

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

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Научная статья

УДК 62-82

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.66.4.074>

Модернизация элементов подводного судового устройства для проведения диагностических работ

Городников О.А.¹ Gorodnikov.O@vvsu.ru, Карсаков К.Б.¹ KB.Karsakov@vvsu.ru

¹Владивостокский Государственный университет

Аннотация. Эксплуатация судов, трубопроводов и гидротехнических сооружений, находящихся в толще воды и имеющие постоянный контакт с морской водой, подвергаются электрохимическому воздействию при непосредственном контакте с жидкостью и подвергаются коррозионным процессам. Своевременное обнаружение и предотвращение коррозионных процессов позволит снизить вероятность критического разрушения конструкций и возникновения чрезвычайных ситуаций, при этом не маловажным фактором является время проведения диагностики объектов и скорость устранения повреждений.

В настоящее время основную часть работ по диагностике и обнаружению повреждений конструкций выполняют водолазы, процесс является достаточно затратным по временному интервалу и трудоемким. Для снижения времени и облучения данного процесса предлагается использование подводного аппарата на дистанционном управлении, оснащённого камерой для обследования поверхности объектов и определения повреждений в толще воды. Использование специального программного обеспечения с обучаемым искусственным интеллектом позволит минимизировать участие человека в данном процессе и уменьшить время проведения работ данного типа, при этом даст возможность проводить диагностические работы на сложно доступных и глубоководных объектах с минимальным количеством используемого оборудования.

Ключевые слова: коррозия, диагностика, подводные аппараты, искусственный интеллект, трубопроводы, гидротехнические сооружения, гидравлика, подводные объекты.

Для цитирования: Городников О.А., Карсаков К.Б. Модернизация элементов подводного судового устройства для проведения диагностических работ. Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 4 часть 4, С. 10—17. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.074

Research article

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.66.4.074>

Modernization of elements of an underwater ship device for diagnostic work

Oleg A. Gorodnikov¹ Gorodnikov.O@vvsu.ru, Kirill B. Karsakov¹ KB.Karsakov@vvsu.ru

¹ Vladivostok State University

Abstract. The operation of ships, pipelines and hydraulic structures located in the water column and having constant contact with seawater are subjected to electrochemical effects in direct contact with liquid and are subject to corrosion processes. Timely detection and prevention of corrosion processes can reduce the likelihood of critical structural failure and emergency situations, while the time of object diagnostics and the speed of damage elimination are not unimportant factors.

Currently, the bulk of the work on the diagnosis and detection of structural damage is performed by divers, the process is quite time-consuming and time-consuming. To reduce the time and facilitate this process, it is proposed to use a remote-controlled underwater vehicle equipped with a camera to inspect the surface of objects and determine damage in the water column. The use of special software with trained artificial intelligence will minimize human participation in this process and reduce the time of this type of work, while making it possible to carry out diagnostic work on difficult-to-access and deep-water facilities with a minimum amount of equipment used.

Key words: corrosion, diagnostics, underwater vehicles, artificial intelligence, pipelines, hydraulic structures, hydraulics, underwater objects.

For citation: Oleg A. Gorodnikov, Kirill B. Karsakov, Modernization of elements of an underwater ship device for diagnostic work. Marine intellectual technologies. 2024. № 4 part 4, P. 10—17. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.074

Введение

При разработке и эксплуатации морских месторождений одним из главных элементов системы доставки до суши является трубопроводный транспорт и различного рода судна. Так же нефтегазодобывающие платформы и портовые

гидротехнические сооружения имеют непосредственный контакт и частично погружены в морскую воду. Контакт металлических элементов вышеперечисленных объектов с морской водой сопровождается рядом различных химических процессов, оказывающих негативное влияние на

целостность конструкций и вызывающий процессы коррозии.

Для обследования объектов и судов используется различного рода оборудования и привлекаются специалисты для проведения водолазных работ. Предлагается использование более быстрого способа проведения диагностики и обнаружения повреждений подводных объектов путем модернизации подводного устройства для ликвидации аварийных разливов нефти и установки на него дополнительного оборудования [1]. Подводный аппарат выступает в роли средства доставки наблюдательного оборудования и двигателя способного работать в толще воды, что позволит значительно снизить нагрузку на водолазов.

Цель исследования является разработка устройства способного работать в толще воды и способного проводить диагностику объектов с выявлением повреждений конструкций в кратчайшие сроки.

Основная задача, решаемая предлагаемой модернизацией подводного аппарата – это обеспечение процесса проведения работ беспилотным дистанционно управляемым аппаратом с цифровым контролем результатов и составлением карты состояния объектов.

Повреждения подводных объектов

Подводные объекты, такие как подводные магистральные трубопроводы, опоры мостов, части конструкции судов и гидротехнических сооружений, постоянно находящиеся под водой, подвергаются разного рода воздействиям и могут быть повреждены. Основные причины:

- вмятины, полученные в результате контакта с другими объектами (трубопроводы повреждаются, например, в результате контакта с якорями, гидротехнические сооружения при несоблюдении техники прохода и швартовки судов);

- просадка и усталость металлов конструкции – в результате длительного времени эксплуатации и воздействия нагрузок на объекты;

- коррозия металла конструкции – процесс неотвратимый, так как металлические конструкции имеют постоянный контакт с водой, чаще всего морской, которая наиболее химически активна. На практике основной проблемой является коррозия, которая наносит большой урон поверхностям металлических конструкций. Характер и интенсивность разрушения судов зависят от многих факторов:

- а) района плавания;
- б) скорости хода;
- в) длительности рейса;
- г) эффективности защиты от коррозии.

Электрохимическая коррозия приводит к разрушению сварных швов и металла около них из-за уже упомянутой разности потенциалов между материалом шва и основным материалом [2].

Для высокопрочных сплавов опасными видами коррозии являются:

- контактная;
- щелевая;
- расслаивающая;
- язвенная;
- коррозионное растрескивание.

Борьба с коррозией осуществляется различными методами, основными из которых являются:

- легирование;
- ингибиторная защита;
- электрохимическая защита;
- применение защитных покрытий.

Легирование не нашло широкого распространения в судостроении. Для повышения коррозионной стойкости сталей в качестве легирующих добавок применяют хром, никель, молибден, титан и другие металлы. Но достаточная эффективность их в морской воде обеспечивается только при содержании в стали легирующих элементов более 18%, что очень повышает ее стоимость. Поэтому из нержавеющей стали изготавливают только винты и подводные крылья.

Ингибиторную защиту применяют только в закрытых помещениях, например, на нефтеналивных судах для предупреждения коррозии внутренней поверхности грузовых танков. Ингибитор вводится как в нефтепродукты, так и в принимаемую балластную воду в количестве сотых долей процента.

Электрохимическая защита может быть протекторной анодной или катодной. Протекторная защита состоит в присоединении к защищаемой конструкции пластины металла с более низким электродным потенциалом. Эта пластина-протектор становится анодом, на котором искусственно сосредоточивается коррозия. При разрушении протектора или потере его контакта с защищаемым материалом его заменяют новым [3].

Главной проблемой является своевременное определение поврежденных объектов и определение нахождения точного места проведения работ по устранению повреждений. Для определения состояния объектов проводят различного рода обследования и диагностические работы.

Методы проведения диагностических работ

Основным методом проведения работ по диагностике судов, элементов подводных конструкций, трубопроводов и различного рода гидротехнических сооружений являются водолазные работы. Проведение работ визуальным методом составляет от двух до четырех часов и покрывает площадь до 20 м², без использования специального оборудования и фиксации видимых нарушений целостности конструкций и повреждений. При проведении работ так же часто используется специальное оборудование, например, ультразвуковые приборы [4].

Ультразвуковая диагностика – установка оборудования на трубопроводах, причалах и опорах гидротехнических сооружений водолазами. Процесс позволяет более точно и досконально обследовать участки и получить более точные результаты. Участок в 20 м² для точечной проверки обследуется в течении двух часов.

Магнитная диагностика – использование магнитных дефектоскопов (датчики и сенсоры) позволяет определить повреждения даже под защитными покрытиями. Монтируется на поверхности водолазами или специальным подводным аппаратом. Обследование участка в 20 м² составляет затраты по времени около 3 часов.

Так же для проведения данного вида работ используются различного рода подводные дроны и аппарата.

Использование подводных дронов (ROV) – позволяет снизить риски и уменьшить вероятность риска для людей при работах в плохой видимости или при работе на больших глубинах. Основным недостатком применения данного способа является высокая стоимость оборудования и проведения работ, так же ограниченная возможность проведения работ в сложных климатических условиях. Обследование участков в 20 м² составляет около 90 минут.

Автономные подводные аппараты (AUV) – позволяют доставлять оборудование и работать дистанционно при этом имеют ряд ограничений, таких как, высокая стоимость оборудования, ограниченность по глубине проведения работ и маневренности в сложных климатических условиях. Проведение работ на участке составляет более одного часа.

Все представленные методы имеют ряд ограничений, высокую стоимость проведения работ и сложности с проведением работ в сложных условиях или при наличии льда на поверхности воды. Предлагаемый метод с использованием подводного аппарата, работающего от судовой энергетической установки, позволит значительно уменьшить количество используемого оборудования и ресурсов.

Подводный аппарат для проведения диагностических работ

Ключевым элементом является подводный аппарат, предназначенный для работы в толще воды и распыления сорбента. Это устройство должно обеспечить возможность распределения сорбирующего материала в водной среде, а также работать в любых климатических, температурных условиях с наличием ледяного покрова [5].

Подводный аппарат способен осуществлять движение в толще воды в установленном оператором направлении.

Данная система разработана с возможностью использования энергетической установки судна для обеспечения движения подводного устройства и введения сорбентов в толще воды. С борта судна будет осуществляться управление устройством и регулирование с постоянным контролем его местонахождения.

Главной составляющей предлагаемой системы выступает подводное устройство. Гибкий шланг является связующим звеном подводного устройства и судовой энергетической установки. Главной отличительной чертой системы является отсутствие большого количества дополнительного оборудования перед началом проведения работ, а также возможность подключения к пожарным насосам, находящимся на любом из судов или находящихся на причальной зоне в случаях необходимости проведения работ в месте швартовки судна. Элементы системы включают в себя подводное устройство, пожарный насос, распределительный узел.

Форма корпуса подводного устройства чечевицеобразная, позволяющая установить на него камеры для обследования объектов и фиксации данных. Реактивная сила, позволяющая устройству

осуществлять движение, будет создаваться при подаче воды по гибкому трубопроводу от пожарного насоса.

Направление движения через распределительное устройство задается путем включения или отключения сопел. Длина гибкого трубопровода, позволяющего двигаться подводному устройству, может достигать 150 метров. В случае необходимости остановки или изменения курса, подача воды может быть прекращена или осуществляться через одно сопло.

Работа системы для обслуживания происходит через подводное устройство, находящееся в толще воды и осуществляющее движение за счет гидрореактивной тяги (рисунок 1).

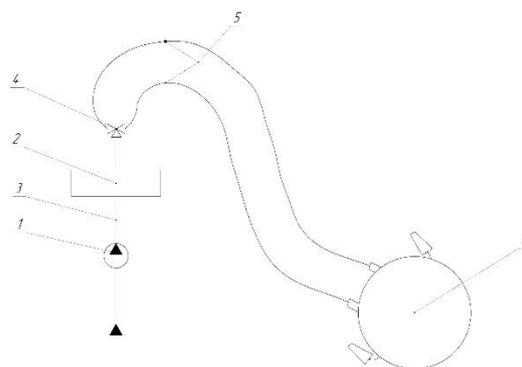


Рис. 1. Принципиальная схема установки
1 – насос, 2 – контролер, 3 – соединительный трубопровод, 4 – распределительное устройство, 5 – подающий шланг, 6 – подводный аппарат

По гибкому трубопроводу вода подается в управляющее оборудование, которое распределяет поток воды между соплами (в правое, левое или оба сопла одновременно, в зависимости от необходимой траектории движения), в результате возникает реактивная тяга, приводящая в движение подводное устройство, находящееся в толще воды [6].

Подача воды в сопла по очереди или одновременно в оба сопла осуществляется управляющим распределительным устройством. В случае подачи в противоположное из сопел (левое или правое) подводное устройство начинает двигаться в определенном направлении, если необходимо создать движение по прямой подача осуществляется в два сопла одновременно. В результате движения, когда аппарат находится на заданном местоположении (около обследуемого участка), включается камера, которая фиксирует состояние объекта и передает данные на компьютер. Траектория движения подводного аппарата при обследовании возможно движение в двух вариантах – «маятниковом» (а) и возвратно-поступательном (б) (рисунок 2).

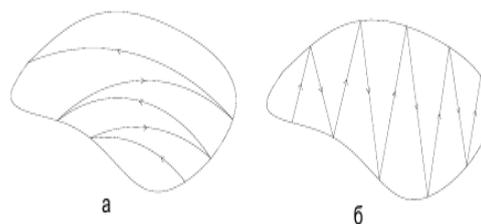


Рис. 2. Траектории движения подводного аппарата

Для выполнения разного вида работ в зависимости от задач в состав навесного оборудования могут входить:

- видеокамеры с повышенной светочувствительностью;
- гидролокатор кругового обзора, многолучевой эхолот;
- ультразвуковой толщиномер или дефектоскоп;
- датчик катодного потенциала;
- магнитометр;
- лазерная линейка;
- система обнаружения утечек нефти.

Позиционирование подводного аппарата при проведении работ

Основной задачей является маневрирование подводного аппарата в вертикальной плоскости. На данный момент глубина погружения подводного устройства обусловлена установленным в нем устройством постоянной плавучести, которое поддерживает его на глубине 1,5...2 метра от поверхности воды.

Для решения поставленной задачи предлагается установка гребного винта в корпус подводного устройства – одного по центру корпуса (рисунок 3).

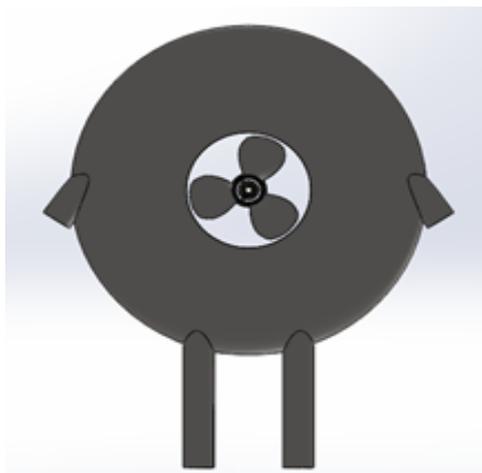


Рис. 3 Установка лопастей

Для этого были произведены расчет по определению необходимой мощности мотора, определению диаметра винта с учетом дискового отношения, предельный диаметр винта, шаговое отношение и число лопастей (таблица 1).

Таблица 1

Результаты расчетов параметров гребного винта

Параметры	Значение
Число лопастей, шт.	3
Предельный диаметр, м	0,15
Дисковые отношения	6,8
Шаговые отношения	0,6
Мощность, потребляемая мотором, кВт	0,35

При параметрах данного типа мотором для обеспечения движения гребного винта принимается электромотор М5308 KV45065. Максимальная мощность 0,57 кВт, что обеспечивает резервный запас.

Вес мотора 0,195 килограмма, что немало важно при расчетах и общем весе подводного устройства. Диаметр вала 4 миллиметра.

Данный гребной винт и электромотор будут установлены в центре корпуса подводного устройства, в специальном защитном корпусе, герметичный корпус исключает попадание воды на электромотор. Приводиться в движение он будет с управляющего устройства на судне, соединённого с электромотор по электрическому кабелю в защитном кожухе. При этом верхняя платформа подводного устройства будет нетронута и остается для установки дополнительного оборудования (в зависимости от проводимых диагностических работ).

Обеспечивая вертикальную маневренность подводному устройству, тем самым доводя использование данного способа до уникальных возможностей в сложных климатических условиях.

Определение основных параметров гребного винта.

Гребной винт предназначен для создания силы тяги и обеспечения поступательного движения подводного устройства, он состоит из ступицы и лопастей, установленных на ступице радиально на одинаковом расстоянии друг от друга и повернутых на одинаковый угол относительно плоскости вращения, и представляющих собой крылья среднего или малого удлинения.

При вращении гребного винта каждая лопасть захватывает массу воды и отбрасывает её назад, сообщая ей заданный момент импульса – сила реакции этой отбрасываемой воды приводит во движение подводное устройство.

Основные характеристики винта – диаметр, шаг, скольжение, дисковое отношение, коэффициент полезного действия.

Диаметр винта – это диаметр окружности, описываемый концами лопастей.

Шаг винта – путь, проходимый винтом за один оборот в твердом теле. Свой рабочий шаг с учетом потери части упорной силы на скольжение и другие сложные явления гребной винт развивает после того, как устройство начнет двигаться с нормальной скоростью при данной частоте его вращения.

Так как гребной винт вращается не в твердом теле, а в воде, то он не в состоянии сдвинуть судно за один оборот на полную величину своего шага по отношению к окружающей воде. Это явление объясняется скольжением лопастей о воду.

Проскальзывание – разница между реальным шагом и шагом винта (появляется из-за частичного стекания воды с лопастей).

Дисковое отношение – отношение площади лопастей к площади описываемого круга.

Гребные винты изготавливают в основном из стали или алюминия. Необходимо произвести подбор материала для изготовления, основываясь на предъявляемые требования к гребному винту.

Коэффициент попутного потока w определяется по формуле (1):

$$W = 0,5 \cdot \delta - 0,05, \quad (1)$$

где δ – коэффициент общей полноты корпуса.
Коэффициент общей полноты корпуса находится по формуле (2):

$$\delta = \frac{\Delta}{\rho \cdot L \cdot B \cdot d}, \quad (2)$$

где $\Delta = 3,4$ кг – массовое водоизмещение;
 $\rho = 1025$ кг/м³ – массовая плотность воды;
 $L = 0,4$ м – длина корпуса;
 $B = 0,1$ м – высота корпуса;
 $d = 0,2$ м – осадка корпуса.

Устанавливаем предельно допустимый диаметр $D_{пред}$ гребного винта, число его лопастей z и минимально допустимое значение дискового отношения Θ .

Предельно допустимый диаметр винта рассчитывается по формуле (3):

$$D_{пред} = 0,75 \cdot d, \quad (3)$$

где $d=0,2$ м – осадка устройства.

Число лопастей z гребного винта зависит от нагрузки на него, частоты вращения, возможности возникновения недопустимой вибрации. Принимаем $z = 3$, так как трёхлопастные винты:

- наиболее широко распространены;
- хорошие выходные характеристики;
- наивысшая максимальная скорость;
- слаженная работа в целом.

Минимально допустимое значение дискового отношения Θ_{min} устанавливается из условия обеспечения возможно высокого КПД винта при одновременном отсутствии кавитации [7].

Допустимое значение дискового отношения находится по формуле (4):

$$\Theta_{min} = 0,065 \cdot \sqrt[3]{P \cdot \left(\frac{z}{D_{пред}}\right)^2}, \quad (4)$$

где P – упор винта.

Упор винта находится (5):

$$P = \frac{R}{Z \cdot (1-t)^2}, \quad (5)$$

где R – сопротивление движению.

Сопротивление движению находится по формуле (6):

$$R = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \Omega \cdot (\xi_F + \xi_N + \xi_A + \xi_T), \quad (6)$$

где $\rho=1025$ кг/м³ – плотность морской воды;
 $v=0,1$ м/с – скорость устройства;
 $\Omega=0,109$ – смоченная поверхность корпуса устройства;

$\xi_i=2,6 \cdot 10^3$ – коэффициент сопротивления трения эквивалентной, технически гладкой пластины, равновеликой с аппаратом по величине смоченной поверхности, в зависимости от числа Рейнольдса;

$\xi_n=0,3 \cdot 10^3$ – надбавка на шероховатость принимается в зависимости от длины устройства;

$\xi_a=0,45 \cdot 10^3$ – коэффициент сопротивления выступающих частей;

$\xi_r=1,22$ – коэффициент остаточного сопротивления.

Находим смоченную поверхность корпуса по формуле (7):

$$\Omega = L \cdot d \cdot \left[1,97 + 1,37 \cdot (\delta - 0,274) \cdot \frac{B}{d} \right]. \quad (7)$$

Площадь смоченной поверхности составляет 0,109 м².

Сопротивление движению получается равным 1,12 Н.

Упор винта равен 0,395 кг.

Дисковое отношение составит 0,68.

Находим оптимальные значения элементов винта:

- относительная поступь винта;
- КПД;
- шаговое отношение.

Значения снимаем с выбранной расчётной диаграммы, построенной в осях $K_2 = f(\lambda_p)$, в точках

пересечения отрезков кривых k_n^m , линией D_{opt} .

Так как заданной является скорость хода v_s , подсчитывается коэффициент упора – диаметра по формуле (8):

$$k_n^m = D_{пред} \cdot 0,514 \cdot (1-w) \cdot v_s \cdot \sqrt{\frac{\rho}{P}}, \quad (8)$$

где $P=0,395$ кг – упор, развиваемый винтом;

$v_s=0,196$ – скорость хода.

Коэффициент упора составит 0,24.

Находим относительную поступь винта, выбираем данную диаграмму исходя из следующих данных:

$Z = 3$ – число лопастей винта;

$\Theta = 0,68$ – дисковое отношение;

$v_p = 0,63$ – относительная поступь винта.

КПД винта в свободной воде принимает $\eta_p = 0,59$.

КПД винта, работающего за корпусом устройства находится по формуле (9):

$$\eta_g = \eta_p \cdot \frac{1-t}{1-w}. \quad (9)$$

КПД винта составит 0,66.

Шаговое отношение находим по формуле (10):

$$\frac{H}{D} = f(k_n^m). \quad (10)$$

Шаговое отношение составит 0,6.

Частоту вращения гребного винта находим по формуле (11):

$$n_c = \frac{v_p}{D \cdot \lambda_p}, \quad (11)$$

где $\eta_p=0,064$ м/с – скорость гребного винта;

$D=0,075$ м – диаметр гребного винта;

$\lambda_p=0,63$ – относительная поступь винта.

Скорость гребного винта находим по формуле (12):

$$v_p = 0,514 \cdot (1 - w) \cdot v_s. \quad (12)$$

Скорость гребного винта составит 0,064 м/с.

Частоту вращения гребного винта находим по формуле, и она составит 33,3 об/с.

Проверка гребного винта на кавитацию [8].

Упор гребного винта создается главным образом за счет разрежения – падения давления на выпуклой засасывающей стороне лопасти. Если площадь лопастей небольшая, то давление здесь понижается настолько, что вода, обтекающая лопасть, вскипает, выделяя пузырьки пара. Микроскопические пузырьки сливаются в более крупные – каверны, а при очень сильном разрежении – в сплошную полость, что нарушает непрерывность потока. Это явление и называется кавитацией.

Различают две стадии кавитации. На первой стадии каверны невелики и на работе винта практически не сказываются.

Однако пузырьки, лопаюсь, создают огромные местные давления, отчего поверхность лопасти выкрашивается. При длительной работе кавитирующего винта такие эрозионные разрушения могут быть настолько значительными, что эффективность винта снизится.

При дальнейшем повышении скорости наступает вторая стадия кавитации. Сплошная полость захватывает всю лопасть и даже может замыкаться за ее пределами. Развиваемый винтом упор падает из-за резкого увеличения лобового сопротивления и искажения формы лопастей [9].

Из-за такого явления, как кавитация, подводное устройство может выйти из строя, поэтому после определения элементов гребного винта необходимо рассчитать величину коэффициента запаса на кавитацию f по формуле (13):

$$f = \frac{(100500 + 8200 \cdot D) \cdot \theta}{1300 \cdot k_c \cdot (n_c \cdot D)^2}, \quad (13)$$

где $D=0,175$ – диаметр винта;

$\theta=0,68$ – дисковое отношение винта;

$k_c = 0,4$ – кавитационная характеристика, определяемая по графикам.

Коэффициент запаса составит 21,2. Минимальное значение коэффициента f , обеспечивающее отсутствие кавитации, равно примерно 1,3. Так как $f > 1,3$ расчёт гребного винта закончен.

Выбор гребного винта.

Основываясь на подсчитанные в предыдущем разделе параметры гребного винта выбираем его из стандартного ряда ГОСТа Гребные металлические винты.

Каждый из металлов имеет свои преимущества. Наиболее распространенным материалом, используемым сегодня для гребных винтов, является алюминий. Он прочен, легко ремонтируем и стоек к коррозии. Однако нержавеющая сталь примерно в 5 раз более прочная. Фактически, это самый прочный и долговечный из всех материалов, использующихся для гребных винтов. Это означает, что нержавеющей стали не грозят повреждения от трещин и ударов, которые обычно появляются на алюминиевых винтах.

Это также означает, что лопасти такого гребного винта могут быть тоньше, что придаст ему дополнительную эффективность. Нержавеющая сталь, по сравнению с алюминием, гораздо более устойчива к коррозии - хотя она также может стать причиной коррозии ближайших алюминиевых поверхностей в соленой воде в том случае, если не использовалась хорошая анодная защита. Кроме того, алюминиевые гребные винты не привязаны к типу судна, в то время как лопасти из нержавеющей стали определены для разных типов, позволяя так как мы учитываем ускорение, скорость и эффективность, то следует выбрать гребной винт из нержавеющей стали [10].

Винт для Suzuki 2.5 л.с. 7 3/8 X 5 3/8 имеет следующие характеристики:

- трехлопастной гребной винт;
- диаметр винта (дюймы): 7;
- шаг (дюймы): 5;
- материал: алюминий (рисунок 4).



Рис. 4. Трёхлопастной винт 7 3/8 X 5 3/8

Расчет параметров электромотора.

Для движения устройства по вертикали в толще воды со скоростью 10 см/с. необходимо подобрать электромотор. Подбор электромотора осуществляется по следующим параметрам:

- потребляемая мощность;
- частота вращения;
- КПД [11].

Для выбора электромотора необходимо задаться потребляемой мощностью мотора, находим по формуле (14):

$$N_{\text{в}} = \frac{1,2 \cdot N_{\text{б}}}{z_p \cdot \eta_g \cdot \eta_p}, \quad (14)$$

где $N_{\text{в}}$ – буксировочная мощность;

$z_p=1$ – число винтов;

$\eta_g=0,66$ – КПД винта, работающего за корпусом судна;

$\eta_p=0,59$ – КПД винта в свободной воде.

Потребляемая мощность мотором составит 0,35 кВт.

После расчетов и выбора дополнительных элементов для подводного аппарата,

обеспечивается его маневренность и возможность установки дополнительного оборудования для проведения диагностики.

Заключение

Исследование по изменению технологий маневренности подводного устройства позволит более точно контролировать его положение в толще воды, замедление движения в толще воды для проведения работ по диагностике.

Использование подводного аппарата для проведения диагностических работ

гидротехнических сооружений, подводных трубопроводов и судов, позволит в значительной мере уменьшить время проведения работ и исключить фактор риска для работников при проведении работ в сложных климатических условиях.

При этом использование данного устройства как носителя оборудования позволит подключать подводный аппарат и проводить работа с борта любого судна или объекта, имеющего пожарные насосы.

Литература

1. 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. № 4-3 (62), С.15-22.
2. Коррозия и защита металлов: учебное пособие для вузов / О.В. Ярославцева [и др.]; под научной редакцией А.Б. Даринцевой. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 89 с.
3. Хижняков В.И. Сопротивление материалов. Коррозионное растрескивание: учебное пособие для вузов / В.И. Хижняков. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 262 с.
4. Аносов А.П. Теория и устройство судна: циклическая прочность судовых конструкций: учебное пособие для среднего профессионального образования / А.П. Аносов, А.В. Славгородская. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 202 с.
5. Пат. 144489 U1 Рос. Федерация, МПК E02B 15/04, E02B 15/10. Устройство для подводного введения сорбента / Городников О.А., Монинцев С.Ю., Петрашев С.В. № 2013147318/13; заявл. 09.01.2014; опубл. 20.08.2014.
6. 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.
7. Емельянов Н.Ф. Расчёт ходкости и гребного винта морского транспорта судна / Н.Ф. Емельянов, С.А. Огай. Владивосток, 1984, 65 с.
8. Обоснование типа судовой энергетической установки / А.Г. Даниловский, Д.А. Андронов, М.А. Орлов, И.А. Боровикова. - СПб: СПбГУВК, 2009. – 149 с.
9. Мельников А.П. Теория и расчет лопастей винта / А.П. Мельников, В.В. Свечников. - Ленинград: Издание ЛКВВИА, 1947. - 153 с.
10. Зуев В.А., Калинина Н.В., Рабазов Ю.И. «Выбор основных характеристик транспортных судов на начальной стадии проектирования» Пособие, Нижний Новгород, 2007. – 225 с.
11. Жинкин В.Б. «Теория и устройство корабля» учебник. - 3-е издание, стереотип. - СПб: Судостроение, 2002. – 336 с., ил.

References

1. Gorodnikov O.A., Okhotkina V.E., Melnik A.P. Determination of parameters of joint use of an underwater vehicle and marine pumps for applying sorbent // Marine intelligent technologies. – 2023. No. 4-3 (62), pp.15-22.
2. Corrosion and protection of metals: a textbook for universities / O.V. Yaroslavtseva [et al.]; under the scientific editorship of A.B. Darintseva. — Moscow: Yurait Publishing House, 2024. — 89 p.
3. Khizhnyakov V.I. Resistance of materials. Corrosion cracking: a textbook for universities / V.I. Khizhnyakov. — Moscow: Yurait Publishing House, 2024. — 262 p.
4. Anosov A.P. Theory and structure of a ship: cyclic strength of ship structures: a textbook for secondary vocational education / A.P. Anosov, A.V. Slavgorodskaya. — 2nd ed., ispr. and add. — Moscow: Yurait Publishing House, 2024. — 202 p.
5. Patent 144489 U1 Grew. Federation, IPC E02B 15/04, E02B 15/10. Device for underwater introduction of sorbent / Gorodnikov O.A., Moninets S.Yu., Petrashev S.V. No. 2013147318/13; application 09.01.2014; publ. 08/20/2014.
6. Gorodnikov O.A. Method of spraying sorbents during the liquidation of emergency oil spills using an underwater vehicle / O.A. Gorodnikov, S.V. Petrashev // Environmental protection in the oil and gas complex. – 2016. – No. 3. – pp. 15-17.
7. Yemelyanov N.F. Calculation of the seaworthiness and propeller of a ship's marine transport / N.F. Yemelyanov, S.A. Ogai. Vladivostok, 1984, 65 p.
8. Substantiation of the type of ship power plant / A.G. Danilovsky, D.A. Andronov, M.A. Orlov, I.A. Borovikova. - St. Petersburg: SPbGUVK, 2009. – 149 p.
9. Melnikov A.P. Theory and calculation of propeller blades / A.P. Melnikov, V.V. Svechnikov. - Leningrad: LKVVIA Publishing House, 1947. - 153 p.
10. Zuev V.A., Kalinina N.V., Rabazov Yu.I. "Selection of the main characteristics of transport vessels at the initial stage of design" Manual, Nizhny Novgorod, 2007. – 225 p.
11. Zhinkin V.B. "Theory and structure of the ship" textbook. - 3rd edition, stereotype. - St. Petersburg: Shipbuilding, 2002. – 336 p., ill.

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 нефтегазового дела, Владивостокский государственный университет, Российская Федерация, 690014, г. 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, Russian Federation, 690014, Vladivostok, Gogol str., 41, e-mail: Gorodnikov.O@vvsu.ru.

Карсаков Кирилл Борисович, ассистент кафедры транспортных процессов и технологий, Владивостокский государственный университет, Российская Федерация, 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41, e-mail: KB.Karsakov@vvsu.ru

Kirill B. Karsakov, Assistant at the Department of Transport Processes and Technologies, Vladivostok State University, 41 Gogol str., Vladivostok, 690014, Russian Federation, e-mail: KB.Karsakov@vvsu.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.