Судовые энергетические установки

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-6>

УДК 62-366.1

А.К. Тюльканов, С.В. Петрашев, М.И. Моисеенко, И.А. Перехода, А.В. Куренский

ТЮЛЬКАНОВ АРТУР КОНСТАНТИНОВИЧ – аспирант, ORCID: 0000-0002-9312-5851, saint_sus25@mail.ru

ПЕТРАШОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – к.т.н., доцент, petrashov@msun.ru

МОИСЕЕНКО МИХАИЛ ИГОРЕВИЧ – аспирант, misha.moiseenko.94@mail.ru

ПЕРЕХОДА ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ – аспирант, ivan-perekhoda@mail.ru

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского

КУРЕНСКИЙ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – к.т.н., доцент Политехнического института

(автор, ответственный за переписку), SPIN: 4116-7308, alex33_99@mail.ru

Дальневосточный федеральный университет

Владивосток, Россия

Новая судовая система как способ обеспечения экологической безопасности в условиях арктического шельфа

Аннотация: Работа посвящена теме устранения загрязнения акватории морей нефтепродуктами в условиях сложной ледовой обстановки. Приведены различные способы очистки водных пространств от нефти и нефтепродуктов, дан сравнительный анализ их особенностей и недостатков. Описана проблема очистки водоемов от нефтепродуктов при наличии колотого и сплошного льда. Предложена новая технология использования сорбента в таких специфических условиях. Представлена сконструированная авторами установка, которая подключается к стандартным судовым системам и позволяет без их затратной модернизации эффективно бороться с нефтеразливами в низкотемпературных широтах. **Ключевые слова:** новая технология использования сорбента, арктический шельф, боновые ограждения, разлив нефти, диспергенты, сорбент, пульпа, струйный смеситель

Введение

В связи с увеличением спроса и стоимости на углеводороды все более актуальна разработка и месторождений нефти и газа в районах шельфа Дальнего Востока и Арктики. Работа на месторождениях в акваториях этих районов осложняется рядом нерешенных технических задач, особенно в области обеспечения экологической безопасности, так как добыча углеводородов связана с утечками нефти. Специфика, присущая морским акваториям северных широт и сильно затрудняющая использование традиционных способов ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН), – сложная ледовая обстановка [12].

Чаще всего для сбора нефти применяют следующие методы и средства [5]:

- обработка химическими соединениями;
- устройства для механического сбора нефти;
- сорбенты;
- диспергенты;
- микроорганизмы;
- окислители;
- боновые ограждения.

© Тюльканов А.К., Петрашев С.В., Моисеенко М.И., Перехода И.А., Куренский А.В., 2021

Статья: поступила: 10.03.2020; рецензия: 11.01.2021; принята: 25.01.2021; финансирование: Дальневосточный федеральный университет.

Обработка химическими соединениями, использование устройств для механического сбора нефти, ввода сорбентов и диспергентов, подачи окислителей и просто постановка боновых заграждений крайне затруднены, а в ряде случаев невозможны, так как 200–220 дней в году вода покрыта льдом, что весьма ограничивает прямой доступ к разлитой нефти [3, 4].

На рис. 1 показаны трудности использования бонового заграждения и средств ликвидации аварийных разливов нефти в условиях колотого льда [12].

Рис. 1. Использование бонового заграждения и средств ЛАРН (Норвегия) [12]

Использование микроорганизмов и бактерий малоэффективно из-за низкой температуры акватории: среднегодовые значения колеблются от 0 до -4°C , а при такой температуре активность бактерий незначительна.

Следовательно, создание технических средств для очистки водоемов в условиях битого и сплошного льда – задача актуальная. Ее решение приобретает особую значимость для нефтегазовой отрасли и морского флота в связи с ростом числа морских нефтедобывающих платформ на шельфе арктических и субарктических морей и увеличением грузооборота в полярных водах.

Цель настоящей статьи – представить авторскую конструкцию, представляющую собой систему подачи через шланг пульпы с активным сорбентом от обеспечивающего судна в зону загрязнения, которая подключается к стандартным судовым системам и позволяет эффективно бороться с разливами нефти. А также с помощью авторской экспериментальной установки провести проверку эффективности струйного смесителя – одного из ключевых элементов этой конструкции.

Основным активным компонентом, который используется в нашей конструкции, должен быть сорбент терморасщепленный графитовый (СТРГ). Данный вид сорбента – вещество со 100-процентной плавучестью, гидрофобное, химически инертное, олеофильное, с размером расщепленных гранул от 1 до 2,5 мм, насыпной плотностью до 12 кг/м^3 , с высокой скоростью сорбции: пленка нефти толщиной 3 мм адсорбируется на 99,5% за 10 с [9, 11].

Схема подачи сорбента в модернизированной судовой системе

Для подачи сорбента (или других активных веществ) в зону загрязнения нами предложена новая конструкция, которая присоединяется к стандартной судовой системе. Предложенная схема представлена на рис. 2. В ее состав входят: насос 1, смесительное устройство 2, трубопровод 3, кран-распределитель 4, гибкий рукав 5, гидромонитор 6, подводное устройство-распылитель 7.

Рис. 2. Авторская схема системы подачи активного вещества в зону загрязнения:
 1 – насос, 2 – смесительное устройство, 3 – трубопровод, 4 – кран-распределитель,
 5 – гибкий рукав, 6 – гидромонитор, 7 – подводное устройство-распылитель

Система работает следующим образом. При обнаружении загрязнения под воду (под ледяное поле в случае сплошного или битого льда) погружается подводное устройство-распылитель 7 активного вещества. Данный аппарат представляет собой гидрореактивное устройство с двумя соплами с обеих сторон. Далее, от насоса 1 к соплам подводного устройства-распылителя через кран-распределитель 4 по гибкому рукаву 5 подается вода. За счет возникновения реактивной тяги это устройство-распылитель перемещается на заданное расстояние в нужном направлении. При приближении устройства-распылителя к нефтяному пятну подключается смесительное устройство 2. От него пульпа, состоящая из воды и сорбента, поступает к крану-распределителю 4, а далее – к подводному устройству-распылителю 7. При этом подводное устройство-распылитель движется под нефтяным пятном, одновременно выпуская сорбент в воду. Сорбент, обладая абсолютной плавучестью, всплывает к поверхности воды или к нижней части ледяного поля и сорбирует нефть как в толще воды, по пути своего движения, так и на поверхности или под ледяным полем.

В случае если акватория не покрыта льдом и пятно загрязнения находится в пределах 15–20 м от места установки гидромонитора 6, кран-распределитель 4 переводится в положение для подачи пульпы к нефтяному пятну через гидромонитор.

Одна из серьезных проблем по созданию пульпы с применением сорбента СТГ – плотность сорбента значительно (более чем в 80 раз) ниже плотности воды, что делает его сверхплавучим [10]. Один кубический метр сорбента весит не более 12 кг. Для сбора 1 т нефти требуется ориентировочно 25 кг СТГ или более 2,5 м³ сорбента [7]. Для подачи большого количества сорбента необходимо, чтобы смесительное устройство могло обеспечить решение этой задачи.

В настоящий момент рекомендаций и методик расчета параметров подобного смесительного устройства для легкого сыпучего сорбента и воды нет. Соответственно, решение этой

проблемы является одной из самых актуальных и сложных.

В качестве смесительного устройства использован смеситель струйного типа. Этот тип устройств обладает рядом преимуществ: надежен, имеет простую конструкцию и высокий ресурс, не имеет подвижных деталей, отсутствуют пары трения [2, 6]. Для опытного образца струйного смесителя были приняты параметры на базе судовой пожарной системы:

диаметр гибкого рукава, м	0,051
скорость жидкости в гибком рукаве, м/с	2
расход рабочей воды, м ³ /с,	0,004

Проверка характеристик струйного смесителя на экспериментальной установке

Моделирование, изготовление и экспериментальная проверка характеристик струйного смесителя проводилась на авторской экспериментальной установке, выполненной в масштабе 1:2 в лаборатории факультета экологической безопасности и освоения шельфа Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского (Владивосток). Внешний вид экспериментальной установки (стенд) струйного смесителя с бункером представлен на рис. 3.

На установке проведено несколько серий экспериментов для уточнения параметров и характеристик струйного смесителя как одного из ключевых элементов системы подачи активного вещества в зону загрязнения. В первой серии опытов определялось влияние на эффективность работы струйного смесителя трех факторов: числа Рейнольдса рабочей жидкости (X1), длины камеры смешения (X2) и длины входа сопла в приемную камеру (X3). Была назначена стандартная серия из 8 замеров, [1, 8]. Матрица планирования представлена в табл. 1. Знак «+» соответствует максимальному значению указанного фактора, «-» – минимальному.

Рис. 3. Экспериментальный стенд (фото авторов)

В соответствии с представленной матрицей для каждого фактора проводился ряд измерений, после чего полученные значения усреднялись. Результаты замеров содержания сорбента в смеси для всех указанных вариантов сочетания факторов представлены в табл. 2.

На основе представленных в таблице результатов рассчитаны параметры и изготовлена новая версия струйного смесителя с оптимизированными параметрами, учитывающая полученные теоретические и эмпирические зависимости.

Таблица 1

Матрица эксперимента

Вариант сочетания факторов	Изменяемые факторы		
	X1 Число Рейнольдса (Re)	X2 Длина камеры смешения	X3 Длина входа сопла в приемную камеру
1	+	–	+
2	+	+	+
3	+	+	–
4	+	–	–
5	–	–	–
6	–	+	–
7	–	+	+
8	–	–	+

Таблица 2

Результаты исследования эффективности струйного смесителя

Вариант сочетания факторов	Общий объем смеси, см ³	Объем воды, см ³	Объем сорбента, см ³	Содержание сорбента, %	Среднее содержания сорбента, %
1	1031	804	227	22,02	26,0
	780	546	234	30,00	
2	826	690	136	16,46	15,3
	650	558	92	14,15	
3	710	643	67	9,44	10,4
	665	590	75	11,28	
4	570	507	63	11,05	12,2
	583	505	78	13,38	
5	800	408	392	49,00	36,9
	785	590	195	24,84	
6	795	574	221	27,80	22,3
	913	760	153	16,76	
7	713	661	52	7,29	8,8
	728	653	75	10,30	
8	810	670	140	17,28	19,8
	827	643	184	22,25	

Заключение

Итак, мы предложили новое техническое решение для очистки разливов нефти, которое представляет собой установку, подключаемую к стандартной судовой системе, обеспечивающую подачу через шланг пульпы с активным сорбентом от обеспечивающего судна в зону загрязнения. На разработанном нами экспериментальном стенде проведено несколько серий экспериментов для уточнения параметров и характеристик струйного смесителя как одного из ключевых элементов системы подачи активного вещества в зону загрязнения.

Нами измерены значения содержания сорбента в пульпе в зависимости от режимов работы. Экспериментально определены величины коэффициентов для расчета геометрических параметров струйного смесителя.

Полученные теоретические и эмпирические зависимости можно использовать для расчета смесителей воды и легких сыпучих веществ, значения плотности которых различаются в десятки раз.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании новых систем обеспечения экологической безопасности в составе судов-спасателей, ледоколов, судов обеспечения морских нефтепромыслов и нефтяных платформ, эксплуатирующихся в арктических и субарктических акваториях. Как справедливо заметил рецензент данной статьи, для успешного внедрения этой технологии в дальнейших исследованиях необходимо прорабатывать средства доставки распылителя к месту загрязнения, которые необходимо оборудовать системой технического зрения, координирования и набором соответствующих экологических датчиков.

В связи с этим дальнейшим направлением исследований будет проведение натурных экспериментов, которые позволят отработать методику численного моделирования при проектировании систем ЛАРН в реальных условиях.

Вклад авторов в статью: А.К. Тюльканов – моделирование установки, проведение и обработка результатов эксперимента; С.В. Петрашев – научное руководство работой, постановка цели и задач; М.И. Моисеенко – изготовление установки, проведение и обработка результатов эксперимента; И.А. Перехода – проведение эксперимента, патентный поиск, поиск и перевод научных источников и литературы; А.В. Куренский – планирование эксперимента, оформление статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батурина Н.Ю. Автоматизация планирования эксперимента // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 11–4(53). С. 14–17.
2. Битюцких С.Ю. Исследование и расчет гидроструйного насоса-смесителя: дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2018. 161 с.
3. Демчишин И.В. Проблемы совершенствования системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в арктической зоне Дальневосточного федерального округа в современных условиях // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010. № 4. С. 65–71.
4. Ермолов А.А. Экологическая безопасность арктических берегов России: углеводородное загрязнение и методы восстановления // Вести газовой науки. 2017. № 5(33). С. 116–124.
5. Журавель В.И. Средства морского и берегового обеспечения предупреждения и ликвидации аварийных разливов углеводородов в условиях замерзающих морей // Управление рисками и устойчивое развитие единой системы газоснабжения России: труды науч.-техн. конф. М., 2006. С. 449–454.
6. Пахлян И.А. Разработка эжекторного смесителя для процессов приготовления промывочных и тампонажных растворов // Нефть и газ Западной Сибири: сб. ст. по материалам междунар. науч.-техн. конф. Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. С. 51–54.
7. Применение сорбентов при ликвидации разливов нефти: технический информационный документ. ITOPF Ltd. Produced by Impact PR & Design Limited. Canterbury, UK, 2012.
8. Рудакова Т.И., Осинцев Е.Г., Осинцева Д.В. Методика планирования эксперимента и обработка статистических данных // Инновационные технологии в подготовке современных профессиональных кадров: опыт, проблемы: сб. науч. тр. Челябинск: Изд-во Челябинского филиала РАН-ХиГС, 2016. С. 115–120.
9. Сакович Н.Е. Методы и средства ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов: монография. Брянск: Брянская ГСХА, 2012. 198 с.
10. Темирханов Б.А., Султыгова З.Х., Саламов А.Х., Нальгиева А.М. Новые углеродные материалы для ликвидации разливов нефти // Фундаментальные исследования. 2012. № 6–2. С. 471–475.
11. ТУ 2164-001-05015070-97. Сорбент терморасщепленный графитовый.
12. Godafoss Oil Leak Near Norway Coast. URL: <https://www.greenpeace.org/archive-norway/no/Media-Hub/slideshows/Opportunity-arbeide-etter-Godafoss-ulykken/Oljelenser/>– 03.03.2020.

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-6>

Tulkanov A., Petrashev S., Moiseenko M., Perekhoda I., Kurenskii A.

ARTUR TYULKANOV, Postgraduate Student, ORCID: 0000-0002-9312-5851, saint_sus25@mail.ru
SERGEY PETRASHEV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
petrashov@msun.ru

MIKHAIL MOISEENKO, Postgraduate Student, misha.moiseenko.94@mail.ru

IVAN PEREKHODA, Postgraduate, ivan-perekhoda@mail.ru

Maritime State University named after adm. G.I. Nevelskoy

ALEXEY KURENSKII, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
of the Polytechnic Institute (Corresponding Author), alex33_99@mail.ru

Far Eastern Federal University

Vladivostok, Russia

New ship system as a way to ensure environmental safety in the Arctic shelf

Abstract: This work is focused on the problem of eliminating the pollution of the seawater with oil products in difficult ice conditions. Various methods of cleaning water spaces areas from oil and oil products are presented, and a comparative analysis of their features and disadvantages is given. The problem of cleaning water bodies from oil products in the presence of crushed and solid ice is described. A new technology for using the sorbent in such specific conditions has been proposed. An installation designed by the authors is presented, which is connected to standard ship systems allows to effectively deal with oil spills in low-temperature latitudes with no need for high-cost modernization.

Keywords: Arctic shelf, booms, oil spill, dispersants, sorbent, pulp, jet mixer

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Baturina N.Yu. Automation of experiment planning. Intern. Research J. 2016(53):14–17.
2. Bityutskikh S.Yu. Research and calculation of a water-jet mixer pump: Dis. ... Cand. Tekhn. Sciences. Cheliabinsk, 2018, 161 p.
3. Demchishin I.V. Problems of improving the system for preventing and eliminating emergency situations in the Arctic zone of the Far Eastern Federal District in modern conditions. Scientific and Educational Problems of Civil Protection. 2010(4):65–71.
4. Ermolov A.A. Ecological safety of the Arctic coast of Russia: hydrocarbon pollution and recovery methods. Vesti Gazovoy Nauki. 2017(33):116–124.
5. Zhuravel V.I. Means of marine and coastal support for the prevention and response to emergency hydrocarbon spills in the conditions of freezing seas. Risk Management and Sustainable Development of the unified gas supply system of Russia, Proceedings. M., 2006, 449–454 p.
6. Pakhlyan I.A. Development of an ejector mixer for the preparation of washing and grouting solutions. Oil and gas of Western Siberia, Proceedings. Tiumen, TiumGNGU, 2015, 51–54 p.
7. The use of sorbents in oil spill response, technical information document. ITOPI Ltd. Produced by Impact PR & Design Limited. Canterbury, UK, 2012.
8. Rudakova T.I., Osintsev E.G., Osintseva D.V. The experimental design methodology and statistical data processing. Innovative technologies in the training of modern professional personnel: experience, problems. Proceedings of the RANEP. 2016, 115–120 p.
9. Sakovich N.E. Methods and means of response to oil spills and oil products, monograph. Bryansk, BSAA, 2012, 198 p.
10. Temirkhanov B.A., Sultigova Z.Kh., Salamov A.Kh., Nalgieva A.M. New carbon materials for oil spill response. Basic Research. 2012(6–2):471–475.
11. TU 2164-001-05015070-97. Thermally-split graphite sorbent.
12. Godafoss Oil Leak Near Norway Coast. URL: <https://www.greenpeace.org/archive-norway/no/Media-Hub/slideshows/Opprydingsarbeide-etter-Godafoss-ulykken/Oljelenser/>– 03/03/2020.