

ANALYSIS OF THE FEATURES OF REMOTE CONTROL OF A MARINE AUTONOMOUS SURFACE SHIP IN PORT WATERS USING CONVENTIONAL NAVIGATION TECHNICAL MEANS

A. V. Bryliakov

Admiral Ushakov Maritime University,
Novorossiysk, Russian Federation

The article analyzes the peculiarities of remote control of a marine autonomous surface ship in port waters using data obtained from conventional navigational technical means. It highlights that for the effective operation of an automated navigation system controlling a marine autonomous surface ship, a monitoring system must be developed. This system's task is to collect data from the technical means of the controlled object in real-time, analyze them, and subsequently determine and forecast the ship's condition (safe or unsafe) with necessary reliability. Based on these results, possible scenario variants are formed to ensure vessel safety, aiding the automated navigation system or external captain in making optimal decisions. Differences between controlling a classical vessel with a crew on the navigation bridge and remotely controlling an autonomous surface vessel by an external captain under port conditions are presented. The accuracy of classical navigation tasks is calculated based on international and national requirements for measuring capabilities of conventional navigational equipment in relation to remote control without detailing individual equipment models' characteristics. A comparison of the obtained calculation results with international and national safety requirements is made, identifying weaknesses in current technologies and providing recommendations for improving navigation data quality to successfully perform ship-to-ship operations in remote control mode within port waters. The importance of developing new technologies for autonomous ship control to overcome existing navigation aids' shortcomings and enhance safety in port conditions is emphasized.

Key words: port waters, autonomous ship navigation, sea watch, remote control, navigational technical aids, maritime safety, full functional equivalence.

For citation:

Bryliakov, Andrei 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.

УДК: 656.61.052

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИМ АВТОНОМНЫМ НАДВОДНЫМ СУДНОМ В ПОРТОВЫХ ВОДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНВЕНЦИОНАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

А. В. Брыляков

Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, Российская Федерация

Работа посвящена анализу особенностей дистанционного управления морским автономным надводным судном в портовых водах с использованием данных, полученных от конвенционных навигационных технических средств. Отмечается, что для эффективной работы автоматизированной навигационной системы управления морским автономным надводным судном необходимо развивать систему мониторинга. Задачей этой системы является сбор данных с технических средств управляемого объекта в режиме реального времени, их анализ с последующим определением и прогнозированием состояния судна (безопасное оно или нет) с необходимой достоверностью. На основе этих результатов формируются

возможные варианты сценариев для поддержания безопасности судна, что помогает принять оптимальное решение автоматизированной навигационной системе или внешнему капитану. Приведены отличия в управлении классическим судном с экипажем на навигационном мостике от дистанционного управления морским автономным надводным судном внешним капитаном в условиях порта. Выполнен расчет точности решения классических задач судовождения на основе международных и национальных требований к измерительным возможностям только конвенционной навигационной аппаратуры применительно к дистанционному управлению, без детализации характеристик отдельных моделей оборудования. Выполнено сравнение полученных результатов расчетов с международными и национальными требованиями по безопасности мореплавания, позволяющее выявить слабые места в используемых технологиях и разработать рекомендации по улучшению качества навигационных данных для успешного выполнения морских операций типа судно – судно в дистанционном режиме управления в портовых водах. Отмечается важность разработки новых технологий для автономного управления судном, которые смогут компенсировать недостатки существующих навигационных средств и повысить безопасность мореплавания в портовых условиях.

Ключевые слова: портовые воды, автономное судовождение, ходовая вахта, дистанционное управление, навигационные технические средства, обеспечение безопасности мореплавания, полная функциональная эквивалентность.

Для цитирования:

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. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-195-207. — EDN GRSFHH.

Введение (Introduction)

Правительство Российской Федерации заинтересовано в развитии отечественных технологий. В связи с этим, в соответствии с дорожной картой «Маринет», с 2016 г. активно разрабатываются технические средства автономного (бэзэкипажного) судовождения с целью их внедрения на грузовых судах гражданского флота¹. Технологии автоматизации движения судна по маршруту были реализованы в судовых автопилотах в начале 1990-х гг. [1]. Практика применения такого управления движением судна по заданному маршруту не нашла применения, так как она способствовала ослаблению контроля несения ходовой вахты и, как следствие, косвенно явилась причиной увеличения числа морских аварий.

К новым инновационным технологиям в процессе решения вопроса автономности судов [2] предъявляются требования о соблюдении общих правил обеспечения безопасности мореплавания по принципу *полной функциональной эквивалентности*. Эти требования направлены на то, чтобы реализованные технологии автономного судовождения были идентичны в основных функциональных возможностях классическому судовождению (судам с экипажем на борту) с соблюдением Международных правил предупреждения столкновения с судами (МППСС-72) независимо от навигационной обстановки и погодных условий, потери спутникового позиционирования или связи с внешним постом управления, чтобы они имели возможность распознавания навигационных опасностей и т. д.

В литературе, посвященной безэкипажному судовождению [2]–[4], [7], рассмотрены методы автономного управления судами (в зависимости от категории автономности) применительно к их автоматизированному плаванию по запланированному маршруту с выполнением условий безопасности мореплавания. Таким образом, работа исследователей и разработчиков направлена на то, чтобы морские автономные надводные суда (МАНС) в дистанционном или автономном режиме управления соблюдали безопасную дистанцию при движении с другими надводными объектами и навигационными опасностями. Однако выполнение указанных условий рассматривается преимущественно для плавания в открытом море на относительно больших дистанциях от навигационных опасностей.

¹ План мероприятий («Дорожная карта») «МариНет» Национальной технологической инициативы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://nti2035.ru/markets/docs/DK_marinet.pdf (дата обращения: 26.11.2024).

Целью данной работы является анализ особенностей дистанционного управления МАНС (3-й категории автономности) в портовых водах при условии использования данных, полученных от конвенционных навигационных технических средств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выделить отличия в управлении судном на классическом экипажном навигационном мостике от дистанционного управления МАНС (3-й категории автономности) *внешним капитаном* в условиях порта.
2. На основе международных и национальных требований к измерительным возможностям навигационной аппаратуры выполнить расчет точности классических задач судовождения, которые должны выполняться дистанционно, без детальных характеристик конкретных моделей разных производителей.
3. Сравнить полученные результаты расчетов с международными и национальными требованиями к навигационной безопасности мореплавания.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Выполнение задач необходимо начать с детального рассмотрения МАНС. Новые методы управления получили возможность реализации благодаря установке на судах навигационных оптических систем видеонаблюдения, позволяющих автоматизировать непрерывное визуальное наблюдение за окружающей обстановкой в соответствии с правилами МППСС-72. При этом основными источниками о навигационной обстановке вокруг управляемого судна являются конвенционные технические средства, утвержденные правилами РМРС и ИМО². Переход к автоматизации управления происходит поэтапно непосредственно под контролем человека, поэтому безэкипажное судовождение сначала рассматривается в дистанционном режиме, а затем в автономном в соответствии с НД № 2–030101–037 «Положение по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС). — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2020. — 96 с. и публикацией [5]. Примером такого внедрения технологий являются грузовые МАНС, способные маневрировать в автономном или дистанционном режиме управления в открытом море от ТВЛ одного порта до ТВЛ другого [4].

Вне зависимости от категории автономности или наличия людей на борту, автономное судно является самоходным судном, процессы управления движением которого не требуют непрерывной ходовой вахты³. Отсутствие постоянного контроля человека за процессом движением судна в основном реализуется за счет возложения обязанностей несения вахты на автоматизированную навигационную систему (АНС).

Анализ научной литературы, посвященной АНС, в частности «Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС)» НД № 2–030101–037. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2020. — 96 с., и библиографических источников [4]–[7], показывает, что на АНС возложено выполнение следующих функций в автоматическом режиме:

- контроль и анализ окружающей обстановки;
- планирование и следование по маршруту в место назначения;
- маневрирования с учетом положений МППСС-72 и навигационных опасностей.

Для реализации указанных функций в аппаратной части АНС должна обладать дополнительными возможностями. Например, автоматизированное маневрирование судна с целью расхождения с другим судном связано с такими процессами в АНС, как генерация альтернативных решений (траекторий) и, как следствие, выбор окончательного маневра (принятия конкретного решения).

² Правила по оборудованию морских судов, ч. V. Навигационное оборудование. СПб.: Российский морской регистр судоходства. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules> (дата обращения: 27.11.2024).

³ Российская Федерация. Законы. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации: Федеральный закон № 81-ФЗ [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916/?ysclid=m56qzjb4fn451640431 (дата обращения: 27.11.2024).

Очевидно, что любая реализация АНС является следующим шагом в развитии систем поддержки принятия решения (СППР). В научных работах [8], [9], посвященных исследованию СППР, выделяют их слабое место в процессе технической реализации — *систему мониторинга*, основной задачей которой является то, чтобы в процессе получения информации от внешних и внутренних датчиков в режиме реального времени непрерывно анализировать текущую обстановку с целью оценки и прогнозирования состояния судна (опасное или безопасное) с необходимой достоверностью (точностью и дискретностью). Результаты работы системы мониторинга оказывают влияние на формирование альтернативных решений по обеспечению безопасности судна и, в итоге, на принятие окончательного решения.

На основании ранее изложенного необходимо проанализировать требования, предъявляемые к системе мониторинга автономного судна (3-я категория автономности) при дистанционном управлении в портовых водах. Особое внимание следует уделить дискретности и точности информации о текущей навигационной обстановке, вырабатываемой этой системой автономного судна.

Основные отличия в условиях плавания в портовых водах и в открытом море:

1. *Стесненные условия плавания* — инфраструктура, якорные места, оживленный трафик пассажирских, грузовых, специализированных и вспомогательных судов разного тоннажа, совместный с навигационными опасностями на относительно близкой дистанции судов друг от друга.

2. *Наличие локальных правил плавания* — местные правила могут иметь отличие от международных и должны быть заранее учтены в АНС.

3. *Увеличение рисков плавания* — любое изменение в навигационной обстановке во время следования в портовых водах значительно усиливает влияние рисков на судно относительно открытого моря.

4. *Локальные гидрометеорологические условия* — наличие местных уникальных погодных явлений и переменчивое влияние ветра, течения, приливов в разных районах одного порта.

5. *Операции*. Порт — это защищенное и оборудованное место для различных взаимодействий: *судно – берег, судно – судно*. Поэтому применительно к теме автономного судовождения необходимо исходить не только из задач следования в стесненных условиях и динамичной среды с соблюдением безопасной дистанции с другими объектами, но и рассматривать требования для автоматизации взаимодействия *судно – судно, судно – берег*.

Указанные условия определяют необходимость усиления ходовой вахты в классическом судовождении. Если на судне с экипажем на борту во время прохода в портовых водах все слабые места навигационного оборудования компенсируются хорошей морской практикой и опытом экипажа, то для автономного плавания необходимо устранить подобные недостатки в технических средствах, которые вызывают споры в вопросах реализации автономного судовождения.

Отличие в назначении навигационных средств для судов с экипажем на борту и без него заключается в том, что измерительные приборы на классическом навигационном мостике предназначены для предоставления информации лицу, принимающему решения (ЛПР), в целях оказания помощи в более детальной оценке навигационной обстановки. Принятие решения и дальнейшее управление судном производится исходя из опыта и восприятия экипажа на борту. Под восприятием подразумевается способность людей чувствовать инертные характеристики судна, такие как тормозной путь, время реакции на изменение курса или скорости, а также отслеживать изменения окружающей обстановки, включая движение других судов, навигационные опасности и погодные условия. Такое восприятие основывается на собственных чувствах людей, таких как зрительное наблюдение, ощущение движения, слуховое восприятие и способность предвидеть возможные ситуации. При дистанционном управлении МАНС бортовые технические средства должны передавать в центр дистанционного управления (ЦДУ) информацию

о состоянии управляемого объекта для *внешнего капитана* в удобном и наглядном виде, чтобы ЛПР ЦДУ мог адекватно анализировать в реальном времени происходящие изменения навигационной обстановки, прогнозировать последствия своего действия или бездействия и оперативно реагировать на нештатные ситуации.

Основной задачей судовождения является обеспечение безопасного, эффективного и экономичного перемещения судна из одного пункта в другой. В рамках управления движением судовождение включает следующие задачи: точность позиционирования, контроль местоположения и движения судна, обеспечение навигационной безопасности судна.

Точность позиционирования. Резолюция ИМО А. 1046 (27) определяет нормативные требования к точности координат при наличии на судне радионавигационных систем. Согласно этой резолюции ИМО, допустимая величина погрешности определения места в стесненных водах составляет не более 10 м с вероятностью 0,95, а интервал дискретности обновления координат — не более 2 с. Национальными правилами РМРС⁴ применительно к автономным судам установлены требования к точности позиционирования при маневрировании в порту, равной 1 м.

В современном гражданском судовождении основными источниками позиционирования, которые могут соответствовать международным и национальным требованиям, являются:

1. *Глобальные навигационные спутниковые системы* (ГНСС). Приемник ГНСС, согласно документам^{5, 6}, работе [5], данным Мореходных таблиц (МТ-2000). № 9011. — СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. — 576 с., способен определять позицию с погрешностью 13–36 м в стандартном режиме и 1–5 м в дифференциальном.

2. *Радиолокационная станция* (РЛС). Правилами MSC.192(79) и РМРС⁷ установлены следующие требования к работе радара:

- результаты измерения дистанции должны иметь погрешность не более 30 м или 1 % от максимального значения используемой шкалы дальности в зависимости от того, что больше;
- пеленг с погрешностью не более 1°.

Точность определения места судна (ОМС) с помощью радара рассчитывается с помощью радиальной средней квадратичной погрешности M_o и зависит от следующих факторов:

- дистанции до ориентиров D ;
- взаимного расположения ориентиров относительно судна;
- средней квадратичной погрешности навигационного параметра (СКП НП) пеленга m_n или дистанции m_D , а также способов ОМС (см. *Дмитриев В. И.* Навигация и лоция: учеб. для студентов (курсантов), обучающихся по специальности 240200 «Судовождение» в вузах водного транспорта. — М.: Академкнига, 2004. — 471 с.):
- по трем дистанциям:

$$M_o = \frac{\sqrt{3}m_D}{\sqrt{\sin^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_2 + \sin^2 (\theta_1 + \theta_2)}}, \quad (1)$$

где θ — углы пересечения между линиями положения (ЛП);

⁴ НД № 2–030101–037. Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС). СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2020. 96 с.

⁵ The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA): [сайт]. URL: <https://www.iala.int> (дата обращения: 27.11.2024).

⁶ Руководство по эксплуатации «NavCom Gamma 10П». НАДС.468137.030РЭ. [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://navmarine.ru/wa-data/public/site/documents/gnss/navcom_gamma_10_p_re_210524.pdf (дата обращения: 26.11.2024).

⁷ Правила по оборудованию морских судов, ч. V. Навигационное оборудование. СПб.: Российский морской регистр судоходства. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules> (дата обращения: 27.11.2024).

– по трем пеленгам:

$$M_o = \frac{m_n^0}{57,3} \sqrt{\frac{D_1^2 D_2^2 + D_2^2 D_3^2 + D_3^2 D_1^2}{D_1^2 \sin^2 \alpha + D_2^2 \sin^2 \beta + \sin^2(\alpha + \beta)}}, \quad (2)$$

где α, β — углы между пеленгами;

– по пеленгу и дистанции:

$$M_o = \sqrt{\left(\frac{m_n^0 D}{57,3}\right)^2 + m_D^2}. \quad (3)$$

Для сравнения точности позиционирования с помощью морского радара указанными способами зададим следующие параметры:

- СКП радиолокационного пеленга $m_n = 1^\circ$, в соответствии с требованиями ИМО и средним значением, согласно табл. 4.3 МТ-2000;
- углы α, β, θ между пеленгами и между ЛП имеющие оптимальное значение, равное 60° ;
- СКП дистанции m_D радара, которая может трактоваться по-разному или исходя из практики в соответствии с требованиями либо на основе теории и следующих возможностей радара: $m_D = 30$ м или 1 % от используемой шкалы дальности, в зависимости от того что больше^{8,9}; $m_D = 0,005D$ (см. Мореходные таблицы (МТ-2000). № 9011. — СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. — 576 с.).

Таким образом, получим следующие графики зависимости радиальной СКП ОМС от дистанции до ориентиров до 4 миль, так как рассматриваем плавание в портовых водах (рис. 1, табл. 1).

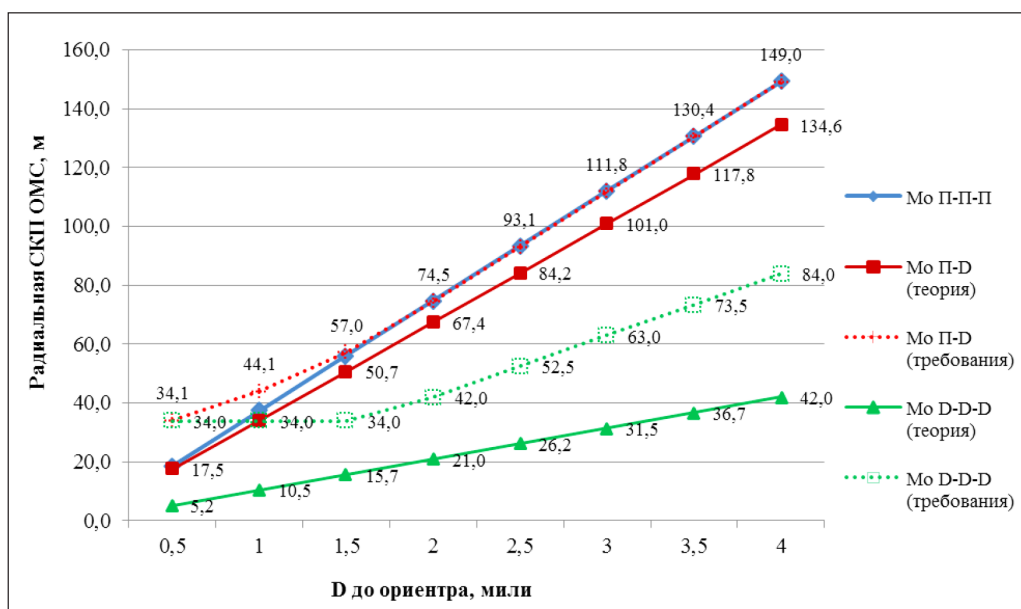


Рис. 1. Зависимость радиальной СКП ОМС от дистанции до ориентиров

⁸ Resolution MSC.192(79). Adoption of the revised performance standards for radar equipment. IMO, 2004 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MS.C.192\(79\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MS.C.192(79).pdf) (дата обращения: 27.11.2024).

⁹ Правила по оборудованию морских судов, ч. V: Навигационное оборудование. СПб.: Российский морской регистр судоходства. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules> (дата обращения: 27.11.2024).

Таблица 1

Зависимость радиальной СКП ОМС от дистанции до ориентиров

Дистанция до ориентира, мили	M_o п-п-п (радиочастотные пеленги), м	M_o п-п-п (визуальные пеленги), м	M_o п-Д (теория), м	M_o п-Д (требования), м	M_o D-D-D (теория), м	M_o D-D-D (требования), м
0,5	18,7	9,3	17,5	34,1	5,2	34,0
1,0	37,3	18,7	34,0	44,1	10,5	34,0
1,5	56,0	28,0	50,7	57,0	15,7	34,0
2,0	74,6	37,3	67,4	74,5	21,0	42,0
2,5	93,3	46,7	84,2	93,1	26,2	52,5
3,0	112,0	56,0	101,0	111,8	31,5	63,0
3,5	130,6	65,3	117,8	130,4	36,7	73,5
4,0	149,3	74,6	134,6	149,0	42,0	84,0

На судах используется СКП пеленга $m_n = 0,5^\circ$, так как согласно требованиям *хорошей морской практики* при верификации позиции пеленг определяется визуально, а дальность — с морского радара. На рис. 1 показан график при СКП радиопеленга $m_n = 1^\circ$ для того, чтобы показать радиальную погрешность позиции при дистанционном определении местоположения МАНС с помощью радара.

Контроль местоположения и движения судна является ключевой задачей судовождения, обеспечивающей безопасное управление судном в реальном времени. Эта задача заключается в постоянном отслеживании координат, курса, скорости и траектории перемещения с использованием современных навигационных средств. Особенность ее состоит в том, что информация о местоположении и движении должна обновляться максимально быстро, чтобы оставаться актуальной, особенно в сложных условиях, таких как узкости или высокая плотность судоходства. Эффективность методов оценивается по точности определения координат, времени их получения и частоте обновления данных. Для выполнения данной задачи применяются различные технические средства, каждое из которых имеет свои особенности и преимущества:

1. *ГНСС*. Согласно публикациям [5], [10] известно, что аппаратура ГНСС позволяет получать непрерывные координаты с дискретностью не более 1 с, что дает возможность в режиме онлайн контролировать элементы движения судна в абсолютных значениях: *Latitude, Longitude, Course over Ground (COG), Speed over Ground (SOG)* и др.

2. *РЛС*. Известные ускоренные лоцманские методы с помощью морского радара позволяют непрерывно контролировать элементы движения судна относительно выбранного ориентира (без вычисления координат) с точностью в зависимости от выбранного НП (рис. 2):

$$m_{\text{ЛП}} = \frac{m_n}{g}, \quad (4)$$

где $m_{\text{ЛП}}$ — СКП линии положения;

m_n — СКП измеренного НП;

g — градиент НП.

Для радиолокационного пеленга: $m_n = 1,0^\circ$; $g_n = \frac{57,3}{D}$.

Для радиолокационной дистанции: $m_n = 0,005D$; $g_D = 1,0$.

Для параллельного индекса (PI): $m_{\text{ЛПИ}} = \sqrt{m_D^2 + \left(\frac{Dm_n}{57,3}\right)^2}$.

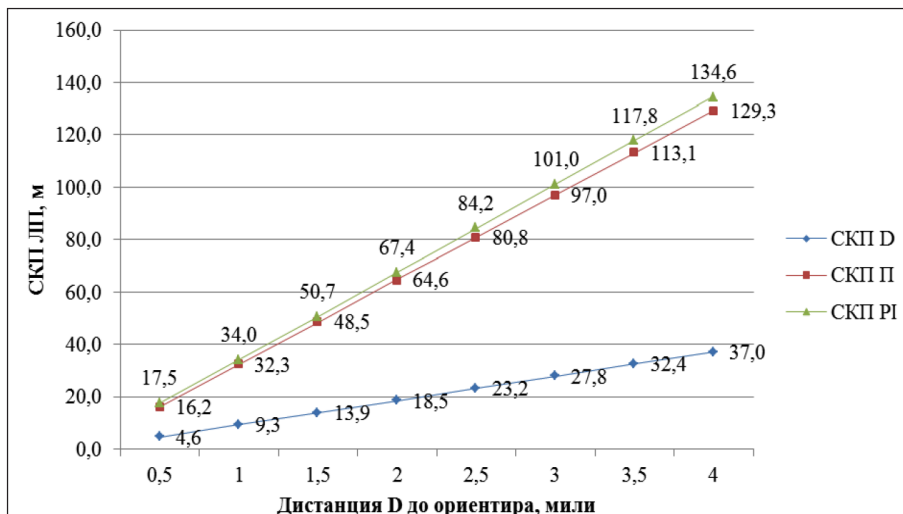


Рис. 2. СКП НП морского радара [10]

Следует отметить, что в современных ECDIS существует функция *Echo Reference*, с помощью которой можно захватить наложенный на электронную карту эхо-сигнал радара и получать рассчитанные координаты своего судна, при этом все указанные погрешности от РЛС будут сохраняться.

3. *Dead Reckoning* (счисление) — автоматизированная функция в ECDIS. Данная функция зависит от точностных характеристик лага, курсоуказателя и точности начальной обсервации. Данная опция ECDIS будет непрерывно определять и отображать координаты, погрешность которых находится в зависимости от времени согласно формуле МТ-2000:

$$M_c = \sqrt{M_o^2 + M_c^2(t)}, \quad (5)$$

где M_c — РСКП текущего счислимого места судна;

M_o — РСКП исходного обсервованного места судна;

$M_c(t)$ — РСКП счисления в зависимости от времени от исходной обсервации, определяемой по формуле

$$M_c(t) = \begin{cases} 0,7K_c & \text{при } t \leq 2^u; \\ K_c \sqrt{t} & \text{при } t > 2^u, \end{cases} \quad (6)$$

где K_c — коэффициент точности счисления можно взять из табл. 4.9а МТ-2000 или рассчитать по формуле

$$K_c = 0,01 \sqrt{K_{пу}^2 + K_v^2 + K_{K_r}^2 + K_{v_r}^2}, \quad (7)$$

где $K_{пу}$ — коэффициент погрешности направления движения судна относительно воды;

K_v — коэффициент погрешности скорости движения судна относительно воды;

K_{K_r} — коэффициент погрешности направления действующего течения;

K_{v_r} — коэффициент погрешности скорости действующего течения.

Для анализа, принимая значение $K_c = 0,1$ согласно МТ-2000 в качестве оптимального коэффициента и взяв изначальную обсервацию от разного оборудования, составим табл. 2.

Таблица 2

Зависимость счислимого места от времени и начальной обсервации

M_o (изначальная обсервация)		K_c	t , мин	$M_c(t)$, м	M_c , м
Источник	Точность, м				
DGNSS	1–3	0,1	1–3	2,2–8,6	2,4–8,7
РЛС	5,2–10,0	0,1	1–3	2,2–8,6	5,6–10,1

Обеспечение навигационной безопасности судна. На мостике обеспечение навигационной безопасности судна выполняется за счет постоянного наблюдения, оценки опасности столкновения и маневрирования с целью взаимодействия с другими объектами. Не учитывая данные, нанесенные на навигационные карты (глубины, изобаты, СНО и т. д.), для получения информации об окружающих надводных объектах вокруг судна и ее оценки используют следующие автоматизированные средства:

1. *РЛС*. На основе обработки радиолокационной информации система автоматической радиолокационной прокладки (САРП) способно определять параметры движения надводных целей и сближения с ними. Согласно Резолюции MSC.192(79) и правилам РМРС¹⁰, предъявляемым к РЛС и САРП, установлены следующие требования, представленные в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Требования к минимальной дальности обнаружения РЛС

Описание цели ¹	Характеристика цели, высота над уровнем моря, м	Дальность обнаружения, мили ²	
		Диапазон 3 см	Диапазон 10 см
Береговая черта	Возвышение до 60 м	20,0	20,0
Береговая черта	Возвышение до 6 м	8,0	8,0
Береговая черта	Возвышение до 3 м	6,0	6,0
Суда валовой вместимостью > 5000	10,0	11,0	11,0
Суда валовой вместимостью > 500	5,0	8,0	8,0
Маломерное судно с радиолокационным отражателем ³	4,0	5	3,7
Навигационный буй с угловым отражателем ⁴	3,5	4,9	3,6
Навигационный буй ⁵	3,5	4,6	3,0
Маломерное судно длиной 10 м без радиолокационного отражателя ⁶	2,0	3,4	3,0

¹ Радиолокационные отражатели рассматриваются как точечные цели, суда — как сложные цели, а береговая черта — как распределенные цели (указано среднее возвышение скалистой береговой черты с учетом ее профиля).

² Допускается изменение дальности обнаружения в зависимости от различных факторов, таких как атмосферные условия, скорости цели, ее ракурса, материала и конструкции корпуса цели.

³ Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) радиолокационного отражателя должна быть: 7,5 м² — для диапазона 3 см и 0,5 м² — для диапазона 10 см.

⁴ ЭПР углового отражателя должна быть: 10 м² — для диапазона 3 см и 1 м² — для диапазона 10 см.

⁵ Навигационный буй должен иметь ЭПР: 5 м² — для диапазона 3 см и 0,5 м² — для диапазона 10 см.

Для биев ограждения фарватера и имеющих ЭПР 1,0 м² (в диапазоне 3 см) и 0,1 м² (в диапазоне 10 см) при высоте 1 м их дальность обнаружения должна быть 2,0 и 1,0 мили соответственно.

⁶ ЭПР маломерного судна длиной 10 м должна быть: 2,5 м² для диапазона 3 см и 1,4 м² — для диапазона 10 см.

¹⁰ Правила по оборудованию морских судов, ч. V: Навигационное оборудование. СПб., Российский морской регистр судоходства. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules> (дата обращения: 27.11.2024).

Таблица 4

Погрешности определения параметров движения целей САРП РЛС (с вероятностью 95 %)

Время сопровождения, мин	Относительный курс, град.	Относительная скорость, уз	$D_{кр}$, мили	$T_{кр}$, мин	Истинный курс, град.	Истинная скорость, уз
1 мин — тенденция движения	11	1,5 или 10 % (в зависимости от того, что больше)	1	—	—	—
3 мин — перемещение цели	3	0,8 % или 1 % (в зависимости от того, что больше)	0,3	0,5	5	0,5 или 1 % (в зависимости от того, что больше)

Допускается значительное ухудшение точности определения параметров движения цели при соблюдении следующих условий:

- короткий промежуток времени после захвата;
- маневр собственного судна;
- маневр цели;
- срыв сопровождения;
- изменение погрешностей датчиков.

Погрешности измерения дальности и пеленга цели должны быть не более:

- по дальности — 50 м (или 1 % от дальности до цели);
- по направлению — 2°.

Согласно требованиям РС, частота вращения антенны РЛС должна быть не менее 18 об/мин.

2. *Автоматическая идентификационная система (АИС).* Согласно Резолюции А.1106 (29), АИС передает свою и получает от других судов статическую и динамическую информацию, маршрутные данные и может обмениваться сообщениями по безопасности. В зависимости от навигационного статуса судна АИС передает свою динамическую информацию со следующей дискретностью (табл. 5).

Таблица 5

Интервалы передачи динамической информации¹¹

Навигационный статус судна	Интервал передач динамической информации
Судно на якорной стоянке или на ходу со скоростью не более 3 уз	3 мин
Судно на якорной стоянке или на ходу со скоростью более 3 уз	10 с
Судно на ходу (скорость 0–14 уз)	10 с
Судно на ходу (скорость 0–14 уз) при изменении курса	3,3 с
Судно на ходу (скорость 14–23 уз)	6 с
Судно на ходу (скорость 14–23 уз) при изменении курса	2 с
Судно на ходу (скорость более 23 уз)	2 с
Судно на ходу (скорость более 23 уз) при изменении курса	2 с

Таким образом, детально рассмотрены ключевые задачи судовождения, включая обеспечение точности позиционирования, контроль местоположения и движения судна, а также поддержание навигационной безопасности. Для решения этих задач применяются современные технические средства, соответствующие международным и национальным конвенционным требованиям, такие как ГНСС, РЛС, ECDIS и АИС.

¹¹ Resolution A.1106(29). Revised guidelines for the onboard operational use of shipborne automatic identification systems (AIS). IMO, 2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/AIS/Resolution%20A.1106\(29\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/AIS/Resolution%20A.1106(29).pdf) (дата обращения: 27.11.2024).

Результаты (Results)

1. Позиционирование. Исходя из национальных требований РМРС, предъявляемых к автономным судам, можно достичь маневрирования в порту с точностью 1 м в случае, если использовать ГНСС-позиционирование с дифференциальными поправками.

Относительно требований ИМО, в которых пока не определены требования к МАНС, можно теоретически достичь точности местоположения до 10 м дополнительно к DGNSS с помощью РЛС, используя метод по трем дистанциям при плавании не далее 1 мили от ориентиров, исходя не из требований к радару (СКП 30 м^2), а из возможности его измерения по формулам (1) и (4). Кроме того, на способность позиционирования по РЛС оказывают влияние опыт судоводителя (*внешнего капитана*) и форм-фактор береговых ориентиров.

2. Контроль местоположения и движения судна. Дополнительно к DGNSS (COG, SOG) с помощью РЛС можно непрерывно контролировать элементы движения судна с точностью до 10 м, используя НП (пеленг, дистанция, PI), при плавании не далее 1 мили от ориентиров. С помощью опции ECDIS (*Echo Reference*) через РЛС можно получать непрерывные координаты судна.

Dead Reckoning (DR) ECDIS в состоянии удерживать заданную точность на очень короткое время при условии, если *внешний капитан* дистанционно-управляемого судна непрерывно выявляет элементы сноса из-за влияния внешней среды. Данную функцию можно использовать, чтобы дать время судоводителю выбрать ориентир, опознать его и выполнить расчет обсервации или все указанные действия может выполнить АНС.

3. Проблемы позиционирования и контроля движения судна. DGNSS и РЛС подвержены влиянию внешней среды. Спутниковые навигационные системы глушатся наземной аппаратурой непосредственно в портовых водах или теряется сигнал для дифференциальных поправок. Результаты позиционирования по РЛС, уступающих спутниковым средствам в точности, ухудшаются также из-за влияния следующих факторов: увеличение дистанции, метеорологические явления, близость других РЛС, индивидуальная настройка и т. д.

4. Оценка навигационной обстановки. Совместное использование АИС и РЛС при дистанционном управлении МАНС (3-я категория автономности), как известно, неспособно выполнять постоянное круговое наблюдение. АИС зависит от работы ГНСС, от ее установки на других объектах и может иметь задержки в передаче данных. РЛС имеет ряд ограничений, такие как неспособность обнаружения маленьких объектов и не дает полноту картины ракурса окружающих судов, что будет затруднять выполнения правил МППСС-72 и т. д., так как РЛС изначально предназначен только для помощи судоводителю в оценке навигационной обстановки. Поэтому для автономных судов необходима установка дополнительного оборудования кругового видеонаблюдения с возможностью автоматического распознавания образов обнаруженных объектов, например, обзорно-поисковой системы (ОПС) [4], которая дополнительно даст возможность определять местоположение судна и выявлять элементы движения других надводных объектов.

Постоянный контроль навигационной обстановки выполняется с целью управления движением судна относительно других объектов, а именно: *расхождение* или *сближение* (для морских операций типа *судно – судно*). Обе указанные задачи зависят от точности измерений. Для того, чтобы дистанционно управляя МАНС без человека на борту, намеренно приближаться к другому объекту, измерительных способностей АИС (1–3 м) и РЛС (0,005D) явно недостаточно. Для сближения с другим судном в дистанционном режиме управления движением необходимо учитывать дополнительные факторы к стандартным данным от САРП (координаты всех точек корпуса судна; ракурс образа; продольную, поперечную и угловую скорость) и их погрешности при измерении на маленькой дистанции (от 5 м и до касания). Таким образом, для выполнения подобных операций на МАНС должны быть установлены измерительные средства в дополнение к конвенционным навигационным приборам экипажного судовождения, такие как измерители малых расстояний на основе оптических устройств (ОПС, лидары и др.).

¹² Правила по оборудованию морских судов, ч. V: Навигационное оборудование. СПб.: Российский морской регистр судоходства. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules> (дата обращения: 27.11.2024).

Выводы (Summary)

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Выделено отличие классического судовождения с экипажем на борту от дистанционного управления МАНС (3-й категории управления) при условии плавания в портовых водах. В первом случае управление судном выполняется при усиленной навигационной вахте, а недостатки конвенционных навигационных приборов компенсируются опытом экипажа. Во втором случае один *внешний капитан* должен получать информацию о навигационном состоянии управляемого объекта в удобной и наглядной форме для возможности отслеживания изменений навигационной обстановки в режиме реального времени, прогнозирования последствий своих действий или бездействия и быстрого реагирования на нештатные ситуации.

2. Используя разные методы классических задач судовождения, выполнен расчет РСКП ОМС и СКП ЛП в метрах в зависимости от дистанции до ориентира на основе данных только от РЛС (СКП радиопеленга $m_n = 1^\circ$) применительно к дистанционному управлению без визуального контроля. Выделено отличие в результатах расчетов РСКП ОМС в зависимости от СКП дистанции m_D , рассчитанное по формуле или взятое исходя из международных требований к РЛС. Результаты представлены на графиках.

3. Выполнен сравнительный анализ результатов расчетов РСКП ОМС и СКП ЛП применительно к дистанционному управлению без визуального контроля на соответствие международным и национальным требованиям навигационной безопасности мореплавания.

4. Отмечены недостатки конвенционного навигационного оборудования для дистанционного управления МАНС (3-я категория управления) в портовых водах, особенно в вопросе его использования для сложных морских операций типа *судно – судно*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. — 2-е изд., перераб. и доп. — Одесса: Латстар, 2002. — 310 с.
2. Пинский А. С. Е-Навигация и безэкипажное судовождение / А. С. Пинский // Транспорт Российской Федерации. — 2016. — № 4(65). — С. 50–54. — EDN WMAHYT.
3. Москаленко М. А. Технологии автономного судоходства, тенденции и перспективы / М. А. Москаленко, С. Е. Черняхович, И. И. Пушкарев, А. В. Титов // Морские интеллектуальные технологии. — 2023. — № 1–1(59). — С. 18–28. DOI: 10.37220/MIT.2023.59.1.001. — EDN BGJEZU.
4. Коренев А. С. Автономное судовождение на действующих судах / А. С. Коренев, А. С. Скрыпка, С. П. Хабаров // Морской вестник. — 2022. — № 1(81). — С. 92–95. — EDN MIPIOP.
5. Буцанец А. А. Организация системы дистанционного управления беспилотным техническим флотом для обеспечения судоходства на внутренних водных путях: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук; специальность: 05.22.19 «Эксплуатация водного транспорта, судовождение» / А. А. Буцанец. — СПб.: ГУМРФ им адм. С. О. Макарова, 2021. — EDN MFMQJR.
6. Янчин И. А. К вопросу об автономных и безэкипажных судах: вызовы и преимущества для отрасли информационных технологий и телекоммуникаций / И. А. Янчин, О. Н. Петров // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2020. — Т. 14. — № 11. — С. 46–56. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-11-46-56. — EDN ODUSHF.
7. Дмитриев В. И. Методы обеспечения безопасности мореплавания при внедрении беспилотных технологий / В. И. Дмитриев, В. В. Каретников // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. 1149–1158. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1149-1158. — EDN YLUEYQ.
8. Астреин В. В. О проблеме и задачах автоматического мониторинга в СППР безопасности судовождения / В. В. Астреин, С. И. Кондратьев // Эксплуатация морского транспорта. — 2022. — № 2(103). — С. 148–153. DOI: 10.34046/aumsuomt103/1. — EDN QRMJGL.
9. Астреин В. В. Математические методы принятия решений в СППР безопасности судовождения / В. В. Астреин // Эксплуатация морского транспорта. — 2020. — № 3(96). — С. 64–74. DOI: 10.34046/aumsuomt96/9. — EDN IMBIZX.

10. Васьков А. С. Контроль движения судна по навигационным параметрам и параллельным индексам / А. С. Васьков, А. А. Мироненко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 6. — С. 826–836. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-826-836. — EDN PLVFQU.

REFERENCES

1. Vaguschenko, L. L. and N. N. Tsymbal. *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna* Second edition. Odessa: Latstar, 2002: 310.
2. Pinskiy, A. S. “E-Navigation and unmanned ship navigation.” *Transport Rossiyskoy Federatsii* 4(65) (2016): 50–54.
3. Moskalenko, M. A., S. E. Chernyakhovich, I. I. Pushkarev and A. V. Titov. “Autonomous shipping technologies, trends and prospects.” *Morskie intellektual'nye tekhnologii* 1–1(59) (2023): 18–28. DOI: 10.37220/MIT.2023.59.1.001.
4. Korenev, A. S., A. S. Skrypka and S. P. Khabarov. “Avtonomnoe sudovozhdenie na deystvuyushchikh sudakh.” *Morskoy vestnik* 1(81) (2022): 92–95.
5. Butsanets, A. A. Organizatsiya sistemy distantsionnogo upravleniya bespilotnym tekhnicheskimi flotom dlya obespecheniya sudokhodstva na vnutrennikh vodnykh putyakh. PhD diss. SPb., 2021.
6. Yanchin, I. A. and O. N. Petrov. “On autonomous and smart ships: challenges and benefits for compute sciences and telecommunications.” *T-Comm* 14.11 (2020): 46–56. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-11-46-56.
7. Dmitriev, V. I. and V. V. Karetnikov. “Methods of ensuring the safety of navigation when implement unmanned technology.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 9.6 (2017): 1149–1158. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1149-1158.
8. Astrein, V. V. and S. I. Kondrat'ev. “On the problem and tasks of automatic monitoring in DSS safety navigation.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(103) (2022): 148–153. DOI: 10.34046/aumsuomt103/1.
9. Astrein, V. V. “Mathematical decision-making methods in dss of navigation safety.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(96) (2020): 64–74. DOI: 10.34046/aumsuomt96/9.
10. Vas'kov, A. S. and A. A. Mironenko. “The ship motion control by navigational parameters and parallel indexes.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 14.6 (2022): 826–836. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-826-836.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Брыляков Андрей Витальевич — аспирант
ФГБОУ ВО «Государственный морской
университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»
353922, Российская Федерация, г. Новороссийск,
пр. Ленина, 93.
e-mail: brylyakov99@inbox.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bryliakov Andrei V. — post-graduate student
Admiral Ushakov Maritime
State University
93 Lenin Ave., Novorossisk, 353918,
Russian Federation
e-mail: brylyakov99@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 30 января 2025

Received: Jan 30, 2025