

УДК 504.05

DOI: 10.17277/voprosy.2025.02.pp.007-015

ЛИКВИДАЦИЯ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ ПОДВОДНЫМ УСТРОЙСТВОМ, РАБОТАЮЩИМ ОТ СУДОВОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

О. А. Городников, В. Э. Охоткина

*ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет»,
Владивосток, Россия*

Ключевые слова: Арктика; аппарат; ликвидация; разлив нефти; сорбент; судовая установка; судно.

Аннотация: Нефтегазовая отрасль стремительно расширяется в сторону Арктического региона. В связи с этим возрастает риск разливов нефтепродуктов, что в свою очередь требует поисков путей быстрого реагирования и ликвидации разливов в ледовых условиях. Предложен экспериментальный образец подводного устройства для распыления сорбента, способный работать в зоне разлива в замерзающих акваториях. Уникальность предлагаемого метода заключается в возможности оперативного использования и компактных габаритах самого устройства, что позволяет снабдить данным устройством любое судно. Отмечено, что предлагаемое подводное устройство единственное в своем роде, способное работать в толще воды. Представлена принципиальная схема в комплексе судовой энергетической установкой.

Введение

По оценкам экспертов, на российском арктическом шельфе запасы нефти и газа смогут обеспечить 20 – 30 % добычи нефти к 2050 году. Так, в настоящее время в российской Арктике открыто 360 месторождений нефти и газа, из них 334 на суше и 26 на шельфе [1]. При этом нефтегазовый потенциал изведен не до конца. Добыча в суровых арктических условиях имеет свои особенности, что обусловлено ледовыми условиями, климатическими характеристиками и практически полным отсутствием

Городников Олег Александрович – старший преподаватель кафедры нефтегазового дела; Охоткина Виктория Эльвировна – кандидат географических наук, доцент кафедры транспортных процессов и технологий, e-mail: okhotkina.ve@vvsu.ru, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Россия.

транспортной инфраструктуры. С учетом сложных климатических условий возможны утечки и разливы нефти в процессе добычи углеводородного сырья, при его транспортировке и хранении. По заявлению представителей Министерства чрезвычайных ситуаций (МЧС) России с 2018 года каждая пятая чрезвычайная ситуация связана с попаданием сырья и продуктов переработки нефтегазовой промышленности в экосистему Арктики [2].

Арктика – наиболее уязвимый район со сложными природно-климатическими условиями, нефтяные разливы здесь более вероятны, а последствия разлива затруднительно ликвидировать, так как возможно присутствие битого или сплошного льда [3]. Примеры самых катастрофических нефтяных разливов, произошедших в арктической зоне (авария танкера «Эксон Валдиз» (США, Аляска, 1989 г.) и разгерметизация бака с дизельным топливом на ТЭЦ-3 (Норильск, Россия, 2020 г.)), доказывают, что службы реагирования пока не в состоянии эффективно ликвидировать последствия разливов.

Для решения проблем, связанных с потенциальными крупными разливами нефти на море, разрабатываются системы предотвращения разливов нефти, а также план ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в ходе осуществления деятельности по разведке, добыче, хранению и транспортировке нефти в арктических районах. В настоящее время уделяется большое внимание проблемам, связанным с реагированием на разливы нефти в арктических условиях, и вариантам их решения на всех этапах добычи и транспортировки нефти и газа [4].

Как правило, системы ликвидации разливов нефти основываются на сочетании методов механического сбора и немеханических технологий для очистки или обработки разлитой нефти:

- механический сбор (нефть удерживается в зоне разлива с применением боновых заграждений или в естественных ловушках и удаляется с помощью нефтесборщиков и насосов);
- термический метод или выжигание нефти;
- физико-химический (применение химических реагентов: сорбентов, адсорбентов и диспергентов);
- биологическая очистка (применение специальных бактерий или грибов для разложения или рассеивания нефтяного пятна) [5].

Все методы требуют материально-технического обеспечения для переброски агрегатов и обученного персонала к месту нефтяного разлива, развертывания аппаратного обеспечения и последующей очистки оборудования от загрязнения после завершения операции по ликвидации разлива [6].

Цель исследования – разработка подводного устройства, способного распылять активные вещества в толще воды и работать от системы пожаротушения на любом судне.

Обзор существующей проблемы

В настоящее время существующие устройства по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов не могут обеспечить полной ликвидации нефтяного пятна и не способны работать в сложных климатических условиях, особенно в битом льду.

Предлагается новое техническое средство, способное работать от судовых энергетических установок без дополнительной его модернизации.

Комплекс «судовая энергетическая установка – подводное устройство» способен работать в любых погодных условиях, так как обработка нефтяного пятна проводится всплывающим сорбентом из-под воды.

Научная новизна выполненных исследований: предложен комплекс «судовая энергетическая установка – подводное устройство» для ликвидации нефтяного пятна с судов в замерзающих акваториях и битом льду.

Система подачи активного вещества в зону загрязнения

Работа системы для подачи активного вещества в зону загрязнения осуществляется следующим образом: к распылителю, находящемуся в толще воды, от пожарного насоса под давлением подается вода совместно с паром для поддержания необходимой температуры для исключения вероятности образования наледи внутри системы (рис. 1) [7]. Насос, подающий воду по гибкому трубопроводу, подключается к соединительному устройству. Далее по соединенному с ним трубопроводу вода поступает к управляющей аппаратуре, которая направляет воду к правому, левому или обоим сопловым аппаратам сразу. В результате реакции от струи воды на устройство будет действовать реактивная тяга и распылитель начнет перемещаться. При подаче одновременно к правому и левому сопловым аппаратам распылитель получает гидравлическую тягу и удаляется от места спуска под лед на необходимое расстояние, вытягивая шланг на заданную длину. При подаче воды в правое сопловое устройство гидрореактивная тяга водяной струи будет смещать распылитель влево, при подаче в левое сопло – в противоположную сторону. Глубина погружения устройства регулируется изменением балластного утяжелителя в корпусе подводного устройства.

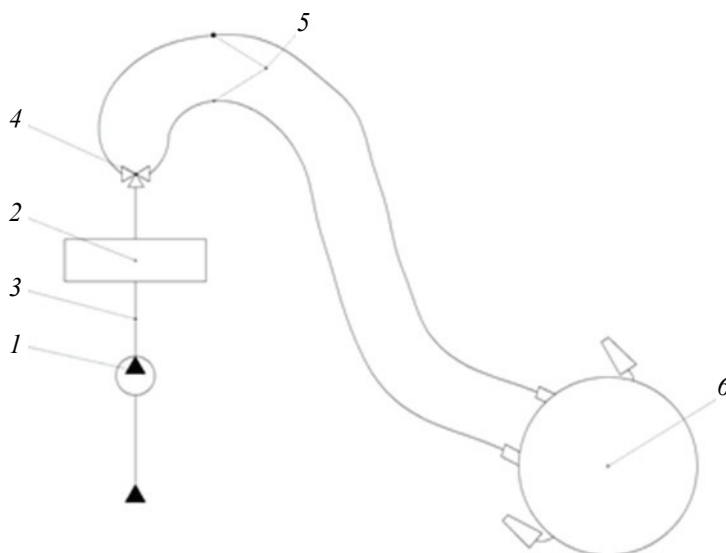


Рис. 1. Принципиальная схема установки:

1 – насос; 2, 4, 6 – смесительное, распределительное и подводное устройства соответственно; 3 – соединительный трубопровод; 5 – подающий шланг

При подходе распылителя в нужное место по гибкому трубопроводу производится подача сорбента в виде пульпы. Распыление активного вещества создается путем включения в поток воды твердого сорбента (например, терморасщепленного графитового сорбента). Приготовление пульпы осуществляется на борту судна или на стационарном объекте в специальном смесителе. Достигнув верхнего уровня воды, сорбент собирает нефтепродукты, находящиеся на ее поверхности. Применение для распыливания водометного движителя будет способствовать качественному, равномерному распределению сорбента в толще воды [8].

При обработке нефтяного пятна распылитель совершает движение по радиусу, определяемому длиной вытравленного рукава. По мере перемещения распылителя проводится вытягивание рукава на заданную длину. Необходимое для обработки нефтяного пятна количество сорбента регулируется содержанием сорбента в пульпе и скоростью перемещения распылителя, а также кратностью прохода распылителя.

Относительно существующих способов, данный способ дает возможность использования при любых погодных условиях, а также имеет и другие достоинства:

- возможность нанесения сорбирующего вещества в толще воды, в независимости от скорости ветра, температуры и других климатических факторов;
- простота конструкции и минимальные расходы при эксплуатации;
- контроль места нахождения аппарата при распылении сорбирующего вещества;
- практически полная ликвидация нефтяного загрязнения на поверхности и в толще воды;
- большая площадь распыления сорбирующего вещества;
- минимальные затраты при использовании аппарата.

Устройство для подачи и распыления активного вещества

Данное устройство должно обеспечивать ликвидацию нефтяных загрязнений в тех местах, где остальные существующие способы не могут быть использованы. Использование такого устройства позволит бороться с нефтяным загрязнением в битом льду, тем самым давая возможность удаления нефти с поверхности и в толще воды.

Для решения поставленной задачи разработано подводное устройство, работающее от системы пожаротушения судовой энергетической установки, для распыления в толще воды сорбента (рис. 2) [9].

Связующим звеном между подводным устройством и судовой энергетической установкой служит гибкий шланг. Особенностью данной системы является то, что не требуется дополнительное оборудование. Элементами системы являются судовая энергетическая установка, подводное устройство, пожарный насос. Подводное устройство имеет «чечевичную» форму корпуса, что позволяет обеспечить минимальное сопротивление в толще воды при его движении в любом направлении.

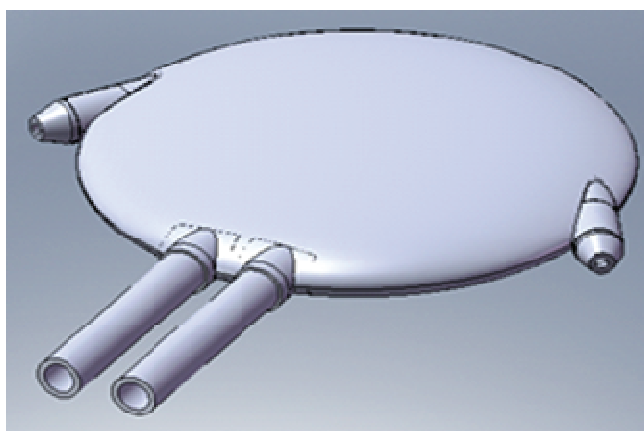


Рис. 2. Модель подводного устройства для распыления сорбента

Движение под водой к нефтяному пятну осуществляется подачей в устройство струи воды, которая выходит через два сопла, расположенные на противоположных сторонах конструкции, создавая реактивную тягу, что способствует его движению. Подводное устройство сможет отдаляться от судна на расстояние до 150 м. При необходимости остановки или изменении траектории его движения подача воды прекращается или осуществляется через одно сопло.

Регулирование работы подводного устройства и подачи в одно или оба одновременно сопла осуществляется распределительным устройством, установленным на борту судна, имеющим сопловой движитель водометного типа с возможностью вращения в вертикальной плоскости. Сопловое устройство соединяется с управляющей аппаратурой, которая регулирует направление подачи жидкости (к правому, левому сопловым аппаратам или к обоим сразу).

Оценка возможностей судовых энергетических установок для обеспечения работы по ликвидации разливов нефти

Анализ результатов расчетов и параметров системы пожаротушения судовой энергетической установки позволяет сделать вывод о том, что подводные устройства для устранения разливов нефти и нефтепродуктов могут применять различные типы судов [10]. Учитывая количество и возможности пожарных насосов на судах различных классов, возможно подключить и использовать не одно, а сразу несколько подводных устройств одновременно.

В связи с этим проведен анализ, касающийся возможности покрытия сорбирующим материалом всей площади нефтяного пятна. Учитывая, что на каждом судне имеется более одного пожарного насоса, определена возможность одновременного использования нескольких подводных устройств для увеличения скорости обработки нефтяного пятна.

В качестве источника для работы подводных устройств используются насосы пожаротушения на судне, характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики пожарных насосов на судах

Название судна	Подача воды, м ³ /ч	Одновременно подключаемые устройства, шт.
Ангара	200	4
FESCO MARINA	90/190	4
ST FORWARD	70	2
ФЕСКО НОВИК	150...200	3
KAROLINA WIND	75	1

Основываясь на технических параметрах и габаритах судов, проанализируем возможность установки судовой энергетической системы для подключения подводного аппарата и оценки площади, которую он сможет охватить при устранении нефтяного загрязнения. Сравним данные о способности обеспечить движение подводного устройства и потенциальном количестве одновременных подключений нескольких аппаратов.

Для различных вариантов подключения подводного судового устройства в программе КОМПАС – 3D LT создадим схему и рассчитаем площадь покрытия.

Судно «ФЕСКО НОВИК» имеет следующие параметры: подача воды насосами 119,7 м³/ч; длина и ширина судна соответственно 126,8 и 19,4 м; высота борта до палубы переборок на миделе 9,45 м; длина шланга 150 м. Возможная схема подключения показана на рис. 3, а. Исходя из параметров судна проведен расчет возможного покрытия сорбентом нефтяного пятна. Площадь покрытия сорбентом через подводные устройства составит $S = 29646,65 \text{ м}^2$.

Судно «Ангара» имеет следующие параметры: подача воды насосами 229,44 м³/ч; длина и ширина судна соответственно 178,00 и 28,40 м; высота борта до палубы переборок на миделе 15,60 м; длина шланга 150 м (рис. 3, б). Также проведен расчет возможного покрытия сорбентом нефтяного пятна: $S = 40782,66 \text{ м}^2$.

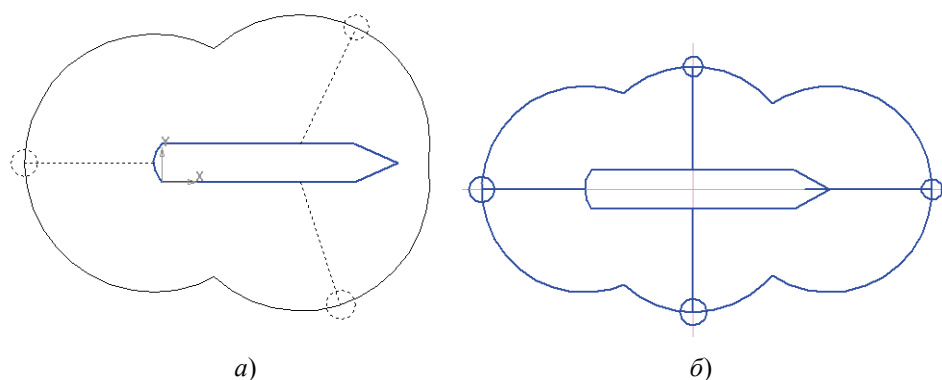


Рис. 3. Схема подключения подводного судового устройства к судам «ФЕСКО НОВИК» (а) и «Ангара» (б)

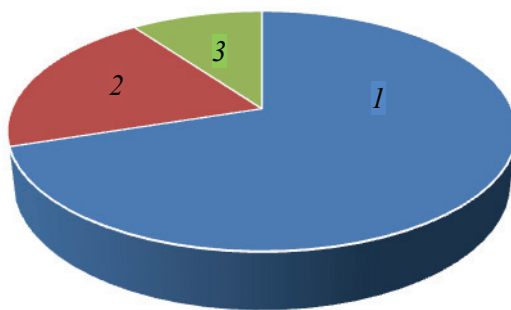


Рис. 4. Затраты времени на использование сравниваемых методов

1 – распыление сорбента из стационарного напорного вентилятора плавучего средства;
2, 3 – использование сорбирующих бонов и подводного устройства соответственно

Данные расчеты дают возможность понять, что при использовании предлагаемого способа нанесения сорбентов и минимальной скорости разветывания системы перед началом работ можно в несколько десятков раз уменьшить время покрытия нефтяного пятна. Данным устройством возможно оснащение аварийно-спасательных судов.

Сравним новый метод нанесения сорбентов с наиболее часто используемыми способами – распылением с плавучих средств с использованием стационарного напорного вентилятора и применением сорбирующих бонов (рис. 4). В результате сравнительного анализа методов ликвидации разлива нефти (по времени) выявили, что применение предлагаемого устройства в два раза эффективнее использования сорбирующих бонов и в 5 раз – в результате распыления сорбента в потоке воздуха под давлением с плавучего средства.

Заключение

Активная деятельность нефтегазовой отрасли в арктической зоне РФ способствует возрастанию риска разливов нефти и нефтепродуктов. Ликвидация разливов в арктической зоне практически невозможна по ряду причин. Это связано, в первую очередь, с суровыми природно-климатическими и ледовыми условиями, полным или частичным отсутствием инфраструктуры.

Представлено новое техническое средство, которое работает от системы пожаротушения судовых энергетических установок без дополнительной его модернизации. Уникальность данного комплекса «судовая энергетическая установка – подводное устройство» заключается в способности работать в любых погодных условиях, в том числе арктических (ледовых), так как обработка нефтяного пятна проводится всплывающим из-под воды сорбентом. Представлена принципиальная схема работы установки и модель устройства для распыления сорбирующего материала, а также схема системы подачи активного вещества в зону разлива нефти или нефтепродукта. Принцип работы основан на погружении установки в зону разлива под воду (или битый лед) на заданную глубину и подаче сорбента, который в результате реактивной тяги всплывает на поверхность, сорбируя нефть и в толще воды и на поверхности. В сравнении

с другими методами ликвидации разливов нефти, применение подводного устройства наиболее эффективно как в экономическом отношении, так и по времени реагирования.

Таким образом, применение комплекса позволит эффективно ликвидировать разливы нефти и нефтепродуктов в толще воды и на поверхности, в том числе в ледовых условиях.

Список литературы

1. Инвестиционный портал Арктической зоны России. Министерство Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики [Электронный ресурс]. – URL: <https://arctic-russia.ru/article/v-usloviyakh-vechnoy-merzloty-kak-dobyvayut-neft-i-gaz-v-arktike/> (дата обращения: 12.12.2024).
2. Сетевое издание Информационное агентство «Нефть и Капитал» [Электронный ресурс]. – URL: <https://oilcapital.ru/news/2023-05-27/kazhdoe-pyatoe-chs-v-arktike-razliv-nefti-i-topliva-2939824> (дата обращения: 12.12.2024).
3. Попов, П. А. Предложения по технике и технологии, применяемые при ликвидации последствий ЧС, обусловленных разливами нефти и нефтепродуктов в ледовых морях в условиях Арктики / П. А. Попов, Н. В. Осипова // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – Химки : ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», 2011. – С. 32 – 38.
4. Инновационные факторы в освоении Арктического шельфа и проблемы импортозамещения / А. Н. Виноградов, Е. С. Горячевская, А. А. Козлов, А. М. Фадеев, В. А. Цукерман. – Апатиты : ФИЦ КНЦ РАН, 2019. – 80 с.
5. Кулакова, И. И. Ликвидация аварийных разливов нефти. Сорбционная очистка поверхности акваторий от нефтяных загрязнений: учеб. пособие / И. И. Кулакова, Г. В. Лисичкин – М. : Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2022. – 82 с.
6. Городников, О. А. Определение параметров совместного использования подводного аппарата и судовых насосов для нанесения сорбентов / О. А. Городников, В. Э. Охоткина, А. П. Мельник // Морские интеллектуальные технологии. – 2023. – Т. 1, Ч. 4, № 3. – С. 15 – 21.
7. Городников, О. А. Экспериментальное исследование особенностей гидродинамики судового устройства для распыления сорбента / О. А. Городников, А. Е. Аввакумов, В. В. Шутов // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 4-1 (58). – С. 99 – 105.
8. Городников, О. А. Разработка подводного аппарата для нанесения сорбентов при ликвидации разливов нефти в замерзающих акваториях / О. А. Городников // Концепт. – 2016. – Т. 11. – С. 2701 – 2705. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/86571.htm> (дата обращения: 18.06.2025).
9. Городников, О. А. Выбор движителя для подводного аппарата судовой энергетической установки / О. А. Городников, А. Е. Аввакумов, В. В. Шутов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2023. – № 1. – С. 30 – 36.
10. Описание полезной модели к пат. 144489 U1 Российская Федерация, МПК E02B 15/04, E02B 15/10. Устройство для подводного введения сорбента / Городников О. А., Монинец С. Ю., Петрашев С. В. ; патентообладатель Монинец С. Ю. – № 2013147318/13 ; заявл. 09.01.2014 ; опубл. 20.08.2014. Бюл. № 23. – 2 с.

References

1. Available at: <https://arctic-russia.ru/article/v-usloviyakh-vechnoy-merzloty-kak-dobyvayut-neft-i-gaz-v-arktike/> (accessed 12 December 2024).
2. Available at: <https://oilcapital.ru/news/2023-05-27/kazhdoe-pyatoe-chs-v-arktike-razliv-nefti-i-topliva-2939824> (accessed 12 December 2024).

3. Popov P.A., Osipova N.V. [Proposals on techniques and technologies used in the elimination of the consequences of emergencies caused by oil and petroleum products spills in ice seas in Arctic conditions], *Nauchnyye i obrazovatel'nyye problemy grazhdanskoy zashchity* [Scientific and educational problems of civil protection], Khimki: Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2011, pp. 32-38. (In Russ.)
4. Vinogradov A.N., Goryachevskaya E.S., Kozlov A.A., Fadeev A.M., Zukerman V.A. *Innovatsionnyye faktory v osvoenii Arkticheskogo shel'fa i problemy importozameshcheniya* [Innovative factors in the development of the Arctic shelf and problems of import substitution], Appatity: FITZ KSC RAS, 2019, 80 p. (In Russ.)
5. Kulakova I.I., Lisichkin G.V. *Likvidatsiya avariynykh razlivov nefti. Sorbtionnaya ochestka poverkhnosti akvatoriy ot neftyanykh zagryazneniy: ucheb. posobiye* [Liquidation of emergency oil spills. Sorption cleaning of the surface of water areas from oil pollution: a textbook], Moscow: Publishing House of Lomonosov Moscow State University, 2022, 82 p. (In Russ.)
6. Gorodnikov O.A., Okhotkina V.E., Melnik A.P. [Determination of parameters for the joint use of an underwater vehicle and ship pumps for applying sorbents], *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii* [Marine Intelligent Technologies], 2023, vol. 1, part 4, no. 3, pp 15-21. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Gorodnikov O.A., Avvakumov A.E., Shutov V.V. [Experimental study of the hydrodynamics of a marine device for spraying sorbent], *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii* [Marine intelligent technologies], 2022, no. 4-1(58), pp. 99-105. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Available at: <http://e-koncept.ru/2016/86571.htm> (accessed 18 June 2024).
9. Gorodnikov O.A., Avvakumov A.E., Shutov V.V. [Choice of propulsion for an underwater vehicle of a marine power plant], *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and Technology], 2023, no. 1, pp. 30-36. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Gorodnikov O.A., Moninets S.Yu., Petrashev S.V. *Ustroystvo dlya podvodnogo vvedeniya sorbenta* [Device for underwater introduction of sorbent], Russian Federation, 2014, Pat. 144489.

Oil Spill Clean-up with an Underwater Device Fuelled by a Ship Fire-Extinguishing System

O. A. Gorodnikov, V. E. Okhotkina

Vladivostok State University, Vladivostok, Russia

Keywords: Arctic; device; liquidation; oil spill; sorbent; ship installation; vessel.

Abstract: The oil and gas industry is rapidly expanding towards the Arctic region. In this regard, the risk of oil spills increases, which, in turn, requires finding ways to quickly respond and clean up spills in ice conditions. An experimental model of an underwater device for sorbent spraying, capable of operating in the spill zone in freezing waters, is proposed. The uniqueness of the proposed method lies in the possibility of operational use and compact dimensions of the device itself, which allows any vessel to be equipped with this device. It is noted that the proposed underwater device is the only one of its kind, capable of operating in the water column. A basic diagram is presented in the complex with a ship power plant.

© O. A. Городников, В. Э. Охоткина, 2025