

**РАЗРАБОТКА СОСТАВА КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИХ АВТОНОМНЫХ НАДВОДНЫХ СУДОВ
С УЧЕТОМ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЙ****А. А. Буцанец¹, А. П. Беспалов¹, А. М. Жидкова²**¹ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация²ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой исследования является разработка состава компонентов и структуры системы автоматического управления морских автономных надводных судов с учетом внешних возмущений. Выполнен обзор актуальной научной литературы по системам управления автономными судами, включая отечественные и зарубежные исследования. Рассмотрены классические законы регулирования курса судна пропорциональным, пропорционально-дифференциальным и пропорционально-интегрально-дифференциальными методами с дополнениями, учитывающими внешние воздействия. Предложена модернизация трехуровневой иерархической структуры системы автоматического управления, состоящей из нижнего уровня первичной информации (датчики), среднего уровня обработки данных и верхнего уровня управления и контроля. Предложен принцип циклической оценки среднего значения внешнего возмущения и модифицированный пропорционально-дифференциальный закон управления рулевым приводом с дополнительной коррекцией по углам крена, дифферента и опережающей компенсацией внешних воздействий. Приведены обоснования того, что предлагаемые решения позволяют компенсировать влияние волнения, ветра и течений, повысить точность удержания заданного курса и надежность автоматического управления в сложных гидрометеорологических условиях. Отмечается, что предложенная структура обладает масштабируемостью, открытостью к модернизации и удобством интеграции с внешними системами: системой управления движением судов, автоматической системой управления движением судна и др. Дополнительный контроль параметров мореходности (периоды рыскания, бортовой и килевой качки) реализован без увеличения количества датчиков. Результаты работы могут быть использованы при проектировании систем автономного судовождения, а также способствуют повышению безопасности судоходства.

Ключевые слова: морские автономные суда, система автоматического управления, внешние возмущения, трехуровневая структура, пропорционально-дифференциальный закон, коррекция возмущения, стабилизация курса, навигационные датчики, рулевой привод, автономное судовождение, иерархическая архитектура, оценка внешних воздействий.

Для цитирования:

Буцанец А. А. Разработка состава компонентов системы автоматического управления морских автономных надводных судов с учетом внешнего воздействия / А. А. Буцанец, А. П. Беспалов, А. М. Жидкова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2026. Т. 18. № 2. С. 346–357. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-2-346-357. — EDN ZVFJHA.

**DEVELOPMENT OF THE COMPONENT COMPOSITION
OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR MARITIME AUTONOMOUS
SURFACE SHIPS UNDER EXTERNAL DISTURBANCES****A. A. Butsanets¹, A. P. Besspalov¹, A. M. Zhidkova²**¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
Saint Petersburg, Russian Federation²Krylov State Research Center, Saint Petersburg, Russian Federation

The study focuses on the development of the component composition and structure of the automatic control system for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) under external disturbances. A review of relevant scientific

literature on autonomous ship control systems, including both Russian and international studies, was carried out. Classical ship heading control laws based on proportional, proportional-derivative, and proportional-integral-derivative methods were considered together with additional provisions accounting for external influences. A modernized three-level hierarchical structure of the automatic control system is proposed, comprising the lower level of primary information acquisition (sensors), the middle level of data processing, and the upper level of control and monitoring. A principle of cyclic estimation of the mean value of external disturbance and a modified proportional-derivative control law for the steering gear actuator with additional correction for roll and trim angles, as well as feedforward compensation of external influences, are proposed. It is substantiated that the proposed solutions make it possible to compensate for the effects of waves, wind, and currents, improve the accuracy of maintaining the preset course, and enhance the reliability of automatic control under adverse hydrometeorological conditions. The proposed structure is characterized by scalability, openness to further modernization, and convenient integration with external systems, including vessel traffic management systems, ship motion control systems, and related subsystems. Additional monitoring of seakeeping parameters, including yaw, roll, and pitch periods, is implemented without increasing the number of sensors. The results can be used in the design of autonomous navigation systems and contribute to improving navigation safety.

Keywords: Maritime Autonomous Surface Ships, automatic control system, external disturbances, three-level structure, proportional-derivative control law, disturbance correction, course stabilization; navigation sensors, steering gear actuator, autonomous navigation, hierarchical architecture, external disturbance estimation.

For citation:

Butsanets, Artem A., A. P. Bepalov and A. M. Zhidkova. "Development of the component composition of the automatic control system for maritime autonomous surface ships under external disturbances" *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 18.2 (2026): 346–357. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-2-346-357.

Введение (Introduction)

В условиях активного внедрения технологий автоматизации на морском транспорте приобретает высокую актуальность разработка состава компонентов системы автоматического управления морских автономных надводных судов (МАНС). Рост интереса к безэкипажным и дистанционно управляемым судам обусловлен необходимостью повышения эффективности грузоперевозок, снижения влияния человеческого фактора и обеспечения безопасности плавания в сложных гидрометеорологических условиях.

Внешние возмущения (волнение моря, ветер, течения, других объектов) усложняют задачу стабилизации судна на курсе и требуют адаптивных алгоритмов управления, выходящих за рамки классических ПД- и ПИД-законов. Современные модели и алгоритмы порой разрабатываются без учета этих факторов, что приводит к накоплению ошибок курса и снижению точности управления в реальной ситуации.

Анализ научных публикаций показывает, что проблемы создания систем управления МАНС активно исследуются как в России, так и за рубежом. Одними из сравнительно крупных отечественных научных работ, посвященных концептуальным аспектам построения систем дистанционного управления беспилотным техническим флотом, являются [1], а также работа, посвященная обеспечению интеллектуальных транспортных систем [2].

Проблемы создания МАНС на этапе технического задания и проектирования под надзором РС освещены в работе В. В. Устинова, в которой автор анализирует уровни автономности и конструктивные особенности судовых технических средств, обеспечивающих безопасное плавание, в том числе с использованием портовых буксиров [3]. Д. В. Литов и О. С. Хватов рассматривают этапы разработки структуры САУ морского автономного и дистанционно управляемого надводного судна в соответствии с Положениями РС (ФАУ «Российский морской регистр судоходства»), формируют перечень источников информации для ситуационной осведомленности и определяют минимальные требования к подтверждению уровня безопасности, эквивалентного или превосходящего уровень безопасности обычных судов [4].

Важным направлением является разработка систем мониторинга и диагностики. Так, например, В. И. Степанова и С. В. Смоленцев предлагают концепцию единой системы мониторинга, диагностики и тестирования (ЕСМДиТ) оборудования МАНС, похожие подходы рассмотрены

в работе [5]. Авторы обосновывают преимущества иерархической распределенной архитектуры по сравнению с зарубежными аналогами (Kongsberg, Wärtsilä, ABB), отмечая ее вклад в повышение надежности и снижение эксплуатационных затрат [6].

Международный взгляд на вызовы представлен в обзорной статье [7]. Исследователи анализируют технологические, регуляторные, правовые и этические проблемы внедрения МАНС. Особое внимание уделяется необходимости целостных подходов к созданию нормативно-правовой базы и межотраслевому сотрудничеству для обеспечения безопасного и устойчивого развития автономного судоходства.

Особенности дистанционного управления в портовых водах с использованием конвенционных навигационных средств рассмотрены в работе [8]. Автор акцентирует внимание на развитии систем мониторинга в реальном времени, прогнозировании состояния судна и расчете точности решения навигационных задач без детализации конкретных моделей оборудования. Выявлены слабые места существующих технологий и даны рекомендации по их совершенствованию для безопасного расхождения судов.

Одно из особенно актуальных направлений, активно обсуждаемых в литературе, посвящено кибербезопасности. В работе [9] предложено пять независимых моделей внешних кибератак на сеть АИС (от единичной подделки сигнала до многоэтапных комбинированных атак) и проанализированы внутренние угрозы. Авторы рекомендуют сочетание программно-алгоритмических и аппаратно-архитектурных мер защиты, включая дополнительные системы мониторинга аномалий. В работах [10, 11], посвященных методам искусственного интеллекта в системах навигации, также затронуты вопросы выявления аномалий в данных АИС и необходимости создания дополнительных мониторинговых систем. Кроме непосредственной эксплуатации судов, актуальным является вопрос швартовки автономных судов. Например, в работе [12] сформулирован перечень необходимого оборудования и принципы автоматизированной швартовки.

Авторами работы [13] выполнен обзор базовых алгоритмов управления курсом и скоростью, сформулированы проблемы создания комплексной системы управления и определены направления дальнейших исследований. Важным является вопрос моделирования маневренных испытаний автономных судов на навигационном симуляторе. Работа [14] подтверждает возможность определения навигационно-маневренных характеристик в различных условиях для последующих натурных экспериментов. Авторами [15] разработан алгоритм обеспечения безопасности навигации на мелководье и в стесненных акваториях на основе аналитических моделей гидродинамических взаимодействий, а также предложены режимы «Мелководье» и «Канал» с визуализацией критических параметров. Вопросы доверия к системам автономного судоходства в контексте критической информационной инфраструктуры и импортозамещения исследованы в работе [16], где рассмотрен переход на отечественные аппаратно-программные платформы.

Выполненный обзор литературы не охватывает все аспекты развития систем управления автономными судами, но свидетельствует о многогранности выявленных научных задач: существует потребность как в концептуальном проектировании структуры САУ и нормативного регулирования, так и конкретных алгоритмов оценки внешних возмущений, киберзащиты и мониторинга. Таким образом, научная литература сводится к задаче построения безопасной системы автоматического управления морскими автономными надводными судами, функционирование которой должно повышать безопасность судоходства и снижать вероятность наступления аварийной ситуации. Многофакторность процесса управления объектами водного транспорта очевидна, как и невозможность его исчерпывающего описания, однако данная работа может стать очередным звеном автоматизации моделирования поведения и процесса управления.

Цель работы — определить состав компонентов, структуру и основной принцип функционирования системы автоматического управления морских автономных надводных судов (МАНС) с учетом внешних воздействий (волнение, ветер и др.).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- дополнить ранее предложенную трехуровневую иерархическую структуру системы автоматического управления МАНС (нижний — первичной информации, средний — обработки, верхний — управления и контроля);
- на основе дополненной структуры определить базовый состав датчиков нижнего уровня и функций уровня обработки и управления, а также математически описать принцип управления с коррекцией по оценке внешнего возмущения ($\varphi_{\text{корр. ср}}$), учитывающий компенсацию внешнего воздействия.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для построения САУ морских автономных надводных судов вначале следует рассмотреть упрощенное уравнение системы стабилизации судна на курсе. Для удобства рассмотрим силы, действующие на судно (рис. 1).

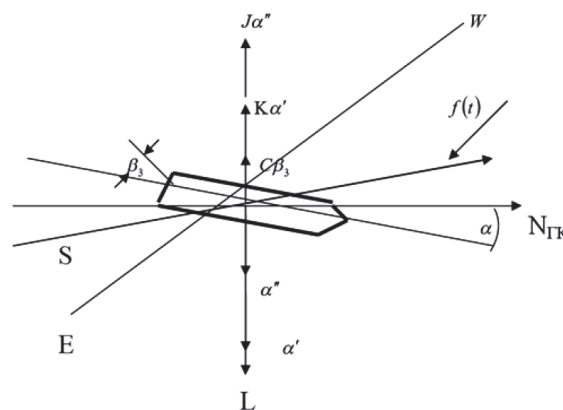


Рис. 1. Силы, действующие на судно
Fig. 1. Forces acting on the ship

Рассмотрим ситуацию, когда судно движется заданным гирокомпасным курсом (ГКК). В определенный момент времени t под воздействием внешних факторов $f(t)$ (волнение, ветер, реакция винта и т. д.) судно начинает уходить с курса. Угловое отклонение судна от линии курса обозначено на рис. 1 как угол α . Боковое смещение судна с линии в данном случае упускается. Отклонение судна с курса вызовет появление угловой скорости α' и углового ускорения α'' .

Относительно вертикальной оси судна, проходящей через его центр тяжести, будут действовать следующие моменты: $C\beta_3$ — момент, создаваемый пером руля; $K\alpha'$ — момент сопротивления вращению судна; $J\alpha''$ — инерционный момент. Приравняв сумму этих моментов к моменту, вызываемому внешними воздействиями L , получим следующее уравнение моментов:

$$J\alpha'' + K\alpha' + C\beta_3 = L,$$

где J — момент инерции судна; K — коэффициент пропорциональности.

Для автоматического управления рулевым приводом судна с целью удержания на заданном курсе могут использоваться три основных закона регулирования:

1. Пропорциональный (П):

$$\beta_3 = K_1\alpha,$$

где K_1 — коэффициент обратной связи по курсу.

2. Пропорционально-дифференциальный (ПД):

$$\beta_3 = K_1\alpha + K_2\alpha',$$

где K_2 — коэффициент обратной связи по угловой скорости поворота судна.

3. Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД):

$$\beta_3 = K_1\alpha + K_2\alpha' + K_3\int\alpha dt.$$

Поскольку пропорциональный закон недостаточно эффективен, а ПИД дает лучший результат по сравнению с ПД только на установившихся режимах, в данной работе будет использован модифицированный принцип пропорционально-дифференциального закона регулирования.

В настоящее время многие модели САУ движением судна проектируются без учета волнения и ветра, при этом гарантируется движение по заданному маршруту. При волнении и с появлением внешних воздействий возникают более сложные условия эксплуатации при использовании известных законов управления движением судна.

Внешние воздействия на судно трудноизмеряемы и зависят от следующих переменных факторов: характеристики волнения и скорости ветра, характеристики судна, направления движения судна, скорость хода судна, остойчивость и др. Таким образом, использование пропорционально-дифференциального закона управления, оптимального только при отсутствии внешних воздействий, является недостаточным. Влияние внешнего воздействия приводит к появлению низкочастотных постоянных внешних сил, действующих на судно, что вызывает смещение направления движения судна относительно заданного маршрута, появление ошибки, и, соответственно, при управлении снижает качество и точность автоматического управления судном.

При разработке системы автоматического управления МАНС целесообразно использовать классический подход разбиения объекта исследования на части с сохранением унифицированных внешних и внутренних интерфейсов для информационных потоков. При этом рассматривается трехуровневая структура системы управления (рис. 2), синтезированная с традиционным системным анализом и работой [1], где вне границ функционирующей системы присутствует внешняя среда. Данный подход обеспечивает высокую надежность работы системы в целом, возможность модернизации его составных частей, открытость к интеграции с другими системами, масштабируемость и более продолжительный жизненный цикл.



Рис. 2. Трехуровневая организация системы автоматического управления МАНС с учетом внешнего воздействия
Fig. 2. Three-level organization of the automatic control system for MASS under external disturbances

Базовыми (исходными) элементами предлагаемой структуры САУ МАНС, определяющими ее функциональные свойства, выступают датчики, формирующие нижний уровень классической трехуровневой иерархической организации — *уровень первичной информации*.

Количество датчиков, их принцип действия и характер измеряемых параметров определяются общими потребностями системы, а также целесообразностью применения в конкретных условиях. При этом возможности уровня обработки первичной информации выступают в качестве естественного ограничивающего фактора. В качестве датчиков могут быть использованы: спутниковый компас, бесплатформенная инерциальная навигационная система, датчики оборотов винтов, датчик угла поворота винторулевой колонки, камеры наружного наблюдения, транспондер АИС, лидар и др.

Датчики, измерительные приборы и регистрирующая аппаратура являются автономными первичными источниками информации. При реализации обратной связи и построении активной системы управления на уровне первичной информации необходимо также выделить исполнительные механизмы. Управляющие сигналы для этих механизмов формируются на уровне обработки с помощью системы управления числом оборотов винтов и системы управления винторулевой колонкой. Данные сигналы вырабатываются на основании команд, поступающих с верхнего уровня от оператора, или анализируются в автоматическом режиме.

Функции взаимодействия с датчиками и первичной обработки поступающей информации возлагаются на средний уровень — *уровень обработки*. Его основная задача заключается в выполнении комплексного анализа данных, поступающих от датчиков, выработке агрегированного значения целевой функции, а также контроле достоверности информации. Кроме того, на среднем уровне осуществляется мониторинг технического состояния датчиков и обеспечивается маршрутизация (коммутация) информационных потоков в прямом и, при необходимости, в обратном направлении: между датчиками и исполнительными механизмами.

Верхний уровень — *уровень управления и сигнализации* — реализует три ключевые функции:

- обеспечивает информационное взаимодействие и обмен данными с внешними по отношению к системе автоматического управления МАНС системами (в частности, например, с СУДС/АСУ ДС и лоцманом);
- формирует результирующие сигналы в системе поддержки принятия решений по предупреждению развития аварийных ситуаций;
- вырабатывает управляющие сигналы в контурах обратной связи при функционировании активной системы управления.

Такая трехуровневая организация системы автоматического управления МАНС признана наиболее эффективной с точки зрения достижения поставленных целей, обеспечения надежности системы, ее интегрируемости с другими комплексами и дальнейшей масштабируемости. Под масштабируемостью в данном контексте понимается возможность расширения номенклатуры и количества датчиков при модернизации модели развития ситуации и усложнении задач управления.

Результаты и их обсуждение (Results and Discussion)

Трехуровневая иерархическая организация САУ МАНС представлена на рис. 3. Рассмотренная трехуровневая организация данной системы принимается наиболее эффективной для обеспечения надежности системы, интегрируемости с другими системами и масштабируемости. Под масштабируемостью системы применительно к САУ МАНС подразумевается возможность расширения числа и типа датчиков, информация от которых будет необходима в случае модернизации модели развития ситуации и при решении задач управления.

Кроме навигационных параметров, значимыми при оценке управляемости судна являются: период рыскания, период бортовой качки и период килевой качки. Эти значения могут быть получены на втором уровне в устройстве обработки информации по измерениям, выполненным на первом уровне. Таким образом, дополнительный контроль мореходности судна не приводит к увеличению датчиков нижнего уровня первичной информации. Вычислительные мощности блоков анализатора и коммутатора на уровне обработки измерений определяются количеством используемых измерительных датчиков, частотой опроса, необходимой для решения задачи моделирования, и объемом измерительной информации.

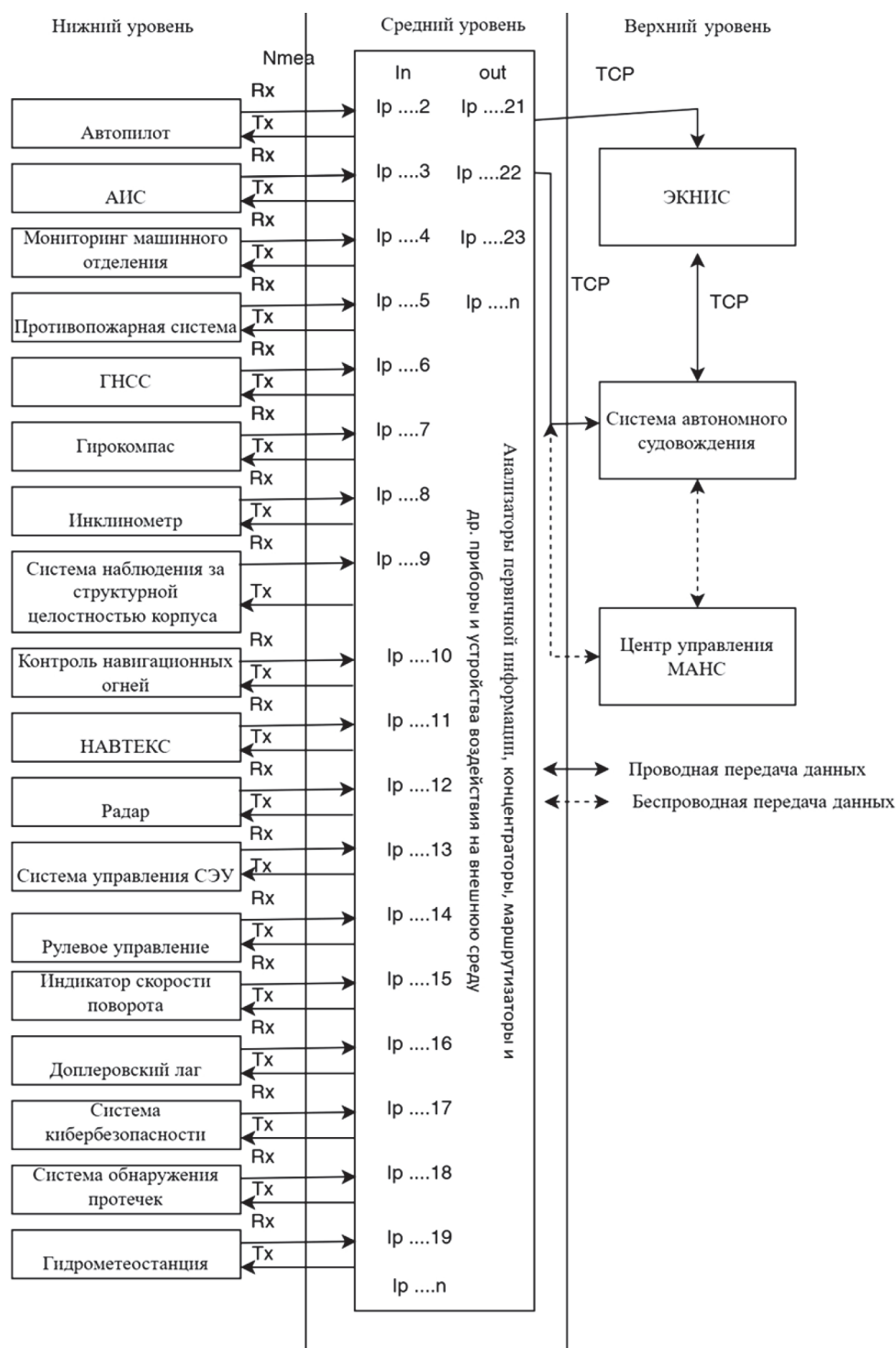


Рис. 3. Трехуровневая организация структуры
Fig. 3. Three-level structural organization

Рассмотрим работу системы автоматического управления движением судна с оценкой внешнего возмущения. Судоводитель устанавливает заданное направление движения судна $\varphi_{зд}$ (генеральный курс), используя рулевое управление и тем самым вводя сигнал заданного значения курса на вход анализатора первичной информации, на входы которого поступают сигналы: φ , ω — курса и угловой скорости с выхода датчиков; δ — угол перекладки руля с выхода датчика рулевого управления; $\varphi_{корр. ср}$ — сигнал оценки внешнего возмущения с выхода блока оценки внешнего возмущения; $\varphi_{зд}$ — заданный курс, поступающий с датчика курса $\varphi_{зд}$; θ_k — крен, θ_d — дифферент.

Таким образом, при отсутствии внешних возмущений, т. е. $K_1 \cdot \varphi_{\text{корр.ср}} = 0$, в регуляторе формируется типовой ПД-закон управления рулевым приводом судна $d\delta/dt$:

$$\frac{d\delta}{dt} = K_1 (\varphi - \varphi_{\text{зд}}) + K_2 \omega - K_3 \delta. \quad (1)$$

Добавляя использование крена, формула (1) принимает следующий вид:

$$\frac{d}{dt} \delta = K_1 (\varphi - \varphi_{\text{зд}}) + K_2 \omega + K_1 \varphi_{\text{корр.ср}} + K_6 \theta_{\text{к}} + K_7 \frac{d\theta_{\text{roll}}}{dt} + K_8 \theta_{\text{д}} - K_3 \delta. \quad (2)$$

Благодаря использованию информации о крене и дифференте судна можно добиться компенсации боковой и килевой качки. Коэффициенты $K_6 - K_8$, определяемые экспериментально или по результатам моделирования, обеспечивают пропорционально-дифференциальную реакцию на углы пространственной ориентации и опережающую (feed-forward) коррекцию по волнению.

Формирование оценки среднего значения внешних возмущений осуществляют в блоке анализатора первичной информации циклически в интервале времени Δt . В момент времени T_0 появляется внешнее возмущение, воздействующее на процесс движения судна и определяемое анализатором первичной информации. Формируется разность $(\varphi - \varphi_{\text{зд}})$, используя которую и постоянные $C_2 > C_1$, $-C_1 > -C_2$, формируют условие:

$$C_2 > \varphi - \varphi_{\text{зд}} > C_1 \quad \text{или} \quad -C_2 \leq \varphi - \varphi_{\text{зд}} \leq -C_1. \quad (3)$$

Если выполняется условие (3), то сигнал разности $(\varphi - \varphi_{\text{зд}})$ поступает через анализатор первичной информации на вход в систему автономного судовождения и обратно в системы и датчики на нижнем уровне.

Через интервал времени Δt в момент времени $T_1 = T_0 + \Delta t$ с выхода анализатора первичной информации сигнал

$$\int_{T_5}^{T_6} \frac{\varphi - \varphi_{\text{зд}}}{T_{\text{инер.р}} + 1} dt$$

поступает на вход блока анализатора первичной информации, где преобразуется в сигнал среднего значения оценки внешних возмущений $\varphi_{\text{корр.ср}}$ на отрезке времени $\Delta t = T_1 - T_0$:

$$\varphi_{\text{корр.ср}} = \frac{1}{\Delta t} \int_{T_0}^{T_1} \frac{\varphi - \varphi_{\text{зд}}}{T_{\text{инер.р}} + 1} dt. \quad (4)$$

Сигнал среднего значения оценки внешних возмущений $\varphi_{\text{корр.ср}}$ с выхода анализатора первичной информации поступает на вход системы автономного судовождения, где при этом формируется закон управления (2).

В момент времени $T_2 = T_1 + \Delta t$ в блоке анализатора первичной информации формируются разность $(\varphi - \varphi_{\text{зд}})$ и условие (3). Если условие выполняется, то сигнал разности поступает через инерционное звено на вход интегратора. Через интервал времени Δt в момент времени $T_3 = T_2 + \Delta t$ с выхода интегратора сигнал

$$\int_{T_2}^{T_3} \frac{\varphi - \varphi_{\text{зд}}}{T_{\text{инер.р}} + 1} dt$$

поступает на вход блока оценки внешнего возмущения, где преобразуется в сигнал $\varphi_{\text{корр.ср}}$ на отрезке времени $\Delta t = T_3 - T_2$ согласно зависимости (4). При этом в системе формируется закон управления движением судна (2) со средним значением коррекции курса $\varphi_{\text{корр.ср}}$.

В момент времени $T_4 = T_3 + \Delta t$ в анализаторе первичной информации формируется разность $(\varphi - \varphi_{\text{зд}})$. Если условие (3) не выполняется, то в момент времени $T_5 = T_4 + \Delta t$ процесс повторяется. При выполнении условия (3) в момент времени $T_6 = T_5 + \Delta t$ сигнал

$$\int_{T_5}^{T_6} \frac{\varphi - \varphi_{зд}}{T_{инер.р} + 1} dt$$

поступает на вход анализатора, где формируется очередное значение

$$\varphi_{корр.ср} = \frac{1}{\Delta t} \int_{T_5}^{T_6} \frac{\varphi - \varphi_{зд}}{T_{инер.р} + 1} dt. \quad (5)$$

Сигнал $\varphi_{корр.ср}$ поступает на вход системы автономного судовождения, где формируется закон управления (2) с текущим значением коррекции курса. В свою очередь анализатор первичной информации подает согласованный сигнал на рулевое управление для изменения положения руля и корректировки пространственного положения судна. Дополнительная информация о крене θ_k , дифференте θ_d и параметрах волнения обеспечивает упреждающую компенсацию качки, повышая точность и стабильность удержания курса в условиях внешних возмущений.

Выводы (Conclusions)

В результате проведенного исследования выполнено следующее:

1. Предложена трехуровневая иерархическая структура САУ морских автономных надводных судов (МАНС), учитывающая внешние воздействия окружающей среды (волнение, ветер, течения).
2. Разработан принцип циклической оценки среднего значения внешнего возмущения $\varphi_{корр.ср}$ и модифицированный пропорционально-дифференциальный закон управления рулевым приводом с дополнительными членами компенсации крена, дифферента и опережающей коррекции по волнению. Предложенные решения позволяют компенсировать влияние внешних возмущений, снижать ошибку удержания заданного курса и повышать точность и качество автоматического управления.
3. Предложенная структура обладает высокой надёжностью, открытостью к модернизации, масштабируемостью (возможностью изменения номенклатуры и количества датчиков) и удобством интеграции с внешними системами (СУДС, АСУ ДС и др.). Дополнительный контроль параметров мореходности (период рыскания, периоды бортовой и килевой качки) реализован без увеличения количества датчиков нижнего уровня первичной информации.
4. Дальнейшие исследования целесообразно направить на верификацию предложенной структуры на натурных и полунатурных стендах, разработку более детализированной математической модели, численное и экспериментальное подтверждение эффективности модифицированного закона управления, а также сбор данных для верификации работы системы в реальных гидрометеорологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буцанец А. А. Организация системы дистанционного управления беспилотным техническим флотом для обеспечения судоходства на внутренних водных путях: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук; специальность: 05.22.19 «Эксплуатация водного транспорта, судовождение» / А. А. Буцанец. — Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адм. С. О. Макарова», 2021. — 189 с. — EDN MFMQJR.
2. Михалевич И. Ф. Теоретические основы и прикладные методы обеспечения безопасности интеллектуальных систем водного транспорта: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук; специальность: 2.9.8. «Интеллектуальные транспортные системы» / И. Ф. Михалевич. — Москва: «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ)), 2024. — 568 с.
3. Устинов В. В. Проблемы создания МАНС и концептуальные пути их решения на этапе технического задания и проектирования под надзором РМРС в свете Положения по классификации морских автоном-

ных и дистанционно управляемых надводных судов / В. В. Устинов // Транспортное дело России. — 2021. — № 2. — С. 147–150. — EDN VNHXTJ. DOI: 10.52375/20728689_2021_2_147.

4. Литов Д. В. Некоторые аспекты построения структуры системы управления морского автономного и дистанционно управляемого надводного судна (МАНС) / Д. В. Литов, О. С. Хватов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 78. — С. 35–43. — EDN YRHQTS.

5. Zhukov V. Monitoring systems of ship power plants during operation / V. Zhukov, A. Butsanets, S. Sherban, V. Igonin // Advances in Intelligent Systems and Computing. — 2020. — Vol. 982. — Pp. 419–428. — EDN SLRGCX. DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8_40.

6. Степанова В. И. Единая система мониторинга, диагностики и тестирования оборудования на МАНС: принцип реализации и возможности / В. И. Степанова, С. В. Смоленцев // Актуальные решения проблем водного транспорта: сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Астрахань, 29 мая 2023 года. — Астрахань: Индивидуальный предприниматель Сорокин Роман Васильевич (Издатель: Сорокин Роман Васильевич), 2023. — С. 411–416. — EDN TJXOFN.

7. Issa M. Maritime Autonomous Surface Ships: Problems and Challenges Facing the Regulatory Process / M. Issa, A. Ilinca, H. Ibrahim, P. Rizk // Sustainability. — 2022. — Vol. 14. — Is. 23. DOI: 10.3390/su142315630.

8. Брыляков А. В. Анализ особенностей дистанционного управления морским автономным надводным судном в портовых водах с использованием конвенциональных навигационных технических средств / А. В. Брыляков // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 2. — С. 195–207. — EDN GRSFHH. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-172-195-207.

9. Волков В. В. Модели кибератак на сеть автоматической идентификационной системы / В. В. Волков, Е. О. Ольховик, Ю. С. Федосенко // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 5. — С. 641–652. — EDN DKQYLH. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-641-652.

10. Андриевский Б. Р. Методы искусственного интеллекта в системах навигации / Б. Р. Андриевский, Н. В. Кузнецов, Е. В. Кудряшова [и др.] // Дифференциальные уравнения и процессы управления. — 2025. — № 4. — С. 94–142.

11. Смоленцев С. В. Алгоритм анализа данных автоматической идентификационной системы для выделения типовых сценариев расхождения судов и тестирования систем автономного судовождения / С. В. Смоленцев, А. А. Буцанец, С. Ф. Шахнов [и др.] // T-Comm. — 2024. — Т. 18. — № 3. — С. 50–59. — EDN TYZNSI. DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-3-50-59.

12. Butsanets A. Development of Technical Means for Mooring the Unmanned Vessels / A. Butsanets, E. Ol'khovik // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) — 2019. — Pp. 1–3. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934708.

13. Кудров М. А. Постановка задачи управления автономным надводным судном для внутренних водных путей / М. А. Кудров, К. Д. Бухаров, Д. Р. Махоткин, Р. С. Айвазов // Мир транспорта. — 2023. — Т. 21. — № 3(106). — С. 36–41. — EDN RHICRB. DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-3-2.

14. Karetnikov V. Simulation of Maneuvering Trials of an Unmanned or Autonomous Surface Ship on a Navigation Simulator / V. Karetnikov, E. Ol'Khovik, A. Butsanets, A. Ivanova // Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. — Springer Nature Singapore, 2021. — Pp. 146–156. — EDN JJVLQH. DOI: 10.1007/978-981-33-6208-6_1.

15. Скороходов Д. А. Алгоритм обеспечения безопасности навигации судов на мелководье и в стесненных акваториях / Д. А. Скороходов, В. Ю. Каминский // Морские интеллектуальные технологии. — 2025. — № 3–1(69). — С. 280–287. — EDN XXHERJ. DOI: 10.37220/MIT.2025.69.3.047.

16. Баранов Л. А. On trust in autonomous shipping systems of critical information infrastructure / Л. А. Баранов, И. Ф. Михалевич // T-Comm. — 2025. — Т. 19. — № 6. — С. 52–59. — EDN MLCXNO. DOI: 10.36724/2072-8735-2025-19-6-52-59.

REFERENCES

1. Butsanets, A. A. Organizatsiya sistemy distantsionnogo upravleniya bespilotnym tekhnicheskim flotom dlya obespecheniya sudokhodstva na vnutrennikh vodnykh putyakh. PhD diss. St. Petersburg, 2021.

2. Mikhalevich Igor' Feodos'evich Teoreticheskie osnovy i prikladnye metody obespecheniya bezopasnosti intellektual'nykh sistem vodnogo transporta. Grand PhD diss. Moskva, 2024.

3. Ustinov, V. V. "Problems of creating mans and conceptual ways to solve them at the stage of technical specifications and design under the supervision of rmrs in the light of the provisions on the classification of marine autonomous and remotely controlled surface vessels." *Transport Business in Russia* 2 (2021): 147–150. DOI: 10.52375/20728689_2021_2_147.
4. Litov, D. V. and O. S. Khvatov. "Some aspects of control system structure building for maritime autonomous and remotely controlled surface ships (mass)." *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping* 78 (2025): 35–43.
5. Zhukov, V., A. Butsanets, S. Sherban and V. Igonin. "Monitoring systems of ship power plants during operation." *Advances in Intelligent Systems and Computing* 982 (2020): 419–428. DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8_40.
6. Stepanova, V. I. and S. V. Smolentsev. "Unified system for monitoring, diagnostics and testing of equipment at mass: implementation principle and opportunitiesthe." *Aktual'nye resheniya problem vodnogo transporta: sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Astrakhan', 29 maya 2023 goda. Astrakhan': Individual'nyy predprinimatel' Sorokin Roman Vasil'evich (Izdatel': Sorokin Roman Vasil'evich), 2023: 411–416.*
7. Issa, M., A. Ilinca, H. Ibrahim and P. Rizk. "Maritime Autonomous Surface Ships: Problems and Challenges Facing the Regulatory Process." *Sustainability* 14.23 (2022). DOI: 10.3390/su142315630.
8. Brylyakov, A. V. "Analysis of the features of remote control of a marine autonomous surface ship in port waters using conventional navigation technical means." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.2 (2025): 195–207. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-195-207.
9. Volkov, V. V., E. O. Ol'khovik and Yu. S. Fedosenko. "Models of cyberattacks on the automatic identification system network." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.5 (2025): 641–652. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-641-652.
10. Andrievskiy, B. R., et al. "Metody iskusstvennogo intellekta v sistemakh navigatsii." *Differentsial'nye uravneniya i protsessy upravleniya* 4 (2025): 94–142.
11. Smolentsev, S. V., A. A. Butsanets and S. F. Shakhnov et al. "Algorithm for analyzing the automatic identification system data to identify typical scenarios for vessel divergence and testing the systems of autonomous shipping." *T-Comm* 18.3 (2024): 50–59. DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-3-50-59.
12. Butsanets, A. and E. Ol'khovik. "Development of Technical Means for Mooring the Unmanned Vessels." *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. — 2019: 1–3. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934708.
13. Kudrov, M. A., K. D. Bukharov, D. R. Makhotkin and R. S. Ayvazov. "Statement of the problem of control of an autonomous surface vessel for inland waterways." *World of Transport and Transportation* 21.3(106) (2023): 36–41. DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-3-2.
14. Karetnikov, V. and E. Ol'Khovik, A. Butsanets, A. Ivanova. "Simulation of Maneuvering Trials of an Unmanned or Autonomous Surface Ship on a Navigation Simulator." *Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Springer Nature Singapore, 2021: 146–156. DOI: 10.1007/978-981-33-6208-6_1.*
15. Skorokhodov, D. A. and V. Yu. Kaminskiy. "An algorithm for ensuring the safety of navigation of vessels in shallow water and in confined waters." *Marine Intellectual Technologies* 3–1(69) (2025): 280–287. DOI: 10.37220/MIT.2025.69.3.047.
16. Baranov, L. A. and I. F. Mikhalevich. "On trust in autonomous shipping systems of critical information infrastructure." *T-Comm* 19.6 (2025): 52–59. DOI: 10.36724/2072-8735-2025-19-6-52-59.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Буцанец Артем Александрович — кандидат технических наук, начальник отдела НТИ и ИС ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
 e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru
Беспалов Александр Павлович — аспирант ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
 e-mail: bespalovap@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Butsanets, Artem A. — PhD in Technical Sciences, Head of the Department
 Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation
 e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru
Bespalov, Aleksandr P. — postgraduate student
 Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation
 e-mail: bespalovap@gumrf.ru

Жидкова Анастасия Михайловна —
руководитель проектов
ФГУП «Крыловский государственный научный
центр»
196158, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Московское шоссе, 44
e-mail: a_zhidkova@ksrc.ru

Zhidkova, Anastasia M. —
project manager
Krylov State Research Center
44, Moskovskoe shosse,
St. Petersburg, 196158,
Russian Federation
e-mail: a_zhidkova@ksrc.ru

*Статья поступила в редакцию: 29 января 2026 г.
Received: Jan. 29, 2026.*