

УДК 629.12

ПРОТОТИП БЕСПИЛОТНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ И ЧИСТКИ КОРПУСА СУДНА

Погудин Андрей Леонидович¹, к.т.н., доцент отделения высшего образования, доцент кафедры Информационных технологий и автоматизированных систем
e-mail: pogudin_al@mail.ru

¹ Пермский филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», Пермь, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена тема разработки макета прототипа беспилотного подводного аппарата (БПА), для очистки и дефектоскопии корпуса судна. Сформулирован ряд обязательных критериев, которым должно отвечать техническое средство, предназначенное для без-докового освидетельствования частей корпусов судов. Представлены алгоритмы работы программно-аппаратного комплекса с вводом входных и управляющих сигналов, выводом сигналов на двигатели и индикации текущих параметров. Разработана структурная и принципиальная схема БПА, подобрано оборудования БПА.

Ключевые слова: беспилотный подводный аппарат, дефектоскопия судна, очистка корпуса судна.

PROTOTYPE OF AN UNMANNED UNDERWATER VESSEL BODY DEFECTS AND CLEANING DEVICE

Andrey L. Pogudin¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Education, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Automated Systems
e-mail: pogudin_al@mail.ru

¹ Perm Branch of the FSBEI of Higher Education «Volga State University of Water Transport», Perm, Russia

Abstract. The article discusses the topic of developing a prototype of an unmanned underwater vehicle (UAV) for cleaning and flaw detection of the hull. A number of mandatory criteria have been formulated, which must be met by a technical means designed for a dock-free inspection of parts of ship hulls. Algorithms for the operation of a software and hardware complex with input and control signals, output of signals to motors and indication of current parameters are presented, a structural and schematic diagram of the BPA is developed, and the BPA equipment is selected.

Keywords: unmanned underwater vehicle, vessel flaw detection, vessel hull cleaning.

В современном мире морской и речной флот обеспечивает приблизительно около 80% международных грузоперевозок, однако эксплуатация судов проходит в условиях воздействия агрессивных сред, что сопряжено с дефектами и повреждением корпусов из-за коррозии и биообрастания (биофоулинга). Небольшой слой обрастания толщиной 1–2 мм увеличивает гидродинамическое сопротивление на 10–15%, что приводит к перерасходу топлива до 40% и росту выбросов CO₂ [1]. Также неконтролируемое биообрастание влияет на экосистемы, происходит смешение экосистем и их разрушение. Обеспечение безопасности и продление срока службы корпуса судна требует регулярного контроля его технического состояния и своевременной очистки от обрастаний. В настоящее время наблюдается тенденция внедрения роботизированных систем для подводных диагностик. Однако многие существующие решения либо недостаточно автономны, либо не обеспечивают одновременное выполнение задач дефектоскопии и очистки.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью проведения дефектоскопии корпуса судна и его чистки без его постановки в сухой док, при помощи многофункционального подводного аппарата с модульной структурой. Объектом исследования является беспилотный подводный аппарат для дефектоскопии и чистки корпуса судна. Предметом исследования является процесс и инструменты для разработки программно-аппаратного комплекса беспилотного подводного аппарата.

Цель проекта - разработка варианта корпуса и программно-аппаратного комплекса беспилотного подводного аппарата с модульной структурой для дефектоскопии и чистки корпуса судна.

Задачи проекта включают в себя анализ предметной области, на основе концептуальной модели скорректировать требования к беспилотному аппарату, изучение требований РКО, описание модулей и режимов работы аппарата, разработку алгоритмов и электрической схемы системы управления, а также оценку стоимости и перспектив развития.

По результатам проведенного анализа сформулирован ряд обязательных критериев, которым должно отвечать техническое средство, предназначенное для без-докового освидетельствования частей корпусов судов:

- в состав аппарата кроме видеокамер должны входить измерители контролируемых параметров
- режимы движения аппарата в процессе диагностики должны обеспечивать номинальные режимы работы измерительной аппаратуры
- подводный робототехнический комплекс должен содержать средства навигационной привязки выявленных дефектов.

Разрабатываемый прототип беспилотного подводного аппарата (БПА) предназначен для работы в подводном режиме, он будет крепиться к корпусу судна с помощью системы электромагнитов, движение будет осуществляться с помощью серводвигателей, за дефектоскопию будут отвечать ультразвуковые датчики и лидар, центром системы будет микроконтроллер он будет обрабатывать сигналы с датчиков и принимать команды от оператора с помощью системы связи, а также отправлять данные на пульт управления оператора [2]. БПА может работать в двух режимах от внутренней батареи или от внешнего источника питания. Внешний вид аппарата представлен на рисунке 1.

Согласно требованиям РКО, несущие конструкции подводного аппарата должны быть прочными, ударостойкими и коррозионностойкими. Кабель - трос на лебедке спускоподъемного устройства должен обладать отрицательной плавучестью и устойчивостью к износу. Также на необитаемом подводном аппарате требуется установить автономный поисковый радиомаяк для связи с судном - носителем.

Подводный аппарат имеет прямоугольную форму: спереди внутри аппарата располагается — аккумуляторный отсек, сзади внутри — плата управления Arduino Mega

2560. Водонепроницаемый ультразвуковой датчик вынесены с наружной части корпуса. Электродвигатели и электромагниты расположены внутри, камера располагается снаружи внешней части корпуса. Расстояние между магнитами и корпусом составляет 8мм, что обеспечивает надёжное крепление дрона к корпусу. Кабельная система представляет собой трос, жестко закрепленный на корпусе дрона, кабель питания и кабель передачи данных крепятся за трос.

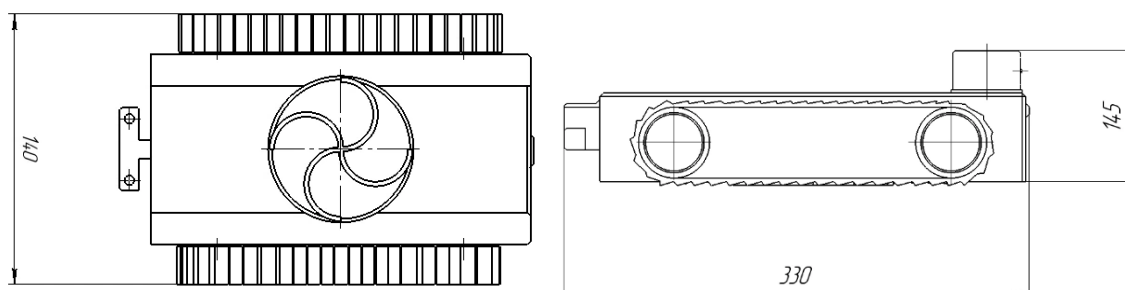


Рисунок 1 – Внешний вид прототипа БПА

В качестве материала корпуса выбран АБС пластик, он обеспечивает оптимальное сочетание прочности, легкости и устойчивости к внешним воздействиям.

Для апробирования системы управления выбран недорогой микроконтроллер ATmega2560. При необходимости данный модуль с небольшими доработками можно заменить на более дорогие многофункциональные платформы, например: raspberry Pi или STM32. Структурная схема электрической части аппарата представлена на рисунке 2.

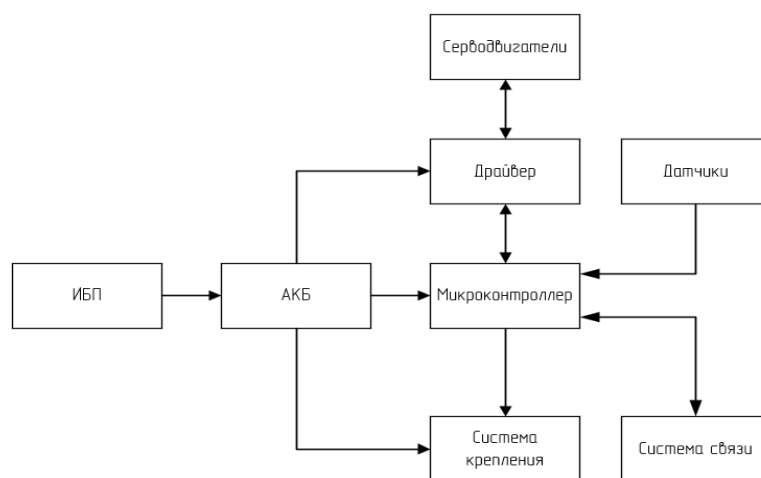


Рисунок 2 – Структурная схема БПА

В составе оборудования также имеется широкоугольная камера, располагающаяся в водонепроницаемом корпусе, а также влагозащищенные двигатели с драйверами для плавного управления скоростью движения.

Для дефектоскопа был выбран водонепроницаемый ультразвуковой датчик DFrobot. по следующим критериям: малые габариты и широкий диапазон рабочей температуры, малый ток потребления, класс водонепроницаемости и диапазон обнаружения.

Основной канал связи осуществляется через стандартный пульт управления. Интерфейс RS-485 связан через драйвер с интерфейсом UART (Универсальный асинхронный приёмопередатчик), расположенном на плате микроконтроллера.

Предусмотрен аварийный канал связи по беспроводному модулю NRF24L01 - находится на судне. На стороне дрона: ESP 32 подключается к Arduino через UART.

К ультразвуковому датчику предъявляются следующие требования:

- жесткое и геометрически точное место установки преобразователя на внешней поверхности корпуса.
- обеспечение необходимого сектора обзора за счёт ориентации корпуса или поворотного механизма.
- исключение попадания пузырьков воздуха и паразитных отражающих элементов перед датчиком;
- обеспечить герметичность и защиту от механических повреждений.

Основные требования к модулю чистки корпуса судна: устойчивость к длительному воздействию воды; гибкость и мягкость волокон щетки; среднее значение жесткости; совместимость с роботизированными устройствами.

Щетки для чистки корпуса судна изготовлена из нейлона. Основные преимущества: орошая устойчивость к длительному контакту с водой; эластичность позволяет обеспечить равномерное давление на неровную поверхность; доступность разных уровней жесткости обеспечивает возможность выбора подходящей модели для конкретных нужд.

Для функционирования подводного аппарата предусмотрены три режима его работы: автоматический, ручной и аварийный.

В автоматическом режиме подводный аппарат выполняет функцию передвижения по заданному алгоритму, используя принцип танкового разворота в точках изменения направления движения. В ручном режиме управление осуществляется оператором с пульта управления. Аварийный режим подразумевает аварийные случаи, такие как: аварийная остановка одного из двигателей, малый заряд батареи, потеря связи и другие.

Для перемещения дрона по поверхности судна, он должен быть прикреплен к корпусу на электромагниты. При активации дрона, он начнет перемещаться по поверхности либо по заранее записанному маршруту или с помощью пульта управления. В аварийном режиме происходит отключение электромагнитов и дрон всплывает на поверхность водной среды.

Ультразвуковой датчик может иметь два варианта сканирования корпуса: датчик неподвижный и датчик, вращающийся от водонепроницаемого сервопривода. На рисунке 3 представлены два варианта отображения оперативной информации [3, 4]. Чувствительность датчика и точность измерения осуществляется программным способом. Для записи дисплея используется программное обеспечение «Processing 4».

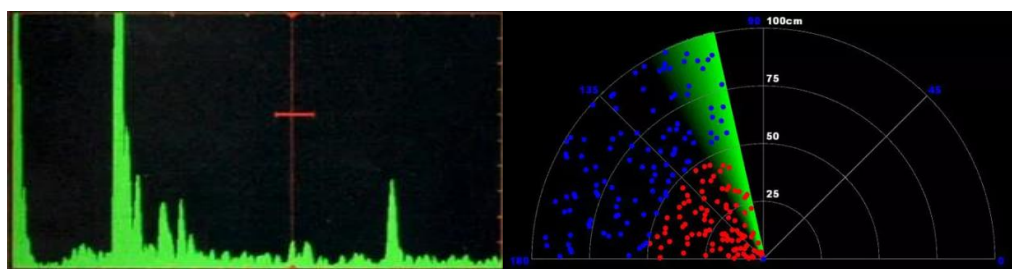


Рисунок 3 – Варианты отображения оперативной информации

Всплеск значений по первому варианту означает то, что в корпусе судна присутствует дефект или трещина. По второму варианту исполнения датчика: красные точки показывают расстояние до корпуса, а синие показывают глубину корпуса. Настройка угловых координат и чувствительность осуществляются программным способом [5].

Предусмотрена запись координат местоположения дефектов на съемный носитель или внешнюю память регистрирующего устройства.

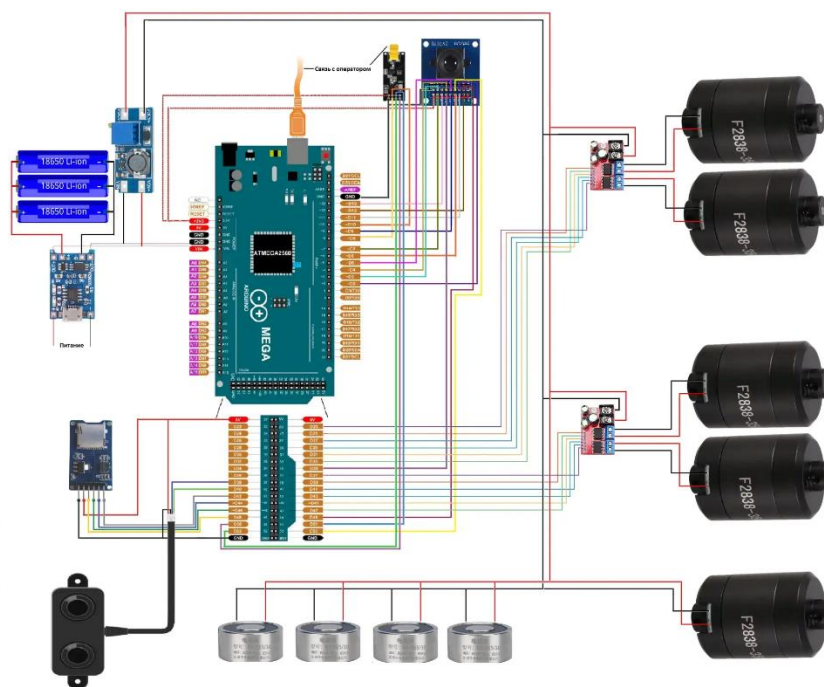


Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема БПА

На рисунке 5 изображена принципиальная электрическая схема, на которой изображены основные компоненты и электрические связи между ними. Основными компонентами являются: плата управления ардуино мега, камера, драйверы электродвигателей, электродвигатели, ультразвуковой датчик, плата карты памяти, плата преобразования интерфейса UART в RS-485. Беспроводной модуль радиоканала 2,4GHz, NRF24L01, контроллер системы управления батареей BMS 3S для работы с литий-ионными (Li-ion) или литий-полимерными (LiPo) аккумуляторами.

На данном этапе проектирования идёт уточнение внутренних геометрических размеров для рационального размещения системы управления и периферийных устройств. Общая стоимость проекта составляет 44 тыс рублей. В эту сумму не входит стоимость дополнительного оборудования, зарплаты разработчиков, сборка дрона и амортизация оборудования.

Выводы:

- 1) Разработка предназначена для дефектоскопии корпусов речных и морских судов, позволяет повысить точность диагностики и сократить расходы на ремонтные работы
- 2) Проект демонстрирует высокую экономическую эффективность и практическую применимость в судоремонтной отрасли, открывает новые возможности для оптимизации процессов диагностики и ремонта судов, делая их более доступными и точными.
- 3) В перспективе, работы по подводному аппарату будут продолжены. Основные направления работ включают в себя: Печать корпуса, отладка программно-аппаратного комплекса и экспериментальные испытания подводного аппарата в лабораторных условиях.

Список литературы:

1. Инструкция по организации очистки на плаву подводной части корпусов судов. РД 31.20.74-81. -М.: В/О «Мортехинформреклама», 1983. - 39 с.
2. Коротков, А. В. «Основы проектирования дистанционных подводных аппаратов». Санкт-Петербург: Политехника, 2017.

3. Клюев, В. В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
4. Тухфатуллина С.Р., Ерохина К.С., Астапов В.Н. СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ // Международный студенческий научный вестник. 2022. № 6.
5. Reas C., Fry B. Processing: A Programming Handbook for Visual Designers and Artists. – MIT Press, 2014. – 720 p.

