

Научная статья

УДК 62-822

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2022.58.4.029>

Экспериментальное исследование особенностей гидродинамики судового устройства для распыления сорбента

О.А. Городников¹ gorodnikov.o@vvsu.ru, А.Е. Аввакумов¹ Andrei2000ava@yandex.ru,

В.В. Шутов¹ vasily.vl.20000@gmail.com

¹Владивостокский государственный университет

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментов по определению возможности движения подводного аппарата, разработанного для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Данный аппарат является элементом судовой энергетической установки, которая может быть использована на судах, в независимости от их назначения и размеров. Данная установка была спроектирована с целью уменьшения времени локализации и ликвидации разливов и утечек нефти и нефтепродуктов, как при возможности работать в стандартных условиях, так и для работы в битом и сплошном льду. После создания модели и проведения математических расчетов с приложением нагрузок, были выведены несколько наиболее эффективных траекторий движения и распыления сорбентов. Потребовалось проведение экспериментов для наиболее точных результатов перед установкой и проведением испытаний на судне. Ряд экспериментов и полученные результаты, изложенные в статье, позволили определить наиболее эффективную траекторию и нагрузки при использовании данной системы.

Ключевые слова: нефтяное пятно, подводный аппарат, насос, судовая энергетическая установка, сорбент, гидравлический движитель, траектория движения.

Для цитирования: Городников О.А., Аввакумов А.Е., Шутов В.В. Экспериментальное исследование особенностей гидродинамики судового устройства для распыления сорбента, Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 4 часть 1, С. 99—105.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2022.58.4.029>

Experimental study of the hydrodynamics features of a shipboard sorbent spraying device

Oleg A. Gorodnikov¹ gorodnikov.o@vvsu.ru, Andrei E. Avvakumov¹ Andrei2000ava@yandex.ru,

Vasily V. Shutov¹ vasily.vl.20000@gmail.com

¹Vladivostok State University (VVSU)

Abstract. The article presents the results of experiments on determining the motion capability of an underwater vehicle designed for oil and petroleum product spill elimination. This apparatus is an element of a ship power plant, which can be used on ships, regardless of their purpose and size. This unit was designed to reduce the time of localization and elimination of spills and leaks of oil and petroleum products, either possible to work in standard conditions or work in the cracked and solid ice. After creating the model and carrying out mathematical calculations with application of loads, several most effective trajectories of movement and spraying sorbent were deduced. Experiments for the most accurate results were required before installation and testing on the ship. A number of experiments and the results obtained, outlined in the article, made it possible to determine the most effective trajectory and loads when using this system.

Keywords: oil spill, underwater vehicle, pump, ship power plant, sorbent, hydraulic propulsor, trajectory.

For citation: Oleg A. Gorodnikov, Andrei E. Avvakumov, Vasily V. Shutov. Experimental study of the hydrodynamics features of a shipboard sorbent spraying device. Marine intellectual technologies. 2022. № 4 part 1, P. 99—105.

Введение

Разливы нефти и нефтепродуктов в акваториях происходят как при добыче нефти, транспортировке нефти и нефтепродуктов, так и при утечках топлива с судов. Существует несколько способов ликвидации пятна на поверхности воды. Если рассматривать сложные условия, битый или сплошной лед, то чаще всего существующие способы, либо не подходят, либо являются малоэффективными. При этом не стоит забывать, что оборудование для локализации и сбора необходимо доставить к месту аварии, а это зачастую занимает много времени или вовсе является невозможным [1]. Целью работы является определение наиболее эффективной траектории движения нового подводного устройства.

Актуальность данной работы заключается во внедрении нового технического устройства для ликвидации аварийных разливов нефти, которое позволит в кратчайшие сроки локализовать и ликвидировать нефтяное пятно, что является приоритетной задачей для всех компаний нефтяной отрасли.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать новую судовую установку, основным элементом которой является подводный аппарат для нанесения сорбента в толще воды. Им можно управлять и регулировать подачу сорбента с борта судна (рис. 1, а, б).

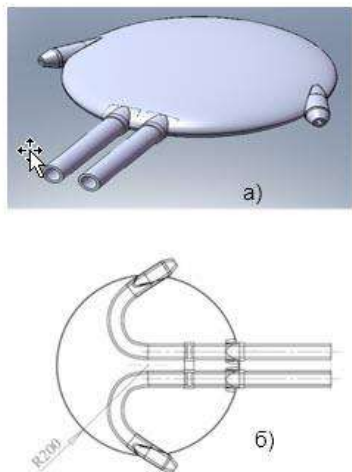


Рис. 1. Модель подводного аппарата для распыления сорбента

Связующим звеном между аппаратом и судном (стационарным объектом) служит гибкий шланг. Особенностью данного устройства является то, что почти не требуется установка дополнительного оборудования. Аппарат сможет отдаляться от судна на расстояние от 100 до 150 метров. Элементами комплекса являются подводное судовое устройство, пожарный насос и паровой судовый котел на судне. Подводное судовое устройство имеет «чечевичную» форму корпуса, что позволит обеспечить минимальное сопротивление в толще воды при его движении.

При сравнении эквивалентных сопротивлений гибкого трубопровода и самого аппарата, получены значения, позволяющие определить движение маятникового типа. Такое движение для данной системы возможно при расположении сопел под углом 90° , а для обеспечения движения возвратно-поступательного типа угол расположения сопел варьируется в пределах от 15° до 45° . Отсюда делаем вывод, что в зависимости от поставленной задачи и условий применения аппарата, возможно осуществлять его движение в толще воды как возвратно-поступательное движение вдоль оси трубопровода (рис. 2, б), так и движение маятникового типа (рис. 2, а).

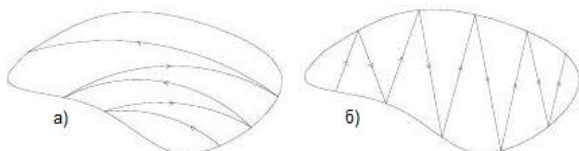


Рис. 2. Траектории движения подводного аппарата

При обработке результатов и сравнении значений возникли разногласия по определению оптимального движения подводного аппарата судового энергетической установки. Было принято решение провести эксперимент и реальные испытания для подтверждения или опровержения результата расчетов [2].

Принцип работы подводного аппарата

Работа подводного судового устройства осуществляется следующим образом: к

распылителю от пожарного насоса, совместно с паром для поддержания необходимой температуры подаваемой воды, находящегося на борту судна по гибкому трубопроводу, подключенному к соединительному устройству, под давлением подается вода. Далее по соединенному с ним трубопроводу вода поступает к управляющей аппаратуре.

Управляющая арматура направляет воду к правому, левому или обоим сопловым аппаратам сразу. В результате подачи струи воды на устройство будет действовать реактивная тяга и распылитель начнет перемещаться. При подаче одновременно к правому и левому сопловым аппаратам распылитель получает поступательное движение и удаляется от места спуска под лед на необходимое расстояние, вытягивая шланг на заданную длину.

При подаче воды в правый сопловой аппарат, реактивная тяга водяной струи будет смещать распылитель влево. При подаче воды в левый сопловой аппарат, реактивная тяга водяной струи будет смещать распылитель в противоположную сторону. Все элементы устройства находятся в защитном корпусе.

При подходе распылителя в нужное место по гибкому трубопроводу производится подача сорбента в виде пульпы, путем включения в поток воды твердого сорбента (например, терморасщепленного графитного сорбента).

После подхода распылителя к нефтяному пятну происходит его перемещение под действием реактивной тяги от движения пульпы и одновременная подача в загрязненную воду сорбента. Впрыснутый в воду на необходимой глубине сорбент всплывает и по пути своего движения сорбирует капли нефтепродукта, находящиеся в толще воды. Применение водометного движителя для распыления будет способствовать качественному и равномерному перемешиванию сорбента в толще воды.

Методика проведения эксперимента

При проведении эксперимента потребовалось воссоздать условия максимально приближенные к реальному использованию подводного устройства. Для этого необходимо было использовать насос, позволяющий создать напор, равный требуемому напору пожарного насоса на судне. В качестве аналога использовался пожарный центробежный насос марки НЦПН-50/100 (NP-3000) на базе пожарного автомобиля КАМАЗ АЦ-5, 0-40 (5350), производительностью 40 л/с и номинальным напором 100 метров. Пожарный насос подключен к распределительному управляющему устройству, на котором находятся краны управления подачи напора в каждое из сопел. Путем открытия и закрытия шаровых кранов, можно регулировать движение подводного устройства, как по заданному радиусу, так и его прямой ход при включении обеих сопел [3].

Для проведения эксперимента на территории яхт-клуба Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского, на пирсе был установлен мобильный резервуар каркасный РК-10 объемом 10 м^3 , диаметром 3,4 м. и высотой 1,3 м. На рис. 3 представлена схема резервуара.

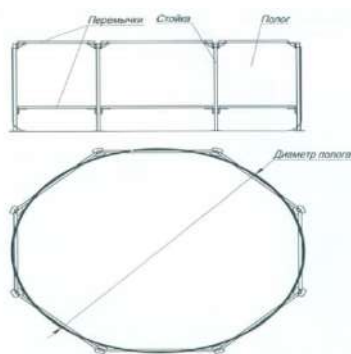


Рис. 3. Схема каркасного резервуара

Затем его наполнили пресной водой для возможности погружения в него подводного устройства и проведения ряда экспериментов с целью определения основных показателей и сопротивлений, возникающих в процессе эксплуатации модели, а также проверки теоретических данных, полученных в результате расчетов на действующей модели [4].

Мобильный резервуар каркасный монтируется на местности в течение 20 минут и заполняется водой при помощи пожарного насоса. Так же была предусмотрена циркуляция воды, во избежание утечек жидкости при проведении эксперимента [8].

Температура используемой для проведения эксперимента воды 18 °С, определение температуры воды производилось электронным термометром.

После наполнения емкости водой и измерения её температуры, на стенках резервуара, при помощи карабинов, были установлены электронные динамометры, которые прикреплены к металлическим стойкам корпуса резервуара карабинами. Чувствительный элемент для определения усилий, создаваемых устройством при движении, был зафиксирован металлической проволокой. В зависимости от включаемых сопел и подаваемого давления, показания динамометра фиксировались и записывались в протокол эксперимента.

Для измерения создаваемого усилия были использованы электронные динамометры фирмы Cintar-Portal Electronik Scale, фиксирующие показания с точностью до тысячных долей.

Все испытания повторялись несколько раз, что позволило получить более точную информацию и провести анализ полученных результатов.

Периодически динамометры меняли местами для получения более точных результатов экспериментов и уменьшения возможности возникновения погрешностей.

Подводное устройство для подачи сорбирующего вещества было подключено к распределительному устройству и погружено в резервуар с пресной водой (рис.4). Так же на начальной стадии испытаний подводное устройство фиксировалось поплавками для определения плавучести и необходимого балласта. Все движения аппарата и количество подаваемой жидкости вносились в протокол эксперимента.



Рис.4. Общий вид подводного устройства при погружении в каркасный резервуар

Для определения расхода использовалась мерная емкость объемом 25 литров, для определения временных промежутков использовались два электронных секундомера ИНТЕГРАЛ-С-01.

Экспериментальное определение тяги и скорости движения подводного аппарата

Проведение эксперимента было разделено на несколько этапов, каждый из которых проводился с целью определения расходно-напорной характеристики аппарата, создаваемого тягового усилия, скорости движения и его поведения в заданных параметрах.

Первый этап заключался в определении расходно-напорной характеристики, создаваемой подводным устройством.

Шланги аппарата подключили к распределительному устройству управления, находящемуся вне бассейна, так как при использовании его на судне распределительное устройство будет находиться на палубе. Затем производилась подача воды под разным напором, создаваемым мобильным пожарным насосом на базе пожарного автомобиля [9].

Вода в систему подавалась под различными давлениями 0,2 МПа, 0,3 МПа и 0,5 МПа. Манометр для измерения создаваемого напора был подключен к системе для фиксации результатов [10].

Вода из емкости подавалась в распределительное устройство, которое в свою очередь регулирует подачу напора воды в одно из сопел или в оба одновременно. При этом поток воды, проходя через сопла, создавал движительную силу,двигающую подводное устройство в толще воды. Подводное устройство, двигаясь, натягивало проволоку и создавало усилие, фиксируемое динамометром.

Подача воды осуществлялась поочередно в правое и левое сопло, затем в оба одновременно, с давлением 0,2 МПа, 0,3 МПа и 0,5 МПа. При этом вода, подаваемая через сопло, наполняла мерную емкость объемом $25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Емкость взвешивалась электронным динамометром, результат фиксировался. Процедура повторялась пять раз, для получения более точных результатов, в сумме было проведено 15 измерений для каждого этапа эксперимента [5]. Усредненные результаты первого этапа эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1
Измерения напорно-расходных характеристик

Подача	Давление, Мпа	Время, с	Объем воды, ·10 ⁻³ м ³
Левое сопло	0,2	3	4,2
	0,3	4	5,8
	0,5	5	7,8
Правое сопло	0,2	3	4,2
	0,3	4	5,8
	0,5	5	7,8
Оба сопла	0,2	3	5,6
	0,3	4	7,6
	0,5	5	10,4

Принципиальная схема данной установки представлена на рис. 5.

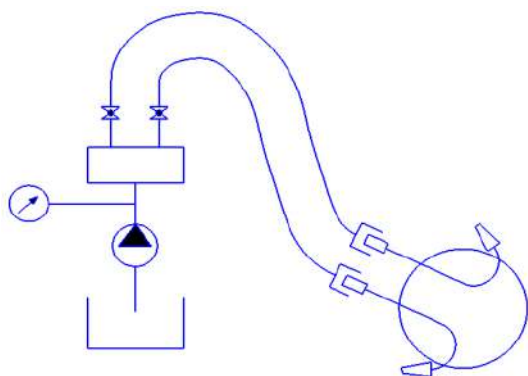


Рис. 5. Принципиальная схема установки

Второй этап эксперимента проводился с целью определения усилий, создаваемых подводным устройством [6]. Принципиальная схема с указанием основных элементов изображена на рис. 6.

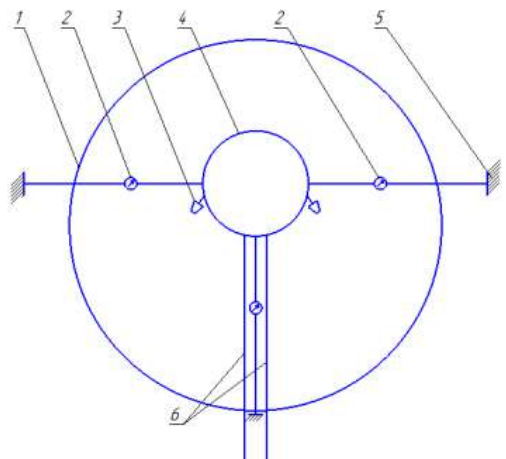


Рис. 6. Принципиальная схема экспериментальной установки с указанием основных элементов конструкции

Подводное устройство (4), помещается в бассейн (1). Фиксация подводного устройства производится к стенкам бассейна (5). В свою очередь фиксаторы подводного устройства подключены к электронным динамометрам (2). Вода через сопла (3) подается под давлением в левое и правое сопло, затем в оба одновременно. В таблице 2 приведены усредненные значения создаваемых усилий.

Таблица 2
Измерения создаваемого усилия на сопла при изменении напора

Подача	Давление, Мпа	Создаваемое усилие, кг
Левое сопло	0,2	1,795
	0,3	2,302
	0,5	3,395
Правое сопло	0,2	1,799
	0,3	2,297
	0,5	3,398
Оба сопла	0,2	1,247
	0,3	3,397
	0,5	4,985

Третий этап эксперимента позволил определить изменение усилия, создаваемые подводным аппаратом на динамометры, которые подключены вдоль оси сопел (рис.7).

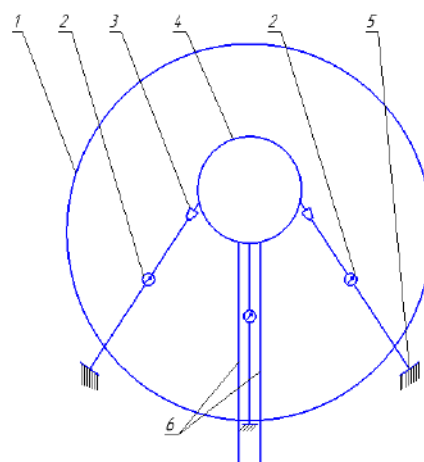


Рис. 7. Принципиальная схема экспериментальной установки

Подводное устройство (4), погружается в бассейн (1). Аппарат фиксируется к корпусу бассейна (5), фиксация происходит вдоль оси сопел (3). Вода под давлением 0,2 МПа, 0,3 МПа и 0,5 МПа подается через шланг (6), в левое сопло при перекрытом правом, затем процедура проводится аналогично при открытом правом сопле и закрытом левом сопле, значения результатов фиксируются электрическими динамометрами (2). Усредненные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3
Измерения создаваемого усилия при расположении динамометров вдоль оси сопел

Подача	Давление, Мпа	Создаваемое усилие, кг
Левое сопло	0,2	1,798
	0,3	2,693
	0,5	5,700
Правое сопло	0,2	1,799
	0,3	2,700
	0,5	5,697

Четвертый этап проведения эксперимента - определение скорости движения подводного устройства. Подводное устройство было установлено в левый край бассейна, затем в левое сопло подали воду под давлением. Аппарат двигался

с одного конца бассейна в другой. Затем он устанавливался в правый край бассейна, и операция повторялась. После фиксации данных и замеров потраченного времени аппарат устанавливался в начальную точку бассейна, и в него подавалась вода в оба сопла под давлением. При подаче воды в оба сопла аппарат совершал движение вперед, данные фиксировались. Процедура повторялась пять раз подряд для получения более точных результатов. Исходя из размеров каркасного резервуара и скорости движения подводного устройства, фиксируемой электронным секундомером, получили скорость движения подводного устройства в толще воды. Усредненные результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4
Скорость движения и расход аппарата в толще воды

Подача	Давление, Мпа	Скорость движения, м/с	Расход воды, л
Левое сопло	0,2	0,616	3,04
	0,3	0,736	5,06
	0,5	0,92	7,1
Правое сопло	0,2	0,616	3,1
	0,3	0,736	5,04
	0,5	0,92	7,06
Оба сопла	0,2	1,15	5,04
	0,3	1,42	9,02
	0,5	2,14	11,98

Принципиальная схема движения подводного устройства в толще воды в пределах бассейна изображена на рис. 8.

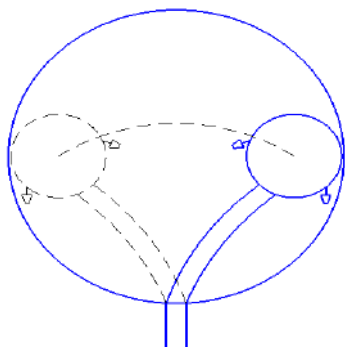


Рис. 8. Принципиальная схема движения подводного устройства

Результаты испытания на судне

Было принято решение о проведении данного типа испытаний на судне. Зная о результатах наглядных экспериментов на коротких шлангах в

условиях, приближенных к реальной ситуации, на судне использовался шланг длиной 100 метров с подключением смесителя для подачи сорбентов.

В процессе подготовки к проведению испытания учитывались возможности подводного устройства и его поведения в толще воды. Необходимо было выяснить, какое тяговое усилие создает подводное устройство при увеличении длины шланга до 100 метров. Какое усилие на каждое из сопел будет создаваться при подаче воды при определенном напоре, так и при включении обоих сопел одновременно, что позволило бы подтвердить расчеты.

Необходимо было экспериментально, для подтверждения расчетов, определить скорость движения подводного устройства при его полном включении, при подаче воды на одно из сопел и его глубину нахождения без движения (в состоянии покоя) [11].

В результате реального испытания на судне выяснилось, что при подаче напора на одно из сопел подводный аппарат будет совершать движение не маятниковое, а как бы «закручиваться» (рис. 9).



Рис. 9. Действительная траектория движения подводного аппарата

Заключение

В работе были рассмотрены предполагаемые возможности движения подводного аппарата, такие как: возвратно-поступательное и маятниковое. Во время проведения испытаний на судне была выявлена действительная, «закручивающаяся» траектория, которая не будет являться недостатком, а наоборот, будет преимуществом. При таком движении появляется возможность в кратчайшие сроки распылить сорбент по периметру нефтяного пятна, это остановит распространение пятна, то есть локализует его. Такая траектория будет эффективнее возвратно-поступательного движения, так как займёт меньше времени на распыление и не требует большого физического труда. При этом данная траектория нанесения сорбентов полностью отвечает требованиям и нормам нанесения сорбентов на нефтяное пятно.

Литература

1. Артемов А.В. Современные технологии очистки нефтяных загрязнений / А.В. Артемов // Нефть. Газ. Промышленность. -М.: Недра, 2008. - №2. - 340 с.
2. Патент на полезную модель № 144489 U1 Российская Федерация, МПК E02B 15/04, E02B 15/10. Устройство для подводного введения сорбента: № 2013147318/13: заявл. 09.01.2014: опублик. 20.08.2014 / О. А. Городников, С. Ю. Монинец, С. В. Петрашев.
3. Владимиров А.М. Охрана окружающей среды: / А.М. Владимиров. –Л: Гидрометеоздат, 2007, 224 с.
4. Емельянов Н.Ф. Расчёт ходкости и гребного винта морского транспорта судна / Н.Ф. Емельянов, С.А. Огай. Владивосток, 1984, 65 с.

5. Городников О. А. Способ распыления сорбентов при ликвидации аварийных разливов нефти с помощью подводного аппарата / О. А. Городников, С. В. Петрашев // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2016. – № 3. – С. 15-17.
6. Городников О. А. Способ распыления сорбентов при ликвидации аварийных разливов нефти с помощью подводного аппарата / О. А. Городников, С. В. Петрашев // Актуальные вопросы науки. – 2016. – № 27. – С. 92-98.
7. Городников О. А. Способ распыления сорбентов при ликвидации аварийных разливов нефти с помощью подводного аппарата / О. А. Городников // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: сборник материалов III Международной научно-практической конференции: в 2-х томах, Кемерово, 10–11 августа 2016 года. – Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью "Западно-Сибирский научный центр", 2016. – С. 115-117.
8. Городников О. А. Разработка подводного аппарата для нанесения сорбентов при ликвидации разливов нефти в замерзающих акваториях / О. А. Городников // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2016. – № Т11. – С. 2706-2710.
9. Городников О. А. Разработка подводного аппарата для нанесения сорбентов в замерзающих акваториях при ликвидации аварийных разливов нефти / О. А. Городников, С. В. Петрашев, П. С. Иушин // Приоритетные направления развития науки и технологий: Тезисы докладов XVIII Международной научно-технической конференции, Тула, 20 ноября 2015 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. – Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2015. – С. 96-100.
10. Другов Е.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов, 2007, 270 с.
11. Разработка экологически безопасных технологий для ликвидации разливов нефти в ледовых условиях, журнал «Гидротехника», Санкт - Петербург, издательство «Тандем», № 1 - апрель 2017г. - 95 с.

References

1. Artemov A.B. Sovremennyye tekhnologii ochistki neftyanykh zagryaznenii [Modern technologies of oil pollution treatment] / A.B. Artemov // Neft'. Gaz. Promyshlennost'. -M.: Nedra, 2008. - №2. - 340 s.
2. Patent na poleznuyu model' № 144489 U1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK E02B 15/04, E02B 15/10. Ustroystvo dlya podvodnogo vvedeniya sorbenta [Underwater sorbent injection device] : № 2013147318/13 : zayavl. 09.01.2014 : opubl. 20.08.2014 / O. A. Gorodnikov, S. YU. Moninets, S. V. Petrashev.
3. Vladimirov A.M. Okhrana okruzhayushchei sredy [Environmental protection] : / A.M. Vladimirov. –L: Gidrometeoizdat, 2007, 224 s.
4. Emel'yanov N.F. Raschet khodkosti i grebnogo vinta morskogo transporta sudna [Calculation of the propulsion and propeller of the ship's marine transport] / N.F. Emel'yanov, S.A. Ogai. Vladivostok, 1984, 65 s.
5. Gorodnikov O. A. Sposob raspyleniya sorbentov pri likvidatsii avariinykh razlivov nefiti s pomoshch'yu podvodnogo apparata [Method of spraying sorbents during oil spill response using a submersible device] / O. A. Gorodnikov, S. V. Petrashev // Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse. – 2016. – № 3. – S. 15-17.
6. Gorodnikov O. A. Sposob raspyleniya sorbentov pri likvidatsii avariinykh razlivov nefiti s pomoshch'yu podvodnogo apparata [Method of spraying sorbents during oil spill response using a submersible device] / O. A. Gorodnikov, S. V. Petrashev // Aktual'nye voprosy nauki. – 2016. – № 27. – S. 92-98.
7. Gorodnikov O. A. Sposob raspyleniya sorbentov pri likvidatsii avariinykh razlivov nefiti s pomoshch'yu podvodnogo apparata [Method of spraying sorbents during oil spill response using a submersible device] / O. A. Gorodnikov // Nauchno-tekhnicheskii progress: aktual'nye i perspektivnye napravleniya budushchego : sbornik materialov III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 2-kh tomakh, Kemerovo, 10–11 avgusta 2016 goda. – Kemerovo: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Zapadno-Sibirskii nauchnyi tsentr", 2016. – S. 115-117.
8. Gorodnikov O. A. Razrabotka podvodnogo apparata dlya naneseniya sorbentov pri likvidatsii razlivov nefiti v zamerzayushchikh akvatoriyakh [Development of an underwater vehicle for application of sorbents for oil spill response in freezing waters] / O. A. Gorodnikov // Nauchno-metodicheskii ehlektronnyi zhurnal Kontsept. – 2016. – № Т11. – S. 2706-2710.
9. Gorodnikov O. A. Razrabotka podvodnogo apparata dlya naneseniya sorbentov v zamerzayushchikh akvatoriyakh pri likvidatsii avariinykh razlivov nefiti [Development of an underwater vehicle for application of sorbents in freezing water areas during oil spill response] / O. A. Gorodnikov, S. V. Petrashev, P. S. Iushin // Prioritetnye napravleniya razvitiya nauki i tekhnologii : Tezisy dokladov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, Tula, 20 noyabrya 2015 goda / Pod obshchei redaktsiei V.M. Panarina. – Tula: Izdatel'stvo "Innovatsionnye tekhnologii", 2015. – S. 96-100.
10. Drugov E.S., Rodin A.A. Ehkologicheskie analizy pri razlivakh nefiti i nefteproduktov [Environmental analyses for oil and petroleum product spills], 2007, 270 s.
11. Razrabotka ehkologicheski bezopasnykh tekhnologii dlya likvidatsii razlivov nefiti v ledovykh usloviyakh [Development of environmentally safe technologies for oil spill response in ice conditions], zhurnal «Gidrotekhnika», Sankt - Peterburg, izdatel'stvo «Tandem», № 1 - aprel' 2017g. - 95 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Олег Александрович Городников - старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологий, Владивостокский государственный университет (ФГБОУ ВО «ВВГУ»), Российская Федерация, 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41, e-mail: gorodnikov.o@vvsu.ru

Oleg A. Gorodnikov, senior lecturer of department of transport's processes and technologies, Vladivostok State University (VVSU), Gogolya, 41 St. Vladivostok, 690014, Russian Federation, e-mail: gorodnikov.o@vvsu.ru

Андрей Евгеньевич Аввакумов, магистрант кафедры транспортных процессов и технологий, Владивостокский государственный университет (ФГБОУ ВО «ВВГУ»), Российская Федерация, 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41, e-mail: Andrei2000ava@yandex.ru

Andrei E. Avvakumov, master's student of department of transport's processes and technologies, Vladivostok State University (VVSU), Gogolya, 41 St. Vladivostok, 690014, Russian Federation, e-mail: Andrei2000ava@yandex.ru

Василий Витальевич Шутов, магистрант кафедры транспортных процессов и технологий, Владивостокский государственный университет (ФГБОУ ВО «ВВГУ»), Российская Федерация, 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41, e-mail: vasilij.vl.20000@gmail.com

Vasilij V. Shutov, master's student of department of transport's processes and technologies, Vladivostok State University (VVSU), Gogolya, 41 St. Vladivostok, 690014, Russian Federation, e-mail: vasilij.vl.20000@gmail.com

Статья поступила в редакцию/the article was submitted 28.10.2022.

Одобрена после рецензирования/approved after reviewing 08.11.2022.

Принята к публикации/accepted for publication 20.11.2022.