

УДК 656.61.052

DOI: 10.31653/2306-5761.27.2018.24-34

ENHANCEMENT OF SUPPORT FOR COLLISION AVOIDANCE DECISIONS**УЛУЧШЕНИЕ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ СТОЛКНОВЕНИЙ**

L.L. Vagushchenko¹, DSc, professor, A.A. Vagushchenko², 2nd Officer
Л.Л. Вагущенко¹, д.т.н., профессор, А.А. Вагущенко², 2-й помощник
капитана

¹National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

¹Національний університет «Одеська Морська Академія», Україна

²SC «V.Ships (Ukraine)»

²ДП «В.Шипс (Україна)»

ABSTRACT

The questions of perfection of onboard systems for avoiding collisions, the place of such system in the ship's motion control system and the ways of its transformation into the Collision Avoidance Support System (CASS) are covered. This transformation in particular includes the definition of the main tasks of the CASS, the composition of its information provision, the criteria for the quality of collision avoidance manouvers, the development of methods for drawing up recommendations on safe passage by ships.

The list of tasks to be solved by the CASS, the composition of databases and knowledge bases of its information provision, the constitution of vessel's static and dynamic information, which is needed to develop recommendations, are specified and a form for economical representation of this information in the form of a matrix is proposed.

One of the possible effectiveness criteria for evasive manouvers is examined, and one of the options for formally taking into account the requirements of COLREG-72 for safety, timeliness, decisiveness, and economy of actions for avoiding collisions is considered.

Information support tools are highlighted to facilitate the selection of effective combined two-step manouvers (CTM) for safe passing by several vessels in the dialogue mode of the operator with the system. For this purpose, it is proposed to use two representational models of situations. The basis of the first of them is the marks that reflect the limitations of targets on the CTM. When they are used, the CTM with the intended values of the parameters is selected by indicating by the cursor the defining point of this manouvers. CTM is safe when its trajectory does not intersect any of the mentioned marks. The second model is intended to simplify the selection

of CTM with a known beginning. It is based on the areas of the defining points of safe CTM in relation to all targets and the linear intervals of such CTM with the shortest distance from the own ship route. In addition, to simplify the choice of the parameters of the first operation of the CTM, it is recommended to display at the periphery of the screen of the system the polar diagram of safe velocity vectors that correspond to the start point of manouver. Getting this diagram is based on the known method of calculating of dangerous relative courses sectors of targets.

It is shown that the parameters of an effective CTM with a given angle of return to the route of a voyage can be found by the method of enumerating the variants of this manouver with the defining points belonging to their admissible set. The composition of information that can serve as a justification for recommended by the system evasive strategy is determined.

The practical use of collision avoidance tools offered in the article can help the OOW to choose an effective plan for safe passing by the targets in difficult conditions.

Keywords: collision prevention, decision support, maneuvers quality.

РЕФЕРАТ

Висвітлено питання вдосконалення бортових систем для уникнення зіткнень, місце такої системи в системі управління рухом судна і шляхи її перетворення в систему підтримки рішень по розходженню з цілями (СПРР). Це перетворення, зокрема, включає визначення основних завдань СПРР, складу її інформаційного забезпечення, критеріїв якості маневрів із запобігання зіткнень, розробку методів вироблення рекомендацій по розходженню та їх обґрунтування.

Уточнено перелік завдань, які вирішує СПРР, склад баз даних і баз знань її інформаційного забезпечення, встановлена статична і динамічна інформації про судна, яка потрібна для вироблення рекомендацій по розходженню, і запропонована форма для її економного представлення у вигляді матриці.

Розглянуто один з можливих критеріїв ефективності для стратегій розходження і один з варіантів формального урахування при його використанні вимог МППСС-72 до безпеки, завчасності, впевненості, економності дій для уникнення зіткнень.

Висвітлено інструменти інформаційної підтримки для полегшення вибору ефективних комбінованих двох крокових маневрів (КДМ) розходження з декількома суднами в режимі діалогу оператора з системою. Для цієї мети запропоновано використовувати дві образотворчі моделі ситуацій. Основою першої з них є мітки, що відображають обмеження «цілей» на КДМ. При їх використанні КДМ з наміченими значеннями параметрів вибирається

призначенням курсором його визначальною точки. КДМ є безпечним, коли його траєкторія не перетинає жодної із згаданих міток. Друга модель призначається для спрощення отримання КДМ з відомим початком. Її основу складають області точок, що визначають безпечні КДМ по відношенню до всіх «цілей», та лінійні інтервали таких КДМ з найкоротшою дистанцією відходу від маршруту переходу. Крім того, для спрощення вибору параметрів першої операції КДМ рекомендовано мати можливість показувати на периферії екрану системи полярну діаграму безпечних векторів швидкостей, що відповідає початку маневру. Отримання її засновано на відомому методі розрахунку секторів відносних небезпечних курсів «цілей».

Показано, що параметри ефективного КДМ з заданим кутом повернення до маршруту переходу можна знайти методом перебору варіантів цього маневру з визначальними точками, які належать їх допустимій множині. Визначено склад інформації, яка може служити в якості обґрунтування для рекомендованою системою стратегії розходження.

Використання на практиці пропонованих в статті інструментів інформаційної підтримки рішень по попередженню зіткнень може надати істотну допомогу вахтовому помічнику при виборі ефективного плану розходження з суднами в складних умовах.

Ключові слова: попередження зіткнень, підтримка рішень, якість маневрів.

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

Одним из путей снижения числа и последствий морских аварий является применение бортовых систем поддержки предупреждений столкновений (CASS - Collision Avoidance Support System). Потребность в таких системах была подтверждена в 2014 г. на форуме ИМО по развитию стратегии E-навигации в Лондоне.

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

Концепция создания CASS и базовые принципы их построения представлены в работах [1, 4]. В настоящее время нашли применение на флоте первые образцы таких систем: DST (Decision support tools) [8] компании «Totem Plus», Израиль; NAVDEC (Navigational Decision Support System) [7], Польша; HiCASS (Hyundai intelligent Collision Avoidance Support system), Южная Корея. Однако эффективность поддержки решений в них еще недостаточно высокая.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью работы является выработка предложений по совершенствованию CASS.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Ниже используются следующие обозначения: OS (own ship) – собственное судно; TS (target ship) – судно-цель; OOW (officer of the watch) – вахтенный помощник капитана; GWV («give-way»vessel) –уступающее дорогу судно; SOV («stand-on»vessel) – судно, имеющее право прохода; ПР – план расхождения; φ , λ – широта и долгота; S_p , S_s – допустимые при выполнении расхождения боковые отклонения влево и вправо от запланированного пути; K, V, ω – курс, линейная и угловая скорость судна; V_0 – скорость OS перед маневром; d, τ – расстояние и время кратчайшего сближения (DCPA, TCPA); d^s, τ^s – пределы безопасных значений DCPA, TCPA; Π, D – пеленг и дистанция; k, v – относительный курс и скорость; β – угол руля; q, ρ – курсовой угол и ракурс; σ – код навигационного статуса.

CASS является частью системы управления движением судна, которая может быть представлена блок-схемой, показанной на рис. 1.

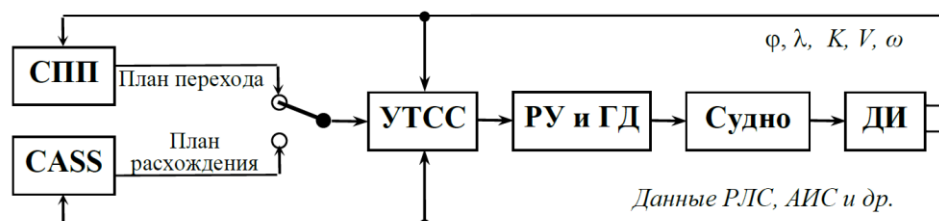


Рис. 1. Блок-схема системы управления движением судна:

СПП – система планирования перехода; УТСС – управляющая траекторией и скоростью судна система; РУ и ГД – рулевое устройство и главный двигатель; ДИ – датчики информации.

Кроме сбора необходимой для предотвращения столкновений информации, ее интеграции и отображения, CASS должна:

- анализировать и оценивать текущую ситуацию;
- вырабатывать необходимые предупреждения;
- определять и рекомендовать OOW эффективный ПР и предоставлять его обоснование;
- обеспечивать OOW возможность выбора мер для избегания столкновения в режиме диалога с CASS через интерфейс пользователя;
- предоставлять возможность эффективной корректировки плана расхождения в процессе его реализации;
- выполнять ряд других операций.

Для обеспечения решения своих задач CASS должна содержать:

- базы картографических, навигационных, о своем судне и других данных;
- базы объективизированных (положения МППСС-72, рекомендации «хорошей морской практики», местные правила и т.д.) и экспертных знаний по предупреждению столкновений;
- библиотеку стратегий расхождений;
- базу моделей (динамики OS; движения «целей»; изображения ситуаций для их анализа, выбора маневров, оценки ПР и др.).

Для представления знаний в CASS наиболее подходящими считаются продукционные модели.

Анализ и оценка ситуации в CASS должны включать:

- выявление маневрирующих и с ожидаемым маневром «целей»;
- обнаружение опасности столкновения и определение степени риска [5];
- классификацию «целей» по степени их опасности [4];
- определение вида сближения с самой опасной «целью», правила МППСС-72 для расхождения с ней, типа OS по обязанности действий;
- оценку ряда других показателей.

При оценке ситуаций обычно учитываются суда в зоне анализа, радиус которой задается охранной дистанцией [7, 8]. Присвоим «целям» в этой зоне номера – 1, 2, ..., n , а OS – 0. Об этих судах для расхождения нужна как статическая, так и динамическая информация, которую можно представить в виде матрицы \mathbf{Q} размера $(n+1) \times (n+1)$ [3]. Диагональные составляющие этой матрицы являются векторами данных отдельных судов, так для судна J :

$$\mathbf{Q}_{JJ} = [\sigma_J \varphi_J \lambda_J K_J V_J \omega_J]^T. \quad (1)$$

Другие компоненты \mathbf{Q} содержат параметры состояния судна J по отношению к судну H :

$$\mathbf{Q}_{JH} = [\zeta_{JH} \Pi_{JH} D_{JH} k_{JH} v_{JH} d_{JH} \tau_{JH} q_{JH} \rho_{JH}]^T. \quad (2)$$

Следует отметить, что $\zeta_{JH} = \sigma_J - \sigma_H$; $\Pi_{JH} = \Pi_{HJ} \pm 180^\circ$; $D_{JH} = D_{HJ}$; $k_{JH} = k_{HJ} \pm 180^\circ$; $v_{JH} = v_{HJ}$; $d_{JH} = d_{HJ}$; $\tau_{JH} = \tau_{HJ}$; $q_{JH} = \rho_{HJ}$; $\rho_{JH} = q_{HJ}$.

Наличие риска столкновения OS с TS_J выявляется по значениям d_{J0} , τ_{J0} [3]. Вид сближения OS с опасной «целью» определяются по ее курсовому углу и ракурсу. Выделенные в МППСС-72 для хорошей и ограниченной видимости виды такого сближения охватывает, например, классификация, приведенная в работе [3].

Тип (GWV или SOV) OS и TS_J в коллизионной ситуации и правило МППСС-72 при ее разрешении, находятся в зависимости от ζ_{JH} , условий видимости и вида сближения этих судов. Риск столкновения и, при наличии его, вид сближения двух «целей» в зоне анализа, а также их тип по обязанности действий устанавливаются аналогично определению этих признаков для OS и TS_J . В результате выявляются «цели» с ожидаемым маневром. Изменяющие курс «цели» обнаруживаются по значениям их ω_J .

Установление критерия качества для действий по расхождению является важным вопросом в обеспечении эффективности CASS. Общие требования к таким действиям при любых условиях видимости представлены в Правиле 8 МППСС-72. В нем указано, что антиколлизионное действие должно быть безопасным, уверенным, своевременным, соответствовать хорошей морской практике; предписано избегать последовательных небольших изменений K и/или V при расхождении; отмечено, что эффективно чаще всего заблаговременное изменение K . Нормированию расхождения судов при ограниченной видимости и судов с механическим двигателем на виду друг у друга посвящены соответственно Правила 19 и 13-17.

Требования к расхождению представлены в МППСС-72 словесно. Определение отвечающих конкретным обстоятельствам и условиям плавания значений параметров для количественного выражения этих требований, возложено ИМО на капитана и ООВ. В САПП, где рекомендации по расхождению не вырабатываются, для количественной «привязки» требований МППСС-72 к обстоятельствам и условиям плавания используются значения d^s и τ^s , которые заносятся капитаном и ООВ в память системы. Другие нужные для такой «привязки» величины определяются и применяются ООВ без ввода в САПП. Чтобы рекомендации CASS соответствовали МППСС-72, эти величины также должны вводиться в систему либо рассчитываться в ней на основе экспертной информации. Представим пути количественной оценки действий для расхождения по различным показателям.

Требование безопасности состоит в предотвращении чрезмерного сближения ($d < d^s$) OS со всеми TS и с навигационными препятствиями, а также в исключении возникновения у «целей» необходимости уклонения от совершающего маневр OS. В мерах по избеганию столкновения можно выделить разрешаемые и запрещаемые МППСС-72. Первые могут быть разделены на предписываемые меры и действия, которых следует избегать (не рекомендуемые меры). Учесть большой риск последних при оценке их эффективности предлагается увеличением для них значений d^s , используя коэффициент $C_S \leq 1,0$:

$$d^s = d^L / C_S, \quad (3)$$

где d^L - вводимое в память системы значение d^s .

Значение d^L отвечает предписываемым маневрам, для них $C_S=1,0$. Коэффициенты для действий, которых следует избегать, должны подбираться с учетом мнения экспертов. Например, в ситуации «пересечения курсов» при оценке безопасности выбираемого GWV не рекомендуемого (Правило 15) изменения курса, приводящего к прохождению у «цели» по носу, можно взять $C_S \approx 0,6$. Для не рекомендуемого для SOV (Правило 17) в такой же ситуации поворота влево, когда GWV находится слева от SOV, можно принять C_S равным 0,5. Соответственно назначаются C_S и для оценки безопасности маневров, которых следует избегать согласно другим Правилам. Для запрещаемых действий, например, поворота влево в ситуации «прямо друг на друга» (Правило 14), можно назначить $C_S=0,01$.

Требование заблаговременности действия. Интервал времени, в котором начало маневра считается заблаговременным, и другие фазы в зоне взаимных обязанностей двух судов обычно находятся в зависимости от границы τ^s этой зоны [3, 4]. Для обеспечения CASS возможности выработки рекомендаций по расхождению в зоне взаимных обязанностей следует, по нашему мнению, выделить четыре фазы, назовем их: выбора маневра; заблаговременных действий для GWV (сохранения K и V для SOV); запоздалых действий для GWV (возможных действий для SOV); срочных мер для обоих судов. В CASS должна быть возможность показа на экране по запросу интервала заблаговременных для GWV (сохранения K и V для SOV) действий [3].

Требование уверенности действий. «Уверенным» считается достаточно большое (заметное) и быстрое действие. Для возможности установления первого факта в CASS можно ввести границу заметных изменений K/V . Обычно уже достаточно большим считается поворот на 20^0 и изменение скорости на $0,25V_0$, а достаточно быстрым - поворот с углом руля не меньшим 15^0 и изменение хода, ускоряемое работой двигателя. Чтобы управляемость OS резко не ухудшалась, для снижения скорости целесообразно применять задний малый ход. Для ускорения разгона до скорости V , по возможности, следует использовать режим двигателя, отвечающий большей, чем V , скорости.

Требование экономности. Действия по расхождению приводят к отклонениям от плана перехода и должны сопровождаться минимальной потерей χ ходового времени ($\chi = \min$).

Частными показателями эффективности ПР можно использовать степени его соответствия каждому из отмеченных выше требований [3]. Обобщенный критерий качества ПР находится по подходящей функции свертки частных показателей.

Получение эффективного ПР относится к задаче условной структурно-параметрической оптимизации, так как для расхождения могут применяться стратегии различной структуры. Эта задача включает нахождение наилучшего вида стратегии и эффективных значений ее параметров при наличии определенных ограничений. Для ее решения в CASS должны быть функции информационной поддержки решений по расхождению. В первую очередь, это касается самых распространенных на практике стратегий, первым шагом которых является изменение курса или/и скорости для предотвращения чрезмерного сближения с судами, а вторым – смена первого или/и второго из этих параметров для возвращения к выполнению плана перехода. Структура такой стратегии представлена на рис. 2, P_2 называется ее определяющей точкой (ОТ).

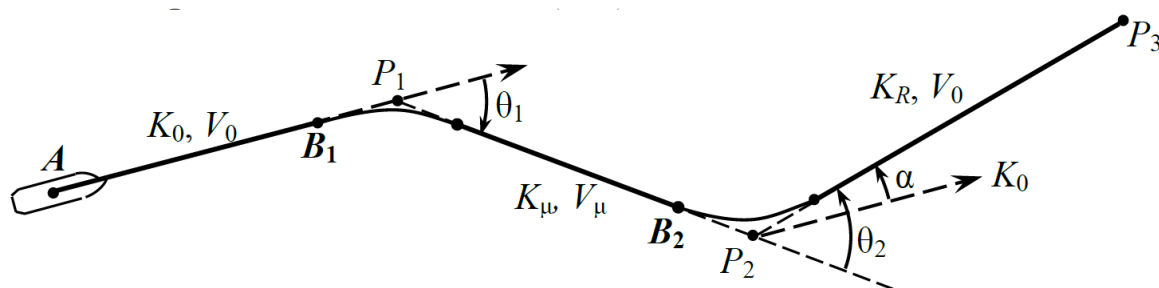


Рис. 2. Структура двух шаговой стратегии расхождения:

P_1, P_2, P_3 и B_1, B_2 – путевые и начала действий точки; K_0, V_0 и K_μ, V_μ и K_R, V_0 – курс, скорость OS перед расхождением и на участках P_1P_2 и P_2P_3 ; θ_1, γ_1 и $\theta_2 = \theta_1 + \alpha, \gamma_2 = \gamma_1$ – изменение курса, скорости в точках P_1 и P_2 ; α – угол возвращения к пути перехода.

Стратегию, в которой на каждом шаге одновременно изменяется как курс, так и скорость, назовем комбинированным двух шаговым маневром (КДМ). Использование для расхождения двух последовательных изменений только курса или только скорости является частным случаем КДМ. КДМ со значением $\alpha = 0$ является комбинированным Z-маневром. В CASS определение

подходящего ПР нужно предусматривать в двух видах - в режиме диалога ООВ с системой и автоматически. Для облегчения получения КДМ в режиме диалога с CASS нами предлагаются следующие изобразительные модели ситуаций.

Первая из них включает метки (МО), отражающие ограничения «целей» на КДМ [3]. При их использовании КДМ с намеченными значениями параметров θ_1 , γ_1 , α выбирается указанием курсором его ОТ. КДМ является безопасным, когда его траектория не пересекает МО «целей». На рис. 3 представлен пример выбора по МО безопасного КДМ с $\theta_1=40^\circ$, $\gamma_1=0$, $\alpha=0$.

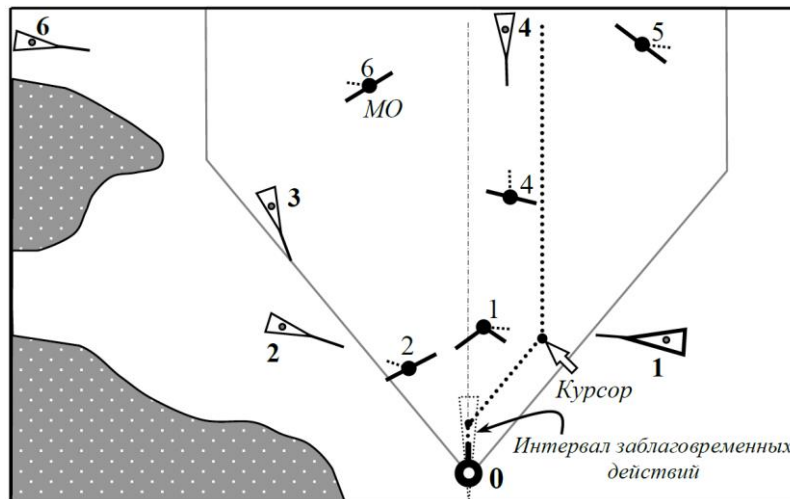


Рис. 3. Изобразительная модель ситуации с МО

Предлагаемая вторая модель предназначена для упрощения получения КДМ, когда его путевая точка P_1 уже выбрана. В этой модели отображаются площадные Ω_S области ОТ безопасных КДМ и линейные Ω_L интервалы ОТ таких КДМ с самым коротким участком P_1P_2 (Ω_L является подмножеством Ω_S). Любой КДМ с путевой точкой P_1 и ОТ в области Ω_S приводит к расхождению со всеми «целями» на расстоянии, не меньшем d^s . Для определения Ω_S/Ω_L предлагается использовать метод, представленный в [2]. Пример Ω_S и Ω_L для безопасных КДМ с $\gamma_1 = 0,25 \cdot V_0$, $\alpha = 0$ в одной из ситуаций сближения судов приведен на рис. 4. Здесь заданы следующие пределы для изменений курса: влево – 90° , вправо – 60° .

Для упрощения выбора параметров θ_1 , γ_1 первого действия желательно иметь в CASS возможность показывать на периферии экрана отвечающую точке P_1 область безопасных курсов и скоростей (ОБКС), не приводящих к чрезмерному сближению с «целями». Получать ОБКС предлагается с помощью представленного в [6] метода расчета для «целей» секторов относительных опасных курсов (СООК). Безопасное расхождение обеспечивается, если конец выбираемого вектора скорости OS для уклонения от столкновения будет лежать за пределами всех СООК. Предлагается выделять СООК трех видов:

- сектор опасной «цели»;
- сектор неопасной «цели», которая сразу или через небольшое время станет опасной, если конец вектора скорости OS взять в этом секторе;
- сектор неопасной «цели», с которой до появления опасности столкновения будет определенное время, если конец вектора скорости OS взять в этом

СООК (вектор скорости с концом в этом секторе допускается использовать для первого действия, если выполнение второго действия возможно до появления опасности столкновения).

Для показанной на рис. 5 ситуации сближения судов сектора опасных курсов «целей» приведены на рис. 6. СООК опасного судна 1 выделен темно серым цветом. ОБКС представлена белым цветом. Секторы TS 3, 4, 5 относятся ко второму виду и представлены на рисунке серым цветом, а светло серый сектор TS 2 относится к третьему виду.

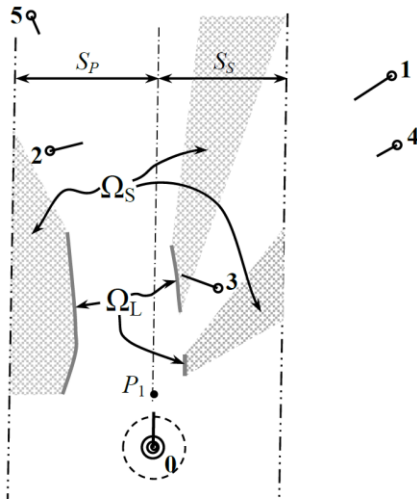


Рис. 4. Множества определяющих точек безопасных КДМ с $\gamma_1=0,25 \cdot V_0$, $\alpha=0$

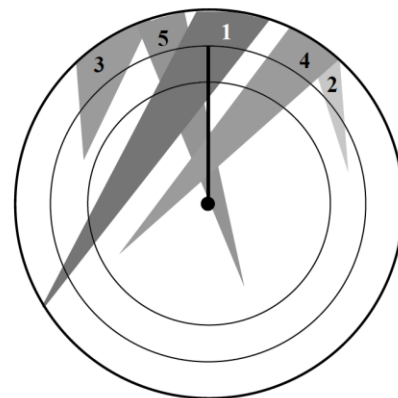


Рис. 5. Область безопасных курсов и скоростей

Параметры (положение P_1 , значение γ_1 , положение P_2) эффективного КДМ с заданным α для рекомендации этого маневра OOW можно найти в CASS методом перебора путем анализа значений критерия качества маневров с ОТ, принадлежащими множествам $\Omega_L(i, j)$, в которых положения P_{2i} берутся с определенным шагом Δ_θ (нами используется $\Delta_\theta=2^\circ$) в намеченных интервалах для изменения курса вправо и влево. Множества $\Omega_L(i, j)$ находились нами для 5 положений P_{1i} путевой точки P_1 , взятых через равный шаг в интервале заблаговременных для GWV действий. При каждом положении P_{1i} множества $\Omega_L(i, j)$ определялись для четырех значений γ_{1j} (0 ; $0,25 \cdot V_0$; $0,50 \cdot V_0$; $0,75 \cdot V_0$). Вариант КДМ ($P_1, \gamma_1, \theta_1, P_2$) с максимальным значением критерия качества рекомендуется OOW. Как показывают расчеты, на поиск этого варианта компьютером затрачивается не более 30 с.

Обратим внимание на планирование в CASS многошаговых стратегий для расхождения в сложных условиях. Следует отметить, что применение криволинейных траекторий в этих случаях противоречит МППСС-72, так как не позволяет другим судам установить, какой маневр предприняло OS для расхождения, и прогнозировать его последствия. Многошаговая стратегия может в CASS планироваться сразу вся, либо последовательно - перед расхождением только один-два ее этапа, а в процессе их выполнения - очередные. Одним из методов автоматического определения такой стратегии, включающей только изменения курса, является генерирование множества возможных маршрутов расхождения и выбор из них оптимального (нередко с

помощью «природных» алгоритмов поиска: генетического, «муравьиного», «пчелиного» «бактериального поиска пищи» и др.). Следует отметить, что нет смысла планировать стратегию расхождения, превышающую по времени интервал с допустимой погрешностью ее прогноза. Эта погрешность является следствием: неточностей в определении элементов движения «целей»; действия возмущающих факторов (ветер, течение, волнение); неточности модели прогноза маневров OS; возможности изменения элементов движения «целями» и других непредвиденных обстоятельств. Учитывая при этом необходимость избегать частых изменений параметров движения при расхождении, можно заключить, что планировать стратегии предотвращения столкновений, включающие более двух, максимум трех, последовательных маневров, вряд ли можно считать целесообразным.

Обоснование рекомендуемой для расхождения стратегии. Бортовая CASS должна быть способной не только рекомендовать действия для расхождения, но и обосновывать их. Такое обоснование по запросу OOW должно выводиться на экран CASS и, по нашему мнению, включать в себя:

- вид сближения с опасной TS, номер правила МППСС-72 для определения мер по расхождению, тип OS по обязанности действий;
- вид рекомендуемой стратегии, ее параметры, значения общего и частных показателей ее эффективности;
- прогноз реализации рекомендуемой стратегии с помощью эффективной изобразительной модели.

Элементами такой модели, например, могут быть метки у точек кратчайшего сближения «целей» (ТКСЦ) с OS. Каждая такая метка [3] включает исходящие из ТКСЦ точечный и сплошной отрезки. Небольшой точечный отрезок направлен на «цель», а сплошной - на точку (ТКСО), в которой будет OS в момент кратчайшего сближения с этой «целью». Если курс TS пересекается OS по корме, то точечный отрезок будет перечеркнут. Длина сплошного отрезка метки равна d^s . Расстояние между ТКСЦ и ТКСО, как известно, равно d . Использование меток ТКСЦ дает четкую картину участков пути OS при маневре, на которых это судно будет на кратчайшем расстоянии до «целей», и значений этих расстояний. Один из примеров использования этих меток для обоснования двух шагового маневра курсом представлен на рис. 6.

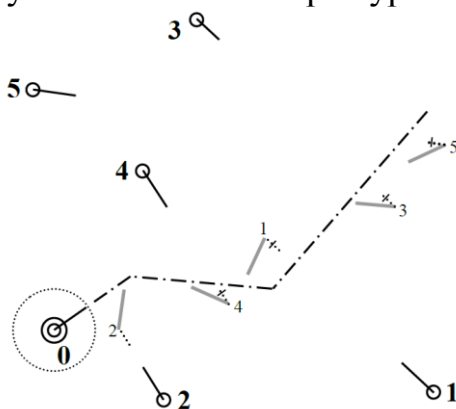


Рис. 6. Прогноз расхождения с помощью меток ТКСЦ

Важным вопросом улучшения поддержки решений в CASS является также разработка комплекса тревожных и предупредительных сигналов для привлечения внимания ООВ или принятия им необходимых мер.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Использование в CASS предлагаемых в статье инструментов информационной поддержки решений по предупреждению столкновений окажет существенную помощь вахтенному помощнику при выборе эффективного плана расхождения с судами в сложных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бень А. П. Концептуальные основы создания систем поддержки принятия решений в судовождении / А. П. Бень // Искусственный интеллект. – 2012. – № 3. – С. 222-227.
2. Вагущенко А. А. Методы облегчения выбора комбинированного маневра для расхождения с несколькими судами /А. А. Вагущенко //Судовождение. - 2016. - Вып. 26. – С.41-47.
3. Вагущенко Л. Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути /Л. Л. Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2013. – 150 с.
4. Мальцев А. С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов / А. С. Мальцев // Судовождение. - 2006. - Вып. 11.- С. 74-86.
5. Chee Kuang Tam Collision risk assessment for ships / Chee Kuang Tam and Richard Bucknall // Journal of Marine Science and Technology. – 2010. - Volume 15, Number 3. – P. 257-270.
6. Degre T. A collision avoidance system / T. Degre, X. Lefevre //The Journal of Navigation. - 1981. – 34. - P. 294-302.
7. Pietrzykowski Z. NAVDEC – navigational decision support system on a sea-going vessel / Z. Pietrzykowski, P. Borkowski, P. Wołajsza // Maritime University of Szczecin, Scientific Journals. - 2012. - 30(102). -P. 102–108.
8. Totem COLREGS adviser. Электронный ресурс. <http://www.totemplus.com>.