

УДК 629.122/.123.004.67(083)

РОБОТ ДЛЯ ПОДВОДНОЙ ДЕФЕКТАЦИИ КОРПУСА СУДНА

Кочнев Юрий Александрович¹, доцент, доктор технических наук, профессор
e-mail: tmnnkoch@mail.ru

Кочнева Ирина Борисовна¹, доцент, кандидат технических наук, доцент
e-mail: iringre@mail.ru

Попова Марина Александровна¹, магистрант
e-mail: shutovama@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Оценка технического состояния судна трудоемкий процесс, имеющий минимальную автоматизацию. В статье рассматриваются практические способы её автоматизации и разработка на их основе робота с магнитным прижимом к корпусу судна для замера местных деформаций и остаточных толщин корпуса.

Ключевые слова: подводная дефектация, робот, толщинометрия.

A ROBOT FOR UNDERWATER HULL DEFECTATION

Yuri A. Kochnev¹ Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor
e-mail: tmnnkoch@mail.ru

Irina B. Kochneva¹ Associate Professor, Candidate of Technical Sciences
e-mail: iringre@mail.ru

Marina A. Popova¹, Master's Degree Student
e-mail: shutovama@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The assessment of the technical condition of the vessel is a laborious process with minimal automation. The article discusses practical ways to automate it and the development of a robot based on them with a magnetic clamp to the hull to measure local deformations and residual thicknesses of the hull.

Keywords: underwater defecation, robot, thickness measurement.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках реализации Государственного задания 06/ГЗ-2025-05 по теме «Научно-исследовательский проект по формированию информационно-технологической платформы "Флот-Сервис-Судоремонт" для судов внутреннего и река-море плавания».

Для эффективного решения задач автоматизированной оценки технического состояния судов необходим специализированный автономный робот, обладающий широким спектром функциональных возможностей. Он должен обеспечивать комплексную оценку состояния корпуса судна, выявление дефектов и проведение замеров, необходимых для планирования ремонтных работ.

Ключевые функциональные особенности, определяющие параметры такого робота, включают:

1. оценку геометрии корпуса и выявление остаточных деформаций;
2. визуально-измерительный контроль;
3. замеры остаточной толщины обшивки корпуса;
4. система позиционирования и ориентации;
5. система крепления (прижатия) к корпусу судна

Одной из важнейших задач является выявление отклонений геометрии корпуса от проектной, представленной в виде математической модели. Это позволит идентифицировать участки с деформациями, такими как бухтины, вмятины и гофрировка. Для реализации этой функции необходимо разработать систему, способную точно измерять отклонения формы поверхности корпуса.

Предпочтительным методом является геодезический способ измерения отклонений [1] с использованием механического или лазерного дальномера (см. рис. 1).



Рисунок 1 – Анализ отклонения поверхности

Принцип работы заключается в сравнении фактических координат точек корпуса с координатами соответствующих точек на эталонной поверхности, заданной в электронном виде. Изменение формы корпуса в произвольной точке может быть представлено следующей формулой:

$$\Delta f = f_0 - f_1 - f_2 - f_3,$$

где f_0 – фактическое расстояние от базы робота до поверхности корпуса судна;

f_1 – отклонение положения базы робота от эталонной формы поверхности;

f_2 – расстояние от базы робота до эталонной поверхности;

f_3 – поправка на поворот робота.

Эта поправка необходима для компенсации влияния наклона робота на точность измерений и вычисляется как:

$$f_3 = l \times \operatorname{tg} \gamma;$$

γ – угол отклонения продольной оси робота от эталонной касательной в базовой точке;

l – расстояние от базовой точки робота до точки замера отклонения формы.

Для визуально-измерительного контроля робот должен быть оснащен камерой высокого разрешения. Перспективным направлением является использование камеры с поддержкой искусственного интеллекта (ИИ). ИИ позволит автоматически идентифицировать дефекты,

которые сложно обнаружить с помощью традиционных методов, например, язвенную коррозию, пробоины, повреждения донно-заборной арматуры и другие "не измеряемые" дефекты. Система ИИ должна быть обучена на большом количестве изображений различных дефектов, чтобы обеспечивать высокую точность и надежность обнаружения.

Для оценки степени износа и повреждений корпуса необходимо проводить замеры остаточной толщины обшивки. Для этого могут быть использованы подводные толщиномеры, такие как УТ-83 или Булат 1S. Для обеспечения надежного контакта датчика толщиномера с поверхностью корпуса необходимо предусмотреть дополнительный привод для прижатия рабочего органа к корпусу судна.

Для точного определения положения и ориентации робота относительно корпуса судна необходимо использовать датчики положения корпуса, которые могут быть реализованы как в механическом, так и в лазерном вариантах, в зависимости от требуемой точности и условий эксплуатации.

Важным аспектом конструкции робота является способ крепления к криволинейной поверхности корпуса судна. Использование гидродинамических сил или вакуумного прижатия, как на существующих телеуправляемых аппаратах (рисунок 2) не является оптимальным решением, так как они ограничены исследованием только подводной части корпуса и могут быть ненадежными в условиях сильных течений.



Рисунок 2 – Телеуправляемые роботы для работы с корпусом судна [2, 3]

Наиболее подходящим решением является использование магнитов. Электромагниты обладают высокой силой взаимодействия с металлической поверхностью, но их размеры и энергопотребление значительны для предлагаемого аппарата. Поэтому, с учетом необходимости автономной работы, целесообразно применение неодимовых магнитов, которые обеспечивают достаточное усилие прижатия при относительно небольших размерах и массе. При этом корпуса оборудования должны быть изолированы от мест установки магнитов с помощью диэлектрических материалов, чтобы избежать влияния магнитного поля на работу электронных компонентов и датчиков.

Установка данных магнитов, как всего остального оборудования может быть выполнена на любом типе шасси. Учитывая случайную кривизну поверхности корпуса судна с местными деформациями наиболее предпочтительным, на наш взгляд, является гусеничное шасси [4].

Принципиальная схема взаимодействия перечисленных блоков приведена в [5], а практическая реализация в виде концепт проекта приведена на рисунке 3.

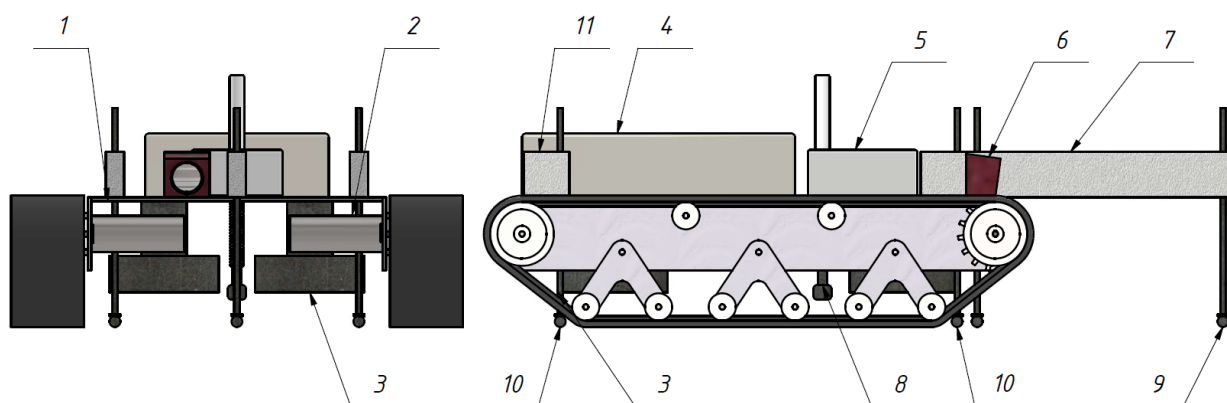


Рисунок 3 – Робот для дефектации корпуса судна:

- 1 – Корпус; 2 – Электродвигатели; 3 – Магниты; 4 – Блок управления роботом с источником питания; 5 – Блок толщинометрии; 6 – Камера; 7 – блок геодезической оценки кривизны поверхности; 8 – датчик толщинометра; 9 – Датчики кривизны поверхности; 10 – Датчики пространственного положения робота; 11 – Блок оценки пространственного положения

По предварительной оценки стоимость выполнения дополнительных опытно-конструкторских работ, включая исследования по машинному зрению, отработки системы его управления и т.п., и разработка тестового экземпляра по состоянию на первое полугодие 2025 года составляет около 1 миллиона рублей.

Выбор оптимальных параметров робота, таких как размер, мощность двигателей, тип и количество датчиков, должен быть основан на тщательном анализе требований к выполняемым задачам, условий эксплуатации и доступных технологий. Разработка такого робота позволит значительно повысить эффективность и безопасность работ по дефектации судов.

Список литературы:

1. Вальтер, А. В. Определение отклонений геометрической формы оболочек корпусных изделий геохода / А. В. Вальтер, В. В. Аксенов // Актуальные проблемы современного машиностроения : Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Юрга, 11–12 декабря 2014 года / Юргинский технологический институт. – Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. – С. 165-170.
2. Гладкова, О. И. Применение необитаемых подводных аппаратов с комбинированными средствами движения для бездокового освидетельствования корпусов судов / О. И. Гладкова // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2018. – № S1. – С. 213-223. – DOI 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-213-223.
3. Гагаев С. Ю. Роботизированная технология освидетельствования подводной части судна // Научный взгляд в будущее. – 2016. – Т. 1. – №. 2. – С. 46-50.
4. Андреенков, А. А. Разработка самоходного гусеничного шасси для многоцелевых мини-роботов / А. А. Андреенков, А. А. Дементьев // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 11-2. – С. 242-246. – DOI 10.17513/snt.37798.
5. Кочнев, Ю. А. Механизация инструментального контроля технического состояния корпусов судов / Ю. А. Кочнев, О. К. Зяблов // Транспорт. Горизонты развития : Труды 1-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород - Новосибирск, 25–28 мая 2021 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО "ВГУВТ"), 2021. – С. 48.