

УДК 656.61.052

DOI: 10.31653/2306-5761.33.2022.32-42

COORDINATION OF ANTI-COLLISION ACTIONS OF SHIPS

КООРДИНАЦІЯ АНТИ-КОЛІЗІЙНИХ ДІЙ СУДЕН

L.L. Vagushchenko, DSc, professor; A.J. Kozachenko, senior lecturer

Л.Л. Вагушенко, д.т.н., професор; О.Ю. Козаченко, ст. викладач

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Національний університет «Одеська Морська Академія», Україна

ABSTRACT

The mechanisms of coordination of anti-collision measures of ships are systematized and analyzed. The main of these mechanisms is COLREG, which regulates the actions of two vessels. It is shown that non-regulated coordination used in addition to COLREG is based on the standardized qualification of ship operators and includes knowledge of good seamanship recommendations. In the analysis of mechanisms of binary coordination, the classification of situations of ships' approach is clarified, and principles of a choice of actions general for ships of the same and different navigation statuses in free and constrained waters at normal visibility are highlighted. Ways of reception of numerical values of restrictions on parameters of passing targets in different sailing conditions are offered. It is noted that in order to solve the problem of automation of collision prevention processes, radar-AIS technologies should be supplemented with video camera technologies in the visible and infrared range combined with computer vision. The role of communication in vessel actions coordination has been analyzed. Proposals for its improvement given the achievements in the field of scientific and technological progress are elaborated. It is recommended to use AIS alerts of planned evasive trajectory to decrease uncertainty in the collision prevention process. To reduce the volume of these notifications, it is proposed to replace the segments of changes in motion parameters with time-equivalent segments of rectilinear uniform motion sections. It gets rid of transmitting data characterizing the manoeuvrability of a ship and planned modes of course or/and speed change, and practically does not worsen the assessment of the safety of the measures selected to avoid a collision. The received information allows the ship to present the trajectory of the giving way vessel on the screen in graphical form, both in true and relative motion. Using this capability allows the first ship to quickly assess the safety of the second vessel's planned operations.

Keywords: collision avoidance, coordination mechanisms, anti-collision plans, mapping of evasive trajectories.

РЕФЕРАТ

Систематизовано механізми координації анти-колізійних заходів суден та дано їх аналіз. Основним із цих механізмів є МПЗЗС-72, які регламентують дії двох суден. Показано, що нерегламентована координація, що використовується на додаток до МПЗЗС-72, заснована на стандартизованій кваліфікації судноводіїв і включає знання рекомендацій хорошої морської практики. При аналізі механізмів парної координації уточнено класифікацію ситуації зближення суден та виділено загальні для суден одного та різних статусів принципи вибору дій у вільних та обмежених водах за нормальної видимості. Запропоновано шляхи отримання чисельних значень обмежень на параметри розходження щодо різних умов плавання. Відзначено, що для вирішення проблеми автоматизації процесів попередження зіткнень, РЛС-АІС технології мають бути доповнені технологіями відеокамери у видимому та інфрачервоному діапазоні у поєднанні з комп'ютерним зором. Проаналізовано роль комунікації при координації дій суден. Вироблено пропозиції щодо її вдосконалення з урахуванням досягнень у галузі науково-технічного прогресу. Рекомендується для зниження невизначеності при попередженнях зіткнень використовувати AIS-

повідомлення про заплановану траєкторію розходження. Для зменшення обсягу цих оповіщень запропоновано ділянки зміни параметрів руху замінювати еквівалентними за часом відрізками рівномірного прямолінійного руху. Це позбавляє від передачі даних, що характеризують маневреність судна і плановані режими зміни курсу або/і швидкості, і практично не погіршує оцінку безпеки вибраних для розходження заходів. Прийнята інформація дозволяє судну уявити на екрані траєкторію руху судна, що уступає шлях, в графічному виді, як в істинному, так і у відносному русі. Використання такої можливості дозволяє першому судну швидко оцінити безпеку для нього планованих другим судном операцій.

Ключові слова: уникнення зіткнень, механізми координації, анти-колізійні плани, відображення траєкторій розходження.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Рост плотности и интенсивности морского движения, скоростей судов, их размеров (с соответствующим ухудшением маневренности), уменьшение экипажей ведут к понижению безопасности расхождения судов. Несмотря на принятые меры, в том числе и развитие бортовых систем поддержки принятия анти-коллизийных решений, проблема обеспечения согласованности действий судов для предупреждения столкновений не теряет своей актуальности.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных вопросов

Основным координатором действий судов при избегании столкновений являются МППСС-72. В работах [1, 2] отражены результаты формального описания этих Правил в части маневрирования, определены области взаимных обязанностей судов, отвечающие им ситуации с риском чрезмерного сближения и способы поведения. Рассмотрены взаимодействия в условиях хорошей и пониженной видимости. Установлены не предусмотренные МППСС-72 нестандартные ситуации. В статьях [3, 4] обсуждаются недостатки и противоречия Правил, их несоответствие современным условиям судоходства, вырабатываются рекомендации по совершенствованию этого вида координации. В пособии [5] предложен каталог выбора маневра для расхождения, облегчающий определение действий судов и их координацию. Принципы упорядочивания действий для избегания столкновений с несколькими судами рассматриваются в работе [6]. Наиболее подходящим для решения этой задачи признан мульти-агентный подход. В работе [7] представлена архитектура системы планирования движения для автономных судов. Она включает модуль поиска оптимальных траекторий с помощью алгоритма быстро исследующего случайного дерева. Подробно описывается процедура для нахождения отвечающих МППСС-72 планов для расхождения с несколькими судами. Современное состояние систем для избегания столкновений (CAS - Collision Avoidance System) с точки зрения учета ими МППСС-72 анализируется в статье [8]. Разработаны рекомендации по устранению выявленных недочетов, предложена концепция автоматического распознавания звуковых и световых сигналов. Исследование [9] посвящено созданию на основе искусственных потенциальных полей алгоритма, способного генерировать совместимые с МППСС-72 траектории при наличии стационарных и динамических препятствий. В статье [10] предложен алгоритм выработки кооперативного решения для безопасного расхождения группы беспилотных судов. В группе выделяются подмножества судов: должных сохранять курс и скорость, обязанных уступить дорогу, ограничивающих маневрирование. Решением является набор измененных маршрутов, обязанных действовать судов. Затронут вопрос обмена информацией между судами для проведения кооперативных действий.

Во всех упомянутых выше работах обращается внимание на необходимость улучшения механизмов координации действий судов при расхождении.

Формулировка цели исследования (постановка задачи)

Цель работы – анализ видов координации действий судов при избегании столкновений и выработка рекомендаций по ее улучшению, разработка метода предоставления намеченного судном плана расхождения другим судам для обеспечения им хорошего понимания развития ситуации.

Освещение результатов работы

Координация – это деятельность по упорядочению мер влияющих друг на друга систем управления, приведению их в соответствие с поставленной целью. При предупреждении столкновений она обеспечивает согласованность и эффективность действий судов для достижения безопасного расхождения, и осуществляется с помощью нескольких механизмов, называемых также видами координации.

По числу судов, действия которых увязываются, выделяют бинарную (парную) и групповую координацию. Так, например, МППСС-72 является бинарным координатором, регламентирующим взаимодействие двух сближающихся судов в чреватых столкновением ситуациях. Для случаев группового управления обычно предлагается использовать мульти-агентные модели, интегрирующие в себе идеи распределенного принятия решений и вычисления на основе парных взаимодействий. По отношению к группе воздействующих друг на друга судов координация бывает внутренней и внешней.

В зависимости от прозрачности атмосферы выделяют координацию для нормальной и ограниченной видимости. Критерии эффективности, определяющие принципы выбора анти-коллизийных действий в этих условиях, отличаются.

В зависимости от пространства для маневра при расхождении двух судов выделяют координацию для свободных (без неподвижных и подвижных препятствий) вод и стесненных (с этими препятствиями) акваторий. Предписываемые для разрешения ситуаций в свободных водах действия судов будем называть стандартными.

В зависимости от юридического статуса различают регламентированную и нерегламентированную координацию. Первая из них определяется набором международных и государственных правил и наставлений. Основными из этих нормативных документов являются МППСС-72. В основе Правил лежит понятие «обязательств» судна, которое постулирует необходимость выполнения им действий, ведущих к достижению predetermined цели в интересах его и другого судна. Вторым важным понятием, является «ситуация», которое фиксирует условия, при которых обязательства выполняются, а также обстоятельства, когда судно может или должно отказаться от предписанного ему поведения. Условия, в которых судно следует выполнять обязательства, называются «нормальными», а обстоятельства, когда судно может или должно отказаться от предписываемого ему поведения, – соответственно «близкими к экстремальным» (напряженными) и «экстремальными». Ситуационный подход для решения анти-коллизийных задач основан на точке зрения, что не существует универсального принципа управления, который мог бы использоваться для расхождения при всех приводящих к столкновению ситуациях в процессе сближения судов. Каждая ситуация, в которой оказываются суда, должна анализироваться отдельно и разрешаться соответствующим образом.

Нерегламентированная координация состоит в нахождении и применении отвечающих условиям плавания ограничений на меры судна, в согласовании действий в не приведённых в МППСС-72 ситуациях с учетом рекомендаций хорошей морской практики. Она основывается на способности персонала мостика решить эту задачу. Ее залогом является стандартизированная квалификация судоводителей, означающая точное определение необходимого для эксплуатации и управления судном уровня их подготовки. Деятельность судоводителей достаточно полно учтена образовательными стандартами, модельными

курсами и требованиями системы менеджмента качества. Такая квалификация должна приводить на сближающихся судах к одинаковым оценкам обстановки, и получению на их основе взаимно-приемлемых решений.

В зависимости от уровня автоматизации различают ручную, автоматизированную и автоматическую координацию. В первом случае все функции для обеспечения содействия другому судну при расхождении возлагаются на судоводителей. При автоматизированной координации часть этих функций выполняет компьютер. Автоматическая координация предполагает осуществление всех ее функций компьютерной системой без непосредственного участия судоводителя. Для автоматизации процессов регулируемой и нерегулируемой координации необходима их алгоритмизация. Она, в частности, включает выделение в процессе сближения судов ситуаций, определяющих способ их разрешения, и их классификацию. Предлагаемый для применения при автоматической координации уточненный вариант классификации ситуаций представлен на рис. 1.



Рис. 1. Уточненная классификация ситуаций в процессе сближения двух судов.

Противоположными и совпадающими здесь считаются курсы, разность между которыми лежит соответственно в пределах $(180^\circ \pm \Delta)$ и $(\pm \Delta)$, где Δ – малая величина, обычно принимаемая равной 6° .

Выделим общие подходы к выбору анти-коллизийных действий, которые могут применяться при автоматической координации. При решении этой задачи для двух судов в свободных водах при нормальной видимости следует определить:

- обязанное уступить дорогу судно (GWV – give way vessel) для каждой ситуации сближения;
- принцип выбора действия GWV в штатной ситуации.
- принцип выбора возможного действия судна, которому уступают дорогу (SOV – stand-on vessel), в напряженной ситуации.

В МППСС-72 для судов с разными навигационными статусами GWV устанавливается Правилем 18. Для ситуаций «Встреча» судов с механическим двигателем (одинаковый статус) для этой цели служат Правила 14, 15. Для ситуаций «Обгон» GWV определяется Правилем 13. Общие положения, которые можно использовать для выбора при нормальной видимости в свободных водах действий как судов с механическим двигателем (одинаковый статус), так и судов с разным статусом, можно установить, учитывая следующие обстоятельства. В МППСС-72 для судов с механическим двигателем в ситуациях «Противоположные курсы», где оба судна обязаны предпринять маневр, в основу выбора стандартного действия положен принцип «оставление другого судна по левому борту». Этот принцип в морской практике применяется и для GWV в ситуациях «Противоположные курсы» при разных статусах судов,

и в ситуациях «Совпадающие курсы» для уступающих дорогу судов, независимо от их статуса. В ситуациях «Пересекающиеся курсы» используется принцип «избегание пересечения курса другого судна по носу». Эффективным в морской практике при нормальной видимости в свободных водах обычно считается действие GWV, сопровождающееся минимальной потерей ходового времени. Таким является маневр курсом, позволяющий быстрее, чем другие виды действий, опасную ситуацию в процессе сближения судов перевести в безопасную. Для маневра курсом соблюдение принципа «не пересечение курса другого судна по носу» сводится к выбору стороны уклонения, при которой GWV пройдет по корме другого судна. Нетрудно установить, что независимо от статуса судов при нормальной видимости в штатных ситуациях «Пересекающиеся курсы» эффективно изменение курса GWV в сторону борта, на котором находится SOV.

В напряженных штатных ситуациях (обычно, когда GWV запаздывает с мерами для избегания столкновения) возможен маневр судна, которому уступают дорогу. В основу выбора такого действия положен принцип «содействия» уступающему дорогу судну, с учетом маневра, который оно должно предпринять. Исходя из этого, можно установить, что в напряженных ситуациях встречи на пересекающихся курсах, независимо от статуса судов, для SOV целесообразно изменять курс в сторону того же борта, в которую должно изменить курс GWV. В ситуациях обгона сторона уклонения SOV противоположна.

Таким образом, при нормальной видимости в свободных водах для выбора стандартных действий судов с механическим двигателем (одинаковый статус) и судов с разным статусом можно использовать следующие принципы:

- в штатных ситуациях «Пересекающиеся курсы» уступающее дорогу судно должно изменить курс в сторону судна, которому уступают дорогу;
- в ситуациях встречи на противоположных курсах и обгона при совпадающих курсах уступающее дорогу судно должно изменить курс вправо и оставить другое судно по левому борту;
- в напряженных ситуациях встречи на пересекающихся курсах судно, которому уступают дорогу, может изменить курс в сторону, в которую должно повернуть уступающее дорогу судно;
- в напряженных ситуациях обгона при пересекающихся курсах судно, которому уступают дорогу, может изменить курс в сторону, противоположную стороне поворота уступающего дорогу судна.

Целесообразно для предупреждения столкновения сторону изменения курса в свободных водах будем называть главной.

В стесненных судами водах действие должно приниматься по отношению к самому опасному из них с обеспечением безопасности расхождения с другими судами и навигационными препятствиями. При нормальной видимости принципы для расхождения в свободных водах следует применять и в стесненных акваториях, когда позволяют обстоятельства. Для противного случая устанавливаются альтернативные стандартным варианты действий. В порядке приоритета список вариантов действий в стесненных водах при нормальной видимости следующий:

- изменение курса в главную сторону;
- поворот в главную сторону с изменением скорости или только изменение скорости;
- изменение курса в сторону, противоположную главной;
- поворот в сторону, противоположную главной, с изменением скорости.

Для избегания столкновения применяется действие с наивысшим приоритетом. Маневры расхождения в стесненных водах в общем случае сопровождаются пересечением курса того или другого судна по носу. Такой вариант опаснее прохождения по корме. Поэтому при планировании маневра допустимая дистанция пересечения курса по носу должна быть больше, чем по корме.

При ограниченной видимости в выделенных ситуациях главная сторона уклонения от другого судна установлена Правил 19. В основу ее выбора положен принцип «содействия»

судов друг другу. Следование этому правилу помогает судам быстрее увеличивать дистанцию расхождения. В Правиле 19 не установлена сторона уклонения, когда у судна другое судно находится впереди траверза и является обгоняемым. Исходя из принципа «содействия», в этом случае, если возможно, следует избегать поворота в сторону обгоняемого судна. При ограниченной видимости в стесненных водах поворот судна в сторону, противоположную главной, сопровождается большей опасностью, чем при нормальной видимости.

Датчики информации в автоматических CAS должны предоставить все необходимые для расхождения данные, в том числе и те, которые обычно получают визуальным наблюдением. Считается, что дополнение РЛС-АИС технологий, технологиями лидара, видеокамеры в видимом и инфракрасном диапазоне в сочетании с компьютерным зрением сможет обеспечить получение таких данных при автоматическом избегании столкновений.

К настоящему времени уже предложен ряд алгоритмов координации действий судов при расхождении. Наиболее отвечающим запросам практики результатом в этом направлении стало завершение компанией Rolls-Royce проекта MAXCMAS (MACHine eXecutable Collision regulations for Marine Autonomous Systems) [11]. Ключевые правила МППСС-72 и хорошей морской практики в ходе выполнения этого проекта были формализованы, и полученные алгоритмы апробированы при оценке ситуаций и выборе маневров. Когда риск столкновения вызван не отвечающим Правилам поведением цели, то активизируется нахождение действий для расхождения с ней на максимально возможной дистанции. При применении полученных алгоритмов в моделируемых на компьютере ситуациях и на судах в реальных условиях было продемонстрировано, что автоматическое расхождение судов без нарушений МППСС-72 возможно. Следует отметить, что разработанные в прошлом веке для использования человеком МППСС-72 по ряду положений [2-4] уже не отвечают условиям плавания. Поэтому вопрос приведения этих Правил на уровень современности стоит на повестке дня.

Оценка ситуации, планирование анти-коллизийных действий связаны с использованием конкретных пределов на параметры расхождения в разных условиях плавания. К таким ограничениям относятся: лимиты дистанции и времени кратчайшего сближения, пороги своевременности и существенности предпринимаемых действий, «горизонт» учитываемых судов и др. Без этих ограничений невозможно решать задачи по предотвращению опасных сближений с другими судами. Основными влияющими на параметры расхождения факторами являются тип акватории по расстоянию до навигационных препятствий, и плотность движения судов. Можно выделить три значения плотности движения в районах плавания (малая, средняя, большая). Осредненное за год значение плотности движения для участков пути судна можно получить, используя сервис «MarineTraffic». Реальную плотность движения для текущего участка пути можно оценить по данным AIS. Акватории, в которых расходятся суда, можно разделить на четыре типа: с большим; полусредним, средним и малым расстоянием до навигационных препятствий. Акватории последнего типа – это внутренние морские воды, к которым можно отнести выпадающие в моря реки, естественные и искусственные каналы, акватории портов и т.п. Движение судов здесь жестко регламентировано местными правилами, и обычно хорошо организовано, регулируемо, контролируемо и имеет лоцманское обеспечение. Для остальных типов акваторий с разными плотностями движения, численные значения ограничений на параметры расхождения можно получить на основе:

- опросов судоводителей;
- консультаций с экспертами;
- нахождения зависимостей параметров расхождения от влияющих на них факторов;
- моделирования интеллектуальной деятельности.

Проблема координации действий при предупреждении столкновений имеет непосредственное отношение к уровню развития коммуникаций для обмена информацией. Важно, чтобы судно в любое время имело возможность передачи другим судам и получения от них достаточной для управления процессом расхождения информации. В зависимости от применения средств общения с другими судами различают координацию без обмена

інформацією (автономною) і комунікаційною. В недавньому минулому із-за відсутності, або дороговизни, ефективних систем зв'язу, при розходженні судів, в основному використовувався перший вид координації. Судно визначало анти-колізійні плани, прогнозує ймовірні дії інших судів, без спілкування з ними. Комунікаційна координація може здійснюватися шляхом оповіщень про наміри, а також передачею і узгодженням планів розходження. Вона не є основним механізмом упорядкування дій судів і служить для підвищення ефективності розходження в окремих випадках. При використанні комунікації МППСС-72 повинні дотримуватися в будь-якому випадку. Оповіщення для узгодження дій можуть бути різного виду:

- тире-точечними звуком і світлом;
- речевими по УКВ радіостанції;
- текстовими по лінії АІС;
- текстовими, графічними і іншими по каналам супутникової зв'язу.

В МППСС-72 вже передбачено застосування звукової і світлової сигналізації (правило 9, 34 і др.). Велике значення для удосконалення координації дій судів при розходженні має розвиток е-Навігації [12], яка забезпечить авторизовану передачу інформації між судами, між судном і берегом. Це дозволить при вирішенні завдань розходження використовувати нові види оповіщень, які повинні бути стандартизовані. Ряд з них може бути регламентований. Обсуджуються і варіанти визначення анти-колізійних дій на основі переговорів між судами. Правила їх ведення повинні бути попередньо встановлені, відомі всім судам і формалізовані в вигляді протоколу переговорів, до якого пред'являються наступні основні вимоги:

- ефективність (можливість досягнення устраивающего всіх рішення);
- простота (не ускладнення структури комунікації);
- децентралізація (забезпечення переговорів без посередників);
- симетричність (однакові можливості по частині в переговорах).

Кожний протокол переговорів повинен включати три компоненти.

- фіксоване простір можливих уголок;
- правила взаємодії (звичайно використовується варіант «пропозиція – контрпропозиція», який легко реалізується і не створює проблем при комунікації);
- критерій ефективного поведіння судів.

В загальному випадку переговори повинні бути чіткими, короткими і своєчасними, щоб не втрачалося цінне час, обмежене при розходженні. Більшість фахівців сходяться на думку, що розв'язання колізійних ситуацій при плаванні по маршруту повинно виконуватися, якщо дозволяють обставини, без переговорів на основі спостережень, оповіщень і застосування МППСС-72.

З урахуванням МППСС-72, відповідних умов плавання обмежень на параметри розходження і критерії ефективності управління цим процесом визначаються плани уникнення зіткнень. Для цієї мети запропоновані основані на різних концепціях методи [13, 14]. В загальному випадку передбачувана планом розходження траєкторія містить відрізки прямолінійної рівномірного руху і ділянки зміни параметрів руху. Важливим елементом при виборі планів розходження є передбачуваність поведінки судів. Рішенню цього питання сприяє, зокрема, можливість всіх підпорядкованих вимогам SOLAS судів транслювати свої плани переходу по лінії АІС. Якщо цю операцію зробити обов'язковою, то обмін маршрутами дозволить всім оточуючим судам мати інформацію про точках повороту учасників руху задовго до того, як вони ввійдуть в зону дії МППСС-72. Передбачені в АІС і короткі повідомлення (message ID 28) про попередженні зіткнень для передачі даних: статических (тип судна, вибіг при активному гальмуванні, виступ і тактичний діаметр циркуляції, час повороту на 90°), динамічних (курс, швидкість, координати місця), про дії (час,

поворот влево/вправо, снижение/увеличение скорости, стоп. уступаю дорогу, сохраняю прежние K и V).

Передача траекторий для избегания столкновений в AIS пока не предусмотрена. Ниже предлагается для этой цели использовать короткие сообщения, разработав систему их кодирования/декодирования и протокол передачи. Принимающие сообщение суда смогут оценивать степень опасности для них намечаемых действий пославшего это сообщение судна. Планируемые траектории расхождения следует определять с достаточной точностью. Сообщение о таких траекториях должно включать только необходимые для их построения данные. Согласно Правилам 8 и 16, изменение курса или/и скорости для избегания столкновения должно быть решительным (substantial), т.е. достаточно большим и коротким по времени. Второе обуславливает возможность замены траекторных участков изменения параметров движения эквивалентными по времени отрезками равномерного прямолинейного движения (рис. 2) с целью уменьшения количества передаваемой информации. Использование таких промежуточных отрезков избавляет от передачи другому судну данных, характеризующих маневренность судна по курсу и скорости, и выбранных для изменения этих параметров режимов. В результате, траекторию расхождения можно определить числом участков в ней, расстоянием (S_0) до ее начала, значениями курса (K_i), скорости (V_i) и длины (S_i) каждого участка, или координатами концов этих участков и скоростью движения по ним. Эти данные целесообразно дополнить принятым при определении траектории пределом дистанции кратчайшего сближения (DCPA - distance at closest point of approach).

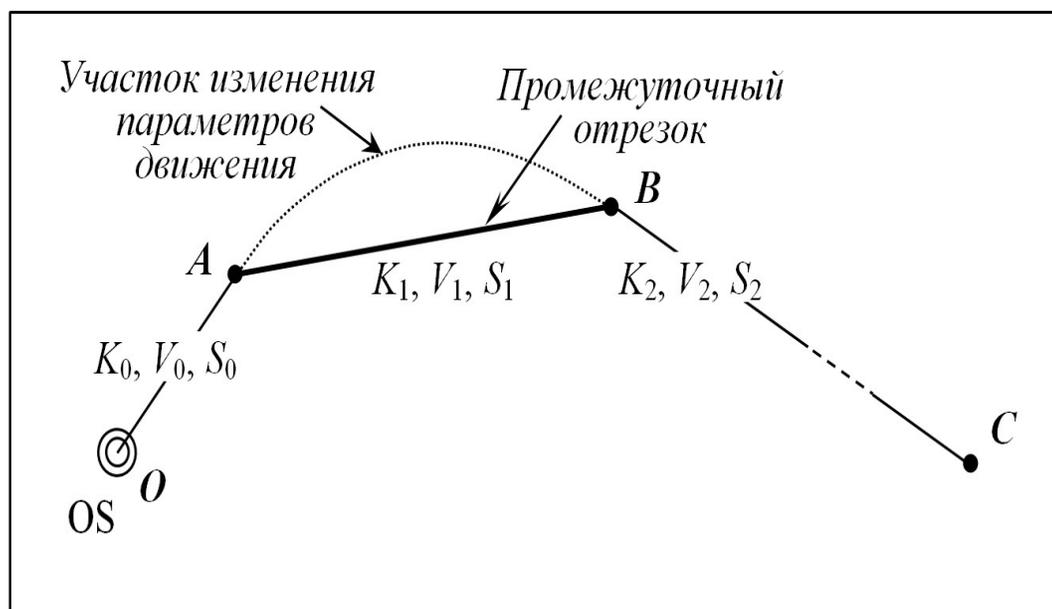


Рис. 2. Промежуточный отрезок, заменяющий участок маневрирования

На принимающем сообщении судне рационально оценивать безопасность плана действий другого судна по относительной траектории движения второго судна. Пример отображения на судне A принимаемого от судна B плана расхождения представлен на рис. 3. Параметры движения судов: $K_A=227^\circ$, $V_A=15,8$ kn, $K_B=300^\circ$, $V_B=17,1$ kn. Дистанция и пеленг судна B на судне A : $D_{AB}=44,6$ cb, $\Pi_{AB}=172^\circ$; предел DCPA выбран 10 cb. В этом плане, $S_0=15,00$ cb, $K_1=315^\circ$, $V_1=13,8$ kn, $S_1=3,66$ cb, $K_2=344^\circ$, $V_2=14,1$ kn, $S_2=15,00$ cb, $K_3=330^\circ$, $V_3=16,2$ kn, $S_3=3,92$ cb, $K_4=300^\circ$, $V_4=17,1$ kn, $S_4=35,0$ cb. На судне A относительная траектория судна B дает ясную картину безопасности действий судна B .

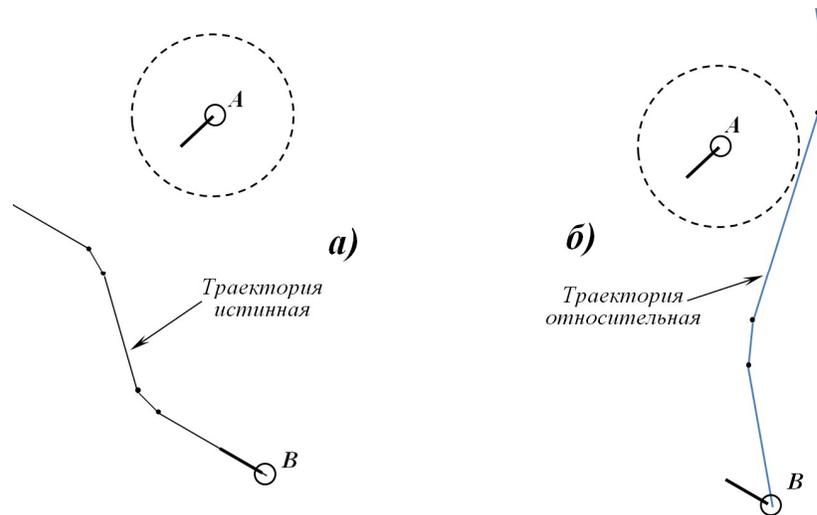


Рис. 3. Отображение на судне A принятой для расхождения на судне B траектории:
а) в истинном движении; б) в относительном движении

Помимо упомянутых выше функций обмена маршрутами перехода и планами расхождения между судами, продолжают исследования по улучшению предотвращения столкновений на основе внешней координации - береговой помощи в неординарных ситуациях, которые могут возникнуть во всех районах Мирового океана [12]. Новые информационно-коммуникационные технологии, внедряемые при развитии е-Навигации, позволяют собирать обширные данные и передавать их на большие расстояния практически в режиме реального времени через усовершенствованные спутниковые каналы связи. Передаваемая информация может включать фактические данные навигационных и других судовых систем, устройств и приборов. Сегодня судоходные компании стремятся создать операционные центры управления своим флотом на берегу. Круизные и контейнерные судоходные компании уже используют возможности дистанционного онлайн-мониторинга маршрутов, динамического прогнозирования пути и поддержки решений судовых операторов. Предполагается, что операционные центры управления флотом компаний смогут оказывать помощь своим судам и при выборе действий для расхождения в сложных ситуациях. Для этой цели применяемая в авиации концепция TCAS (Traffic Collision Avoidance System) может адаптироваться к условиям расхождения морских судов в свободных и стесненных водах. Предполагается, что добавочный внешний береговой мониторинг и координация при расхождении будут действовать как своего рода дополнительный барьер безопасности.

Выводы

В результате исследования:

- систематизированы виды координации действий судов при расхождении;
- уточнена классификация ситуаций сближения двух судов и выделены общие для судов одного и разных навигационных статусов принципы выбора действий в свободных и стесненных водах при нормальной видимости;
- отмечены пути получения численных значений ограничений на параметры расхождения для разных условий плавания;
- проанализирована роль коммуникации при координации действий судов и предложения по ее совершенствованию;
- рекомендовано для снижения неопределенности при предупреждениях столкновений использовать AIS-оповещения о планируемой траектории расхождения;
- предложено для уменьшения объема AIS-оповещений участки изменения параметров

движения заменять эквивалентными по времени отрезками прямолинейного равномерного движения

Эти результаты могут использоваться при разработке алгоритмов координации действий судов в автоматизированных и автоматических САС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бужбецкий Р.Ю. Типы Взаимодействия Судов При Опасном Сближении/ Р.Ю. Бужбецкий // Вестник ГМУ Им. Адм. Ушакова. - Вып. 1(6). – 2014. – С. 16-19.
2. Цымбал Н.Н. Формализация МППСС-72 В Части Координации Взаимодействия Судов При Расхождении / Н.Н. Цымбал, Р.Ю. Бужбецкий. //Судовождение. – 2006. - № 12. – С. 124 – 129.
3. Климов Е. МППСС-72 – Пришло Время Перемен? /Е. Климов //Морские Вести России. - №3. – 2021.
4. Найденов Е. Тупиковая Проблема Автоматизации Расхождения Судов. / Е. Найденов //Морские Вести России. - №10, - 2020.
5. Мальцев А.С. Маневрирование Судов При Расхождении /А.С. Мальцев, Е.Е. Тюпиков, И.И. Ворохобин. – 3-Е Изд., Перераб. И Доп., Одесса: Морской Тренажерный Центр, 2013. 304 С.
6. Астерин В. В. Принципы Координации Подсистем Судна Для Предупреждения Столкновений / В. В.Астерин, Е. В. Хекерт // Вестник Государственного Университета Морского И Речного Флота Имени Адмирала С. О. Макарова. - №2. – 2013. - С. 13 – 22
7. Zaccone R. МППСС-72-Compliant Optimal Path Planning For Real-Time Guidance And Control Of Autonomous Ships / R. Zaccone // Journal Of Marine Science And Engineering; Basel. - Vol 9, Ed. 4. - 2021. - 405.
8. Salous M. Colregs-Coverage In Collision Avoidance Approaches: Review And Identification Of Solutions / M. Salous, A. Hahn, C. Denker // 12th International Symposium On Integrated Ship's Information Systems & Marine Traffic Engineering Conference. Hamburg. - 2016. – Pp. 1-10.
9. Naeem W. A Reactive Colregs-Compliant Navigation Strategy For Autonomous Maritime Navigation / W. Naeem, S.C. Henrique, L. Hu //10th IFAC Conference On Control Applications In Marine Systems: Trondheim, Norway. – 2016. – pp. 207-213.
10. Смоленцев С. В. Кооперативное Маневрирование Безэкипажных Судов Для Безопасного Расхождения В Море / С. В. Смоленцев, А. Е. Сазонов Ю. М. Искандеров // Вестник Государственного Университета Морского И Речного Флота Имени Адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 4. — С. 687–695.
11. Varas J. M. MAXCMAS Project - Autonomous Colregs Compliant Ship Navigation / J. M.Varas, S. Hirdaris, R. Smith, P. Scialla, W. Caharija, Z. Bhuiyan, T. Mills, W. Naeem, L. Hu, I. Renton, D. Motson, E. Rajabally //16th International Conference On Computer And IT Applications In The Maritime Industries. - Cardiff, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, - 2017. - Pp. 454-465.
12. Baldauf M. Potentials Of E-Navigation – Enhanced Support For Collision Avoidance // M.Baldauf, K.Benedict, C.Krüger /Transnav, The International Journal On Marine Navigation And Safety Of Sea Transportation. - Vol. 8, No. 4. - 2014. - Pp. 613-617.
13. Huang Y. Ship Collision Avoidance Methods: State-Of-The-Art / Y. Huang, L. Chen, P. Chen, R.R. Negenborn, P.H.A.J.M. Van Gelder // Safety Science. -121. - 2020. - Pp. 451–473.

14. Tam, C. Review Of Collision Avoidance And Path Planning Methods For Ships In Close Range Encounters /C. Tam, R. Bucknall, A. Greig // The Journal Of Navigation. - 62 (3), – 2009. - Pp. 455-476.

REFERENCES

1. Buzbeckiy R.Y. (2014). Tipy Vzaimodeystvija Sudov Pri Opasnom Sblizenii / Vestnik GMU Im. Adm. Ushakova. 1(6): 16-19.
2. Tsymbal N.N., Buzbeckiy R.Y. (2006). Formalizacija Mppss-72 V Chasti Koordinacii Vzaimodeystvija Sudov Pri Rashozdenii /Sudovozdenie. № 12: 124 – 129.
3. Klimov E. (2021). MPPSS-72 – Prishlo Vremja Peremen? /Morskije Vesti Rossii. №3.
4. Naydenov E. (2020).Tupikovaja Problema Avtomatizacii Rashozdenija Sudov / Morskije Vesti Rossii. №10.
5. Malcev A.C., Tjupikov E.E., Vorohobin I.I. (2013). Manevrirovanie Sudov Pri Rashozdenii – 3-E Izd. Pererab. I Dop. /Morskoy Trenazerniy Centr, Odessa. 304.
6. Asterin V.V., Hekert E.V. (2013). Principy Koordinacii Podsystem Sudna Dlja Preduprezdenija Stolknoveniy / Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo I Rechnogo Flota Imeni Admirala S. O. Makarova. №2: 13 – 22
7. Zaccone R., Martelli M., Figari M. (2019). A COLREG-Compliant Ship Collision Avoidance Algorithm. - 18th European Control Conference (ECC). Napoli, Italy: 2530-2535.
8. Salous M., Hahn A., Denker C. (2016). Colregs-Coverage In Collision Avoidance Approaches: Review And Identification Of Solutions / 12th International Symposium On Integrated Ship's Information Systems & Marine Traffic Engineering Conference. Hamburg: 1-10.
9. Naeem W, Henrique S C., Hu L. (2016). A Reactive Colregs-Compliant Navigation Strategy For Autonomous Maritime Navigation / 10th IFAC Conference On Control Applications In Marine Systems: Trondheim, Norway: 207-213.
10. Smolentsev S.V., Sazonov A.E., Iskanderov Y.M. (2018). Cooperative Maneuvering Of Unmanned Ships For Collision Avoidance At Sea. Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo I Rechnogo Flota Imeni Admirala S. O. Makarova. 10.4: 687–695.
11. Varas J. M., S. Hirdaris, R. Smith, P. Scialla, W. Caharija, Z. Bhuiyan, T. Mills, W. Naeem, L. Hu, I. Renton, D. Motson, E. Rajabally (2017). MAXCMAS Project - Autonomous Colregs Compliant Ship Navigation / 16th International Conference On Computer And IT Applications In The Maritime Industries. - Cardiff, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg: 454-465.
12. Baldauf M., Benedict K., Krüger C. (2014). Potentials Of E-Navigation – Enhanced Support For Collision Avoidance /Transnav, The International Journal On Marine Navigation And Safety Of Sea Transportation, Vol. 8, No. 4: 613-617.
13. Huang Y., Chen L., Chen P., Negenborn R.R., Van Gelder P.H.A.J.M. (2020). Ship Collision Avoidance Methods: State-Of-The-Art. Safety Science. 121. 451–473.
14. Tam, C., Bucknall, R., Greig, A., (2009). Review Of Collision Avoidance And Path Planning Methods For Ships In Close Range Encounters. The Journal Of Navigation, 62 (3): 455-476.