С воздуха обеспечивается более широкий вид, чем с судна, а это может быть полезным при контроле развертывания бонового заграждения и во время операций сжигания. Крупные суда, не участвующие в буксировке, могут предоставить более широкую картину операции буксирования с водной поверхности. Такие суда могут оснащаться дополнительными мониторами пламени для своевременного тушения пожара. Это судно также может выступать аварийным в случае возникновения трудностей у буксирующего судна.

Библиография

Общие сведения

Alaska Regional Response Team (ARRT) (2010). *Chemical Countermeasures: Dispersants, Chemical Agents, and Other Spill Mitigating Substances, Devices or Technology*. Annex F, *Unified Plan*, Alaska, 126 pp. http://dec.alaska.gov/spar/perp/plans/uc/Annex%20F%20(Jan%2010).pdf

ARPEL (2006). *A Guide to In-situ Burning of Oil Spills on Water, Shore, and Land*. Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean. Environmental Guideline 40-2006. November 2006, 47 pp.

ARPEL (2007). *In-situ Burning: A Cleanup Technique for Oil Spills*. Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean. Environmental Guideline 28-2007. February 2007, 127 pp.

ASTM (2013). ASTM F1990-07(2013), *Standard Guide for In-Situ Burning of Spilled Oil - Ignition Devices*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F1990.htm

ASTM (in preparation). ASTM WK37324, *Standard Guide for Evaluation of ISB Effectiveness*. ASTM International, Conshohocken, PA.

IPIECA-IOGP (2015). *Response strategy development using net environmental benefit analysis (NEBA)*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 527. http://oilspillresponseproject.org/completed-products

ITOPF (2011). *Fate of Marine Oil Spills.* Technical Information Paper No. 2. International Tanker Owners Pollution Federation Limited, London. www.itopf.com/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP2FateofMarineOilSpills.pdf

National Institute of Standards and Testing: compilation of references at: www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fireall/key/key1351.html

Сжигание на море: основные источники

API (2015). *Field Operations Guide for In-Situ Burning of On-water Oil Spills*. Publication No 1252. American Petroleum Institute, Washington, D.C., 72pp.

Arctic Response Technology (2013). *In-Situ Burning in Ice-Affected Waters: State of Knowledge Report*. Final Report 7.1.1 of the Arctic Oil Spill Response Joint Industry Programme. Prepared for IOGP. 293 pp. www.arcticresponsetechnology.org/project-updates/in-situ-burning-of-oil-in-ice-affected-waters/report-on-in-situ-burning-in-ice-affected-waters-state-of-knowledge-report

Arctic Response Technology (2013). *In Situ Burning in Ice-Affected Waters: A Technology Summary and Lessons from Key Experiments*. Final report 7.1.2 of the Arctic Oil Spill Response Joint Industry Programme. Prepared for IOGP. 67pp. www.arcticresponsetechnology.org/project-updates/in-situ-burning-of-oil-in-ice-affected-waters/report-on-in-situ-burning-in-ice-affected-waters-a-technology-summary-and-lessons-from-key-experiments

ASTM (2013). ASTM F2152-07(2013), *Standard Guide for In-Situ Burning of Spilled Oil: Fire-Resistant Boom*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F2152.htm

ASTM (2008). ASTM F1788-08, *Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills on Water: Environmental and Operational Considerations*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/F1788-08.htm

ASTM (2014). ASTM F2230-14, *Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills on Water: Ice Conditions*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F2230.htm

Buist, I. A., Potter, S. G., Trudel, B. K., Walker, A. H., Scholz, D. K., Brandvik, P. J., Fritt-Rasmussen, J., Allen, A. A. and Smith, P. (2013). *In-Situ burning in Ice-Affected Waters: A Technology Summary and Lessons from Key Experiments.* Final Report 7.1.2. Report from the Joint Industry Programme on relevant scientific studies and laboratory and field experiments on the use of in-situ burning in ice-affected offshore environments.

Fingas, M. (2011). 'ISB', Chapter 23 in *Oil Spill Science and Technology*. M. Fingas, Editor, Gulf Publishing Company, New York, pp. 737-903.

Mabile, N. (2012). Controlled ISB: Transition from alternative technology to conventional spill response option. In *Proceedings of the 35th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response*, pp. 584-605.

OSRL (2011). *Offshore In-Situ Burn Operations Field Guide: A guide to operational and monitoring requirements for In-Situ burning at sea*. Oil Spill Response Limited, 20pp.

Сжигание: выбросы

API (in preparation). *In-Situ Burning of Petroleum: Comparison of Emissions from burning of Petroleum, Petroleum-Derived Fuels and other Fuel types*. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

Fingas, M. F. and Punt, M. (2000). *ISB: A Cleanup Technique for Oil Spills on Water*. Environment Canada Special Publication, Ottawa, Ontario, 214 pp.

Fingas, M. F., Lambert, P., Wang, Z., Li, K., Ackerman, F., Goldthorp, M., Turpin, R., Campagna, P., Nadeau, R. and Hiltabrand, R. (2001). Studies of Emissions from Oil Fires. In *Proceedings of the Twenty- Fourth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, Ontario, pp. 767-823.

Сжигание на суше: общие сведения

API (2015). *Field Operations Guide for In-Situ Burning of Inland Oil Spills.* Publication No 1251. American Petroleum Institute, Washington, D.C., 81 pp.

Плановое выжигание: общие сведения

US Department of Agriculture, Forest Service (2006). Prescribed Fire Case Studies, Decision Aids and Planning Guides. In *Fire Management Today*, Vol. 66, No. 1, Winter 2006, pp. 5-20. http://www.fs.fed.us/fire/fmt/fmt_pdfs/FMT66-1.pdf

Oklahoma State University (2009). *Oklahoma Prescribed Burning Handbook*. Document ref. E-1010. Last updated 2014. 64 pp. http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-6613/E-1010

Southeast Queensland Fire and Biodiversity Consortium (2002). *Fire Management Operational Manual*: *Guidelines for planning and conducting fuel reduction and ecological burns on your property.* Queensland, Australia. 102 pp. www.fireandbiodiversity.org.au/_literature_47142/Operational_Fire_Manual.

Fire Paradox (website). *Handbook to Plan and Use Prescribed Burning in Europe*. Fire Paradox—a European Commission Project. www.fireparadox.org/handbook_prescribed_burning_europe.php

US Department of Agriculture, Forest Service (2006). Smoke Issues and Air Quality. In *Fire Management Today*, Vol. 33 No. 3. http://www.fs.fed.us/fire/fmt/

Противопожарные заграждения

Government of Western Australia (2011). *Firebreak Location, Construction and Maintenance Guidelines*. Fire and Emergency Services Authority of Western Australia, 28 pp. http://www.dfes.wa.gov.au/safetyinformation/fire/bushfire/BushfireProtectionPlanningPublications/FESA%20Firebreak%20Guidelines_std.pdf

Сжигание в болотистой местности

API (2003). *Recovery of Four Oiled Wetlands Subjected To In Situ Burning*. Publication No. 4724, Washington, D.C., June 2003. 71pp.

ASTM (2010). ASTM F2823-10(2015), *Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills in Marshes*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F2823.htm

Техника безопасности и контроль

API (in preparation). *In-situ Burn Guidance for Safety Officers and Safety and Health Professionals*. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

BP (2013). *Controlled ISB Operations Monitoring Handbook*. Prepared by Midlinx Consulting Inc. for British Petroleum, Houston, Texas.

IPIECA-IOGP (2008). *Health aspects of work in extreme climates*. IOGP Report 398.

Воздействие на животных и растения

API (1999). *Compilation and Review of Data on the Environmental Effects of In Situ Burning of Inland and Upland Oil Spills*. Publication No. 4684. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

US Department of Agriculture, Forest Service (website). Fire Effects Information System (FEIS). www.feis-crs.org/beta

Модели

US Department of Agriculture, 'Fire, Fuel, and Smoke Science Program': www.firelab.org/applications

US Department of Agriculture, 'First Order Fire Effects Model (FOFEM)': www.firelab.org/project/fofem

Приложение 1. Оценка объемов сжигаемой нефти и эффективности сжигания

При сжигании нефтяного пятна в море внутри боновых заграждений требуется вести учет площади и продолжительности горения по форме, аналогичной той, что показана на рисунке А1 на странице 43. Эти сведения можно использовать для расчета объемов сгоревшей нефти. Площадь можно рассчитать на основании рисунка А1 и данных из таблицы А1. Данные о скорости горения приведены в таблице 3 на странице 8.

Описание процедуры:
Используя данные о расположении боновых заграждений, полученных при сжигании, площадь заполнения рассчитывается с помощью таблицы А1. Затем, чтобы получить объем сжигаемой нефти, время, в течение которого происходило горение для этого уровня заполнения, умножается на скорость сжигания для соответствующего типа нефти (см. таблицу 3). Все значения времени и объемы нефти в боновых заграждениях рассчитываются этим способом и суммируются. Окончательный результат представляет собой оценку сжигаемой или убираемой нефти.

Объем сжигаемой нефти рассчитываться по формуле 1 следующим образом:

Формула 1: **Объем сжигания = Площадь** x **время** x **скорость** x **коэффициент пересчета**
где коэффициент пересчета для метрических единиц равен 0,001 (перевод объема в $м^3$), а для американских единиц — **0,0006** (перевод в баррели). Площадь выражается в квадратных футах, а скорость горения — в мм/минуту).

Пример:
В процессе горения номограммы этого типа, показанные в рисунке А1, указывают, что в течение 21 минуты из 150-метрового бонового заграждения была удалена приблизительно половина сырой нефти.

- Используя таблицу А1, можно вычислить, что площадь составляет приблизительно 1220 $м^2$, а таблица 3 говорит о том, что скорость горения составляет около 3,5 мм/мин.
- Объем сжигаемой нефти рассчитывается следующим образом: 1,220 x 21 x 3,5 x 0,001 = 89.7 $м^3$ (560 баррелей).

Эффективность горения измеряется в процентах удаленной нефти в сравнении с объемом остатков после операции сжигания. Эффективность сжигания **E** можно рассчитать с помощью формулы 2 (ниже), где $v_{пн}$ — первоначальный объем нефти, а $v_{он}$ — объем остаточной нефти после сжигания:

Формула 2:

$$E = \frac{v_{пн} - v_{он}}{v_{пн}}$$

Исходный объем нефти $v_{ин}$ можно определить несколькими способами:

- Если известен источник разлива, как например при разливе из резервуара или хранилища, объем разлитой нефти можно оценить исходя из размеров резервуара и оставшейся в нем нефти.
- В разливе на морской буровой установке для оценки объемов можно использовать показатель скорости разгрузки. Этот объем, в сочетании с площадью пятна и оценкой средней его толщины, позволит оценить объем нефти.

При сжигании нефти в море с применением огнеупорных боновых заграждений исходные данные для формулы 2 можно получить на основании данных о сожженных и оставшихся объемах. Объемы разливов на суше или в болотистой местности оценить с использованием приведенных методов затруднительно, так как частью сжигаемого материала может быть растительность.

Рисунок А1 *Номограмма, используемая для протоколирования площадей сжигания и последующего расчета площади сжигания*

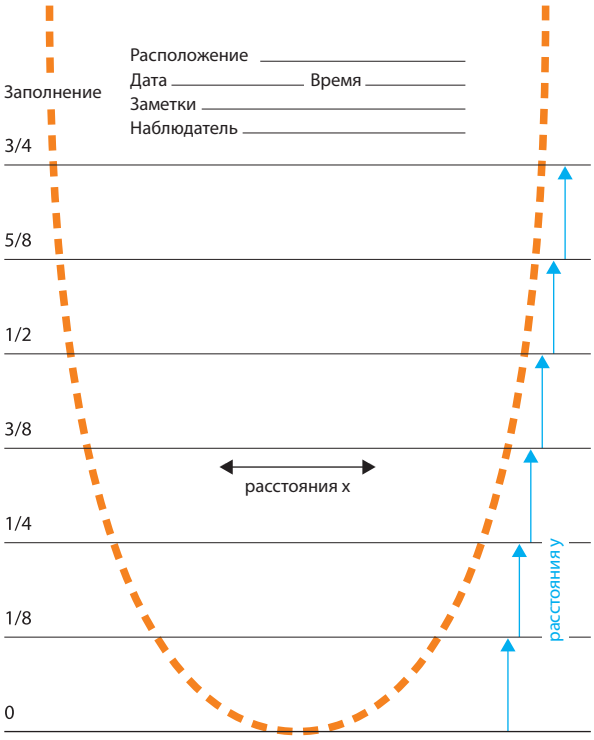


Таблица А1 *Преобразование области заполнения бонового заграждения в фактическую площадь для u-образных боновых заграждений*

a) Метрические единицы: Размеры боновых заграждений = 150 м – проход 50 м и 200 м – проход 66 м

Степень заполнения		Длина (м)	Ширина (м)	Площадь сжигания (м^2)	Длина (м)	Ширина (м)	Площадь сжигания (м^2)
3/4	три четверти	51	48	2 020	68	64	3 590
5/8	пять восьмых	43	46	1 610	57	61	2 860
1/2	одна вторая	34	44	1 220	45	59	2 170
3/8	три восьмых	26	41	860	35	55	1 530
1/4	одна четвертая	17	38	530	23	51	940
1/8	одна восьмая	9	32	220	12	43	390

b) Американские единицы: Размеры боновых заграждений = 500 м – проход 166 футов, 700 футов – проход 233 фута

Степень заполнения		Длина (м)	Ширина (м)	Площадь сжигания (м^2)	Длина (м)	Ширина (м)	Площадь сжигания (м^2)
3/4	три четверти	165	156	21 000	231	218	41 200
5/8	пять восьмых	137,5	149	16 800	193	209	32 900
1/2	одна вторая	110	142	12 700	154	199	24 900
3/8	три восьмых	82,5	132	9 000	116	185	17 600
1/4	одна четвертая	55	122	5 500	77	171	10 800
1/8	одна восьмая	27,5	102	2 300	39	143	4 500

Приложение 2. Развертывание боновых заграждений и способы буксировки

Развертывание боновых заграждений для контролируемого горения

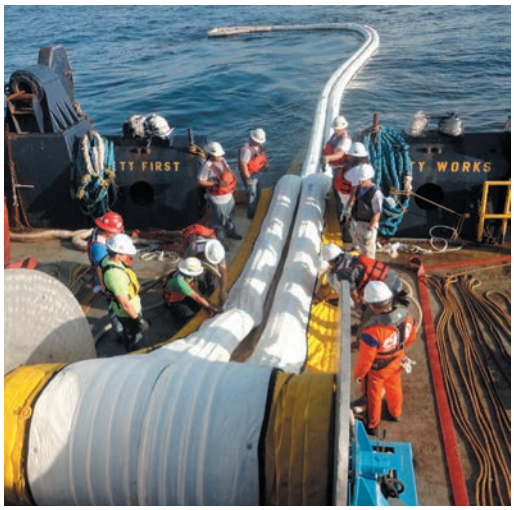
Процедуры развертывания для огнеупорных боновых заграждений зависят от типа используемых заграждений. Боновые заграждения с водным охлаждением обычно являются надувными и могут храниться и развертываться с барабанов. Однако для установки таких видов боновых заграждений может потребоваться большая палуба для размещения установки водяного охлаждения при разворачивании бонов с барабана.

Боновые заграждения из нержавеющей стали и термически изолированные боны представляют собой жесткие конструкции, которые хранятся в контейнере в виде секций. Для них также требуется достаточное пространство на палубе для соединений секций во время развертывания. Из-за их жесткости и веса обычно при развертывании прибегают к использованию кранов.

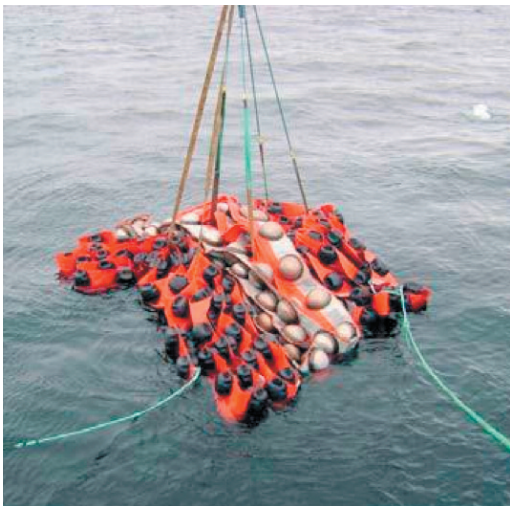
Во время развертывания и демонтажа боновые заграждения могут быть повреждены. Поэтому они требуют аккуратного обращения и должны перемещаться как можно медленнее. Например, крепление тролевочного чокера к крану может повредить боновое заграждение, поэтому для их подъема лучше применять матерчатую ленту. На снимках ниже показаны различные методы развертывания боновых заграждений.

Ближе к правому краю: развертывание бонового заграждения с задней части судна.

Справа: развертывание огнеупорного бонового заграждения с помощью крана.



Elastec Inc.



Desmi-AFTI

Боновые заграждения для локализации пятен обычно поставляются секциями, соединяемыми с помощью соединителей. Многие огнеупорные боновые заграждения оснащаются стандартными соединителями или допускают установку переходников для применения стандартных соединителей. Эти соединители позволяют с легкостью и высокой степенью надежности соединять между собой различные типы боновых заграждений. Если для локализации используется несколько типов боновых заграждений, то перед этим потребуется проверить совместимость соединителей этих ограждений.

Далее приведена стандартная процедура развертывания боновых заграждений с судна в открытых водах с применением стандартной U-образной конфигурации.

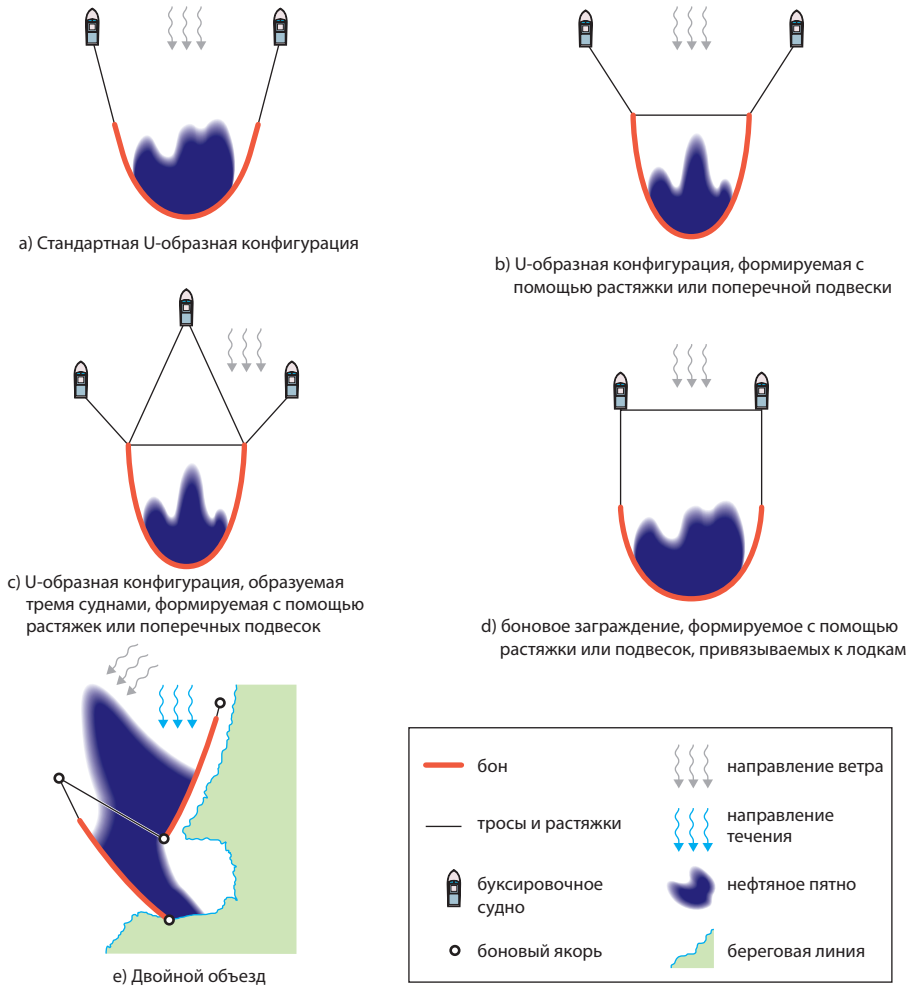
- Судно располагается как можно дальше от пятна по ветру, чтобы хватило времени на развертывание ограждения до того, как пятно мигрирует до места развертывания.
- Судно выравнивается таким образом, чтобы боновое заграждение было направлено против ветра.
- Перед развертыванием первой части заграждения с палубы к одному его краю привязывается буксировочный трос буксировочного судна.

- Боновое заграждение устанавливается с кормовой части, чтобы ветер способствовал буксированию.
- После развертывания последней секции край заграждения привязывается к буксировочному тросу того же судна, из которого осуществлялось развертывание, и это судно может стать буксировочным. Если требуется задействовать другое буксировочное судно, то трос передается с установочного судна на буксировочное.
- Буксировочный трос с другой стороны бонового заграждения привязывается к другому буксировочному судну.
- Второе буксировочное судно направляется против ветра, пока не образуется U-образная форма заграждения.

Способы буксировки огнеупорных боновых заграждений

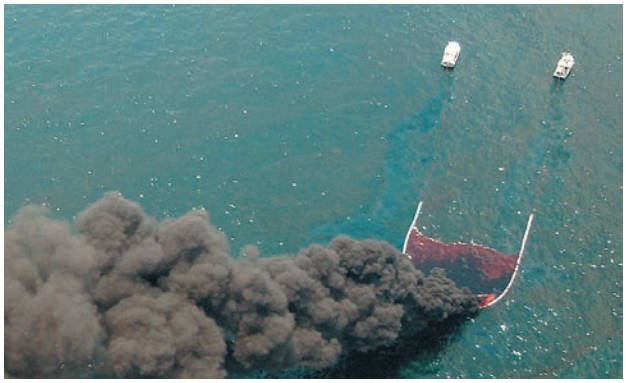
Размер бонового заграждения, необходимого для контролируемого сжигания, зависит от объема сжигаемой нефти. Обычно длина бонового заграждения варьируется от 150 до 300 м (от 500 до 1000 футов). Стандартная длина большинства производимых боновых заграждений составляет 15 или 30 м (50 или 100 футов). Как правило, площадь нефти внутри заграждения не должна превышать две третьих площади, образуемой линией провеса, т.е. стандартной U-образной формы буксируемого бонового заграждения (рисунок A2).

Рисунок A2 *Допустимая конфигурация буксирования огнеупорных боновых заграждений*



На основе информации, любезно предоставленной Environment Canada

Контролируемое сжигание на воде внутри огнеупорного бонового заграждения, развернутого в стандартной U-образной конфигурации.



Elastec Inc.

Длина тросов с буксировочных судов обычно составляет минимум 75 м (150 футов). Боновое заграждение всегда буксируется против ветра, чтобы дым оставался позади судов. Скорость буксирования измеряется относительно скорости течения. Для поддержания необходимой низкой скорости относительно течения скорость буксирования должна быть минимальной или нулевой, позволяя заграждению двигаться по ветру.

Как правило, во избежание разбрызгивания нефти через заграждение или ее увлечения под воду скорость буксирования бонов должна составлять менее 0,4 м/с (< 0,7 узла). Ниже описаны дополнительные вопросы, требующие внимания:

- Стандартная конфигурация бонового заграждения включает длину огнеупорных бонов, соединенных с каждой стороны буксировочными тросами с двумя суднами, которые при буксировке заграждения формируют линию провеса или U-образную форму, как показано на рисунке A2 (a).
- С каждой стороны бонового заграждения, на расстоянии нескольких метров позади буксирующих судов, может крепиться растяжка или поперечная подвеска, которые обеспечивают сохранение U-образной формы бонового заграждения, как показано на рисунке A2 (b). Эта растяжка или поперечная подвеска помогают поддерживать проход буксируемого ограждения и не допускают случайное образование J-образной формы.
- При использовании стандартной U-образной конфигурации может вызвать трудности задача поддержания двумя суднами одинаковой скорости. Для решения этой проблемы и повышения контроля над формой заграждения можно задействовать три судна, как показано на рисунке A2 (c). Одно судно буксирует боновое заграждение по центру, используя буксировочные тросы, привязанные с каждой стороны U-образной формы, в то время как другие два судна тянут края в стороны, поддерживая U-образную форму.
- К суднам также может быть привязана растяжка, как показано на рисунке A2 (d). Преимуществом этого метода является то, что в чрезвычайной ситуации операторы катеров могут быстро отвязать растяжку.
- Если нефтяное пятно располагается вблизи берега, боновое ограждение (или боны) можно использовать для перемещения пятна в спокойную область, например в бухту, где можно произвести сжигание нефти. Пример этого метода с применением двух бонов показан на рисунке A2 (e). Отводные боны располагаются под углом к течению, который должен быть достаточно большим для перенаправления нефти, но не слишком большим, чтобы не разорвать ограждение. Боновое ограждение удерживается на месте при помощи якорей, буксирующих судов или тросов, закрепляемых на береговой линии.

Скорость буксирования может иногда увеличиваться, если горение начинает заполнять более двух третей пространства в ограждении. Если локализованная нефть начинает попадать в толщу воды под боном или разбрызгивается через ограждение, то она начнет всплывать непосредственно за верхней точкой бонового заграждения. Это неконтролируемое нефтяное пятно может воспламениться от горящей внутри заграждения нефти или горящей нефтью, которая разбрызгивается через заграждение.

От авторов

Этот документ подготовил Мерв Фингас (Merv Fingas, Spill Science) и отредактировал Алексис Стин (Alexis Steen, ExxonMobil), руководивший группой по реализации контролируемого сжигания. Мы выражаем благодарность этим людям за их опыт, весомый вклад и советы, предоставленные в процессе подготовки этого документа.

Эта страница намеренно оставлена незаполненной.

Эта страница намеренно оставлена незаполненной.

IPIECA

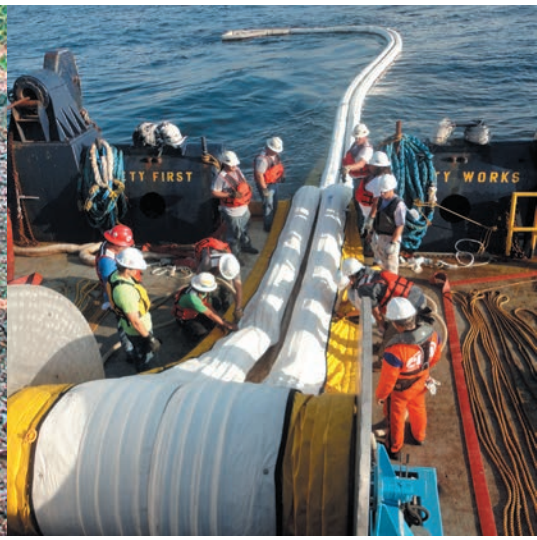
IPIECA — международная ассоциация представителей нефтегазовой промышленности по экологическим и социальным вопросам. Данная организация разрабатывает, распространяет и содействует распространению положительного опыта и знаний для улучшения экологической и социальной эффективности промышленности. IPIECA является главным каналом коммуникаций отрасли с Организацией Объединенных Наций. При помощи своих участников, возглавляющих рабочие группы, а также исполнительного руководства, IPIECA объединяет коллективный опыт нефтегазовых компаний и ассоциаций. Ее уникальное положение в промышленности позволяет ее участникам эффективно реагировать на ключевые экологические и социальные проблемы.

www.ipieca.org

International Association of Oil & Gas Producers

Международная ассоциация производителей нефти и газа (IOGP) представляет первичные нефтегазовые отрасли перед международными организациями, включая Международную морскую организацию, Конвенции региональных морей Программы ООН по окружающей среде (UNEP), а также другие группы под эгидой ООН. На региональном уровне IOGP является представителем промышленности в Европейской комиссии и парламенте, а также Комиссии ОСПАР в Северо-восточной Атлантике (OSPAR). Немаловажна роль IOGP в распространении передового опыта, особенно в областях здоровья, безопасности, экологической и социальной ответственности.

www.iogp.org.uk



© IPIECA-IOGP 2016 All rights reserved.