

МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ISSN 2073-7173 (print)

ISSN 2588-0233 (on line)

№ 4 Том 4 2024
№ 4 Part 4 2024



Morskie intelektual'nye tehnologii



Труды конференции

Перспективы развития роботизированных комплексов
(систем) морского базирования



ISSN 2073-7173 (print)
ISSN 2588-0233 (on line)

МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 4 часть 4 2024 Сквозной номер 66

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 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 19500 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)

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

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.

Стоимость номера журнала без доставки 3500 рублей.

Дизайн: А.В. Антонов

Верстка: А.И. Соломонова

© ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ», 2024

СОДЕРЖАНИЕ	стр.
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)	
Городников О.А., Карсаков К.Б. Модернизация элементов подводного судового устройства для проведения диагностических работ.....	10
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ	
Бельченко Ф.М., Князьков М.М., Остриков П.П., Семенов Е.А., Суханов А.Н. Система управления испытательным стендом для исследования переходных процессов в вакуумных присосках в водной среде.....	18
Бельченко Ф.М., Князьков М.М., Остриков П.П., Семенов Е.А., Суханов А.Н. Экспериментальные исследования сцепления с поверхностью вакуумных хватных устройств в различных средах.....	25
Губанков А.С., Горностаев И.В. Метод формирования программной скорости движения группы БПЛА.....	33
Кабанов А.А., Зуев А.В., Проценко А.А. Идентификация возмущений в электроприводах робототехнических систем на основе оптимального астатического наблюдателя.....	42
Горин В.А., Губанков А.С., Юхимец Д.А. Подход к построению информационно-управляющей системы для посадки беспилотного воздушного судна.....	51
Юхимец Д.А. Метод синтеза системы траекторного управления движением АНПА, учитывающего особенности кинематической модели их движительных комплексов.....	61
Родионов А.Ю., Власов А.А., Кузин Д.А., Бобров В.В., Кирьянов А.А., Гребенюк И.В. Нейросетевое распознавание сигнальных созвездий M-QAM типа в магнитно-индукционном подводном канале связи.....	69
Родионов А.Ю., Кирьянов А.В., Гребенюк И.В., Пестов Д.А. Результаты оценки погрешности гидроакустической навигационной системы с короткой базой в прибрежной зоне.....	77
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
Филаретов В.Ф., Зуев А.В., Тимошенко А.А. Адаптивное управление электроприводами подводных манипуляторов.....	83
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ	
Князьков Д.Ю. Моделирование влияния неоднородности стратификации на поле внутренних волн в океане.....	91
Городников О.А., Петрашев С.В. Вывод дифференциального уравнения для определения сопротивлений шланга при эксплуатации подводного оборудования.....	99

Научная статья

УДК 62-539

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.66.4.085>

Вывод дифференциального уравнения для определения сопротивлений шланга при эксплуатации подводного оборудования

Городников О.А.¹ Gorodnikov.O@vvsu.ru, Петрашев С.В.² petrashov@msun.ru¹Владивостокский государственный университет, ²Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского

Аннотация. Проведение работ в толще воды с применением различного размера шлангов влечет за собой ряд затруднений в точности расчетов, так как шланги являются основной проблемой создавая дополнительные утяжеления конструктивных элементов и сопротивления в процессе своего движения. Для определения сопротивлений необходимо учитывать такие факторы, как обтекание шлангов, сопротивление в толще воды, подводные течения, вес конструкции. На данный момент не существует универсального способа расчета данных параметров, что затрудняет проведение подготовительных работ и проведения расчетов в первых приближениях. Полученное уравнение позволяющее определить элементарный момент сопротивления шланга позволит упростить проведение расчетов и экспериментов с данного типа оборудованием. Эксперимент по определению основных параметров движения шланга в толще воды проводился на примере подводного аппарата для нанесения сорбентов при ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Подводные аппарат имеет шланг длиной 150 метров, что позволяет проводить расчеты данного типа.

Ключевые слова: обтекание поверхности, сопротивление, подводный аппарат, изгиб, шланг, траектория движения, массовый расход, скорость жидкости.

Для цитирования: Городников О.А., Петрашев С.В. Вывод дифференциального уравнения для определения сопротивлений шланга при эксплуатации подводного оборудования. Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 4 часть 4, С. 99—105. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.085

Original article

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.66.4.085>

Derivation of a differential equation for determining hose resistance when operating subsea equipment

Oleg A. Gorodnikov¹ Gorodnikov.O@vvsu.ru, Sergey V. Petrashev² petrashov@msun.ru¹Vladivostok State University, ²Admiral G.I. Nevelsky Maritime State University

Annotation. Carrying out work in the water column using different sizes of hoses entails a number of difficulties in the accuracy of calculations, since hoses are the main problem, creating additional weighting of structural elements and resistance during their movement. To determine resistance, it is necessary to take into account factors such as flow around hoses, resistance in the water column, underwater currents, and weight of the structure. Now, there is no universal way to calculate these parameters, which makes it difficult to carry out preparatory work and carry out calculations in first approximations. The resulting equation, which allows us to determine the elementary moment of resistance of the hose, will simplify calculations and experiments with this type of equipment. An experiment to determine the main parameters of hose movement in the water column was carried out using the example of an underwater vehicle for applying sorbents during the cleanup of emergency oil and petroleum product spills. The underwater vehicle has a hose, 150 meters long, which allows for calculations of this type.

Key words: flow around a surface, drag, underwater vehicle, bending, hose, trajectory, mass flow, fluid speed.

For citation: Oleg A. Gorodnikov, Sergey V. Petrashev Derivation of a differential equation for determining hose resistance when operating subsea equipment. Marine intellectual technologies. 2024. № 4 part 4, P. 99—105. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.085

Введение

Нефтегазодобывающая промышленность является одной из ключевых сфер современной экономики большинства стран. Добыча нефти в основном отделяется от суши, а бурение скважин, их разработка и эксплуатация ведется на шельфе. Данные процессы напрямую связаны с возникновением утечек нефти, которые наносят вред окружающей флоре и фауне.

Для оперативной ликвидации утечек нефти используется подводное устройство, разработанное для применения на судах любого типа, работающее в связки с элементами судовых энергетических

установок, позволяющее осуществлять работы в любых погодных условиях, в независимости от наличия течения, льда, и ледяной шуги.

При проведении начальных стадий экспериментов и апробации данного устройства возникали проблем с возникающими сопротивлениями, создаваемыми шлангом для осуществления движения устройства и подачи активного вещества.

Цель исследования является определение возможности движения подводного устройства в толще воды и подбор наиболее оптимальных параметров для преодоления сопротивлений в толще воды.

Основные задачи, решаемые при проведении исследования:

- определение сопротивлений устройства при поперечном обтекании шланга;
- определение сопротивления движению судового устройства при продольном обтекании;
- вывод дифференциального уравнения сопротивления движению подводного устройства.

Результата проведения расчетов и исследования в дальнейшем поможет сократить время на решение задач аналогичного типа и подбора размеров шлангов, применяемых в толще воды и объектов различной формы и размеров [1].

Применение системы «подводное устройство – судовая энергетическая установка»

Утечки нефти и нефтепродуктов неизбежны при добыче, бурении, эксплуатации объектов нефтедобычи и транспортировки нефти танкерным флотом.

Например, в 2010 году было обнаружено множество частей шлейфа пораженных нефтью до 16 км в длину и до 5 км в ширину, а также до 90 метров в толщину.

В результате нефтяного разлива пострадали 1770 километров береговой линии, был введен запрет на рыбалку, и более трети акватории Мексиканского залива закрыли для промысла. Все прибрежные штаты США, расположенные у Мексиканского залива, понесли убытки, однако наибольший ущерб был причинен Луизиане, Алабаме, Миссисипи и Флориде. На побережье Мексиканского залива было найдено 6814 мертвых животных.

Для решения задачи оперативной ликвидации нефтяных пятен предлагается использование подводного устройства, использующего мощности судовых энергетических установок для осуществления движения и распыления активного вещества в толще воды под аварийными разливами.

Основные характеристики системы для введения активного вещества в толщу воды (рисунок 1).

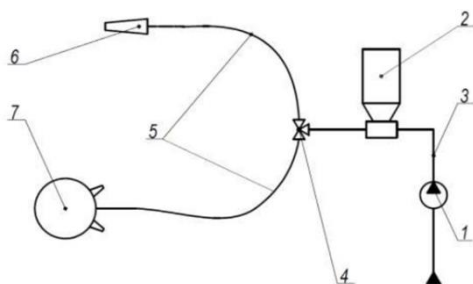


Рис. 1. Схема системы подачи активного вещества в зону загрязнения

- 1 – насос заборной воды; 2 – смесительное устройство; 3 – трубопровод; 4 – кран распределитель; 5 – гибкий рукав; 6 – гидромонитор; 7 – подводное устройство-распылитель

Пожарный насос забирает воду за бортом (1), в это время смесительное устройство (2) подает сорбирующее вещество в трубопровод (3) и через распределительное устройство (4) поступает по гибкому рукаву (5) в подводное устройство (7), возможна подача в гидромонитор (6).

Подводное устройство погружается в толщу воды

при помощи гидрореактивной тяги начинает свое движение к месту разлива нефти. Движение происходит при выходе напора воды через два сопла, при включении подачи в одно из сопел (левое или правое) устройство движется в сторону, при подаче в оба сопла одновременно устройство движется вперед. Данная система создания напора позволяет маневрировать подводному устройству и направлять его под нефтяное пятно [2].

Определение сопротивления подводного устройства при поперечном обтекании шланга

Траектория движения подводного устройства при обработке нефтяного пятна возможно движение в двух вариантах – «маятниковом» (а) и возвратно-поступательном (б) (рисунок 2).

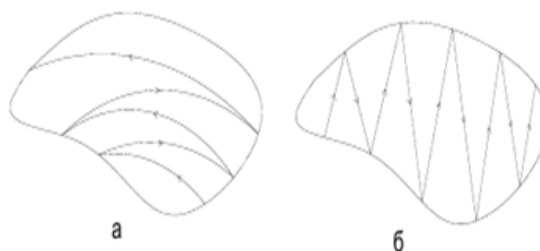


Рис. 2. Траектория движения подводного аппарата

Для проведения расчетов необходимо определить силы, действующие на корпус аппарата и гибкий трубопровод.

При движении подводного устройства силы сопротивления, действующие на аппарат и гибкий трубопровод представлены рисунке 3.

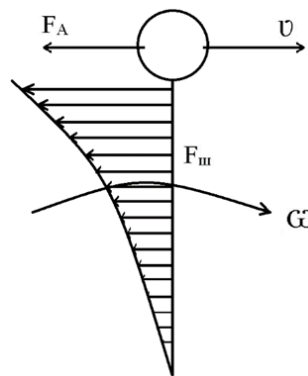


Рис. 3. Схема действующих сил сопротивления при поперечном обтекании шланга

Отсюда среднюю скорость движения на каждом из 100 участков можно определить по формуле (4):

$$v_j = \omega \cdot R_j, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость, рад/с [6];

R_i – радиус движения участка (формула (5)).

$$R_i = \frac{l}{2} + l(n-1). \quad (5)$$

Силу, действующую на участок трубопровода при поперечном обтекании, необходимо определить по формуле (6):

$$F_i = \varepsilon \cdot \rho \cdot \frac{v_i^2}{2} \cdot S, \text{ Н}; \quad (6)$$

где ε – коэффициент сопротивления трубопровода;
 ρ – плотность морской воды, кг/м³;
 v_i – скорость движения шланга на i -ом участке, м/с;

S – площадь поперечного сечения трубопровода, м².

Момент силы сопротивления движению шланга при поперечном обтекании рассчитывается по формуле (7):

$$M = \sum F_i \cdot R_i. \quad (7)$$

Для каждого участка рассчитаем среднюю скорость, силу и момент силы сопротивления при скорости движения подводного устройства 0,5 м/с, и угловой скорости 0,0033 рад/с.

Производим аналогичные расчеты при скорости

движения подводного устройства 1 м/с, угловая скорость 0,0067 рад/с [7].

Расчет участка 1:

$$R_1 = \frac{l}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ м.}$$

$$v_1 = \omega_1 \cdot R_1 = 0,0033 \cdot 0,75 = 0,0025 \text{ м/с.}$$

$$F_1 = \varepsilon \rho \frac{v_1^2}{2} S = 1,7 \cdot 1025 \cdot \frac{0,0025^2}{2} \cdot 0,048 = 26 \cdot 10^{-5} \text{ Н.}$$

$$M_1 = F_1 \cdot R_1 = 0,00026 \cdot 0,75 = 0,0002 \text{ Н·м.}$$

По аналогичному принципу, производим расчет для 100 полученных участков, и действующих на него нагрузок.

На основании полученных данных составлена диаграмма изменения основных показателей. Диаграмма представлена на рисунке 4.

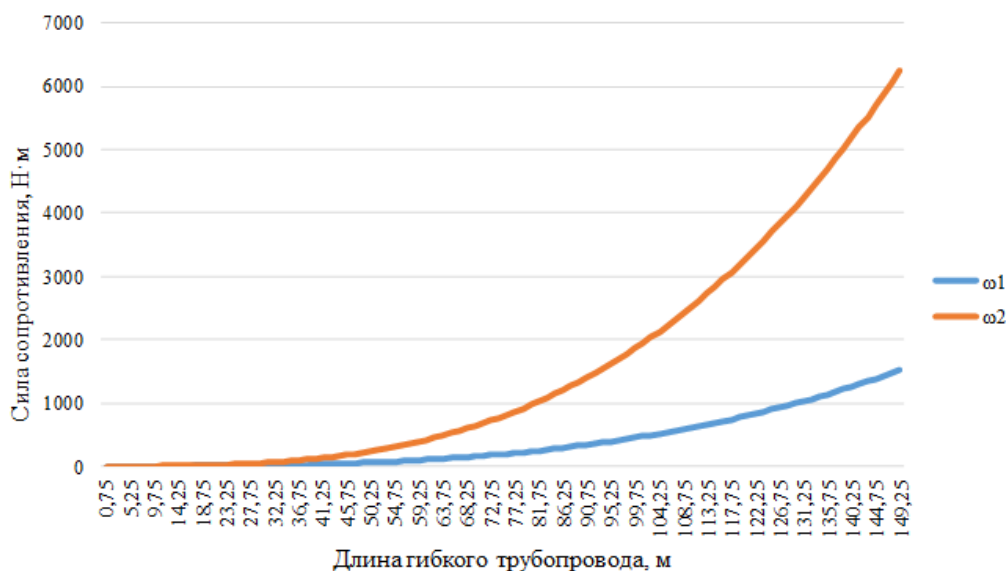


Рис. 4. Диаграмма зависимости момента силы сопротивления движению шланга при поперечном обтекании

По результатам расчетов определены суммарные значения моментов:

$$\sum M_{1i} = 38424,12 \text{ Н·м.}$$

$$\sum M_{2i} = 158389,25 \text{ Н·м.}$$

Сила полного эквивалентного сопротивления трубопровода [8]:

$$F_{1з} = \frac{\sum M_{1i}}{L} = \frac{38424,12}{150} = 256,16 \text{ Н.}$$

$$F_{2з} = \frac{\sum M_{2i}}{L} = \frac{158389,25}{150} = 1055,9 \text{ Н.}$$

Определение сопротивления движению судового устройства при продольном обтекании

Вычислим сопротивление аппарата при разных значениях скорости:

$$F_{a1} = \varepsilon \rho \frac{v_1^2}{2} S = 0,7 \cdot 1025 \cdot \frac{0,5^2}{2} \cdot 0,056 = 10,045 \text{ Н.}$$

$$F_{a2} = \varepsilon \rho \frac{v_2^2}{2} S = 0,7 \cdot 1025 \cdot \frac{1^2}{2} \cdot 0,056 = 20,09 \text{ Н.}$$

Отсюда суммарное сопротивление системы «шланг – аппарат»:

$$\sum F_{суч1} = F_{з1} + F_{a1} = 256,16 + 10,45 = 266,61 \text{ Н.}$$

$$\sum F_{суч2} = F_{з2} + F_{a2} = 1055,9 + 20,09 = 1075,99 \text{ Н.}$$

По результатам расчета силы сопротивления комплекса «шланг – аппарат» можно сделать вывод, что сопротивление шланга составляет основную долю общего сопротивления, так как $F_{a1} < F_{з1}$ ($10,45 < 256,16$), $F_{a1} < F_{з2}$ ($20,09 < 1055,9$), траектория движения ПУ в толще воды наиболее оптимальным с учетом возникающих сопротивлений будет возвратно-поступательное движение (рисунок 6).

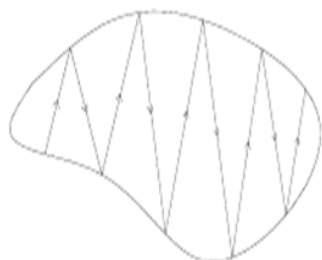


Рис. 6. Возможные траектории движения подводного аппарата

Для того чтобы определить мощность насоса необходимо найти объемный расход жидкости и давления насоса [9].

Внутренний диаметр трубопровода: $d = 0,025$ м.

Плотность воды: $\rho = 1025$ кг/м³.

Для того чтобы обеспечить необходимый напор принимаем скорость жидкости в трубопроводе: $u = 8$ м/с.

Площадь поперечного сечения трубопровода определяем по формуле (8):

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ м}^2. \quad (8)$$

Определяем расход жидкости, проходящий через поперечное сечение трубопровода по формуле (9):

$$Q = S \cdot V \text{ м}^3/\text{с}. \quad (9)$$

Часовой объемный расход определяем по формуле (10):

$$Q_h = Q \cdot 3600 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (10)$$

Мощность на выходе насоса или гидравлическая мощность, сообщаемая насосом жидкой среде по формуле (11):

$$N_{гидр} = 0,001 \cdot Q \cdot P \text{ Вт}. \quad (11)$$

Общий КПД насосов представляет собой произведение коэффициентов полезного действия: объемного гидравлического и механического. КПД насоса характеризует степень конструктивного его совершенства, как в механическом, так и гидравлическом отношении. КПД для малых насосов до 0,6...0,7 и менее.

Мощность, потребляемая насосом или действительная мощность на валу насоса, сообщаемая ему электродвигателем по формуле

(12):

$$N = \frac{N_{гидр}}{\eta} \text{ Вт}. \quad (12)$$

Чтобы установить размеры сопел найдем массовый расход жидкости по формуле (13):

$$G = \rho \cdot Q \text{ кг/с}. \quad (13)$$

Диаметры сопел на входе определим по формуле (14):

$$d_1 = d_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot S}{\pi}} \text{ м}. \quad (14)$$

Действительная скорость жидкости на входе в сопло по формуле (15):

$$v_{вх} = \frac{Q}{S_{вх}} \text{ м/с}. \quad (15)$$

Реактивная сила должна обеспечивать тягу, тогда:

$$F_{реак} = F_{тяги} = 190 \text{ Н}.$$

Реактивная сила определяется по формуле (16):

$$F_{реак} = G \cdot v \text{ Н}. \quad (16)$$

Отсюда найдем необходимую скорость жидкости на выходе из сопла по формуле (17):

$$v_{вых} = \frac{F_{реак}}{G} \text{ м/с}. \quad (17)$$

Площадь каждого из сопел на выходе по формуле (18):

$$S_{вых} = \frac{Q}{v_{вых}} \text{ м}^2. \quad (18)$$

Тогда диаметры сопел на выходе по формуле (19):

$$d_1 = d_2 = \sqrt{\frac{2S}{\pi}} = 0,025 \text{ м}. \quad (19)$$

Диаметр применяемых шлангов $d = 25$ мм.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов

№	Наименование параметра	Обозначение	Значение	Ед. измерения
1	Площадь поперечного сечения трубопровода	S	0,0056	м ²
2	Расход жидкости	Q	0,004	м ³ /с
3	Часовой объемный расход	Q _h	14,4	м ³ /ч
4	Мощность насоса	N	4	кВт
5	Мощность, потребляемая насосом	N _{потр}	6,7	кВт
6	Массовый расход жидкости	G	4,1	кг/с
7	Действительная скорость жидкости на входе в сопло	v _{вх}	8	м/с
8	Скорость жидкости на выходе из сопла	v _{вых}	47,2	м/с
9	Диаметры сопел	d	0,008	м

Сопла подводного устройства для подачи сорбирующего вещества являются съемными, что позволяет их замену в случае необходимости. Установка сопел большего диаметра внутреннего проходного сечения позволит увеличить напор, тем самым увеличить скорость и количество распыляемого сорбента.

Вывод дифференциального уравнения сопротивления движению подводного устройства

Силу сопротивления участка шланга определяем по формуле (20) [10]:

$$F_{шл} = \varepsilon_{шл} \frac{\omega_a^2}{2} S H; \quad (20)$$

где $\varepsilon_{шл}$ – коэффициент сопротивления при поперечном обтекании шланга;
 ω_a – скорость движения подводного устройства, м/с;
 S – площадь поперечного сечения подводного устройства, 0,048 м².

Из уравнения 20 выводим элементарное сопротивление элементарного участка шланга (21):

$$dR_{ш} = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} dS_{ш} (\omega dr)^2; \quad (21)$$

где $d_{ш}$ – диаметр шланга, м;
 dr – элементарное изменение радиуса, м.
 Следовательно, получим площадь

$$M_{\Sigma} = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} \omega_a^2 \int_0^r \frac{dr^3}{r} = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} \omega_a^2 \left(\int_0^r \frac{r^2 dr}{r^2} + \int_0^r \frac{r^2 dr}{r^2} + \int_0^r \frac{r^2 dr}{r^2} \right) = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} \omega_a^2 \left(\int_0^r dr + \int_0^r dr + \int_0^r dr \right) = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} \omega_a^2 \left(r \Big|_0^r + r \Big|_0^r + r \Big|_0^r \right) = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} \omega_a^2 \cdot 3r \Big|_0^r \quad \text{Н·м.} \quad (27)$$

В уравнение подставим необходимые значения для получения суммарного сопротивления шланга получим уравнение (28):

$$M_{\Sigma} = 0,4 \cdot 63,04 + 1,7 \cdot \frac{1025}{2} \cdot 0,025 \cdot 1,005^2 \cdot 3 \cdot 0,4 \cdot \Big|_0^{150} = 6629,93 \text{ Н·м.} \quad (28)$$

Сила эквивалентного сопротивления трения поверхности подводного устройства и шланга для маятникового типа движения (29):

$$R_{мп1} = \frac{M_{\Sigma}}{dR_{ш}} = \frac{6629,93}{150} = 44,2 \text{ Н·м;} \quad (29)$$

$$R_{мп2} = \varepsilon_{мп} \frac{\rho \cdot v_{ш}^2}{2} S = 0,01 \cdot \frac{1025 \cdot 1^2}{2} \cdot 15,332 = 78,57 \text{ Н·м;} \quad (30)$$

где S – площадь смоченной поверхности, 15,332 м²;
 $\varepsilon_{тп}$ – коэффициент трения поверхности шланга, 0,01.

Для нахождения коэффициента трения о поверхность требуется рассчитать число Рейнольдса по формуле (31):

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{ш} \cdot d}{\mu} = \frac{1025 \cdot 1 \cdot 0,025}{0,00131} = 19561; \quad (31)$$

где d – внутренний диаметр шланга, 0,025 м;

элементарного участка шланга по формуле (22):

$$dS_{ш} = d_{ш} dr. \quad (22)$$

Уравнение (21) примет вид (23):

$$dR_{ш} = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} dr (\omega dr)^2. \quad (23)$$

Из этого следует, что уравнение для определения элементарного момента сопротивления шланга примет вид формул (24 и 25):

$$M_{с.шл.1} = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} \cdot \frac{\omega_a^2}{R^2} dr^3 r \text{ Н·м.} \quad (24)$$

$$M_{с.шл.2} = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} \cdot \frac{\omega_a^2}{R^2} dr^3 r \text{ Н·м.} \quad (25)$$

Из траектории движения подводного устройства следует, что суммарный элементарный момент сопротивления шланга (26):

$$M_{\Sigma} = \int_0^r \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} \frac{\omega_a^2}{r} dr^3 = \varepsilon_{шл} \frac{\rho}{2} d_{ш} \omega_a^2 \int_0^r \frac{dr^3}{r} \text{ Н·м.} \quad (26)$$

Полученное уравнение подставляем в формулу для нахождения элементарного момента сопротивления шланга (27):

где $dR_{ш}$ – радиус движения подводного устройства, 150 м.

Далее рассчитываем силу сопротивления трения поверхности подводного устройства и шланга для возвратно-поступательного типа движения (30):

μ – коэффициент динамической вязкости морской воды, 0,001307 Па·с.

Коэффициент трения поверхности шланга находим по формуле Прантля-Шлихтинга (32):

$$\zeta_{мп} = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}} = \frac{0,455}{(\lg(19606))^{2,58}} = 0,01. \quad (32)$$

Площадь смоченной поверхности шланга и подводного устройства и шланга (33):

$$S = S_2 + S_{ш} = 0,26 + 15,072 = 15,332 \text{ м}^2. \quad (33)$$

Площадь смоченной поверхности подводного устройства по формуле (34):

$$S_2 = \pi R^2 \cdot 2 = 3,14 \cdot 0,2^2 \cdot 2 = 0,26 \text{ м}^2. \quad (34)$$

Площадь смоченной поверхности шланга по формуле (35):

$$S_{ш} = 2\pi \cdot R \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,016 \cdot 150 = 15,072 \text{ м}^2; \quad (35)$$

где R – внутренний радиус шланга, 0,016 м.

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что при возвратно-поступательном движении сила сопротивления трения о воду меньше по формуле (36):

$$R_{мп1} > R_{мп2} \\ 88,4 > 78,57 \quad (36)$$

По результатам полученных результатов строим диаграмму зависимости сил сопротивления трения от длины участка шланга при разной длине шланга, представленную на рисунке 7.

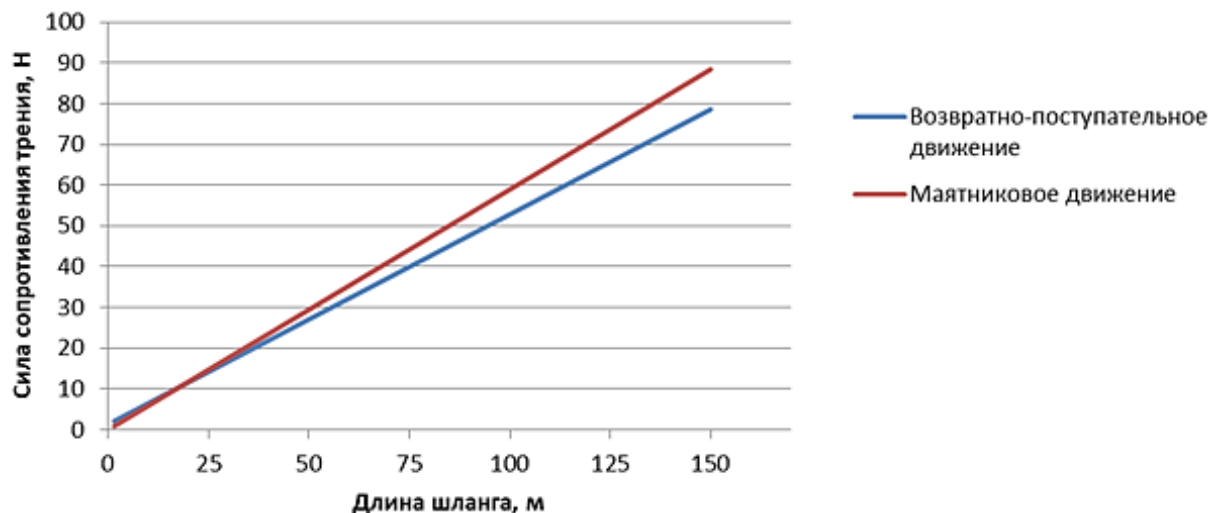


Рис. 7. Диаграмма зависимости сил сопротивления трения от длины участка шланга при разной длине шланга

Вывод

Определены параметры элементов системы подачи активного вещества на нефтяное пятно активного вещества. Представлена схема подключения к судовой системе на судне.

Шланг, для проведения расчетов разбит на сто одинаковых участков по полтора метра. Определены сопротивления по длине шланга в толще воды с учетом возникающих продольных и поперечных сопротивлениями действующих на шланг.

Расчет проводился для двух возможных вариантов движения подводного устройства –

маятниковое и возвратно-поступательное. При скорости движения 0,5 и 1 м/с. Определена наиболее оптимальная траектория движения подводного судового устройства – возвратно-поступательная.

Рассчитаны затраты судовой энергетической установки для обеспечения движения устройства в толще воды – 6,7 кВт. Исходя из результатов расчетов и данных полученных при сравнении движения аппарата, следует вывод, что использование схемы возвратно-поступательного движения позволит уменьшить сопротивления при движении и сократить количество времени при его движении.

Литература

1. Артемов А.В. Современные технологии очистки нефтяных загрязнений / А.В. Артемов // Нефть. Газ. Промышленность. – М.: Недра, 2008. – №2. – 340 с.
2. 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.
3. Воронович Н.А. Теоретическая механика. Учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных, строительных, транспортных, приборостроительных специальностей заочной формы обучения / Сост. Н.А. Воронович, М.А. Осипенко, Р.М. Подгаец. – Перм. гос. техн. ун-т., Пермь. 2006, 138 с.
4. Латипов К.Ш. Гидравлика, гидромашин, гидроход. – Ташкент: Укитувчи, 1992. – 375с.
5. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика. Основы механики жидкости: учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е., перераб. и доп. / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселев. М.: Стройиздат, 1975. – 323 с.
6. Калицун В.И. Основы гидравлики и аэродинамики / В.И. Калицун, Е.В. Дроздов. М.: Стройиздат, 1980. – 247 с.
7. Калякин А.М. Гидравлические расчеты трубопроводов. Истечение жидкости через отверстия и насадки. Гидродинамическое моделирование. Ч. 4. Конспект лекций / А.М. Калякин. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2004. – 56 с. ISBN 5-7433-1281-8.

8. Киселев П.Г. Гидравлика: Основы механики жидкости: учеб. пособие для вузов. / П.Г. Киселев. М.: Энергия, 1980. – 360 с.
9. Справочник по гидравлическим расчетам. Под ред. П.Г. Киселева. Изд. 5-е. М., «Энергия», 1974. – 312 с. с ил.
10. Кудинов В.А. Гидравлика: учебн. пособие для студентов, обучающихся в обл. техн. и технологии. – М.: Высш. шк., 2007. – 199 с.: ил.

References

1. Artemov A.B. Sovremennye tekhnologii ochistki neftyanykh zagryazneniy / A.B. Artemov // Neft'. Gaz. Promyshlennost'. – М.: Nedra, 2008. – №2. – 340 s.
2. Gorodnikov O.A. Sposob raspilyeniya sorbentov pri likvidatsii avariynykh razlivov nefti s pomoshch'yu podvodnogo apparata / O.A. Gorodnikov, S.V. Petrashev // Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse. – 2016. – № 3. – S. 15-17.
3. Voronovich N.A. Teoreticheskaya mekhanika. Uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov mashinostroitel'nykh, stroitel'nykh, transportnykh, priborostroitel'nykh spetsial'nostey zaochnoy formy obucheniya / Sost. N.A. Voronovich, M.A. Osipenko, R.M. Podgaets. – Perm. gos. tekhn. un-t., Perm'. 2006, 138 s.
4. Latipov K.Sh. Gidravlika, gidromashiny, gidrokhod. – Tashkent: Ukituvchi, 1992. – 375с.
5. Al'tshul' A.D. Gidravlika i aerodinamika. Osnovy mekhaniki zhidkosti: ucheb. posobie dlya vuzov. Izd. 2-e., pererab. i dop. / A.D. Al'tshul', P.G. Kiselev. М.: Stroyizdat, 1975. – 323 s.
6. Kalitsun V.I. Osnovy gidravliki i aerodinamiki / V.I. Kalitsun, E.V. Drozdov. М.: Stroyizdat, 1980. – 247 s.
7. Kalyakin A.M. Gidravlicheskie raschety truboprovodov. Istechenie zhidkosti cherez otverstiya i nasadki. Gidrodinamicheskoe modelirovanie. Ch. 4. Konspekt lektsiy / A.M. Kalyakin. Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2004. – 56 s. ISBN 5-7433-1281-8.
8. Kiselev P.G. Gidravlika: Osnovy mekhaniki zhidkosti: ucheb. posobie dlya vuzov. / P.G. Kiselev. М.: Energiya, 1980. – 360 s.
9. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam. Pod red. P.G. Kiseleva. Izd. 5-e. М., «Energiya», 1974. – 312 s. s il.
10. Kudinov V.A. Gidravlika: uchebn. posobie dlya studentov, obuchayushchikhsya v obl. tekhn. i tekhnologii. – М.: Vyssh. shk., 2007. – 199 s.: il.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

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.

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 нефтегазового дела, Владивостокский государственный университет, 690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41, e-mail: Gorodnikov.O@vvsu.ru.

Oleg A. Gorodnikov, Senior Lecturer of the Department of Oil and Gas Engineering, Vladivostok State University, 690014, Vladivostok, Gogol str., 41, e-mail: Gorodnikov.O@vvsu.ru.

Петрашев Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры теории и устройства судна, Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, 690003, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, e-mail: petrashov@msun.ru.

Sergey V. Petrashev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ship Theory and Design, Admiral G.I. Nevelsky Maritime State University, 690003, Vladivostok, Verkhneportovaya str., 50a, e-mail: petrashov@msun.ru.

Статья поступила в редакцию/the article was submitted 21.10.2024.

Одобрена после рецензирования/approved after reviewing 20.11.2024.

Принята к публикации/accepted for publication 27.11.2024.