

НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГАРАНТИРОВАННОГО БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНЕВРИРОВАНИЕМ СУДОВ БЕЗ ЭКИПАЖА

Мальцев А. С., д.т.н., профессор Национальный университет «Одесская морская академия», e-mail: maltsev-as@nav.onma.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2389-230X

Цель статьи заключается в создании навигационного устройства планирования заданного пути по путевым точкам координатами траекторных точек в виде суммы матриц прямолинейных и криволинейных отрезков пути и оперативного контроля параметров маневрирования характерных точек судна. Координаты путевых точек определяют на пересечении прямолинейных отрезков рекомендованного, определенного геодезическими способами, безопасного прямолинейного пути на карте. Актуальной проблемой является разработка новых методов планирования пути и контроля движения по нему с учетом акватории для маневрирования, маневренных свойств судна и внешних воздействий для своевременного обнаружения отклонения параметров от плановых.

Методы: Расчет плановых координат производится для центра тяжести судна для характерных точек пути движения – начала поворота, окончания поворота, начала торможения и траекторных точек прямолинейных отрезков пути через 0,2 кбт на криволинейных участках через 1, 5 или 10 градусов, в зависимости от масштаба карты и угла поворота. Координаты заданного пути оформляются в виде суммы линейных матриц прямолинейных и криволинейных участков пути. Навигационная система управления движением состоит из устройств автоматического определения отклонений от плановых координат и систем поддержки принятия решения, для корректировки появляющихся отклонений. **Результаты:** Исследование предложенного метода планирования и управления движением выполнено путем компьютерного моделирования и проверки в натурных условиях, результаты которых показали, что рассчитанная оптимальная заданная траектория обеспечивает проводку центра тяжести по заданному пути средствами управления судна и соответствует установленным критериям оптимальности. **Обсуждение:** Основным преимуществом метода планирования пути движения судна по таблице путевых точек путем расчета координат траекторных точек по углу перекладки руля для криволинейных траекторий, представления пути в виде суммы линейных матриц координат прямолинейных и криволинейных участков и автоматического оперативного контроля параметров движения. Предложенный метод может быть использован при разработке средств управления для автоматизированных судов с безвахтенным обслуживанием.

Ключевые слова: планирование заданного пути; траекторные точки; матрицы плановых координат; автоматическое определение отклонения; система поддержки принятия решения; проводка центра тяжести; средства управления для автоматизированных судов; безвахтенное обслуживание.

DOI: 10.33815/2313-4763.2021.1.24.038–056

Введение. Статистический анализ причин аварийности морских судов показал, что 10 % аварий происходит вследствие влияния неодолимой силы, около 15 % являются следствием технического их несовершенства и внезапного отказа судового оборудования, а оставшиеся 75 % относятся к «человеческому фактору» независимо от причины аварии.

Наиболее часто происходят навигационные аварийные происшествия, связанные с посадкой на мель и столкновениями. Это свидетельствует о недостаточной профессиональной подготовке штурманского состава судов, отсутствии надлежащей морской практики и недостаточной организации береговых служб, которые координируют работу судов в море, а также позволяет определить порядок организации подготовки данных для безопасного автоматического управления.

Детальный анализ причин происшествий показывает, что они происходят за счет действий отдельных лиц, преобладающими в которых являются организационные ошибки группы операторов [1] при подготовке процесса управления маневрированием и его осуществлении. При этом отмечается разрыв между сложностью современной техники и психологическими возможностями человека оператора как элемента человеко-машинной системы.

Для повышения оперативности и надежности работы системы управления движением необходимо выполнить все возможные процедуры подготовки необходимых расчетов до начала движения. Кроме того, с началом движения необходимо контролировать параметры маневрирования, и при отклонении от заданного пути оперативно пересчитывать новые данные, для корректировки движения.

Контроль над процессом движения сопровождается необходимостью выполнения перепланировки при отклонениях от заданного пути и задания установок средствам управления для приведения судна к заданному направлению движения. Увеличение общей продолжительности таких процедур значительно усложняет судовождение, что может привести к чрезмерному запаздыванию в принятии решения относительно момента начала маневра. Именно при таких условиях возникают предпосылки возникновения аварийных ситуаций. Поэтому приходится ограничиваться обзорно - сравнительной оценкой положения судна посредством визуального определения места и корректировки движения.

Кроме информации о состоянии объекта управления и параметрах внешних воздействий, оператор занят обработкой значительного количества других сведений, связанных с процессом судовождения. Для этого требуется совершенная организация работы операторов ходового мостика, а для повышения оперативности автоматизация обработки параметров та использование систем поддержки принятия решения [2].

Операторская деятельность судоводителя на мостике судна информационно перегружена и плохо обеспечена рекомендациями по принятию решения в экстремальных ситуациях. Многочисленные директивные, нормативные и технические национальные и международные документы плохо приспособлены для оценки ситуации и принятия решения, особенно в аварийных случаях.

Общие рекомендации и правила их применения не обеспечивают оперативного выполнения сложных расчетов и оценки параметров процесса маневрирования, которые должны быть выполнены с упреждением к моменту принятия решения.

Современные высокоавтоматизированные навигационные системы освободили судоводителя оператора от большинства рутинных операций, однако это усилило зависимость эффективности его работы при принятии решения в экстремальных и аварийных ситуациях. Разработка множества рекомендаций для таких ситуаций в условиях ограниченного времени становится невыполнимой задачей. Для усовершенствования нормативной базы систем поддержки принятия решений в аварийных ситуациях ИМО предложила создать такие рекомендации по алгоритму действий оператора управления судном в чрезвычайных ситуациях. Однако до сих пор такие рекомендации не созданы.

Задача значительно усложняется при переходе к управлению процессом движения судна без экипажа береговым постом, поскольку навигационная система управлением движением становится сложной и возникает дополнительный риск отказов. Это требует принятия специальных мер по значительному повышению точности планирования безопасных координат траектории движения, включая прямолинейные и криволинейные отрезки пути, с учетом характеристик торможения и управляемости для текущего состояния водоизмещения. При этом возникают две проблемы: отсутствие навигационных систем определения маневренных характеристик для текущего состояния; отсутствие методики аналитического расчета координат криволинейных участков и необходимых данных о характеристиках управляемости в виде, пригодном для компьютерной обработки.

После того как спланирована заданная безопасная траектория необходимо определить параметры для контроля над процессом движения и способы их получения. Они могут быть известны до начала движения по маршруту или требуют определения в процессе маневрирования. Проблема заключается в том, что для определения некоторых из них, таких как абсциссы полюса поворота (ПП), абсциссы центра тяжести (ЦТ), боковое смещение и ряд других требуется вычисление в процессе маневрирования, что возможно только при использовании быстродействующих автоматических навигационных устройств.

Поэтому совершенствование точности и оперативности работы системы управления маневрированием судна с безвахтенным обслуживанием разделим на две части: создание высокоточной навигационной системы гарантированного безопасного управления маневрированием судна без экипажа [2–4, 7, 12, 14]; переноса пульта дистанционного контроля автоматического и ручного управления движением на берегу. При этом возникнут дополнительные риски, связанные с надежностью работы пульта дистанционного управления.

Другой особенностью системы управления движением судна с безвахтенным обслуживанием является невозможность использования классического способа управления маневрированием, когда необходимо время для определения отклонения от планируемого состояния, расчета новых параметров движения для приведения системы в заданное состояние и отдачу команды на средства управления и ее выполнения. Это требует использования автоматизированных систем обработки информации по маневрированию и поддержки принятия решения.

Предметом нашего исследования является вопрос создания высокоточной навигационной системы гарантированного безопасного управления маневрированием судна без экипажа, что весьма актуально. Вопрос переноса пульта управления на берег является разделом теории автоматизации процесса управления и рассматриваться в данной статье не будет, поскольку он не относится к навигационной части проекта.

Обзор публикаций по теме. Наиболее полное представление об инерционно-тормозных качествах судна [3, 4] дают значения пути и времени торможения при состоянии в грузе и в балласте, для всех возможных сочетаний режимов переднего и заднего хода. Режимы, которые используются в практике маневрирования, будут стандартные градации, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Перечень стандартных маневров скоростью

ПП – ЗП	ППМ – ЗП	ПС – ЗП	ПМ – ЗП	ПСМ – ЗП
ПП – ЗС	ППМ – ЗС	ПС – ЗС	ПМ – ЗС	ПСМ – ЗС
ПП – ЗМ	ППМ – ЗМ	ПС – ЗМ	ПМ – ЗМ	ПСМ – ЗМ
ПП – ЗСМ	ППМ – ЗСМ	ПС – ЗСМ	ПМ – ЗСМ	ПСМ – ЗСМ
ПП – ППМ	ПП – ПС	ПП – ПМ	ПП – ПСМ	ППМ – ПС
ППМ – ПМ	ППМ – ПСМ	ПС – ПМ	ПС – ПСМ	ПМ – ПСМ
Стоп – ПСМ	Стоп – ПМ	Стоп – ПС	Стоп – ППМ	Стоп – ПП
ПСМ - Стоп	ПМ - Стоп	ПС - Стоп	ППМ - Стоп	ПП - Стоп
ПСМ – ПМ	ПСМ – ПС	ПСМ – ППМ	ПСМ – ПП	ПМ – ПС
ПМ – ППМ	ПМ – ПП	ПС – ППМ	ПС – ПП	ППМ – ПП

Как видно из приведенного перечня, все возможные случаи использования сочетаний режимов переднего и заднего ходов будут описывать 50 значений параметров пути и такое же количество времени, а с учетом двух состояний при состоянии в грузе и в балласте, всего 200 параметров.

Из приведенных характеристик в настоящее время суда снабжены только данными о пути и времени торможения для состояния в грузе и балласте для пассивного торможения и активного торможения задним полным ходом, который не используется при эксплуатации, а только предназначен для предаварийных состояний.

Из характеристик управляемости данные об устойчивости обычно не приводятся в судовых документах. Данные о поворотливости имеются частично для углов перекадки руля 15° и 35° и обычно в графической форме, что делает невозможным их использование для планирования в процессе маневрирования. При градации углов через 5° около 70 параметров поворотливости описывают геометрические характеристики циркуляции, 10 % которых имеется на судне.

В связи с отсутствием на судах необходимых данных произвести планирование траектории с точностью, необходимой для гарантированной безопасности управления безвахтенного судна в настоящее время не представляется возможным.

Отсутствие необходимых данных о характеристиках поворотливости не позволяет [2] аналитически планировать координаты криволинейных участков пути, что позволяет выделить эту проблему в качестве основополагающей.

Другой особенностью планирования и контроля перехода рейсового цикла судна без экипажа является [4–7] отсутствие времени для возможности ручной корректировки движения и получения необходимых данных для ее выполнения. Это требует использования автоматизированных систем для оперативного определения текущих параметров, которые не могут быть определены заблаговременно, та систем поддержки принятия решений. Такие системы обеспечивают оперативную обработку информации по отклонению параметров маневрирования судна от плановых и движения по заданным координатам пути без необходимости изменения первоначальных плановых координат, а удержание на заданном пути производится преимущественно изменением курса.

Разработанные способы оперативного контроля вектора смещения от планового пути [8–12] не требуют его перепланировки, а только вызывают необходимость назначения текущего курса с учетом поправки на величину внешних возмущений для выхода и следования по безопасным плановым координатам заданного пути.

Целью данной работы является разработка способа высокоточного автоматического планирования заданных безопасных координат рейсового цикла судна, с учетом его маневренных свойств, включая криволинейные участки, ширины маневренного смещения и алгоритма расчета координат матриц траекторных точек (ТТ) инверсным способом по таблице путевых точек (ПТ). Учитывая существующие требования ИМО к планированию перехода морем рейсового цикла, разделим его на три участка: от причала порта отхода до точки высадки лоцмана; перехода морем от точки высадки лоцмана до его приемки для захода в порт прихода; от точки приема лоцмана до причала порта прихода. Участки по заходу/ выходу судна из порта выделены отдельно потому, что условия плавания предъявляют повышенные требования к точности планирования таких отрезков пути, а лоцман обычно рекомендаций по навигационному обеспечению плавания не представляет. Принято считать, что капитан имеет достаточно информации по таким участкам плавания в лоции, и ее достаточно для организации безопасного маневрирования в указанных районах. Однако детальный анализ процесса подготовки судна к плаванию при заходе и выходе из порта и существующих требований международных и национальных нормативных документов показывает, что они не содержат рекомендаций для организации подготовки и управления в таких условиях.

Для этого была разработана методика планирования судового навигационного плана захода и выхода из порта [7, 12–18], детальный алгоритм которого приведен в работе [7]. Критический анализ существующих и используемых в различных странах форм лоцманской проводки судов, показывает, что все они содержат предупреждение о том, что они не пригодны для навигационных целей. Задача значительно усложняется при планировании и управлении процессом движения судна без вахты, когда план движения обязан быть для навигационных целей. По этой причине для таких случаев необходимо использовать высокоточный способ планирования координат прямолинейных и криволинейных участков заданного пути и использовать навигационные устройства оперативного контроля параметров движения и маневрирования, а также автоматического принятия решения по корректировке отклонения от заданных координат.

Способы и методы. Особенностью планирования пути и управления движением судами при безвахтенной эксплуатации на переходе является использование максимально точных способов планирования безопасных координат перехода рейсового цикла та высокоточного контроля текущих координат и параметров движения и маневрирования. Для высокоточного планирования заданных координат рекомендуется использовать новые

способы их представления для прямолинейных и криволинейных участков перехода в виде матриц траекторных точек (ТТ), с указанием координат начала и окончания поворотов [2, 12, 14], за исключением участков захода/ выхода из порта. Для указанных участков необходимо составлять планирование ТТ методом таблицы ПТ [7].

Для выполнения такого планирования необходимо создать навигационную систему определения маневренных характеристик. При этом возможны два подхода: представление данных в виде таблицы характеристик торможения и поворотливости для двух состояний - в грузу и в балласте, и необходимостью интерполировать данные на текущее состояние [3]; расчета характеристик в режиме реального времени для текущего состояния. Без такой системы выполнить точное планирование для судна с безвахтенным обслуживанием не представляется возможным. Для создания такой программы необходимо использовать экспериментально – расчетный способ, приведенный в работе [4], который обеспечивает точность, требуемую нормативными документами ИМО.

Обоснованные ответы на поставленные вопросы можно получить только после рассмотрения всех возможных способов представления данных, анализа достоинств и недостатков каждого из них, приведенных на рис. 1. На основании такого анализа можно определить, какой вид данных и для каких целей необходимо использовать. По способу определения коэффициентов дифференциального уравнения описывающего движение судна, различают: экспериментальный; расчетный; экспериментально-расчетный.

По способу получения значений пути и времени торможения различают: аналитическое решение дифференциальных уравнений; численное решение; графические методы; приближенные эмпирические.

По способу представления характеристик различают: в виде графиков зависимости V и S от времени; в виде линейных графиков ИМО; в виде графиков зависимости S и t от скорости переднего хода; в виде таблиц конечных значений времени маневрирования и пути проходимого при этом.

Приведенная на рис. 1. классификация позволяет произвести анализ существующего состояния вопроса обеспечения данными об инерционно-тормозных характеристиках и выдать обоснованные рекомендации для совершенствования способов обеспечения судов данными о маневренных свойствах.

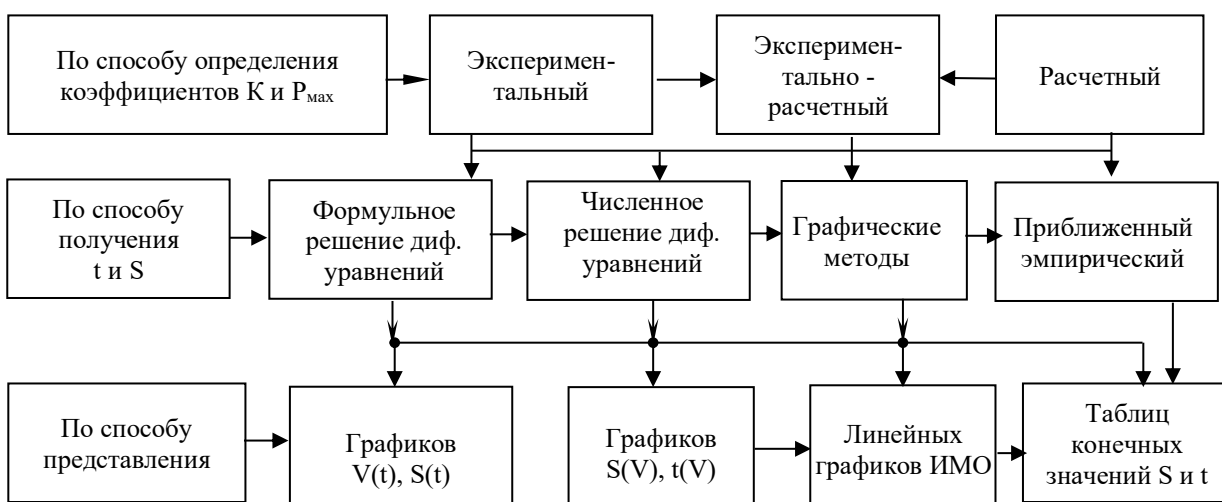


Рисунок 1 – Классификация методов определения тормозных характеристик

Из рассмотренных способов представления данных о характеристиках торможения и поворотливости наиболее удобной для компьютерной обработки и компактной является табличная форма параметров. Она легко интерполируется и не требует затрат времени для выполнения вычислений в процессе маневрирования.

Классический способ оформления результатов графического планирования рейсового цикла предполагает составление таблицы путевых точек (ПТ) от высадки

лоцмана в порту отхода до приёма его на борт в порту прихода. Для участков выхода из порта и захода в порт прихода требуется составление судового плана лоцманской проводки высокоточными способами в виде матриц ГТ для навигационных целей [7]. Для планирования координат перехода необходимо по таблице ПТ, которая будет одинаковой для всех судов, рассчитать матрицы ГТ перехода, включая прямолинейные и криволинейные участки пути. При этом координаты пути будут индивидуальными для данного судна и заданного района плавания.

Для выполнения перехода по плановому пути необходимо определить способ выбора курса на участках перехода в зависимости от наличия данных: угла ветрового дрейфа α , угла сноса течением β , угла сноса от рыскания на постоянном курсе $\omega_{\text{пер}}$, абсциссы центра тяжести X_G , абсциссы полюса поворота $X_{\text{пп}}$, положение спутниковой антенны относительно ЦТ, а также оперативного контроля ширины полосы маневренного смещения [18].

В работе [19] приведены детальные требования к средствам навигации и маневрирования дистанционно управляемых судов, которые существенно отличаются от требований ИМО. Эти требования значительно увеличивают количество средств управления судна, облегчая маневрирование. Увеличено количество испытательных маневров, для более точного определения устойчивости и поворотливости. Это создает условия для качественного выполнения организационно-распорядительной подготовки и обеспечивает исходные данные для надлежащего планирования. Однако способ представления данных о маневренных свойствах, которые необходимы для компьютерной обработки, и вопросы планирования криволинейных траекторий не рассмотрены.

Существует четыре способа управления процессом маневрирования для назначения курса [3]: курсовой; курсовой по отклонению; курсовой по возмущению; курсовой комбинированный. С навигационной точки зрения наиболее точным является курсовой комбинированный, однако он требует [2] определения параметров дрейфа, течения, высокоточного определения координат текущего места, расчета абсциссы ПП, абсциссы ЦТ, вектора бокового сноса, пересчета текущих координат на ЦТ в процессе маневрирования. Это требует затрат времени и не всегда позволяет определить необходимые параметры к моменту принятия решения и требует использования средств автоматизации обработки информации и систем поддержки принятия решения по маневрированию.

При организации процесса управления маневрированием возможны два способа учета воздействия внешних факторов: математического моделирования; экспертной оценки состояния текущих координат относительно заданного пути.

При использовании математического моделирования судоводитель должен, до начала перехода при планировании заданных безопасных координат траекторных точек, определить: угол ветрового дрейфа по прогнозу погоды на соответствующий участок перехода α ; определить направление и скорость течения по лоции и рассчитать угол сноса течением β ; угол сноса от рыскания ΔK_p и определить поправку компаса ΔK . После этого необходимо рассчитать компасный курс KK по формуле:

$$KK = IK \pm \alpha \pm \beta \pm \Delta K_p \pm \Delta K. \quad (1)$$

Его значение необходимо пересчитывать всякий раз при изменении IK и характера внешних воздействий. Другим недостатком этого способа является отсутствие корректных способов для расчета указанных поправок, а также недостаток времени для выполнения соответствующих расчетов в процессе маневрирования. Даже использование современной вычислительной техники не позволяет оперативно получить, с достаточной точностью, необходимые данные к моменту принятия решения по управлению движением.

Способ экспертной оценки позволяет существенно повысить оперативность и точность расчета необходимых данных за счет отказа от расчета соответствующих параметров внешних воздействий. Оперативность достигается за счет расчета

минимального количества данных и использования систем поддержки принятия решения, а точность обеспечивается применением предварительного планирования координат траекторными точками, включая криволинейные участки, с использованием информации о характеристиках поворотливости. При этом единственным параметром, который определяют, является угол сноса γ , без учета параметров внешних и внутренних факторов. Он позволяет ввести поправку в текущий КК таким образом, чтобы за один интервал дискретизации измерений вывести судно на заданный путь и в дальнейшем изменить курс так, чтобы центр тяжести перемещался по линии заданного пути.

При этом будем использовать двух интервальный период корректировки. В то же время при движении по криволинейной траектории будем использовать одно интервальный период корректировки изменением перекладки руля.

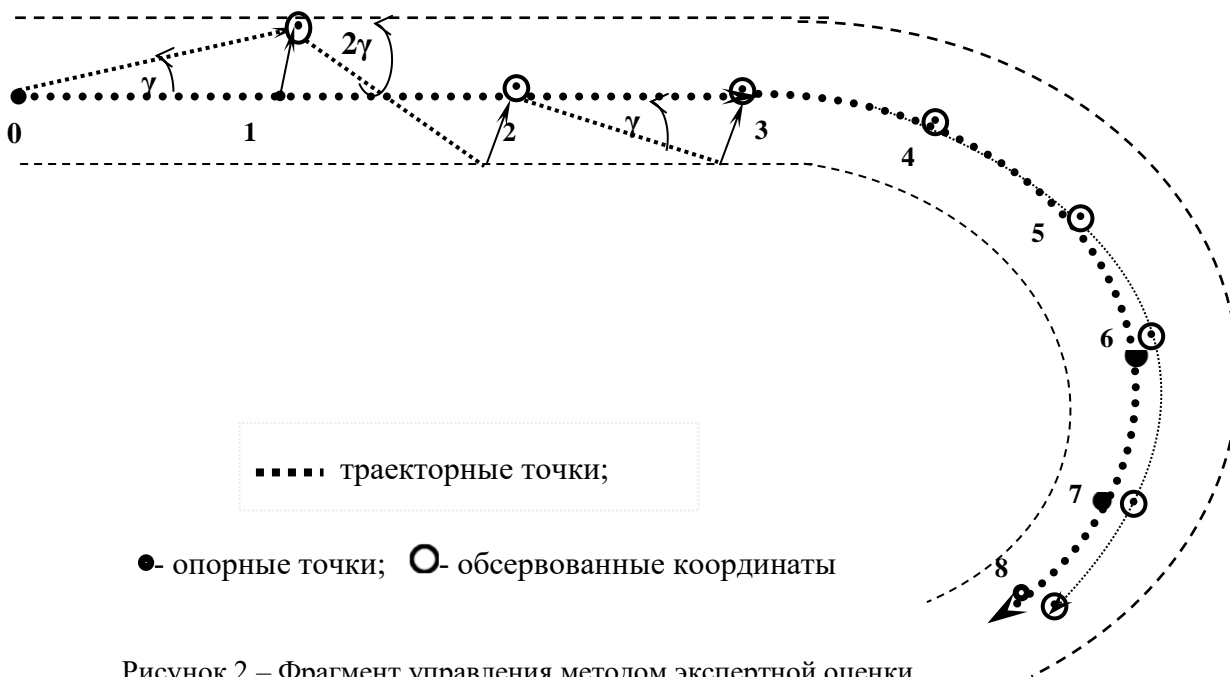


Рисунок 2 – Фрагмент управления методом экспертной оценки

Для пояснения процесса корректировки движения методом экспертной оценки рассмотрим фрагмент пути, приведенный на рис. 2, который состоит из прямолинейного и криволинейного участков, спланированных в виде координат центра тяжести судна траекторными точками.

В зависимости от интервала времени дискретизации Δt_{dis} и плановой скорости V_{pl} наносят опорные точки 0, 1, 2, 3, на расстоянии ΔS_{dis} на прямолинейной траектории $\Delta S_{dis} = V_{pl} \cdot \Delta t_{dis}$. Точка 3 является началом перекладки руля и криволинейной траектории. По этой причине необходимо определить приближенно относительную установившуюся скорость судна на циркуляции \bar{V}_{cons} по фактору корпуса и руля по зависимости [15]:

$$\bar{V}_{cons} = 1 - 0,056 \frac{\delta^0}{\Phi}, \quad (2)$$

где δ^0 – угол перекладки руля в градусах; Φ – фактор корпуса и руля, который рассчитывают по формуле:

$$\Phi = \frac{\frac{L}{B} \sigma_k^2}{\sqrt{S_p + \lambda_p}}, \quad (3)$$

где $\frac{L}{B}$ – отношение длины между перпендикулярами к ширине; σ_k – коэффициент полноты площади погруженной части ДП, рассчитываемый по формуле:

$$\sigma_k = 1 - \frac{f_k}{L \cdot T_{cp}}, \quad (4)$$

где f_k – площадь, которая ограничивается кормовым перпендикуляром, линией киля и контуром кормы (площадь подреза кормы); L – длина судна между перпендикулярами, м; T_{cp} – средняя осадка, м; \bar{S}_p – относительная площадь пера руля, выраженная в % к площади погруженной части ДП:

$$\bar{S}_p = S_p / L \cdot T_{cp}. \quad (5)$$

λ_p – относительное удлинение пера руля, рассчитываемое по формуле:

$$\lambda_p = \frac{h^2}{S_p}, \quad (6)$$

h – высота руля по балеру, м; S_p – площадь пера руля.

Обычно установившийся режим циркуляции наступает при повороте на угол около 180° и падение скорости происходит приблизительно по линейному закону, тогда для расчета участка интерполяции определим среднюю скорость на каждом периоде и координаты опорных точек по значению угла поворота руля по формуле:

$$\Delta V = V_{pl} - V_{cons}. \quad (7)$$

Зная падение скорости за поворот, время поворота и интервал $\Delta\Theta$ дискретизации определяют скорость на каждом участке, пройденный путь и координаты опорных точек 4, 5, 6, 7 и 8 по координатам ГТ [2, 7].

Для обеспечения управления по криволинейной траектории ее необходимо тщательно спланировать высокоточным способом. Кроме того, процесс движения на повороте быстротечен, и исключает возможность выполнения каких-либо расчетов при управлении. По этой причине все необходимые расчеты должны быть выполнены заблаговременно, а те вычисления, которые могут быть выполнены только при управлении, должны быть автоматизированы.

Для выполнения расчетов необходимы элементы, которыми могут быть устройства, вычислители, а также человек, как звено в системе управления.

Первым звеном в системе является блок выбора интервала дискретизации. После выбора координат прямолинейных участков рассчитывают координаты криволинейных траекторий в следующей последовательности:

- рассчитывают угол поворота $\Delta\Theta$ по формуле:

$$\Delta\Theta = IK_2 - IK_1, \quad (8)$$

где IK_2 – истинный курс после поворота; IK_1 истинный курс до поворота;

- выбирают угол перекладки руля при входе в криволинейное движение с учетом следующих рекомендаций [3]:

$$\delta_{вх} = \begin{cases} 5^\circ \text{ при } \Delta\Theta \text{ до } 30^\circ; \\ 10^\circ \text{ при } \Delta\Theta = 30^\circ - 60^\circ; \\ 15^\circ \text{ при } \Delta\Theta \text{ более } 60^\circ. \end{cases} \quad (8)$$

После этого выбирают интервал дискретизации $\Delta\Delta\Theta$ и рассчитывают число промежуточных точек на циркуляции по формуле $n = \Delta\Theta / \Delta\Delta\Theta$.

Из системы расчета маневренных характеристик поступает информация о характеристиках поворотливости ℓ_1, ℓ_2, D_t, D_y , по которым определяются методом отрезков [3] координаты точек начала, окончания и промежуточных точек и данные поступают на индикацию и в память в виде матрицы поворота.

Полученная система плановых точек является высокоточной, поскольку построена по характеристикам поворотливости данного судна. В дальнейшем, при выборе угла перекладки руля, его будем назначать с запасом, не более 15^0 . Если в стесненных условиях при ветре перекладки руля недостаточно, для компенсации сноса, то рекомендуется использовать буксир, как средство улучшения управляемости.

Для прямолинейного участка будем рассматривать процесс управления из нулевой точки. Через интервал дискретизации Δt_{dis} определяют место судна высокоточными способами $\varphi_{1тек}, \lambda_{1тек}$.

Для определения величины отклонения центра тяжести судна от опорной точки 1 необходимо определить координаты спутниковой антенны судна высокоточными методами, используя дифференциальный режим. При этом точность должна быть близкой к геодезическим способам. После того как определили место спутниковой антенны судна, его координаты необходимо перечислить на центр тяжести судна, как приведено на рис. 3.

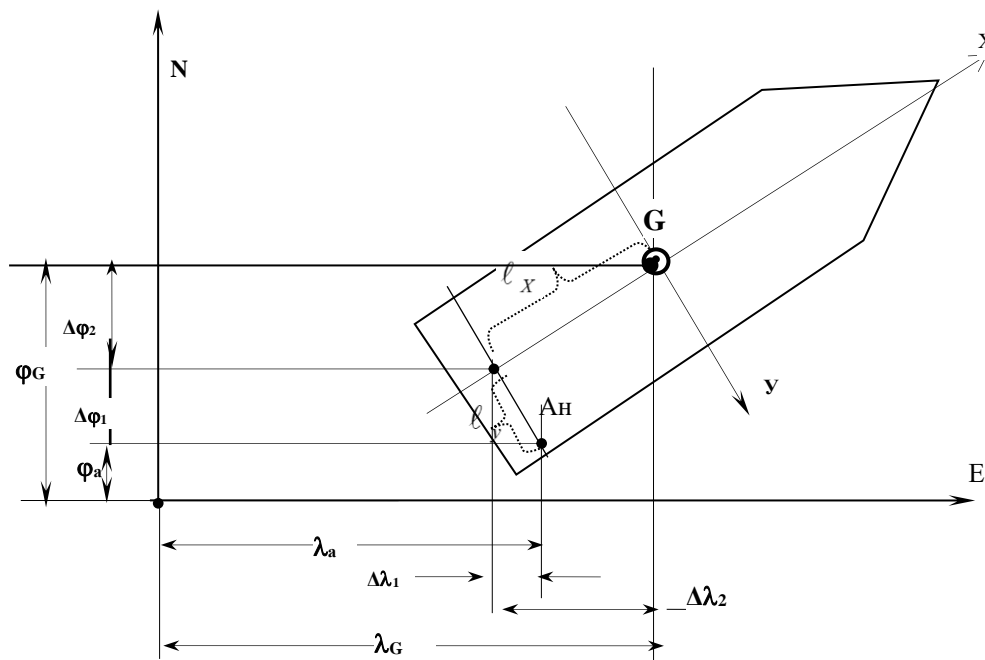


Рисунок 3 – Приведение координат антенны к центру тяжести судна

Геометрический анализ алгоритма расчета поправок координат при пересчете показал, что их величина не является постоянной [2, 5, 8, 12, 14]. Она меняется в зависимости от координат спутниковой антенны, места ее расположения на судне и текущего значения курса. Координаты ЦТ φ_G и λ_G разраховываются по φ_a и λ_a при курсе K в диапазоне $0^0 \leq K \leq 90^0$, с учетом рис.3, при условии $\varphi_a \geq 0, \lambda_a \geq 0$, по следующим зависимостям:

$$\varphi_G = \varphi_a + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \varphi_a + \Delta\varphi_G \quad \text{и} \quad \lambda_G = \lambda_a - \Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2 = \lambda_a + \Delta\lambda_G, \quad (9)$$

где $\Delta\lambda_1$ – проекция расстояния точки расположения антенн A_n от ДП, в милях;

$\Delta\lambda_2$ – проекція расстояния точки расположения антенн от центра тяжести (ЦТ), в милях;
 $\Delta\varphi_1$ – проекція расстояния точки расположения антенн от ДП на ось φ , в милях;
 $\Delta\varphi_2$ – проекція расстояния точки расположения антенны от ЦТ на ось φ , в милях;
 $\Delta\lambda_G$ и $\Delta\varphi_G$ – поправки координат ЦТ.

В развернутом виде уравнение (9) можно записать так:

$$\Delta\lambda_1 = \ell_y \cdot \cos K; \Delta\lambda_2 = \ell_x \cdot \sin K, \quad (10)$$

$$\Delta\varphi_1 = \ell_y \cdot \sin K; \Delta\varphi_2 = \ell_x \cdot \cos K \quad (11)$$

Тогда, после подстановки (10) и (11) в (9) получим текущие координаты ЦТ:

$$\lambda_G = \lambda_a - \ell_y \cdot \cos K + \ell_x \cdot \sin K \quad (12)$$

$$\varphi_G = \varphi_a + \ell_y \cdot \sin K + \ell_x \cdot \cos K \quad (13)$$

После того как текущие координаты ЦТ определены $\varphi_{1\text{тек}}$, $\lambda_{1\text{тек}}$, можно приступить к автоматическому расчету величины смещения между заданными опорными координатами φ_1 , λ_1 и текущими $\varphi_{1\text{тек}}$, $\lambda_{1\text{тек}}$ за такими формулами:

$$РД = \lambda_1 - \lambda_{1\text{тек}}. \quad (14)$$

$$РШ = \varphi_1 - \varphi_{1\text{тек}}. \quad (15)$$

Значение меридиональных частей в экваториальных минутах для эллипсоида Красовского может быть вычислено по формуле:

$$МЧ = 3437,7468 \cdot \ln \left\{ \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi / 2) \left(\frac{1 - e \cdot \sin \varphi}{1 + e \cdot \sin \varphi} \right)^{e/2} \right\}, \quad (16)$$

де $МЧ$ – меридіональна частина паралелі φ , екв. хв.; φ – географічна широта; e – ексцентриситет земного еліпсоїда.

Найменування $МЧ$ однаково з найменуванням широти φ . Для отримання різниці меридіональних частин ($РМЧ$) необхідно розрахувати $МЧ_1$, потім $МЧ_{1\text{тек}}$, і після цього алгебраїчну різницю:

$$РМЧ = МЧ_1 - МЧ_{1\text{тек}}. \quad (17)$$

Найменування $РМЧ_1$ вказується від $МЧ_1$ до $МЧ_{1\text{тек}}$, тобто відповідає найменуванню $РШ$. Напрямок знесення $И$ розраховують за формулою:

$$\operatorname{tg} И K_{31} = \frac{\lambda_1 - \lambda_{1\text{тек}}}{РМЧ_1}. \quad (18)$$

Направление сноса получают в четвертном счете и для пересчета в круговой необходимо учитывать, что первая буква четверти соответствует наименованию $РШ$, а вторая $РД$.

Величину сдвига определяют по формуле:

$$d_{\text{тек}} = РШ \cdot \operatorname{sec} И K_{31}. \quad (19)$$

Расчеты по приведенным формулам (14)–(19) имеют ту особенность, что вычисления происходят в районе более малых расстояний, которые требуют расчетов до десятитысячных долей минуты. Это требование необходимо выполнять для того, чтобы уменьшить вычислительные погрешности к минимуму после округления результатов. Поскольку значение $МЧ$ в таблице МТ 2000 дано с точностью до 0,1 экваториальной

минуты, то необходимо проводить расчет МЧ по формуле (16) с точностью до пятого знака с последующим округлением последней цифры.

После того, как определен вектор смещения необходимо рассчитать длину вектора путевого перемещения по координатам обсервованной $\varphi_{1тек}, \lambda_{1тек}$ и нулевой φ_0, λ_0 точек по формулам:

$$PД_0 = \lambda_{1тек} - \lambda_0; \quad (20)$$

$$PШ_0 = \varphi_{1тек} - \varphi_0; \quad (21)$$

$$PМЧ_0 = МЧ_{1тек} - МЧ_0; \quad (22)$$

$$tgIK_{01тек} = \frac{PД_0}{PМЧ_0}. \quad (23)$$

Величину угла сноса γ можно рассчитать по формуле:

$$\gamma = IK_{01тек} - IK_{П}. \quad (24)$$

Тогда величина КК во вторую опорную точку будет равным:

$$КК_2 = IK_{П} + 2 \cdot \gamma + \Delta К, \quad (25)$$

где $IK_{П}$ – плановый курс для перемещения по заданной траектории.

При неизменных внешних условиях по прямолинейному участку с приходом во вторую точку определяют место, которое должно совпадать с опорной точкой 2 и необходимо изменить курс в третью точку, который определяют по формуле:

$$КК_3 = IK_{П} + \gamma + \Delta К. \quad (25)$$

В момент прихода в точку 3 определяют место и переключают руль на 15° вправо, как показано на рис. 4.

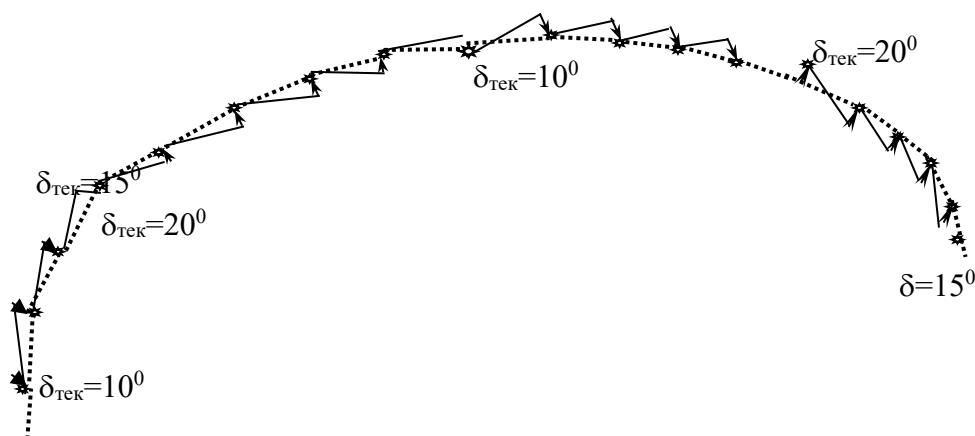


Рисунок 4 – Оптимизация управления по криволинейной траектории путем экспертной оценки

Полученная система плановых точек является высокоточной, поскольку построена по характеристикам поворотливости данного судна. В дальнейшем, при выборе угла перекадки руля, его будем назначать с запасом, не более 15° . Если в стесненных условиях при ветре перекадки руля недостаточно, для компенсации сноса, то рекомендуется использовать буксир, как средство улучшения управляемости.

Алгоритм векторного управления будет следующим, как приведено на рис. 4. Для компенсации сноса будем использовать изменение угла перекадки руля на 5° . При этом если снос происходит вправо от линии планового пути при повороте вправо, то уменьшают

перекладку руля на 5^0 . Если снос происходит влево от линии планового пути, то увеличивают угол перекладки руля на 5^0 .

Вектор сноса рассчитывают по координатам плановой $(\varphi_{п}, \lambda_{п})$ и обсервованной $(\varphi_{о}, \lambda_{о})$ точек. В качестве примера, на рис.4. показано, что при обсервации в момент поворота на 10^0 , при угле перекладки руля 15^0 , обнаружили вектор сноса вправо. Для компенсации сноса переложили руль на 10^0 . При определении места судна в момент поворота на 20^0 и 30^0 текущие точки совпадали с плановыми, поэтому угол перекладки удерживали на 10^0 . В момент определения места при выходе в точку поворота 40^0 обнаружили, что обсервованная точка сместилась влево от плановой траектории, для компенсации вектора сноса переложили руль вправо на 20^0 и удерживали его в переложеном положении до угла поворота 90^0 .

При повороте на 90^0 и определении места обнаружили вектор сноса вправо. Для компенсации сноса переложили руль влево на 5^0 и удерживали в переложеном на 10^0 положении до угла поворота 140^0 .

При повороте на 140^0 обнаружили вектор сноса влево от плановой траектории. Для компенсации сноса переложили руль на угол 20^0 и удерживали в таком положении до появления сноса вправо и перекладка руля на 15^0 до конца криволинейной траектории.

Таким образом, для управления по криволинейной траектории достаточно одного периода дискредитации для компенсации вектора сноса.

Для проверки работы компьютерной программы сделаем расчет контрольного примера вручную, при значении $d_{доп} = 10\text{м}$. При работе судна в координатах $\varphi_1 = 20^0 14,6000' \text{ S}$, $\lambda_1 = 5^0 22,7000' \text{ W}$ получили место в точке 1 с использованием спутниковой системы в дифференциальной режиме с радиальной СКП равной $\pm 1\text{м}$ и $\varphi_{1ш} = 20^0 14,605' \text{ S}$, $\lambda_{1ш} = 5^0 22,703' \text{ W}$.

Для того, чтобы показать порядок величин, с которыми автоматическому устройству придется работать, рассмотрим контрольный пример с предельно малым отклонением. Результаты выполненных расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Расчет малых значений параметров сноса внешними воздействиями

$\lambda_{1\text{тек}} = 5^0 22,703' \text{ W}$		$\varphi_{1\text{тек}} = 20^0 14,605' \text{ S}$		$\text{МЧ}_{1\text{тек}} = 1432,705'$	
$\lambda_1 = 5^0 22,7000' \text{ W}$		$\varphi_1 = 20^0 14,6000' \text{ S}$		$\text{МЧ}_1 = 1432,7'$	
$\lambda_G - \lambda_r$	$0^0 0,003' \text{ к W}$	РШ	$0^0 0,005' \text{ к S}$	РМЧ	$0,005' \text{ к S}$
$\lambda_G - \lambda_r$	$0,003' \text{ к W}$	РШ	$0,005' \text{ к S}$	–	–
Напрямок зносу IK_c					
РД	$0,003 \text{ к W}$	$lg = -2,5229$		–	–
РМЧ	$0,005' \text{ к S}$	+ $lg = -2,3010$		–	–
IK_3	$30^0 53'$	$lg \ tg \ IK_3$	$-0,2219$	–	–
IK_3	$210^0 53'$	$tg \ IK_3$	$0,598$	–	–
Розрахунок відстані зносу $d_{\text{тек}}$					
РШ	$0,005' \text{ к S}$	+ $lg = -2,3010$		Поскольку $d_{\text{тек}} > M_0$ то это значит, что произошло недопусти-мое отклонение и необходимо корректировать	
IK_c	$210^0 53'$	$lg \ sec \ IK_c = -0,0614$			
$d_{\text{тек}}$	$0,005' = 9.3\text{м}$	$lg \ d_{\text{тек}}$	$-2,3624$		

Обсуждение результатов работы. Для создания условий гарантированного безопасного управления процессом перемещения судна без экипажа морем, необходимо его разделить на две части: планирование безопасного пути перехода; управление движением по нему с использованием современных навигационных систем поддержки принятия решения.

Исходной навигационной системой, данные которой являются необходимыми для работы всех навигационных систем, является интерполяция параметров торможения и поворотливости по таблицам значений параметров для текущего состояния судна.

После этого выбирают прямолинейные участки пути и по ним определяют координаты путевых точек пересечения истинных курсов. Указанные ПТ будут безопасны с навигационной точки зрения, поскольку они расположены на линии рекомендованного пути, нанесенного гидрографической службой на карте.

Результаты полученных координат ПТ заносят в таблицу (табл. 3) и по ним выполняют следующие действия.

Таблица 3 – Фрагмент путевых точек сценарного планирования инверсным способом заходу т/х Safmarine Nuba в порт Черноморск к причалу Fishing Port 8

WP	LAT	LON	Course	Θ
0	46°18,93' N	30°41,58' E		
1	46°19,3' N	30°39,95' E	288,5	57,2
2	46°19,71' N	30°39,8' E	345,7	35,1
3	46°19,83' N	30°39,86' E	20,8	

1. Из таблицы маневренных характеристик [3, 7, 12-15.] выбирают величину тормозного пути $S_{\text{трм}}$ для режима ПМ –ЗС и откладывают его значение от центра тяжести при остановке у причала, и получают точку начала торможения.

2. Определяют угол поворота для каждой ПТ.

3. Определяют угол перекладки руля по величине угла поворота и характеристики поворота для него.

4. По координатам путевой точки и характеристикам поворота методом отрезков определяют координаты точки начала и окончания поворота.

5. Методом отрезков рассчитывают координаты траекторных точек криволинейного участка пути и формируют матрицу ТТ данной ПТ.

6. Для каждой ПТ определяют координаты криволинейной траектории методом отрезков и формируют матрицу каждой из них.

7. От первой ПТ к точке начала циркуляции определяют координаты прямолинейных отрезков через 0.2 кбт, и в дальнейшем от точки окончания циркуляции к точке начала следующего поворота и формируют матрицы прямолинейных участков.

8. Формируют точки заданного пути в виде матриц ТТ, содержащие координаты, в которых нужно начинать, производить и оканчивать повороты, и прямолинейных отрезков. Это оптимальный безопасный заданный алгоритм функционирования системы управления судном, реализация которого позволит безаварийно заходить в порт и швартоваться, который в качестве примера приведен на рис. 5.

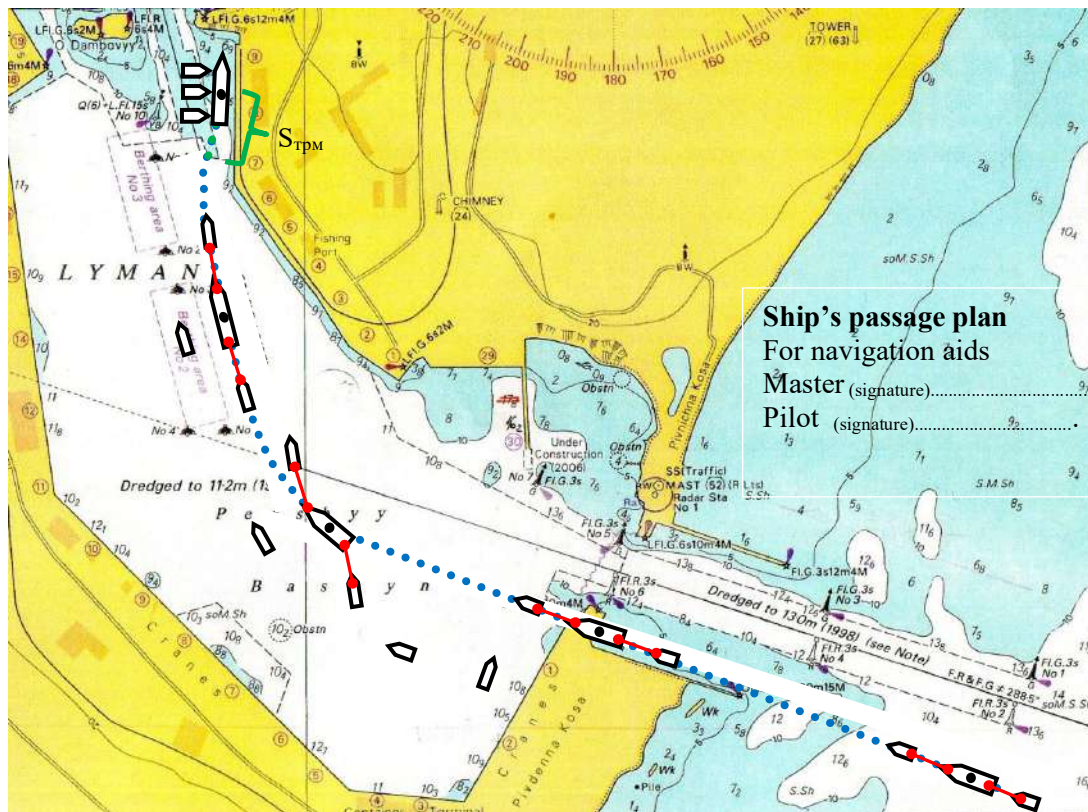


Рисунок 5 – Судовой план проводки т/х Safmarine Nuba к причалу Fishing Port 8 порта Черноморск

9. Для обеспечения движения необходимо использовать следующие системы ППР, в соответствии со структурой планирования координат пути рейсового цикла ТТ и контроля безопасного управления по нему приведенной на рис. 6: расчета характеристик торможения и управляемости; пересчете маневренных характеристик на мелководье; формирование плана перехода в виде путевых точек; планирование перехода в виде матриц ТТ; перерасчета координат спутниковой антенны судна в центр его тяжести; определение вероятной ширины бокового сдвига; предупреждения посадки судна на мель; принятия решения по оперативному определению абсциссы ПП; выбора безопасной скорости по условиям плавания; выбора точки приложения буксиров и индикации положения ЧП на контуре ватерлинии; выбора маневра для предупреждения об опасном и аварийном приближении и рекомендаций по маневрированию для его предупреждения.

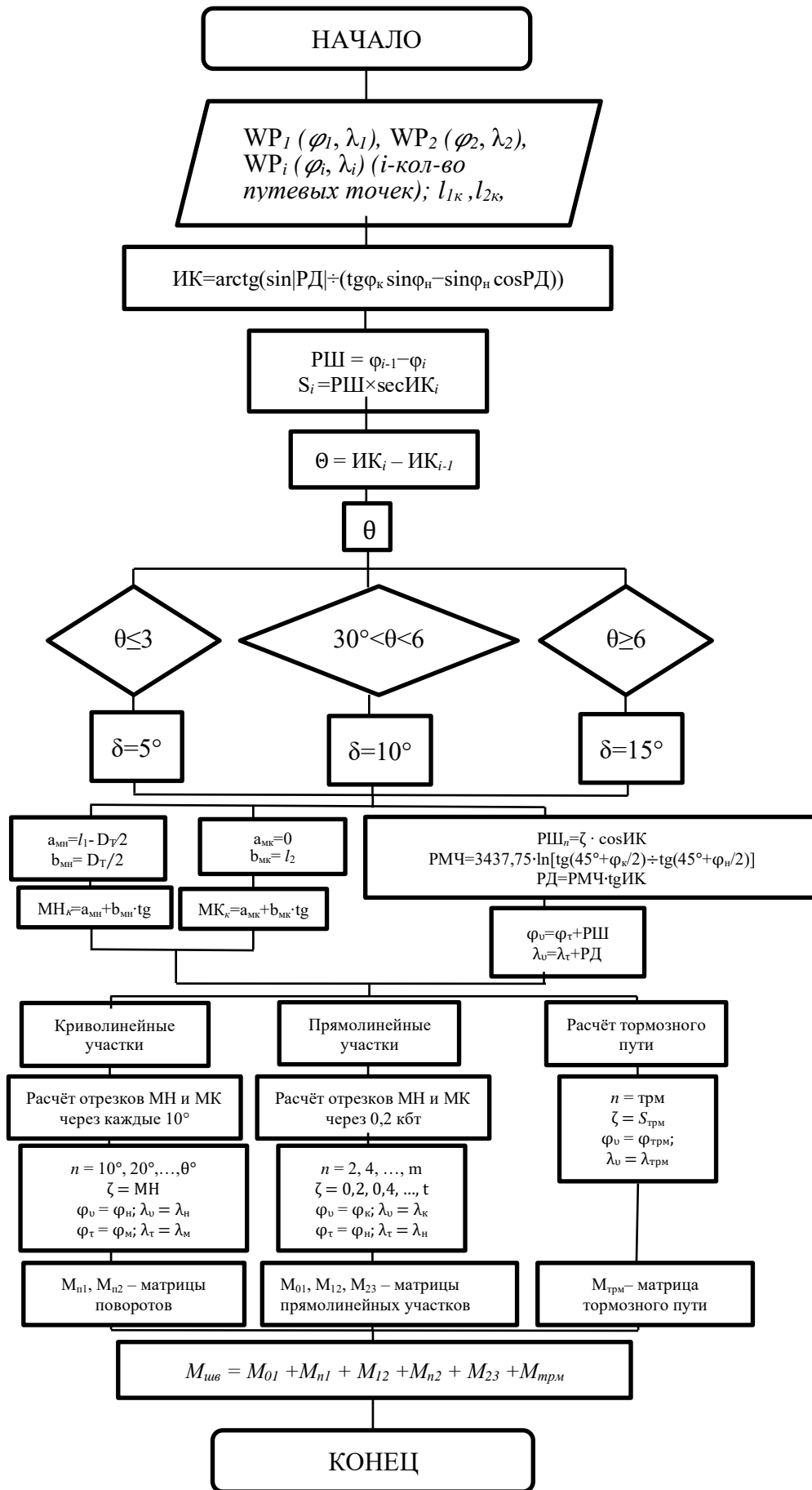


Рисунок 6 – Блок-схема расчета координат заданного алгоритма управления маневрированием

Выводы. Для обеспечения безопасного выполнения рейсового цикла в автоматическом режиме без вахтенного обслуживания на судне, необходимо спланировать путь центра тяжести судна ТТ, в виде координат плана движения с учетом навигационной акватории оформленного в виде суммы матриц прямолинейных и криволинейных участков пути. Они рассчитываются по прямолинейным участкам рекомендованного пути на карте, ограниченных путевыми точками. Координаты ТТ пути рассчитываются с учетом конфигурации акватории для маневрирования, характеристик торможения и поворотливости и видов используемых маневров. Для выполнения управления по плановой траектории необходимо использовать новейшие навигационные системы, которые созданы в последнее время. Основными из них являются устройства расчета маневренных характеристик и высокоточного планирования пути траекторными точками по координатам путевых точек, выбранных на пересечении прямолинейных отрезков рекомендованного пути на карте.

Результаты подготовки представляются в виде суммы линейных матриц отдельных участков, включая криволинейные. Кроме того, отдельно определяются координаты точек начала торможения у причала, перекладки руля при выполнении поворотов в путевых точках, окончания поворотов и углов перекладки руля в каждой из них.

Для контроля процесса движения необходимо использование автоматических устройств предупреждения посадки на мель, оценки ширины полосы маневренного смещения, автоматического контроля процесса сближения с другими судами и выбора маневра для расхождения.

Это позволит создать методику разработки нормативного документа для капитана по составлению «Судового плана захода/выхода из порта» для навигационных целей, включая автоматизацию его подготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцев А. С., Голикова В. В. Динамика психофизиологических функций у курсантов и судоводителей при решении задач судовождения на радиолокационном тренажере. *Актуальные проблемы транспортной медицины : сб. научн. трудов УкрНИИ медицины транспорта*. Одесса, 2007. Вып. 1(7). С.20–26.
2. Мальцев А. С., Бень А. П. Системы принятия решений по управлению движением судна : монография. Херсон : ХГМА, 2019. 240 с.
3. Мальцев А. С., Голиков В. В., Сафин И. В., Мамонтов В. В. Методологические основы маневрирования судов при сближении. Одесса : ОНМА, 2013. 218 с.
4. Вильский Г. Б., Мальцев А. С., Бездольный В. В., Гончаров Е. И. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов / под ред. А. С. Мальцева, Г. Б. Вильского. Одесса-Николаев : Феникс, 2007. 456 с.
5. Мальцев С. Э., Товстокорый О. Н. Полнос поворота и его учет при маневрировании морского судна : монография. Херсон : ХГМА, 2016. 124 с.
6. Мальцев С. Е. Когнитивная система оценки положения полюса поворота судна с помощью эффективных алгоритмов. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Natural and Technical Sciences*. 2018. V.1 (19), issue 171. P. 37–42.
7. Мальцев С. Е. Навігаційний пристрій підтримки прийняття рішення при автоматичному плануванні руху судна траекторними точками при заході/виході із порту. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Natural and Technical Sciences*. 2019. V. 11 (25), issue 206. P. 41–46.
8. А. с. на комп'ютерну програму 68552 Україна. Система високоточного планування шляху переходу морського судна / А. С. Мальцев, А. П. Бень, О. В. Терещенкова, В. І. Соколенко (Україна). № 68552 ; опубл. 09.11.16.
9. Навігаційний пристрій для вибору виду вектору управління рухом : пат. 111646 Україна. МПК (2016.01) G08G 3/00. № у 2016 02487; заявл. 14.03.2016; опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22.

10. Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна : пат. 100293 Україна. МПК G08G 3/00 (2015/01). № u 2014 12711; заявл. 26.11.2014; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14.
11. Голиков В. В., Мальцев С. Э. Алгоритм определения положения полюса поворота морского судна. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал*. Херсон : ХГМА, 2013. № 1 (8). С. 21–27.
12. Sokolenko Vasyliy. The system of precision planning marine ship's voyage. *Proceedings of National Aviation University*. Kiev : NAU, 2016. Vol. 68, № 3 (216). P. 46–53.
13. Соколенко В. И. Судовой план лоцманской проводки. *Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА*. Одесса : «ИздатИнформ», 2011. Вып. 20. С. 209–220.
14. Соколенко В. И. Планирование заданного пути движения в стесненных условиях траекторными точками и контроль процесса движения. *Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА*. Одесса : «ИздатИнформ», 2012. Вып. 21. С. 220–227.
15. Снопков В. И. Управление судном. Санкт-Петербург : Професионал, 2004. 535 с.
16. Мальцев А. С. Динамічне позиціонування судна при відхиленнях параметру управління, величина якого порівняна з похибками його визначення. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал*. Херсон : Херсонська державна морська академія. 2020. № 1 (20). С. 44–54.
17. Голиков В. В., Мальцев С. Э. Анализ вектора смещения пути судна от ветра. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал*. Херсон : ХГМА, 2015. № 1 (12). С. 29–35.
18. Мальцев С. Е. Оперативний контроль ширини маневреного зсуву в стислих водах. *Судноводіння : збірник наукових праць НУ «ОМА»*. Одеса : «ВидавІнформ», 2021. Вип. 31. С. 22–37.
19. НД № 2-030101-037. Положення по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС). Санкт-Петербург : Росийский морской регистр судоходства, 2020. 96 с.

REFERENCES

1. Maltsev A. S., Golikova V. V. (2007). Dinamika psikhofiziologicheskikh funkciy u kursantov i sudovoditeleyj pri reshenii zadach sudovozhdeniya na radiolokacionnom trenazhere. *Aktualjnihe problemih transportnoj medicinih : sb. nauchn. trudov UkrNII medicinih transporta*. Odessa. 1 (7), 20–26.
2. Maltsev A. S., Benj A. P. (2019). *Sistemih prinyatiya resheniyj po upravleniyu dvizheniem sudna : monografiya*. Kherson : KhGMA.
3. Maltsev A. S., Golikov V. V., Safin I. V. & Mamontov V. V. (2013). *Metodologicheskie osnovih manevrirovaniya sudov pri sblizhenii*. Odessa : ONMA.
4. Viljskiyj G. B, Maltsev A. S., Bezdoljniyj V. V. & Goncharov E. I. (2007). *Navigacionnaya bezopasnostj pri locmanskoj provodke sudov / A. S. Maljceva, G. B. Viljskogo (Ed)*. Odessa-Nikolaev : Feniks.
5. Maltsev S. Eh., Tovstokorihyj O. N. (2016). *Polyus povorota i ego uchet pri manevrirovanii morskogo sudna : monografiya*. Kherson : KhGMA.
6. Maltsev S. E. (2018). Kognitivnaya sistema ocenki polozeniya polyusa povorota sudna s pomothjyu ehffektivnihk algoritmov. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Natural and Technical Sciences*. 1 (19), Is. 171, 37–42.
7. Maltsev S. E. (2019). Navihatsiinyi prystrii pidtrymky pryiniattia rishennia pry avtomatychnomu planuvanni rukhu sudna traiektornymu tochkamy pry zakhodi/vykhodi iz portu. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Natural and Technical Sciences*. 11 (25), Is. 206, 41–46.

8. A. s. na kompiuternu prohramu 68552 Ukraina. *Systema vysokotochnoho planuvannia shliakhu perekhodu morskoho sudna* / A. S. Maltsev, A. P. Ben, O. V. Tereshchenkova, V. I. Sokolenko (Ukraina). # 68552 ; opubl. 09.11.16.
9. *Navihatsiinyi prystrii dlia vyboru vydu vektoru upravlinnia rukhom* : pat. 111646 Ukraina. MPK (2016.01) G08G 3/00. # u 2016 02487; zaiavl. 14.03.2016; opubl. 25.11.2016, Biul. # 22.
10. *Sposib informatsiinoho zabezpechennia manevruvannia morskoho sudna* : pat. 100293 Ukraina. MPK G08G 3/00 (2015/01). # u 2014 12711; zaiavl. 26.11.2014; opubl. 27.07.2015, Biul. # 14.
11. Golikov V. V., Maljcev S. Eh. (2013). Algoritm opredeleniya polozheniya polyusa povorota morskogo sudna. *Naukoviy visnik Khersonskoy derzhavnoy morskoy akademii : naukoviy zhurnal*. Kherson : KhGMA, 1 (8), 21–27.
12. Sokolenko Vasyliy. (2016). The system of precision planning marine ship's voyage. *Proceedings of National Aviation University*. Kiev : NAU. 68, 3 (216), 46–53.
13. Sokolenko V. I. (2011). Sudovoy plan lozmanskoj provodki. *Sudovozhdenie : sb. nauchn. trudov / ONMA*. Odessa : Izdat Inform, 20, 209–220.
14. Sokolenko V. I. (2012). Planirovanie zadannogo puti dvizheniya v stesnennikh usloviyakh traektornihmi tochkami i kontrolj processa dvizheniya. *Sudovozhdenie : sb. nauchn. trudov / ONMA*. Odessa : «IzdatInform», 21, 220–227.
15. Snopkov V. I. (2004). *Upravlenie sudnom*. Sankt-Peterburg : Professional.
16. Maltsev A. S. (2020). Dynamichne pozytsionuvannia sudna pry vidkhyleniakh parametru upravlinnia, velychyna yakoho porivniana z pokhybkamy yoho vyznachennia. *Naukovi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii : naukovi zhurnal*. Kherson : Khersonska derzhavna morskakademia, 1 (20), 44–54.
17. Golikov V. V., Maltsev S. E. (2015). Analiz vektora smetheniya puti sudna ot vetra. *Naukoviy visnik Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii : naukoviy zhurnal*. Kherson : KSMA, 1 (12), 29–35.
18. Maltsev S. E. (2021). Operatyvnyi kontrol shyryny manevrenoho zsuvu v styslykh vodakh. *Sudnovodinnia : zbirnyk naukovykh prats. NU «OMA»*. Odesa : Vydav Inform, 31, 22–37.
19. ND № 2-030101-037. *Polozhennya po klassifikacii morskikh avtonomnikh i distancionno upravlyaemikh nadvodnikh sudov (MANS)*. Sankt-Peterburg : Rosijskiy morskoy registr sudokhodstva, 2020.

Мальцев А. С. НАВИГАЦИЙНА СИСТЕМА ГАРАНТОВАНОГО БЕЗПЕЧНОГО УПРАВЛІННЯ МАНЕВРУВАННЯМ СУДІВ БЕЗ ЕКІПАЖУ

Мета роботи полягає в створенні навігаційного пристрою планування заданого шляху за подорожніми точкам координатами траекторних точок у вигляді суми матриць прямолінійних і криволінійних відрізків шляху і оперативного контролю параметрів маневрування характерних точок судна. Координати шляхових точок визначають на перетині прямолінійних відрізків рекомендованого, визначеного геодезичними способами, безпечного прямолінійного шляху на карті. Актуальною проблемою є розробка нових методів планування шляху і контролю руху по ньому з урахуванням акваторії для маневрування, маневрених властивостей судна і зовнішніх впливів для своєчасного виявлення відхилення параметрів від планових. Методи рішення проблеми: розрахунок планових координат проводиться для центру ваги судна для характерних точок шляху руху початку повороту, закінчення повороту, початку гальмування і траекторних точок прямолінійних відрізків шляху через 0.2 кбт та криволінійних ділянок через 1,5 або 10 градусів, в залежності від масштабу карти і кута повороту. Координати заданого шляху оформляються у вигляді суми лінійних матриць прямолінійних і криволінійних ділянок шляху. Навігаційна система управління рухом складається з пристроїв автоматичного визначення відхилень від планових координат і систем підтримки прийняття рішення, для коригування відхилень, що з'являються. Дослідження запропонованого методу планування і управління рухом виконано шляхом комп'ютерного моделювання та перевірки в натурних умовах, результати яких показали, що розрахована оптимальна задана траекторія забезпечує провідку центру ваги по заданому шляху засобами управління судна і відповідає встановленим критеріям оптимальності. Основною перевагою методу планування шляху руху судна по таблиці шляхових точок шляхом розрахунку координат траекторних точок за розкладкою

керма для криволінійних траєкторій, уявлення шляху у вигляді суми лінійних матриць координат прямолінійних і криво лінійних ділянок і автоматичного оперативного контролю параметрів руху. Запропонований метод може бути використаний при розробці засобів управління для автоматизованих судів з без вахтовим обслуговуванням.

Ключові слова: планування заданого шляху; траєкторні точки; матриці планових координат; автоматичне визначення відхилення; система підтримки прийняття рішення; провідка центру ваги; засоби управління для автоматизованих судів; без вахтовим обслуговування.

Maltsev A. S. NAVIGATION SYSTEM FOR GUARANTEED SAFE MANEUVERING CONTROL OF SHIPS WITHOUT A CREW

*It consists in creating a navigation device for planning a given path along waypoints with the coordinates of trajectory points in the form of the sum of matrices of straight and curved path segments and operational control of the parameters of maneuvering of the characteristic points of the vessel. Waypoint coordinates are determined at the intersection of straight segments of the recommended safe straight-line path on the map. An urgent problem is the development of new methods for planning the path and controlling movement along it, taking into account the water area for maneuvering, the maneuvering properties of the vessel and external influences for the timely detection of deviations from the planned parameters. **Methods:** Calculation of the plane coordinates is performed for the center of gravity of the vessel for the characteristic points of the movement path - the beginning of the turn, the end of the turn, the beginning of braking and the trajectory points of rectilinear sections of the path through 0.2 kbt and curved sections through 1,5 or 10 degrees, depending on the map scale and the angle of rotation. The coordinates of a given path are drawn up in the form of a sum of linear matrices of rectilinear and curved path sections. The navigation system of motion control consists of devices for automatically determining deviations from the planned coordinates and decision support systems to correct the emerging deviations. **Results:** The study of the proposed method of planning and traffic control was carried out by means of computer modeling and verification in natural conditions, the results of which showed that the calculated optimal specified trajectory provides guidance of the center of gravity along a given path by the ship's controls and meets the established optimality criteria. **Discussion:** The main advantage of the method of planning the path of the ship's movement according to the table of waypoints is by calculating the coordinates of the trajectory points along rudder shift angle for curvilinear trajectories, representation of the path in the form of a sum of linear matrices of coordinates of straight and curved linear sections and automatic operational control of motion parameters. The proposed method can be used in the development of controls for automated vessels without watch keeping.*

Keywords: *planning a given path; trajectory points; plane coordinates matrices; automatic deflection detection; decision support system; center of gravity wiring; controls for automated ships; without watch keeping service.*

© Мальцев А. С.

Статтю прийнято
до редакції 28.05.21