

# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

011010101000011011100011001001001011001100110001011010010010001010101 ISSN 2073-7173 (print)  
10010001011100100111001010100110010011000110010100101001101001001010 ISSN 2588-0233 (on line)  
100100011110011011110010100110111001100101000110101001100110010101011000101001001011110100110  
00101001011001100100110010011101100111000100110010010010101000011100110010011100010110100100100  
0011010100110100100001011010010101000100100001111100110011001101101011001110000001110010100101  
1101110011001010111100101010010011010011100010110010100110010101111001010111100101101001010  
00001110101001111000101011001000111001101101001001101101100110010101001110010100110010011001  
11001100011100100110001010010100111101010101000001010101000110101110011001000111001010010010100  
00101001110011010011110001010010101011101010010000101100011001100101011000101011001101001010010



ВЫСШАЯ АТТЕСТАЦИОННАЯ  
КОМИССИЯ (ВАК)  
при Министерстве образования и науки  
Российской Федерации



ULRICH'S  
KNOWLEDGEBASE



**№ 4 Том 3 2023**  
**№ 4 Part 3 2023**

Morskie intelektual'nye tehnologii



## Труды конференции

### Перспективы развития роботизированных комплексов (систем) морского базирования



ISSN № 2588-0233 (print)  
ISSN № 2073-7173 (on line)

# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 4 часть 3 2023 Сквозной номер 62

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

## О НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

На страницах журнала публикуются **новые** научные разработки, результаты исследований, методы, методики и технологии в области кораблестроения, информатики, вычислительной техники и управления (в названии журнала заявлено «морские», т. е. все статьи, в том числе и с интеллектуальной компонентой, должны так или иначе относиться к кораблестроению или, по крайней мере, к исследованиям по морской тематике, что должно быть отражено в статье, аннотации, названии).

Год основания – 2008. Периодичность издания - 4 номера в год. Форма выпуска: печатный, электронный. Язык текстов: русский, английский. Язык метаданных: русский, английский. Статьям присваивается уникальный идентификатор DOI.

**В журнале обязательно рецензирование статей ведущими специалистами по профилю статьи.**

**Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в Перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, в международную реферативную базу данных Web of Science (Emerging Sources Citation Index ESCI) и в Ulrich's Knowledgebase.**

Инструкция по оформлению статьи и другие документы можно скачать с нашего сайта [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru) из раздела «для авторов». Аннотации выпусков журнала с 2008 по 2014 год и с № 3(25) 2014 полные выпуски размещены на сайте журнала <http://morintex.ru> в открытом доступе. Стоимость публикации 16500 рублей. Стоимость публикации включает: публикацию в журнале, электронное издание журнала, размещение в научной электронной библиотеке E-library, в Web of Science (Emerging Sources Citation Index ESCI) и в Ulrich's Knowledgebase. Для аспирантов публикации бесплатно, если аспирант единственный автор.

Подписной индекс 99366 в объединенном каталоге «Пресса России».

Журнал распространяется посредством подписки и в редакции, а также на выставках, конференциях и симпозиумах.

### Рубрики журнала

(соответствуют специальностям научных работников номенклатуры ВАК 2022)

- 2.5.18 Проектирование и конструкция судов;
- 2.5.17 Теория корабля и строительная механика;
- 2.5.19 Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства;
- 2.5.20 Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные);
- 2.2.11 Информационно-измерительные и управляющие системы;
- 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации;
- 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами;
- 2.3.7 Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования;
- 1.2.2 Математическое моделирование и численные методы.

Рукописи и документы к статье представляются в редакцию в электронном виде (e-mail: [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru))

Учредитель-издатель: Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»).

Свидетельства о регистрации СМИ ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008, Эл № ФС72-33245 от 19.09.2008 выданы Роскомнадзором.

Член Ассоциации научных редакторов и издателей.  
Адрес: 190121 г.Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3.  
Тел./факс +7 (812) 513-04-51, бесплатный звонок по России 8 800 201 3897,  
e-mail: [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru)

Ответственность за содержание информационных и рекламных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы и рекламодатели.

Перепечатка допускается только с разрешения редакции.

Мнение редакционного совета и членов редколлегии может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций.

Редакционная этика журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ». Редакционная деятельность научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» опирается, в частности, на рекомендации Комитета по этике научных публикаций, а также на ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

<http://morintex.ru/ru/nauchnyj-zhurnal/redakcionnaya-etika/>  
Напечатано в центре полиграфии НИЦ «МОРИНТЕХ».  
Тираж 100 экз.

Дизайн: А.В. Антонов  
Верстка: А.И. Соломонова

© ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ», 2023

СОДЕРЖАНИЕ	стр.
Памяти А.И. Гайковича.....	12
<b>СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)</b>	
Городников О.А., Охоткина В.Э., Мельник А.П. Определение параметров совместного использования подводного аппарата и судовых насосов для нанесения сорбента.....	15
<b>ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ</b>	
Зуев А.В., Филаретов В.Ф., Жирабок А.Н., Проценко А.А. Метод синтеза адаптивных систем для устранения последствий изменения параметров и дефектов в движителях подводных роботов.....	22
Немиро И.Е., Губанков А.С. Сравнительное исследование методов оценки вектора состояния движущихся объектов.....	32
Юхимец Д.А., Губанков А.С., Филаретов В.Ф. Разработка адаптивной навигационной системы для автономного подводного аппарата на основе данных, получаемых от гидроакустической станции.....	42
Юхимец Д.А. Разработка метода управления большими группами АНПА на основе визуальной информации.....	53
<b>СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ</b>	
Бельченко Ф.М., Ермолов И.Л., Нагайцев Г.Н., Остриков П.П. Об особенностях передачи видеоизображений в подводной робототехнике.....	62
<b>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b>	
Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семенов Е.А., Суханов А.Н. Моделирование перемещения мобильного робототехнического комплекса для проведения регламентных операций по диагностике внешних поверхностей объектов морского базирования.....	68
Артемьев А.В., Яковенко Е.А., Оськин Д.А. Разработка алгоритма и программы для моделирования расхождения автономных судов.....	76
Сиваков Н.С., Усанов В.А. Моделирование воздействия морского течения на мобильный робототехнический комплекс вблизи опорной поверхности.....	86
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ</b>	
Зарубин Н.А., Шамаев А.С. Исследование модели взаимодействия ветровых волн с морским течением.....	93
Пятакович В.А., Пурденко А.П., Рычкова В.Ф. Критерии аппроксимации выборок нейромоделями в интеллектуальных системах классификации морских целей.....	99
Пятакович В.А., Василенко А.М., Рычкова В.Ф. Показатели эффективности для оптимизации процесса построения нейромоделей систем классификации морских целей.....	105
Родионов А.Ю., Кирьянов А.В., Кулик С.Ю., Михайленко О.С. Применение новых бинарных кодов для передачи данных в гидроакустических системах связи.....	112



## СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ) SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Научная статья

УДК 62-822

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2023.62.4.061>

### Определение параметров совместного использования подводного аппарата и судовых насосов для нанесения сорбента

Городников О.А.<sup>1</sup> [gorodnikov.o@vvsu.ru](mailto:gorodnikov.o@vvsu.ru), Охоткина В.Э.<sup>1</sup> [okhotkina.ve@mail.ru](mailto:okhotkina.ve@mail.ru), Мельник А.П.<sup>1</sup>  
[nuta\\_mart@mail.ru](mailto:nuta_mart@mail.ru)

<sup>1</sup>Владивостокский государственный университет

**Аннотация.** Работа направлена на определение параметров совместного использования подводного аппарата и судовых насосов. Серьезной экологической проблемой в современном мире считается возможность разливов нефти, в том числе аварийных. Поэтому, вопросы, связанные с ликвидацией разливов нефти в первую очередь ориентирована на локализацию пятен для предотвращения дальнейшего увеличения площади загрязнения. На всех стадиях нефтепользования, начиная от разведки и добычи нефти и заканчивая утилизацией её отходов, существует риск разлива, что в свою очередь негативно скажется на состоянии окружающей среды. С развитием области нефтепользования, увеличивается и объем аварийных разливов. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов ведут к труднообратимым последствиям и на их устранение выделяются большие ресурсы. Использование подводного аппарата судовой энергетической установки для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, позволяет осуществлять распыление сорбирующего вещества в битом и сплошном льду, что в данный момент является невозможным и не имеет аналогов. 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. Для определения параметров совместимости, при работе с реестром судов в компании, были получены необходимые данные и произведены расчеты, с целью определения возможностей судовой энергетической установки для обеспечения необходимых условий. Разработка заключается во внедрении нового технического аппарата на суда для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** разливы нефти, судовая энергетическая установка, аппарат, судно, сорбент, пожарный насос.

**Для цитирования:** Городников О.А., Охоткина В.Э., Мельник А.П. Определение параметров совместного использования подводного аппарата и судовых насосов для нанесения сорбента, Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 4 часть 3, С. 15—21. DOI: 10.37220/MIT.2023.62.4.061

*Original article*

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2023.62.4.061>

### Determination of parameters for the combined use of a underwater vehicle and ship pumps for application of sorbent

Oleg. A. Gorodnikov<sup>1</sup> [gorodnikov.o@vvsu.ru](mailto:gorodnikov.o@vvsu.ru), Viktoria E. Okhotkina<sup>1</sup> [okhotkina.ve@mail.ru](mailto:okhotkina.ve@mail.ru), Anna P. Melnik<sup>1</sup>  
Vladivostok State University

**Abstract.** The work is aimed at determining the parameters for the joint use of an underwater vehicle and ship pumps. The possibility of oil spills, including emergency ones, is considered a serious environmental problem in the modern world. Therefore, issues related to oil spill response are primarily focused on localizing spills to prevent a further increase in the area of contamination. At all stages of oil use, from exploration and production of oil to disposal of its waste, there is a risk of spillage, which in turn will negatively affect the environment. With the development of oil use, the volume of accidental spills also increases. Accidental spills of oil and petroleum products lead to difficult-to-reversible consequences and large resources are allocated to eliminate them. The use of underwater apparatus of ship power plant for elimination of emergency spills of oil and petroleum products, allows spraying of sorbing agent in broken and solid ice, which is impossible at the moment and has no analogues. This unit is an element of the 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, both when working in standard conditions, and for work in the beaten and solid ice. To determine the parameters of compatibility, while working with the register of ships in the company, the necessary data were obtained and calculations were made in order to determine the capabilities of the ship power plant to provide the necessary conditions. The development consists in the introduction of a new technical device on vessels for the liquidation of emergency spills of oil and petroleum products.

**Keywords:** oil spills, ship power plant, apparatus, vessel, sorbent, fire pump.

**For citation:** Oleg. A. Gorodnikov, Viktoria E. Okhotkina, Anna P. Melnik. Determination of parameters for the combined use of a underwater vehicle and ship pumps for application of sorbent, Marine intellectual technologies. 2023. № 4 part 3, P. 15—21. DOI: 10.37220/MIT.2023.62.4.061

### Введение

Основными причинами аварийных разливов нефти считаются столкновения танкеров, их посадка на мель, взрывы и пожары, а также крушение судов из-за их технического состояния и метеорологических условий. Поэтому для более эффективного решения для ликвидации разливов нефти необходимо, по нашему мнению, иметь снабжение (установки) на судах, способствующие быстрому реагированию на разлив. В данной работе предложен вариант такой установки – подводный судовый аппарат. Работа подводного судового аппарата 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 аппарат 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.

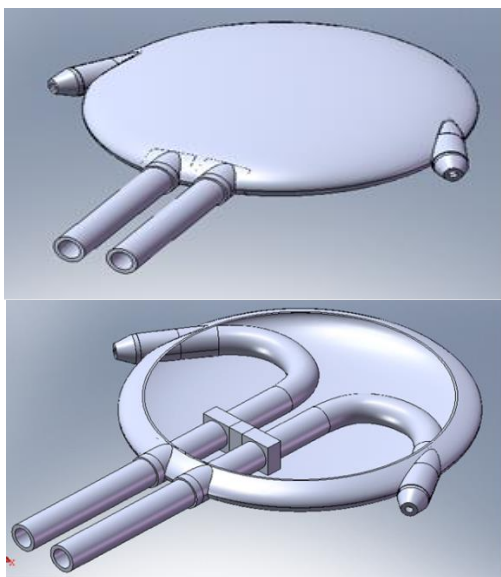


Рис. 1. Модель подводного аппарата для распыления сорбента

Движения данного аппарата будет обеспечиваться судовой энергетической установкой - подача воды с борта судна из пожарных насосов, а также подача пара, который будет выполнять функцию введения сорбента в струю воды и одновременно производить разогрев воды с целью исключения возможности ее замерзания в шлангах.

Для этого, при работе с реестром судов в компании, были получены необходимые данные и произведены расчеты, с целью определения возможностей судовой энергетической установки для обеспечения необходимых условий.

### Параметры пожарных систем различных типов судов

В качестве рассматриваемых судов были приняты:

- «Профессор Меграбов» (построен 31.03.1978, владелец – Дальневосточная морская академия имени адмирала Г.И. Невельского);
- «Олюторский залив» (построен 12.1984, владелец – ООО Пета Кэмикл Кампэни);
- «Комсомолец Приморья» (построен 05.1983, владелец – ДВМП FESCO);
- «Ангара» (построен 22.06.1985, владелец – ДВМП FESCO);
- «Енисей» (построен 06.01.1985, владелец – ДВМП FESCO);
- «FESCO MARINA»;
- «ST FORWARD»;
- «ST LEADER».

На каждом, из рассматриваемых судов, установлены пожарные насосы, определенной подачи и в необходимом количестве (минимум по два штуки – основной и резервный).

При работе по определению характеристик пожарной системы каждого из судов были обработаны и выведены (таблица 1), технические параметры подачи насосов, тип насоса и его производительность в кубических метрах в час.

Таблица 1

## Характеристики пожарных насосов

Название судна	Название насосов	Производительность, м³/ч
Профессор Меграбов	Пожарный насос (тип KRZ IV-80/250)	90
Олюторский залив	Пожарный насос (тип KRZ IV-80/250)	90
Комсомолец Приморья	Пожарный насос (тип KRZ IV-80/250)	90
Ангара	Пожарный насос	200
Енисей	Пожарный насос	200
FESCO MARINA	Пожарный насос	90/190
ST FORWARD	Пожарный насос №1	70
ST LEADER	Пожарный насос №1	70
ФЕСКО НОВИК	Пожарный насос	125 150 -200
KAROLINA WIND	Пожарный насос	50 75

Необходимая подача для движения подводного аппарата 30 кубических метров в час, по результатам расчетов и экспериментальных данных.

Для определения подачи главного стационарного насоса, который должен устанавливаться на судне для обеспечения подачи воды, в случае возникновения аварийной ситуации применяется формула из «Правил классификаций и постройки морских судов», Противопожарная защита, часть 4 НД № 2-020101-174 утвержденный 2023 г.

Подача главного стационарного насоса рассчитывается по формуле (1):

$$Q = (0,145\sqrt{L(B+D)} + 2,17)^2 \quad (1)$$

где L – длина судна, м; B – ширина судна, м; D – высота борта до палубы переборок на миделе, м.

Для определения подачи насоса по формуле необходимо использовать следующие данные.

Судно «Профессор Меграбов»:

- длина судна 142,00 метра;
- ширина судна 22,20 метра;
- высота борта до палубы переборок на миделе 13,60 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{142(22,2+13,6)} + 2,17)^2 = 156,46 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Судно «Олюторский залив»:

- длина судна 142,00 метра;
- ширина судна 22,20 метра;
- высота борта до палубы переборок на миделе 13,60 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{142(22,2+13,6)} + 2,17)^2 = 156,46 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Судно «Комсомолец Приморья»:

- длина судна 142,00 метра;
- ширина судна 22,20 метра;
- высота борта до палубы переборок на миделе 13,60 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{142(22,2+13,6)} + 2,17)^2 = 156,46 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Судно «Ангара»:

- длина судна 178,00 метра;
- ширина судна 28,40 метра;

- высота борта до палубы переборок на миделе 15,60 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{178(28,4+15,6)} + 2,17)^2 = 229,44 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Судно «Енисей»:

- длина судна 178,40 метра;
- ширина судна 28,40 метра;
- высота борта до палубы переборок на миделе 15,60 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{178,4(28,4+15,6)} + 2,17)^2 = 225,5 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Судно «Олюторский залив»:

- длина судна 142,00 метра;
- ширина судна 22,20 метра;
- высота борта до палубы переборок на миделе 13,60 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{142(22,2+13,6)} + 2,17)^2 = 156,46 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Судно «FESCO MARINA»:

- длина судна 142,00 метра;
- ширина судна 22,20 метра;
- высота борта до палубы переборок на миделе 13,60 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{142(22,2+13,6)} + 2,17)^2 = 156,46 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Судно «ST FORWARD»:

- длина судна 105,00 метра;
- ширина судна 18,00 метра;
- высота борта до палубы переборок на миделе 7,60 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{105(18+7,6)} + 2,17)^2 = 93,85 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Судно «ФЕСКО НОВИК»:

- длина судна 126,8 метра;
- ширина судна 19,4 метра;
- высота борта до палубы переборок на миделе 9,45 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{126,8(19,4+9,45)} + 2,17)^2 = 119,7 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Судно «KAROLINA WIND»:

- длина судна 80,9 метра;
- ширина судна 14 метра;

– высота борта до палубы переборок на миделе 6,5 метра.

$$Q = (0,145\sqrt{80,9(14+6,5)} + 2,17)^2 = 65,2$$

м³/час.

В результате проведенных расчетов был сделан вывод, что в соответствии с требованиями не все суда имеют пожарные насосы способные обеспечить необходимую подачу и производительность в случае возникновения аварийной ситуации и пожара. Но для возможности соответствовать требованиям, предъявляемым к пожарным системам на судне, на каждом из рассмотренных судов установлены несколько пожарных насосов, способных обеспечить необходимую производительность.

По технологическим характеристикам пожарных систем на судах можно прийти к выводу, что условия обеспечения необходимой мощностью пожарных насосов выполняются, так как на каждом судне необходимо установить минимум два насоса (один основной, второй резервный).

#### Расчет потерь тепла в рабочей жидкости

Жидкость в шланге движется под давлением создаваемым пожарным насосом. Создавая при этом тягу для движения подводного аппарата. Так как часть шланга от насоса до поверхности воды находится в контакте с окружающей средой и возможно остановка движения аппарата, необходимо учитывать возможность образования замерзания воды на внутренние стенки трубопровода.

Для исключения возможности возникновения данного рода процесса, требуется подогрев воды или продувка шланга паром из судовых котлов. Поэтому произведен расчет для определения количество пара, необходимого для подогрева воды в шланге. Шланг разбит для удобства на участки по 10 сантиметров (общая длина 150 метров).

Расчет необходимого количества тепла для подогрева воды в шланге по формуле (2):

$$\Delta Q = k \Delta t \Delta F \quad (2)$$

где  $\Delta t$  – разность температур  $\Delta t = t_{в1} - t_{ж2}$ ;  $t_{в1}$  – температура воздуха;  $t_{ж2}$  – температура жидкости в шланге;  $\Delta F$  – площадь поверхности теплообмена всех участков по формуле (3).

$$\Delta F = \pi d \Delta l \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр трубопровода;  $\Delta l$  – суммарная длина всех участков трубопровода;  $k$  – коэффициент теплопередачи по формуле (4):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}} \quad (4)$$

Таким образом, чтобы вычислить значение коэффициента теплоотдачи для стенки, необходимо знать толщину этой стенки  $\delta$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , и значение коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$

Коэффициент теплоотдачи воздуха  $\alpha_1$  определяется по формуле (5):

$$\alpha_1 = Nu_{возд.} \frac{\lambda_{в}}{d} \quad (5)$$

где  $\lambda_{в}$  – коэффициент теплопроводности воздуха, 0,022 Вт/м \* °С;  $d$  – диаметр трубопровода, 0,051 м;  $Nu_{возд.}$  – число Нуссельта для воздуха, которое определяется в зависимости от числа Рейнольдса по формуле (6):

$$Nu_{воз} = 0,245 Re^{0,6} \quad (6)$$

Процесс обтекания при поперечном обтекании труб воздухом имеет ряд особенностей, так как в любой точке набегающего потока разделяется на две части и плавно обтекает переднюю часть периметра трубы. На поверхности трубы образуется пограничный слой, который имеет наименьшую толщину в лобовой точке и далее постепенно нарастает в размерах. В итоге происходит, отрыв потока и образование вихревой зоны, охватывающей кормовую часть трубы. Положение точки отрыва пограничного слоя зависит от значения  $Re$  и степени турбулентности набегающего потока. В результате анализа и обобщения, существующих экспериментальных данных для расчета среднего по периметру трубы коэффициента теплоотдачи можно рекомендовать зависимость:

$$Re_{возд.} < 10^3, Nu_{возд.} = 0,49 Re^{0,5}$$

$$Re_{возд.} > 10^3, Nu_{возд.} = 0,245 Re^{0,6}$$

Число Рейнольдса для воздуха определяется по формуле (7):

$$Re = \frac{wd}{\nu_{возд.}}, \quad (7)$$

где  $w$  – скорость водяного потока в трубопроводе, 25 м/с,  $\nu_{возд.}$  – кинематический коэффициент вязкости воздуха,  $10,8 * 10^{-10}$

$$Re = \frac{25 * 0,051}{10,8 * 10^{-10}} = 1180555556$$

Так как число  $Re_{возд.} > 10^3$ , соответственно число Нуссельта для воздуха находим по формуле  $Nu_{возд.} = 0,245 Re^{0,6}$ .

$$Nu_{воз} = 0,245 * 1180555556^{0,6} = 67985,7577$$

Исходя из полученных данных, рассчитаем коэффициент теплоотдачи воздуха:

$$\alpha_1 = 67985,7577 * \frac{0,022}{0,051} = 29327,1896$$

Далее необходимо рассчитать коэффициент теплоотдачи по формуле (8):

$$\alpha_1 = Nu_{ж} \frac{\lambda_{ж}}{d} \quad (8)$$

где  $\lambda_{ж}$  – коэффициент теплопроводности жидкости, 0,00569 Вт/м \* °С;  $Nu_{ж.}$  – число Нуссельта для жидкости.

При турбулентном движении перенос теплоты внутри жидкости осуществляется в основном путем перемешивания. При этом процесс перемешивания протекает настолько интенсивно, что по сечению ядра потока температура жидкости практически

постоянна. Резкое изменения температуры наблюдается лишь внутри тонкого слоя у поверхности.

Первым наиболее подробным и правильно поставленным экспериментальным исследованием теплоотдачи при турбулентном режиме является работа Нуссельта.

На основании большого количества результатов и анализа, для расчета средней теплоотдачи установлена зависимость по формуле (9):

$$Nu_{ж} = 0,28 Re^{0,86} Pr_{ж}^{0,43} (Pr_{ж}/Pr_{с})^{0,25} \quad (9)$$

где  $Re$  – число Рейнольдса для жидкости,

$$Re = \frac{\omega d}{\nu_{ж}}$$

$\omega$  – Скорость жидкости, 4,1 м/с,  $d$  – Диаметр трубопровода, 0,051 м;  $\nu_{ж}$  – кинематический коэффициент вязкости воздуха,  $1,789 \cdot 10^{-6}$

$$Re = \frac{4,1 \cdot 0,051}{1,789 \cdot 10^{-6}} = 116880,9391$$

$Pr_{ж}$  – число Прандтля для жидкости при попадании в шланг = 13,5;  $Pr_{с}$  – число Прандтля для жидкости при движении в шланге = 24,3;

$$Nu_{ж} = 0,28 \cdot 116880,9391^{0,8} \cdot$$

$$\cdot (13,5^{0,8}) \cdot \left(\frac{13,5}{24,3}\right)^{0,25} = 8386,454195$$

тогда

$$\alpha_2 = 8386,454195 \cdot \frac{0,00569}{0,051} = 935,6651838$$

где  $\lambda$  – теплопроводность резины, 0,2;  $\delta$  – толщина стенки шланга, 0,003м;

$$k = \frac{1}{\frac{1}{29327,1896} + \frac{1}{935,6651838} + \frac{0,003}{0,2}} = 62,10078$$

$$\Delta F = 3,14 \cdot 0,051 \cdot 12 = 1,92168$$

После можем произвести расчет количества энергии необходимой для подогрева воды в шланге:  $\Delta Q = 62,10078 \cdot 25 \cdot 1,92168 = 2983,45$  Вт

Это результат показывает, какое количество теплоты теряется при прохождении жидкости по всему трубопроводу, то есть количество теплоты для подачи в шланг составит 3 кВт.

По результатам расчетов и анализа полученных результатов построена диаграмма зависимости изменения энтальпии водяного пара в шланге от температуры окружающей среды (рисунок 2).

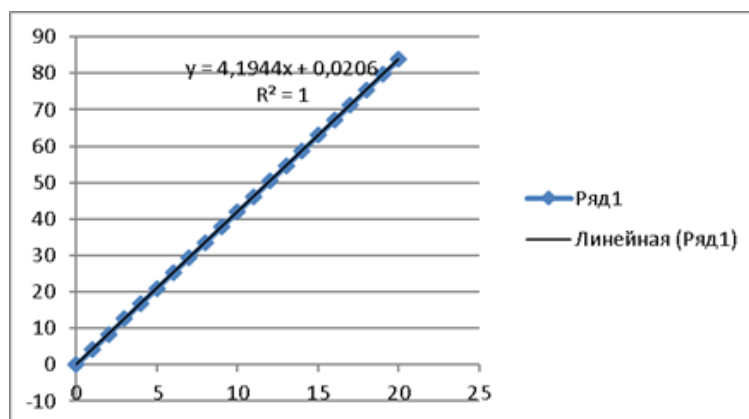


Рис. 2. Диаграмма изменения энтальпии водяного пара в зависимости от условий окружающей среды

В результате расчетов следует вывод, что подогревать воду, подаваемую в шланг не обязательно, но необходима подача водяного пара перед запуском подводного аппарата и после его остановки, так как внутри шланга будет образовываться наледь.

Количество тепла 3кВт необходимое для подачи в шланг из котлов для предотвращения образования наледи внутри шланга при остановке движения подводного аппарата.

При анализе результатов расчетов и параметров судовой энергетической установки, следует вывод, что различные суда могут использовать подводный аппарат для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

Работа судовой энергетической установки и подводного аппарата позволит бороться с разливами в любых погодных условиях, битом и сплошном льду. Исходя из возможностей, каждого судна, можно

сделать вывод, что на борту судна судовая энергетическая установка может использовать не один подводный аппарат, а несколько одновременно.

Поэтому, произведен анализ, возможностей покрытия территории распыления сорбирующего вещества, судовой энергетической установки и подводного аппарата.

Необходимый расход воды для движения подводного аппарата по результатам расчетов и проведенных экспериментов составляет 30 м³/час.

Так как, практически на всех судах установлены насосы в количестве более одной единицы, это дает возможность одновременного подключения нескольких аппаратов, что позволит уменьшить время на обработку нефтяного пятна и сократить время обработки.

Данный метод с использованием подводного аппарата очень актуален для судов, работающих



вблизи нефтяных платформ (суда-снабженцы и аварийно-спасательные суда).

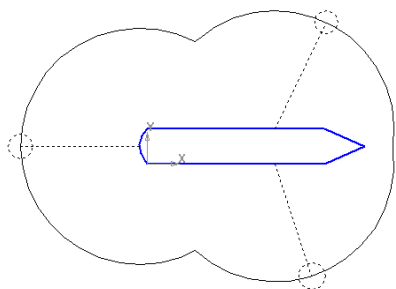


Рис. 3. Схема одновременного подключения трех аппаратов

Исходя из результатов расчетов и возможностей насосов на судне (Профессор Меграбов), при подключении трех аппаратов, площадь покрытия составит 29646,7 м<sup>2</sup>.

Возможные схемы подключения на судно «Ангара» показаны на рисунке 4.

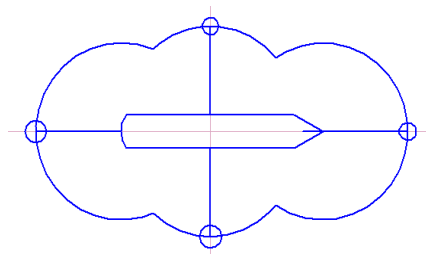


Рис. 4. Схема одновременного подключения четырех аппаратов

Исходя из результатов расчетов и возможностей насосов на судне (Профессор Меграбов), при подключении четырех аппаратов, площадь покрытия составит 40782,7 м<sup>2</sup>.

Данная схема подключения нескольких аппаратов одновременно значительно ускорит скорость подачи сорбента и локализации и ликвидации нефтяного пятна.

### Заключение

По результатам расчетов и экспериментов полученные результаты дают четкое понимание рентабельности использования подводного аппарата. Скорость прохождения жидкости в трубопроводе довольно большая, это позволяет минимизировать потерю тепла и избежать возникновения наледи внутри трубопровода, для подогрева достаточно 3 кВт.

При этом так же по результатам требований количества пожарных насосов на судах и расчетов видно, что одновременно можно подключать несколько подводных аппаратов, что позволит увеличить количества активного вещества и ускорить процесс ликвидации нефтяного пятна.

Подводный аппарат легко и быстро подключается к любой судовой противопожарной системе, что устраняет затраты на аренду специального судна и затраты на монтаж и установку. Уменьшаются затраты на сорбент, так как имеется возможность близко подводить подводный аппарат к нефтяному пятну, что значительно уменьшает излишний расход сорбента.

### 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 : опубл. 20.08.2014 / О. А. Городников, С. Ю. Монинцев, С. В. Петрашев.
3. Владимиров А.М. Охрана окружающей среды: / А.М. Владимиров. –Л: Гидрометеиздат, 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

## References

1. Artemov A.B. Sovremennye tekhnologii ochistki neftnykh 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. Ustroistvo 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 nefti 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 nefti 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 nefti 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 nefti v zamerzayushchikh akvatoriakh [Development of an underwater vehicle for application of sorbents for oil spill response in freezing waters] / O. A. Gorodnikov // Nauchno-metodicheskii elektronnyi zhurnal Kontsept. – 2016. – № T11. – S. 2706-2710.
9. Gorodnikov O. A. Razrabotka podvodnogo apparata dlya naneseniya sorbentov v zamerzayushchikh akvatoriakh pri likvidatsii avariinykh razlivov nefti [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

## Конфликт интересов

Не указан.

## Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

## Conflict of Interest

None declared.

## Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Городников Олег Александрович** - старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологий, Владивостокский государственный университет, 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

**Охоткина Виктория Эльвировна** – кандидат географических наук, доцент кафедры транспортных процессов и технологий, Владивостокский государственный университет, Российская Федерация, 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41, e-mail: okhotkina.ve@mail.ru

**Viktoria E. Okhotkina** Ph.D. (Geo), Associate Professor of department of transport's processes and technologies, Vladivostok State University (VVSU), Gogolya, 41 St. Vladivostok, 690014, Russian Federation, e-mail: okhotkina.ve@mail.ru

**Мельник Анна Петровна**, магистрант кафедры транспортных процессов и технологий, Владивостокский государственный университет, Российская Федерация, 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41, e-mail: nuta\_mart@mail.ru

**Anna P. Melnik**, master's student of the department of transport processes and technologies, Vladivostok State University (FSBEI HE "VVGU"), Russian Federation, 690014, Vladivostok, st. Gogolya, 41, e-mail: nuta\_mart@mail.ru

Статья поступила в редакцию/the article was submitted 10.11.2023.

Одобрена после рецензирования/approved after reviewing 17.11.2023.

Принята к публикации/accepted for publication 22.11.2023.