

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К СУДОВЫМ СИСТЕМАМ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ В УСЛОВИЯХ ЗАМЕРЗАЮЩИХ МОРЕЙ

В.И. Журавель

Научно-методический центр «Информатика риска»

Мансуров М.Н., Маричев А.В.

ООО «ВНИИГАЗ»

В статье представлены результаты анализа технических требований к оборудованию для ликвидации разливов нефти (ЛРН) с учетом нормативных критериев и практики определения возможных объемов разлива, производительности систем сбора и хранения нефти. Приведены требования к оснащению специализированных судов ЛРН.

Введение

В настоящее время наблюдается активный рост танкерных перевозок нефти в российских замерзающих морях, который, как правило, не сопровождается адекватными действиями по обеспечению безопасности, прежде всего, в области предупреждения и ликвидации разливов нефти (ЛРН). Суммарные объемы перевозок нефти в Баренцевом и Белом морях и на Дальнем Востоке в 2005 г. составили около 15 млн. т, а в 2010 г., по существующим оценкам, объем транспортировки может увеличиться более чем в 3 раза и превысит 50 млн. т [1].

Развитие сил и средств ЛРН преимущественно направляется на защиту отдельных опасных объектов (портов, терминалов, платформ), а штатное оснащение государственных аварийно-спасательных формирований, ответственных за сохранение экологического благополучия акваторий и реализацию региональных планов борьбы с нефтяными разливами, характеризуется недостаточным количеством специализированных судов и устаревшим оборудованием, не подходящим для проведения операций в ледовых условиях. Поэтому задача модернизации региональных систем ЛРН, соответствующих возрастающим объемам перевозок, является весьма актуальной.

В статье на основе анализа существующих российских и международных нормативных технических требований к средствам ЛРН приводятся расчеты по

определению необходимого количества и состава судов, а также технологического оборудования для борьбы с разливами различных объемов. Обсуждаются основные проблемы ЛРН: нехватка технических средств, многочисленные ограничения по проведению операций в зимний период, удаленность баз ЛРН от маршрутов перевозок и др. По результатам проведенной оценки технических требований сформулированы рекомендации к оснащению судовых систем ЛРН.

1. Определение состава судов и оборудования ЛРН

Для определения технических требований и оценки требуемых сил и средств ЛРН для западной Арктики и Дальнего Востока можно использовать стандартный порядок действий, широко применяемый при разработке планов ЛРН (табл. 1) [3]:

Таблица 1

Порядок определения состава оборудования ЛРН

№	Основные этапы	Деятельность
1	Определение (уяснение) задач операции ЛРН	Определение максимального объема разлива и уровня реагирования на основе нормативных и (или) расчетных критериев
2	Локализация разлива	
2a	Расчет протяженности боновых заграждений	Производится моделирование разливов, выполняются расчеты площади и полупериметра пятна с учетом характеристик нефти и вероятных гидрометеорологических условий.
2b	Определение количества судов для постановки и удержания бонов	Выполняется расчет постановки бонового заграждения с учетом типов применяемых бонов, мощностей используемых судов, якорей для удержания бонов
3	Сбор и удаление нефти	
3a	Нефтесборные системы	На основе моделирования определяются прогнозные изменения характеристик разлива во времени (объем, толщина пленки, образование эмульсий). Производится выбор типов нефтесборных систем, их количества и производительности, оценка эффективности в вероятных условиях применения

№	Основные этапы	Деятельность
3b	Системы сепарации нефти и воды, танки для хранения собранной нефти	Определяются производительности систем сепарации и очистки воды, объема танков для хранения нефти, возможности перекачки нефти на другие суда для последующей утилизации
3c	Системы сжигания нефти	Согласования в российских надзорных органах применяемых технологий ликвидации нефтяного загрязнения
3d	Диспергирование нефти	
4	Выбор параметров специализированных судов и оборудования	Определение соответствия общих и специальных параметров судов и оборудования конкретным условиям ликвидации разлива
4a	Общие	Ледовый класс, маневренность, скорость судна, время подхода
4b	Размещение оборудования	Палубные площади, слип для спуска оборудования, места для навесного оборудования, склады хранения инициаторов горения, диспергентов
4c	Емкости для приема нефтеводяной смеси	Объем, обеспечение безопасности (вентиляция танков), учет операций с нефтью,
4d	Специальные	Обеспечение взрывопожаробезопасности, вертолетная площадка, буксирные устройства и лебедки, лабораторное помещение

Хотя потенциальные объемы нефтяных разливов и уровни реагирования могут определяться на основе нормативных документов [5,6], дальнейшие действия требуют расчетных оценок – определения протяженности боновых ограждений, количества судов, нефтесборных систем и др., получаемых на основе детальной информации и проведения моделирования разливов¹. Приводимые ниже количественные оценки являются экспертными, учитывающими известные теоретические зависимости, эмпирические наблюдения и результаты реальных операций ЛРН.

2. Определение объема разлива на основе нормативных требований

Определение максимально возможного объема разлива является основой всего процесса планирования операций ЛРН, поскольку именно эта исходная информация напрямую обуславливает требования к количеству оборудования и, в конечном итоге, затраты на создание системы ЛРН.

¹ Моделирование нефтяных разливов является отдельной задачей, которая в данной статье не рассматривается.

Российские нормативы по вопросам ЛРН [5, 6] устанавливают следующие требования для ликвидации разливов в море:

А. Категории чрезвычайных ситуаций в зависимости от объема разлива:

- локального значения – до 500 т;
- регионального значения – от 500 до 5000 т;
- федерального значения – более 5000 т.

В. Срок локализации разлива – не более 4^х часов.

С. Объем максимально возможного разлива для морского сооружения – 1500 тонн.

Д. Объем максимально возможного разлива для нефтеналивного судна – 2 танка (т.е. 4 000 - 5 000 тонн для танкера дедвейтом 20 000 тонн и 12 000 тонн для типового танкера дедвейтом 70 000 тонн).

Международные рекомендации

Оценочные объемы разливов нефти при авариях танкеров можно определить по Правилам Марпол 73/78 (Правила 22 и 23 Приложения I). Так, по усредненным типовым данным для планируемых к использованию танкеров расчет приводит к следующим результатам [1] (табл. 2):

Таблица 2

Ориентировочный объем разлива нефти при аварии танкера по Марпол 73/78

Характеристики танкера	Объем разлива, м ³	
	Повреждение днища	Повреждение борта
Танкер дедвейтом 20 000 тонн (16 танков)	93	1769
Танкер дедвейтом 70 000 тонн (20 танков)	122	3697

Ассоциация морских нефтегазодобывающих компаний (IPIECA) при планировании ЛРН рекомендует принимать следующие объемы разливов [7] - табл. 3.

Таблица 3

Ориентировочный объем разлива нефти при аварии танкера по IPIECA

Тоннаж танкера	Легкая посадка или столкновение (1 бортовой танк)	Тяжелая посадка (2 бортовых и 1 центральный танк)	Бункерное топливо
30000	700	3000	450
50000	1100	5000	750
70000	3000	12500	1800
100000	5500	21000	2300

Приведенные сведения показывают, что российские требования являются одними из наиболее строгих в мире, хотя и не исключительными. Например, в США должен быть рассмотрен случай наиболее опасного разлива (“worst case discharge”), равный полному объему перевозимой танкером нефти [11]. Однако, требования других зарубежных стран и международных организаций, на наш взгляд, более предпочтительны, поскольку они основываются на данных многолетней статистики, а рекомендации более детально проработаны.

3. Технологии ЛРН в ледовых условиях

Для осуществления операций ЛРН в замерзающих морях необходимо оборудование для ликвидации разливов как на открытой воде, так и в ледовых условиях. Порядок действий для обеих ситуаций является одинаковым и включает три основных этапа: 1) обнаружение, прогноз и контроль поведения разлива; 2) локализацию пятна; 3) сбор нефти / ликвидацию разлива.

Технико-технологические решения ЛРН на открытой воде хорошо отработаны и подробно описаны в литературе, а в ледовых условиях, напротив, возникают существенные технические проблемы на всех указанных выше этапах [3].

Дистанционное обнаружение нефти в ледовых условиях по-прежнему остается недостаточно надежным. Существенное изменение альbedo снежно-ледяной поверхности позволяет обнаружить нефтяное загрязнение, однако наличие участков открытой воды при нарушениях сплошности ледяного покрова и снежицы на поверхности льда создают неравномерный фон, на котором

выделение загрязненных районов затруднено. Поэтому применение пассивных дистанционных датчиков, например, фотографирование, использование сканирующей оптической аппаратуры не обеспечивает надежное обнаружение загрязненных нефтью районов.

Существующая технология ЛРН требует отделения нефти ото льда, поэтому локализация нефти в ледовых условиях является более сложной операцией. Применяются специальные стальные понтоны с промежутками между ними, соединенные несущим канатом. Заграждение удерживает лед и пропускает нефть. При буксировке через лед нефть вымывается из-под льда и появляется на поверхности. Как правило, требуется второе сплошное боновое заграждение для локализации отделенной нефти, и далее сбор может быть произведен обычными методами. Существующие образцы бонов эффективны при скорости течения до 0.8 м/с, высоте волн до 2 м и сплоченности льда в 7 баллов. Установка стальных понтонов весьма трудоемка и требует точного определения положения нефтяного пятна и учета его дрейфа под воздействием течений.

Как показывает практика, при оперативной локализации пятна эффективность операций по механическому сбору и сжиганию нефти существенно возрастает. На полевых испытаниях удавалось собирать 30-50% разлитой нефти, а в экспериментах по сжиганию уничтожалось до 90% объема разлива [3, 8]. Однако в реальных условиях успехом считается сбор 30% разлитой нефти при среднем показателе 10-15%.

Поскольку локализация разлива не всегда возможна, ряд систем механического сбора предназначается для использования непосредственно с судов:

- навесная нефтесборная система с ветвью бонов на выносной стреле;
- спускаемый с борта скиммер (нефтесборщик);
- бортовые скиммеры (использование при движении судна);
- выносные скиммеры (использование при движении судна).

Проблематичным является сбор нефти, попадающей под ледовое покрытие (например, при порыве морского трубопровода или после изменения ледовых условий). Возможность ликвидации этих разливов связана с задачами

обнаружения подледных скоплений нефти и обеспечением безопасной работы персонала на льду, а практика ликвидации таких разливов связана со вскрытием ледового покрова и применением традиционных методов сбора нефти. Для проведения таких операций рекомендуется контейнерный модуль с запасом оборудования, инструментов и материалов (размещение на судне ЛРН не обязательно).

4. Технические требования к локализации разливов, системам сбора и хранения нефти

Принимая во внимание нормативные требования по локализации разлива в море в течение 4^х часов, оценку необходимого количества сил технических средств ЛРН можно провести следующим образом..

Нормативные объемы разливов нефти различного уровня составляют:

- 50 т – расчетный максимальный объем разлива локального уровня;
- 500 т – разлив регионального уровня [6];
- 5000 т – разлив федерального уровня [6].

После возникновения разлива нефть в течение первых часов распространится по акватории и покроет воду пленкой толщиной от 0,1 до 1 мм, с отдельными скоплениями толщиной до 10 мм. По различным методикам [4, 9] можно оценить площадь и полупериметр пятна – исходную информацию для постановки боновых заграждений (табл. 4).

Таблица 4

Средняя площадь и размеры нефтяного пятна
на открытой воде через 4 ч после разлива

Объем разлива, т	Средняя толщина нефтяной пленки, мм	Площадь, км²	Полупериметр, м
50	0,2	0,30	965
500	0,5	1,19	1 930
5000	1,0	5,95	4 320

При сплоченности льда более 3-х баллов образуются физические барьеры для распространения нефти, при этом нефть задерживается в неровностях нижней поверхности ледового покрытия. При большой сплоченности льда (8 – 9 баллов) даже очень крупные разливы (более 1000 т) распространяются лишь на сотни метров от места разлива (табл. 5).

Таблица 5

Площадь нефтяного пятна (км²) в ледовых условиях
через 24 ч после разлива (расчет по [9])

Объем разлива, т	Сплоченность ледового покрытия		
	4 балла	6 баллов	9 баллов
50	0,18	0,12	0,03
500	0,71	0,48	0,12
5000	3,57	2,38	0,59

Определение протяженности боновых заграждений и технологий сбора нефти

Особенности постановки бонов различной конфигурации (J- или U-образные) и сложности достижения оптимальной геометрии заграждений приводят к нереалистичным оценкам их требуемой протяженности. Принято считать, что эффективное управление боновым заграждением в условиях открытого моря может осуществляться при его длине примерно равной трехкратному раствору нефтесборного ордера, поэтому для локализации разлива потребуется длина бонов примерно равная периметру пятна.

Нефтесборное судно и катер-бонопостановщик могут совместно удерживать линию бонов длиной до 500 м, хотя при соответствующих условиях можно удерживать боновые заграждения с помощью якорных устройств. Мировой опыт операций ЛРН показывает, что для локализации разливов различного уровня потребная протяженность боновых заграждений должна составлять, соответственно, 2,9-5,8 км для 1 уровня, 5,8-13,0 км для 2 уровня и более 13 км для 3 уровня (табл. 6).

Таблица 6

Оценка состава основного оборудования для разливов различных уровней

№	Показатели	Уровни разливов		
		1	2	3
1	Объем разлива, т	50 - 500	500 - 5000	более 5000
2	Протяженность боновых заграждений, км	2,9 – 5,8	5,8 – 13,0	более 13,0
3	Специализированные суда	1 - 2	4 - 8	10 - 15
4	Катера	3 - 6	10 - 15	15 – 20
5	Скиммеры и нефтесборные системы			
	производительность 20 м ³ /ч	4 – 10	10 – 15	15 – 20
	производительность 100 м ³ /ч	1 – 4	5 – 10	10 – 15
	производительность 250 м ³ /ч	-	1 - 2	3 - 4
6	Объем танков для собранной нефти, м ³	40 -200	200 - 1500	1500 - 3000
7	Оборудование для сжигания нефти, компл.	-	1 - 2	3 – 4

Анализ табл. 6 показывает, что для обеспечения нормативного срока локализации (4 часа) разлива 1 уровня требуется до 6 судов, а для разлива 2 уровня – до 15. Кроме того, при крупном разливе обычно образуется несколько нефтяных пятен или полос, что увеличивает потребность в дополнительных судах. и усложняет задачу локализации. Поскольку в настоящее время требуемое количество специализированных судов ледового класса отсутствует как в Баренцевом море, так и на Дальнем Востоке, нормативные требования по локализации разливов являются практически не реализуемыми, как из-за отсутствия достаточного числа плавсредств на месте разлива, так и логистической сложности такой операций (координация действий основных и вспомогательных судов, периодические переходы судов для сдачи собранной нефти и т.п.). Поэтому, на наш взгляд, более реалистичным решением является расширение методов сбора нефти с борта судов навесными системами, не требующего постановки бонов. Это, в свою очередь, потребует более точного прогноза поведения разлива и наведения судов, учета экологической чувствительности акваторий и побережий по возможным траекториям распространения разливов и других мер организационного характера, в том числе подготовки квалифицированных специалистов по борьбе с крупными разливами (на

проводившихся ранее учениях и тренировках отрабатывались действия при разливах объемом от нескольких до десятков тонн).

Приведенные в табл. 6 оценки количества и производительности нефтесборных систем показывают, что для крупных разливов целесообразно использование оборудования большей производительности. Суммарная емкость танков для хранения собранной нефти может быть в 2-3 раза меньше расчетного объема разлива, поскольку: а) при крупных разливах практически невозможно собрать всю разлитую нефть; б) возможно использование других нефтеналивных судов (барж) для перегрузки собранной нефти с нефтесборщиков.

Применение оборудования для сжигания нефти действующими нормами в российских морях не предусматривается, а для возможного использования этого метода требуется получение согласований в соответствующих надзорных органах. С другой стороны, сжигание нефти при определенных условиях является более эффективным и менее затратным способом по сравнению с механическим сбором, а в отдельных ситуациях при ледовых условиях – единственно возможным методом.

Использование диспергентов для рассеивания нефтяной пленки в толще воды по-прежнему оценивается неоднозначно [3, 7, 10], поскольку токсичные реагенты создают дополнительное загрязнение водной среды. Применение этого метода в России также не предусмотрено действующими нормами.

Требования к техническому оснащению судов ЛРН

Из опыта разработки планов ЛРН для конкретных проектов были выявлена потребность в следующем оборудовании специализированных судов для работ в Арктике:

- средства для экстренной перегрузки нефти и нефтепродуктов с аварийных судов (насосы, рукава и соединения для приема-передачи в исполнении, приспособленном для работы с высоковязкой нефтью);
- средства наблюдения за нефтяным разливом (локатор бокового обзора с регулируемой по частоте апертурой на судне, лазерный сканирующий флуорометр на вертолете и др.);

- средства спуска на воду, буксировки, управления и подъема нефтесборного оборудования (слипы, кран-балки, краны, манипуляторы, буксировочные устройства и т.п.);
- трубопроводы и насосы для приема и перекачки нефтеводяной смеси от других нефтесборных устройств за бортом;
- сепараторы для разделения нефти и воды;
- парогенераторы и паропроводы для обработки и очистки оборудования, загрязненного нефтью;
- наличие возможности размещения запасов материалов и оборудования для приготовления и распыления диспергентов;
- наличие возможности размещения запаса инициаторов горения и устройств для поджигания разлива;
- катера-бонепостановщики с необходимой мощностью двигателя и автономностью плавания для проведения разведки, участия в нефтесборных операциях и самостоятельных операциях ЛРН;
- размещение и использование оборудования с учетом арктических условий (укрытие, подогрев, защита от обледенения, обслуживание и т.п.);
- контрольно-измерительная аппаратура для обеспечения учета операций с нефтью и др.

Требования к базированию сил и средств ЛРН

Традиционно силы и средства ЛРН регионального уровня размещаются на основных базах соответствующих бассейновых аварийно-спасательных управлений. Однако угроза возникновения крупных разливов на протяженных трассах плавания требует пересмотра этой политики и создания промежуточных пунктов базирования. Например, в Баренцевом море при возрастающем потоке транспорта нефти из Печорского моря актуально изучение возможности размещения базы средств ЛРН на о-ве Колгуев.

Также заслуживает внимания развитие баз мобильного базирования, как это начато МЧС России на Центральном терминале специального оборудования. При пополнении этого терминала оборудованием для работы в условиях

открытого моря фактически речь может идти о создании инфраструктуры сил и средств 3-го уровня реагирования, что, однако, требует исследования задач доставки оборудования на вероятные места возникновения разливов.

Наличие достаточного количества нефтесборных систем и их мобильность являются ключевыми факторами успешности операций ЛРН.

5. Технические требования к специализированным судам

В настоящее время отсутствуют российские или зарубежные нормативные требования к оборудованию специализированных судов для проведения операций ЛРН в арктических морях. Даже специальный стандарт норвежской ассоциации NOFO [10] не предусматривает каких-либо дополнительных мер и требований к оборудованию, обеспечивающих работу в ледовых условиях. На наш взгляд, функциональные возможности таких судов должны обеспечивать выполнение операций ЛРН, как на открытой воде, так и в ледовых условиях. Кроме того, учитывая удаленность маршрутов перевозок от баз ЛРН, специализированное судно ЛРН должно обладать значительной автономностью.

Анализ технологий и средств ликвидации разливов нефти в ледовых условиях позволяют сформулировать технические требования к судовым системам (табл. 7).

Исходя из указанных в табл. 7 требований, наиболее приемлемыми для работы в Арктике являются буксиры ледового класса Nanug, входящие в систему сопровождения танкеров SERVS в заливе принца Уильяма на Аляске. Российские суда оборудованы недостаточно и во многом не отвечают предъявляемым требованиям. Эти требования должны быть учтены и реализованы на новых строящихся и заказываемых судах. В частности, имеются сведения о постройке двух многоцелевых ледоколов обслуживания для проекта «Приразломное», ледокола и буксира ледового класса для проекта «Варандейский терминал». С их вводом в строй возможности адекватного реагирования на разливы существенно возрастут, а при разумной организации взаимодействия возрастет и экологическая защищенность района в целом.

Таблица 7

Рекомендуемые технические требования для судов ЛРН
при операциях в замерзающих морях

№	Характеристика	Параметры
1	Классификация судна	Не ниже LU5 по Правилам Российского морского регистра судоходства
2	Палубные площади для размещения, обслуживания и развертывания оборудования	Не менее 2-х стандартных 20-футовых контейнеров Не менее 5 м свободной площади перед слипом
3	Слипы для спуска нефтесборного оборудования	Ширина не менее 4 м
4	Двигательная установка и подруливающие устройства	Обеспечение маневренности на малом ходу
5	Вертолетная площадка	Вертолет типа К-226 (длина с вращающимися винтами 13,0 м, высота 4,15 м, ширина 3,25 м, максимальная взлетная масса 3400 кг, вес груза 1400 кг, на внешней подвеске - 1500 кг, практическая дальность 750 км, вместимость 8 чел.)
6	Катер-бонепостановщик	Мощность двигателей 350-400 л.с.
7	Буксирные устройства и лебедки	
8	Посадочные места для навесного оборудования	
9	Специальные посты и помещения	Склады хранения инициаторов горения, диспергаторов, посты (мостики) управления забортным оборудованием, пост обработки данных и управления операциями, лабораторное помещение

Заключение

Существующая ситуация, при которой в Баренцевом море перевозится более 10 млн. т нефти ежегодно при почти полном отсутствии сил и средств ЛРН, является крайне опасной. Возникновение одного, даже не крупного разлива нефти, потребует привлечения всех имеющихся средств аварийно-спасательных подразделений, что, в свою очередь, существенно осложнит проведение других транспортных операций.

Обеспечение безопасности перевозок нефти в российских замерзающих морях требует решения многих технико-технологических проблем. Существующее состояние сил и средств бассейновых аварийно-спасательных управлений не отвечает быстро увеличивающемуся уровню угроз.

Безусловно необходимым является последовательное и обоснованное увеличение числа специализированных судов, обеспечивающих выполнение операций ЛРН, закупка оборудования, материалов, обустройство баз и обучение персонала. Уже сейчас подобные подразделения требуются для Печорского моря и района Мурманска.

Сложности борьбы с разливами в ледовых условиях усугубляются коротким световым днем и удаленностью маршрутов перевозки от баз ЛРН.

Литература

1. Журавель В.И. Риск возникновения и организация ликвидации разливов нефти при танкерных перевозках в Баренцевом море / В.И. Журавель, М.Н. Мансуров, А.В. Маричев // Труды 7^й международной конференции по освоению ресурсов нефти и газа российской Арктики и континентального шельфа СНГ. – СПб., 2005. – С. 449-454.

2. Журавель В.И. Средства морского и берегового обеспечения предупреждения и ликвидации аварийных разливов углеводородов в условиях замерзающих морей / В.И. Журавель, М.Н. Мансуров, А.В. Маричев // Труды конференции «Управление рисками и устойчивое развитие единой системы газоснабжения России. – М., 2006.

3. Мансуров М.Н. Ликвидация аварийных разливов нефти в ледовых морях. М.Н. Мансуров, Г.А. Сурков, В.И. Журавель, А.В. Маричев. – М.: ИРЦ «Газпром», 2004. – 422 с.

4. Временные методические указания по техническому оснащению дочерних обществ ОАО "Лукойл" силами и средствами 1-го уровня реагирования для ликвидации аварийных разливов нефти: Приказ ОАО "Лукойл" от 11.02.2002 № 23.

5. Основные требования к разработке планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: Постановление Правительства РФ от 21.08.00 № 613.

6. Правила организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 15.04.02 № 240.

7. A Guide to Contingency Planning for Oil Spills on Water, IPIECA Report Series, Vol. 2, 2000.

8. Buist I. In Situ Burning of Oil Spills in Ice and Snow // Proc. Of Int. Oil and Ice Workshop 2000. – Anchorage.

9. Buist I. Oil Fate and Behavior in Ice / I. Buist, D. Dickins // Proc. Of Int. Oil and Ice Workshop 2000. – Anchorage.

10. Norwegian Clean Seas Association for Operating Companies (NOFO) Standard for Oil Recovery Vessels revised April 2003.

11. Oil or Hazardous Material Pollution Prevention Regulation for Vessels. 33 CFR, Part 155, 2004.