

# Судовые системы автоматизации и управления

## Ship automation and control systems

УДК 681.5

Получено: 14.01.2025

Одобрено: 19.02.2025

Опубликовано: 25.03.2025

### **Магдалин В.А.**

Студент факультета судовождение и связи

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования "Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского"

e-mail: vmagdalen11@mail.ru

### **Magdalin V.A.**

Student of the Faculty of Navigation and Communications. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Admiral G.I. Nevelskoy Maritime State University"

e-mail: vmagdalen11@mail.ru

### **Абрамов В.А.**

Студент факультета судовождение и связи

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования "Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского"

e-mail: g756254@gmail.com

### **Abramov V.A.**

Student of the Faculty of Navigation and Communications. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Admiral G.I. Nevelskoy Maritime State University"

e-mail: g756254@gmail.com

### **Научный руководитель:**

#### **Огай А.С.**

Заведующий кафедрой теории и устройства судна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования "Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского"

### **Scientific Advisor:**

#### **Ogay A.S.**

Head of the Department of Theory and Design of Ships

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

"Admiral G.I. Nevelskoy Maritime State University"

### **Аннотация**

Статья посвящена разработке инновационных судовых систем автоматизации, направленных на повышение эффективности, надежности и экологической безопасности морских судов.

Рассматриваются современные подходы к проектированию таких систем, включая использование интеллектуальных алгоритмов управления, цифровых двойников и систем машинного обучения. Проведены лабораторные и натурные испытания, подтверждающие эффективность разработанных решений. Приведены данные о снижении энергозатрат, повышении эксплуатационной надежности и сокращении выбросов парниковых газов. Обсуждаются перспективы дальнейшего развития технологий автоматизации судоходства с учетом

глобальных требований и стандартов Международной морской организации (ИМО).

**Ключевые слова:** судовые системы автоматизации, интеллектуальные алгоритмы, машинное обучение, цифровые двойники, энергоэффективность, экологическая безопасность, автоматизация судов.

### **Abstract**

The article focuses on the development of innovative ship automation systems aimed at enhancing the efficiency, reliability, and environmental safety of marine vessels. It examines modern approaches to designing such systems, including the application of intelligent control algorithms, digital twins, and machine learning technologies. Laboratory and field tests were conducted, confirming the effectiveness of the developed solutions. Data is presented on reductions in energy consumption, improved operational reliability, and decreased greenhouse gas emissions. The paper discusses prospects for further advancements in ship automation technologies, considering global requirements and standards set by the International Maritime Organization (IMO).

**Keywords:** ship automation systems, intelligent algorithms, machine learning, digital twins, energy efficiency, environmental safety, ship automation.

Современное состояние судовых систем автоматизации характеризуется активным развитием технологий, направленных на повышение эффективности, безопасности и экологичности судоходства. В последние десятилетия автоматизация стала ключевым фактором в оптимизации эксплуатации судов, что обусловлено ростом требований к надежности судовых систем, увеличением грузооборота, а также необходимостью снижения операционных затрат и углеродного следа. Основу современных судовых систем автоматизации составляют автоматизированные системы управления энергетическими установками, навигационные комплексы, а также системы мониторинга и диагностики состояния оборудования.

Согласно данным Международной морской организации (ИМО), внедрение автоматизированных систем управления в судостроении позволило снизить эксплуатационные расходы на 10–15% и улучшить энергоэффективность на 8–12%. В то же время исследования, проведенные учеными из Университета Саутгемптона, показывают, что интеграция автоматизированных систем мониторинга с алгоритмами прогнозной аналитики позволяет снизить вероятность отказов ключевых узлов судна на 20–25%.

Ключевыми направлениями в развитии судовых систем автоматизации являются интеллектуализация процессов управления, переход к цифровым двойникам судов и использование систем машинного обучения для анализа больших объемов данных. Например, использование цифровых двойников, таких как платформы, разработанные компанией Wärtsilä, позволяет в реальном времени моделировать работу судна и прогнозировать потенциальные неисправности. Это дает возможность судовладельцам оперативно реагировать на изменения в состоянии оборудования, минимизируя риски простоев и аварийных ситуаций.

Несмотря на достижения, остаются нерешенными вопросы интеграции отдельных систем автоматизации в единую сеть. Проблемы стандартизации протоколов связи между системами, необходимость обеспечения их кибербезопасности и высокая стоимость внедрения остаются барьерами для широкого распространения таких технологий. Например, согласно данным отчета компании DNV GL, около 60% судов, оснащенных современными системами автоматизации, сталкиваются с трудностями в интеграции из-за несовместимости оборудования разных производителей.

С точки зрения экологической безопасности, автоматизация позволяет не только улучшить эксплуатационные характеристики судов, но и сократить выбросы парниковых газов. Использование автоматизированных систем управления расходом топлива, таких как FuelTrac, способствует оптимизации маршрутов и снижению потребления топлива на 5–10%. Данное решение особенно актуально в контексте реализации стратегии ИМО по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> в судоходной отрасли на 50% к 2050 г.

В научной среде активно обсуждаются перспективы использования искусственного интеллекта для управления судами. Исследования, проведенные группой ученых из Технологического университета Дельфта, подтверждают эффективность применения алгоритмов машинного обучения для анализа метеоусловий и прогнозирования оптимальных курсовых линий. Такие системы могут стать основой для полностью автономных судов, что значительно снизит влияние человеческого фактора на морскую безопасность.

Современное состояние судовых систем автоматизации определяется быстрым развитием технологий, направленных на повышение эффективности и безопасности судоходства. Однако для достижения максимального эффекта необходимо решать проблемы стандартизации, интеграции и кибербезопасности, а также активно внедрять инновации, такие как цифровые двойники и интеллектуальные алгоритмы управления.

Разработка и проектирование инновационной судовой системы автоматизации представляет собой многоэтапный процесс, включающий выбор архитектуры, алгоритмов управления, методов диагностики и интеграцию различных подсистем. Основной целью при создании таких систем является повышение надежности эксплуатации судов, снижение их энергозатрат и экологического воздействия. Современные подходы к проектированию судовых систем автоматизации основываются на принципах модульности, адаптивности и использования интеллектуальных алгоритмов.

Выбор архитектуры для интеграции подсистем является ключевым этапом проектирования. В современной практике предпочтение отдается распределённым архитектурам, которые обеспечивают высокую степень отказоустойчивости за счет дублирования критически важных модулей и использования резервных каналов связи. По данным исследований, опубликованных в журнале *Marine Technology*, распределенные системы управления на основе протокола CAN (Controller Area Network) демонстрируют на 30% более высокую надежность по сравнению с централизованными решениями. Это особенно важно в условиях морской эксплуатации, где доступ к оборудованию может быть ограничен.

Алгоритмы управления в судовых системах автоматизации также играют ключевую роль. Использование методов машинного обучения и предиктивной аналитики позволяет оптимизировать управление основными процессами, такими как расход топлива, управление нагрузкой на энергетические установки и прогнозирование износа оборудования. Например, алгоритмы на основе глубокого обучения, такие как Long Short-Term Memory (LSTM), успешно применяются для прогнозирования поведения судовых двигателей при изменении внешних условий, таких как волновая нагрузка и скорость ветра. Экспериментальные данные, представленные в журнале *Ocean Engineering*, показывают, что такие алгоритмы способны снизить износ двигателя на 15–20% за счет более точного управления режимами его работы.

Важным компонентом судовых систем автоматизации являются модули диагностики и мониторинга. Их задача заключается в оперативном выявлении неисправностей и предупреждении аварийных ситуаций. Современные системы, такие как Ship Performance Monitoring System (SPMS), оснащены сенсорами, фиксирующими параметры вибрации, температуры и давления, которые анализируются в реальном времени с использованием методов спектрального анализа и машинного зрения. Примером успешной реализации является проектирование системы диагностики для контейнеровозов компании Maersk, где применение таких технологий позволило сократить время на поиск неисправностей на 40% и снизить затраты на обслуживание на 25%.

Интеграция разработанных подсистем в единое информационное пространство является финальной стадией проектирования. На этом этапе особое внимание уделяется совместимости используемых решений и их соответствию международным стандартам, таким как IEC 61162 и ISO 19030. Использование современных коммуникационных протоколов, таких как Ethernet и OPC UA, позволяет добиться высокой скорости передачи данных и снизить риск их искажения. Исследования, опубликованные в *Journal of Marine Science and Technology*,

подтверждают, что внедрение подобных подходов увеличивает оперативность управления судовыми системами на 20%.

С точки зрения экологической безопасности, проектирование инновационных систем автоматизации способствует снижению углеродного следа судов. Например, внедрение адаптивных систем управления расходом топлива, таких как FuelOpt, позволяет сократить выбросы CO<sub>2</sub> на 8–10% за счет оптимизации маршрутов и автоматического регулирования мощности двигателей в зависимости от условий эксплуатации. Это имеет особую значимость в свете стратегий Международной морской организации (ИМО) по снижению выбросов парниковых газов.

Экспериментальная проверка и оценка эффективности разработанной судовой системы автоматизации являются важнейшими этапами, обеспечивающими подтверждение её функциональности, надежности и соответствия современным требованиям. Методика проведения таких испытаний включает в себя лабораторное тестирование компонентов системы, натурные испытания на судах и сравнительный анализ полученных результатов с аналогичными решениями, представленными на рынке.

Первоначально система подвергается лабораторным испытаниям, направленным на проверку её базовой функциональности. На данном этапе используются симуляторы, имитирующие эксплуатационные условия судна, включая изменения скорости, ветровой нагрузки, состояния морской поверхности и режимов работы энергетических установок. Согласно исследованиям, представленным в *Journal of Ship Research*, использование симуляторов снижает затраты на разработку и тестирование новых систем на 30%, а также позволяет выявить до 70% потенциальных ошибок на ранних стадиях проектирования. Например, в ходе тестирования автоматизированной системы управления энергией (Energy Management System, EMS) проверяются алгоритмы оптимизации расхода топлива при разных нагрузках и сценариях эксплуатации. Использование методов анализа данных позволяет оценить эффективность предложенных решений, выявив снижение энергозатрат на 12–15%.

Натурные испытания проводятся в реальных условиях эксплуатации судна, где система подвергается комплексному тестированию под воздействием внешних факторов. В частности, при испытаниях систем управления двигателями изучаются динамика их отклика на изменение нагрузки, надежность сенсоров и корректность работы алгоритмов предиктивного управления. Одним из успешных примеров является внедрение системы ABB Ability™ Marine Advisory, испытанной на борту контейнеровоза длиной 300 метров. Результаты натурных тестов показали, что система позволяет сократить время простоя из-за неисправностей на 20% и повысить общую энергоэффективность судна на 10%.

Для оценки эффективности разработанной системы используются как количественные, так и качественные показатели. Основными метриками являются снижение эксплуатационных затрат, улучшение энергоэффективности, увеличение надежности и уменьшение углеродного следа. Например, если система оптимизации расхода топлива позволяет сократить потребление топлива на 10% при среднем расходе в 250 тонн на рейс, это эквивалентно экономии 25 тонн топлива, что при стоимости \$700 за тонну даёт экономический эффект в размере \$17,500 за рейс. С учётом годовой эксплуатации судна, состоящей из 40 рейсов, потенциальная экономия составляет \$700,000.

Для сравнительного анализа результатов применяются стандартные модели, такие как регрессионные и кластерные методы, позволяющие сопоставить эффективность разработанной системы с аналогами. Исследования, проведенные учеными из Технологического института в Карлсруэ, подтверждают, что интеграция методов машинного обучения и цифровых двойников в процесс управления судном обеспечивает снижение рисков аварийных ситуаций на 25% по сравнению с традиционными системами. Также отмечается, что такие подходы повышают срок службы оборудования на 10–15% благодаря более точному прогнозированию износа компонентов.

Особое внимание уделяется экологической составляющей. Современные системы автоматизации, такие как разработанная система мониторинга выбросов EEDI (Energy Efficiency

Design Index), позволяют не только контролировать текущий уровень выбросов, но и предлагать корректировки режимов работы двигателей для его снижения. Практика показала, что подобные системы могут сократить выбросы CO<sub>2</sub> на 8–12%, что соответствует требованиям ИМО и делает судоходство более экологичным.

### Литература

1. Беляков, А. В. Системы автоматизации судов: Учебное пособие / А. В. Беляков, Ю. В. Шевченко. — СПб.: Судостроение, 2017. — 340 с.
2. Дементьев, Н. И. Современные технологии автоматизации судов / Н. И. Дементьев, П. В. Козлов. — М.: Машиностроение, 2020. — 256 с.
3. Шелехов, В. И. Энергетические системы судов: эксплуатация и автоматизация / В. И. Шелехов. — Владивосток: Морская академия, 2019. — 412 с.
4. SNAME (Society of Naval Architects and Marine Engineers). Marine Engineering Handbook. 4th Edition. — New York: SNAME, 2016. — 876 p.
5. Wang, Z., Zhang, T., & Wei, H. A Review of Intelligent Ship Automation Systems Based on Machine Learning Algorithms // Ocean Engineering. — 2022. — Vol. 248.
6. DNV GL. Maritime Forecast to 2050: Energy Transition Outlook 2023. — Høvik: DNV GL, 2023. — 192 p. — Available at: <https://www.dnv.com>.