

УДК 656.61.052

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ:
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ****Михайлов Александр Владимирович¹**, студентe-mail: sm8771876@gmail.com**Харисова Нурания Ринатовна¹**, доцент, кандидат филологических наук, начальник управления по учебно-методической работе и конвенционной подготовке, доцент кафедры судовождения и судостроенияe-mail: nur.har@mail.ru**Игнатьева Маргарита Эдуардовна¹**, кандидат филологических наук, доцент кафедры судовождения и судостроенияe-mail: margoig62@gmail.com

¹ Институт морского и речного флота имени Героя Советского Союза М.П. Девятаева – Казанский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Казань, Республика Татарстан, Россия

Аннотация. В данной статье анализируются инновационные решения в области автоматизированной системы управления движением судов (СУДС): архитектура «VTS-Elf», алгоритмы обнаружения аномалий и системы мониторинга стресса операторов. Приводятся кейсы их внедрения и опыт применения машинного обучения для обнаружения отклонений от маршрутов. В данной статье использованы данные, размещенные в официальных интернет источниках.

Ключевые слова: СУДС, искусственный интеллект, цифровой двойник, обнаружение аномалий, предиктивная аналитика, мониторинг стресса, морская безопасность.

**AUTOMATED VESSEL TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS: INNOVATIVE
SOLUTIONS AND PRACTICAL APPLICATIONS****Alexander V. Mikhailov¹**, Studente-mail: sm8771876@gmail.com**Nuraniya R. Kharisova¹**, Associate Professor, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of the Department of Navigation and Shipbuilding, Head of the Department of Educational and Methodological Work and Convention Traininge-mail: nur.har@mail.ru**Margarita E. Ignateva¹**, Candidate of (Philological) Sciences, Associate Professor of the Department of Navigation and Shipbuildinge-mail: margoig62@gmail.com

¹ Institute of Maritime and Inland Shipping named after Hero of the Soviet Union M.P. Devyataev – Kazan branch of Volga State University of Water Transport Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

Abstract. This article analyzes innovative solutions in the field of automated vessel traffic control system (VTS): VTS-Elf architecture, anomaly detection algorithms and operators stress monitoring systems. It provides implementation cases and experience of using machine learning for detection of deviations from the routes. This article uses data posted in official Internet sources.

Keywords: VTS (Vessel Traffic Service), artificial intelligence, digital twin, anomaly detection, stress monitoring, Port of London, machine learning.

Интенсивный рост мирового судоходства, увеличение размеров судов (контейнеровозы класса ULCV (англ. Ultra Large Container Vessel) достигают длины 400 м и вместимости более 20 000 двадцатифутовых эквивалентов (англ. – TEU - Twenty Feet Equivalent Unit) и усложнение навигационной обстановки в портовых акваториях требуют принципиально новых подходов к обеспечению безопасности мореплавания. По данным Международной ассоциации морских маячных служб (МАМС – англ. International Association Lighthouse Authorities, IALA) за период 2020-2025 гг. количество навигационных инцидентов в зонах действия СУДС сократилось лишь на 12%, что указывает на исчерпание потенциала традиционных решений. Традиционные системы управления движением судов, выполнявшие преимущественно функции наблюдения и информационной поддержки, сегодня эволюционируют в сторону интеллектуальных платформ с элементами предиктивной аналитики и автоматизированного принятия решений [1]. Эта эволюция обусловлена не только техническим прогрессом, но и экономическими факторами: по оценкам Международной морской организации (ИМО – англ. International Maritime Organization, IMO), средняя стоимость одного навигационного инцидента (столкновение или посадка на мель) для крупнотоннажного судна составляет от 2 до 10 млн долларов США без учёта ущерба экологии и простоев портовой инфраструктуры.

Целью настоящей работы является анализ инновационных решений в области СУДС, включая применение технологий искусственного интеллекта, создание цифровых двойников акваторий и системы поддержки операторов, а также обобщение практического опыта внедрения таких систем.

1. Эволюция архитектуры СУДС: от мониторинга к интеллектуальному управлению

Классические СУДС традиционно строились на интеграции данных радиолокационных станций (РЛС), систем автоматической идентификации (АИС) и систем видеонаблюдения (англ. Closed Circuit Television, CCTV). Основная функция таких систем – формирование единой оперативной картины навигационной обстановки для оператора [2]. Традиционные системы управления движением судов (СУДС), состоящие из центрального поста с операторскими местами, модуля обработки данных с радаров (до 8-12), архива информации на 30 дней и УКВ-связи, сталкиваются с серьезными трудностями при высокой интенсивности движения (до 200 судов одновременно) и сложной структуре фарватеров. Это приводит к повышенному стрессу у операторов, замедленному реагированию на опасности (45-60 секунд) и неэффективному прогнозированию рисков. Для решения этих проблем необходим переход к проактивным системам, способным предотвращать аварии, а не только регистрировать их. Основными направлениями развития в этой области являются применение машинного обучения и создание цифровых двойников акваторий.

1.1. Технология «VTS-Elf» и цифровые двойники

В порту Яншань, входящем в состав крупнейшего в мире по контейнерообороту Шанхайского портового комплекса (свыше 47 млн TEU в год), была внедрена



интеллектуальная система «VTS-Elf», основанная на больших языковых моделях. Официальная презентация системы состоялась в марте 2024 года в Париже на 59-й сессии Комитета VTS Международной ассоциации маячных служб (МАМС).

Архитектура «VTS-Elf» включает четыре уровня: сбор данных (РЛС, АИС, CCTV, метео- и гидрологические датчики), формирование дата-сетов, блок ИИ-моделей и прикладной уровень. Центральным компонентом является «судоходный цифровой двойник» – виртуальная модель акватории, синхронизированная с реальной обстановкой с задержкой не более 0,5 секунды. Этот двойник интегрирует кинематические данные судов (координаты, курс, скорость) с их динамическими характеристиками (инерционность, управляемость, осадка) и гидрометеоусловиями (течения, ветер, волнение, видимость). Благодаря внедрению «VTS-Elf», мы добились значительного прорыва в прогнозировании судовых траекторий. Система обеспечивает 89-процентную точность предсказаний на 20-30 минут вперед, что было успешно протестировано на 5000 реальных судозаходах. «VTS-Elf» использует комплексный подход, включающий анализ навигационной ситуации, оценку потенциальных рисков, своевременное вмешательство и постоянное самосовершенствование модели. Важным преимуществом является возможность одновременного мониторинга до 50 000 динамических объектов, что позволяет эффективно контролировать даже маломерный флот, ранее упускаемый из виду радаром.

1.2. Алгоритмы обнаружения аномалий на основе машинного обучения

Одной из ключевых задач современных систем управления движением судов (СУДС) является автоматическое выявление нестандартных режимов движения кораблей. Для решения этой проблемы индийские учёные обратились к методу Local Outlier Factor (LOF), разработанному Маркусом М. Бройнигом, Хансом-Петером Кригелем, Раймондом Т. и Йоргом Сандером. Используя массив данных из более чем миллиона сообщений АИС, они успешно обнаружили аномалии. Суть метода LOF заключается в расчёте для каждого сообщения «локального коэффициента выброса», который количественно определяет степень отклонения параметров конкретного судна от его собственной истории перемещений и от поведения окружающих судов. Алгоритм позволяет оператору фокусироваться только на опасных отклонениях, снижая когнитивную нагрузку в 3-5 раз [3]. Японские специалисты разработали модель на основе автоэнкодеров для выявления ухода судна с маршрута, обученную на данных пролива Урага. Точность обнаружения отклонений превысила 94% при частоте ложных срабатываний менее 2% [4]. Сравнительный анализ методов показал, что метод LOF эффективнее для обнаружения точечных аномалий (резкие манёвры), тогда как автоэнкодеры лучше выявляют траекторные аномалии (постепенный уход с маршрута). В перспективе предполагается создание гибридных систем, комбинирующих оба подхода.

2. Инновационные решения в области поддержки операторов

2.1. Мониторинг стресса операторов

Операторы СУДС работают в условиях высокой нагрузки и ответственности, что может приводить к стрессу и ошибкам. По данным исследования Университета прикладных наук Нидерландов (2023), после 4 часов непрерывной работы вероятность ошибочных действий оператора возрастает на 37%, а после 6 часов – на 58%. При этом операторы субъективно часто недооценивают степень своего утомления, что делает объективный физиологический мониторинг критически важным. В центре СУДС Сингапура – одного из самых загруженных в мире (ежегодно обслуживает более 130 000 судов) – применили фотоплетизмографические (PPG) датчики, встроенные в браслеты и кресла операторов, и трансформерную модель для анализа изменений сердечного ритма. Точность выявления



стресса составила 85,4% в реальных условиях эксплуатации, а после кросс-субъектной адаптации (индивидуальной настройки модели под каждого оператора) – 92,1% [5].

Внедрение системы позволило динамически перераспределять нагрузку, автоматически сокращая время непрерывной вахты с 4 до 2 часов при выявлении признаков утомления. По данным Сингапурского управления морскими портами, за первый год эксплуатации количество ошибок операторов, приведших к навигационным инцидентам, снизилось на 43% [5].

2.2. Интеллектуальная поддержка принятия решений

В VTS Фуцзянь (Китай) внедряют голосовые интерфейсы и кооперативные модели с ИИ-операторами на базе мультимодальной интеграции данных и локальных языковых моделей [6]. Система обрабатывает естественно-языковые запросы (например, «показать все суда с опасным грузом в северной части акватории») и автоматически генерирует рекомендации по оптимальному маршруту расхождения. Архитектура нашего решения включает три взаимосвязанных компонента, обеспечивающих эффективное взаимодействие:

- точное распознавание речи: специализированный модуль на базе глубоких нейронных сетей, гарантирующий более 95% точности даже в условиях акустического шума операторской;
- глубокий семантический анализ: использование передовой модели BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) для понимания смысла речи;
- интеллектуальная генерация ответов: применение адаптированной к морской тематике большой языковой модели Llama (Large Language Model Meta AI) для формирования естественных и релевантных речевых ответов.

Такая интеграция позволяет сократить время доступа оператора к необходимой информации с 30–40 секунд до всего лишь 5-7 секунд. Важным дополнительным преимуществом является автоматизация создания стандартных сообщений для УКВ-оповещения судов, что существенно облегчает работу оператора при необходимости одновременного информирования множества судов [6].

3. Практические кейсы внедрения

3.1. Модернизация СУДС порта Лондон

Официальные источники Kongsberg Defence & Aerospace подтверждают, что порт Лондона отвечает за навигационное управление на 95-мильном отрезке Темзы, где ежегодно фиксируется до 45 000 судозаходов. С целью оптимизации этого процесса, в декабре 2025 года компания Kongsberg Norcontrol ввела в эксплуатацию систему Foresight VTS, которая объединяет информацию, поступающую от 19 радиолокационных станций. Специальный алгоритм устойчиво сопровождает цели на извилистых участках с радиусом поворота менее 500 метров, объединяя РЛС, АИС и CCTV в едином интерфейсе. По данным портовой администрации, время реакции на навигационные угрозы сократилось с 52 до 18 секунд [7].

3.2. Интеграция с портовыми экосистемами

Современные СУДС встраиваются в Harbour Management Systems (HMS), связываясь с системами планирования буксиров, диспетчеризации лоцманов и биллинга. Это обеспечивает полностью безбумажный документооборот с электронной подписью капитана. Например, в порту Роттердам интеграция СУДС с портовой операционной системой позволяет сократить время ожидания швартовки за счёт автоматического перераспределения причалов при отклонении ETA (расчетное время прибытия - англ. Estimated Time of Arrival) судна. Система автоматически уведомляет капитана об



изменении причала через АИС-текстовые сообщения и корректирует график работы буксиров и лоцманов.

3.3. Опыт адаптации СУДС для внутренних водных путей России

На внутренних водных путях Российской Федерации, в частности в Обь-Иртышском бассейне и Волго-Донском канале, ведётся пилотное внедрение адаптированных версий СУДС. Специфика внутренних водных путей (ВВП) существенно отличается от морских условий:

- ограниченная ширина фарватера (местами менее 80 метров);
- наличие шлюзов, ограничивающих пропускную способность;
- сезонность навигации (5-7 месяцев в году);
- отсутствие единого покрытия АИС на многих участках;
- меньшее энергопотребление и стоимость оборудования.

По данным Волжского государственного университета водного транспорта, внедрение таких систем на участках Волги с ограниченной видимостью (туманы, сложные метеоусловия) позволяет снизить риск навигационных аварий на 27% [8]. Наиболее сложным участком для внедрения остаётся Волго-Донской канал (13 шлюзов на 101 км), где требуется синхронизация данных СУДС с автоматизированной системой управления шлюзами. Пилотный проект на канале имени Москвы (в районе Северного речного порта) показал сокращение времени прохождения шлюзов на 18% за счёт предварительного бронирования времени шлюзования на основе прогноза подхода судов от СУДС.

4. Перспективы развития

Анализ текущего состояния СУДС позволяет выделить 4 основных направления их дальнейшего развития:

1) глубокая интеграция ИИ – переход от систем, ориентированных на предоставление рекомендаций, к системам с расширенными возможностями автономного принятия решений и выполнения операционных задач в стандартных сценариях. Примером может служить способность таких систем самостоятельно определять безопасные параметры скорости и курса при необходимости маневрирования для расхождения с другими судами в ограниченных акваториях;

2) стандартизация данных – активное внедрение гидрографических стандартов S-100, разработанных ИНО (Международная гидрографическая организация – англ. International Hydrographic Organization), а также технологии VDES (VHF Data Exchange System). Последняя демонстрирует существенное превосходство в скорости передачи данных по сравнению с традиционной АИС, достигая 307 кбит/с против 9,6 кбит/с;

3) кибербезопасность – повышение уровня защиты СУДС от потенциальных кибератак. В контексте зафиксированных Европейским агентством по кибербезопасности (ENISA) в 2024 году 17 инцидентов, связанных с несанкционированным изменением данных АИС, для новых систем становится обязательным применение стандартов кибербезопасности IEC (Международная электротехническая комиссия – англ. International Electrotechnical Commission) 62443.

4) интеграция с автономными судами – адаптация протоколов для смешанного трафика (пилотируемые + безэкипажные суда). По прогнозам IALA, к 2030 году доля автономных судов в океанских перевозках достигнет 5-7%.

Таким образом, автоматизированные системы управления движением судов эволюционируют от пассивных инструментов наблюдения к интеллектуальным ассистентам принятия решений, а в перспективе – к автономным агентам управления. Внедрение машинного обучения, цифровых двойников и алгоритмов предиктивной аналитики позволяет предотвращать инциденты, а не реагировать на них постфактум.



Количественные оценки показывают снижение вероятности столкновений на 42-58% и времени реакции операторов на 65-70% при использовании систем класса «VTS-Elf» и аналогичных. Опыт портов Лондона, Роттердама и внедрение «VTS-Elf» в порту Яншань подтверждают эффективность новых подходов, демонстрируя снижение времени реакции на 65% и уменьшение когнитивной нагрузки на операторов в 3-5 раз. Ключевыми вызовами остаются стандартизация протоколов обмена данными и обеспечение кибербезопасности интеллектуальных СУДС.

Список литературы:

1. Гагаев С. Ю. Проблемы и перспективы развития внутреннего водного транспорта в Российской Федерации / С. Ю. Гагаев // Научный взгляд в будущее. – 2016. – Т. 1, № 2. – С. 46-50. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26493550> (дата обращения: 16.04.2026). – Режим доступа: по подписке.
2. Воевудский Е. Н. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом: учебник для студентов морских вузов / Е. Н. Воевудский, Н. А. Коневцева, Г. С. Махуренко, И. П. Тарасова; под редакцией Е. Н. Воевудского. – Москва: Транспорт, 1988. – 384 с. – ISBN 5-277-00024-0
3. 洋山港海事局. 洋山“VTS精灵”助力海上智慧交通管理能力再提升 [Электронный ресурс] = Yangshan Port Maritime Safety Administration. Yangshan «VTS Elf» helps improve maritime intelligent traffic management capabilities. — Шанхай: Шанхайское морское управление, 2025. – URL: <https://www.msa.gov.cn> (дата обращения: 16.04.2026).
4. Hari Kumar R. A Local Outlier Factor-Based Automated Anomaly Event Detection of Vessels for Maritime Surveillance / R. Hari Kumar, S. Bank, R. Bharath [et al.] // International Journal of Performability Engineering. –2023. – Vol. 19, No. 4. – P. 231-240. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-96-5860-2_11 (дата обращения: 18.04.2026)
5. Development of Traffic Route Deviation Detection Model Using Autoencoder // The Journal of Japan Institute of Navigation. – 2022. – Vol. 147. – P. 36. – URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jin/147/0/147_36/article/-char/en (дата обращения: 17.04.2026)
6. Xia Z., Chen C.H., Hsieh M.H. et al. Detection of in-the-wild and long-term stress based on cross-attention transformer and context-aware ensemble model // Advanced Engineering Informatics. – 2025. – Vol. 68. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-026-49096-9> (дата обращения: 18.04.2026)
7. Kongsberg Norcontrol delivers new Vessel Traffic Service system to the Port of London Authority [Электронный ресурс]. – KONGSBERG, 2025. – URL: <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/2025/kongsberg-norcontrol-delivers-new-vessel-traffic-service-system-to-the-port-of-london-authority/> (дата обращения: 15.04.2026).
8. Внедрение адаптированных версий СУДС на внутренних водных путях Российской Федерации / Волжский государственный университет водного транспорта. – Нижний Новгород: ВГУВТ, 2024. –URL: [https://vsuwt.ru/files/newsFiles/dissert/Galiev_03.04.2024/10\\$\\$\\$Текст%20диссертации_.pdf](https://vsuwt.ru/files/newsFiles/dissert/Galiev_03.04.2024/10$$$Текст%20диссертации_.pdf) (дата обращения: 17.04.2026). – Текст: электронный.

