

10.02.2011

ПЛАНИРОВАНИЕ РАСХОЖДЕНИЯ С СУДАМИ

Вагущенко Л.Л.

Традиционная методика определения мер по разрешению угрозы столкновений с другими судами [1-4] имеет ряд недостатков. Поэтому нами разработан альтернативный подход к решению этой задачи, основанный на использовании графических элементов (меток), отражающих ограничения «целей» на движение и маневры судна оператора (СО). Полученные результаты могут быть использованы в морских системах предупреждения столкновений (СПС) и ECDIS.

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель исследования состоит в разработке метода облегчения оценки ситуаций, образуемых судами и навигационными условиями, и выбора маневров расхождения с судами в режиме диалога с СПС.

Ситуация сближения судов в СПС должна представляться в виде, обеспечивающем возможность оперативной оценки обстановки и упрощающем выбор маневров расхождения. Оперативность здесь обозначает возможность быстрого распознавания безопасных, ограничивающих маневры, опасных «целей» и обязанности собственного судна (судна оператора - СО) уступать дорогу или сохранять прежними курс и скорость. Отражение распределения риска столкновения вдоль линии пути СО также важно. Оно состоит в выделении участков, где лимитирующие и представляющие угрозу «цели» окажутся близко к собственному судну. Традиционно для решения задач расхождения с судами используется отображение векторов относительного и истинного движения «целей», областей, отражающих ограничения «целей» на изменение курса СО, а также применение различных способов проигрывания маневров собственного судна

[1-4]. Такое представление информации на экране СПС вряд ли можно признать наилучшим при устранении угрозы столкновения. Поэтому и была поставлена задача разработки для этой цели альтернативного метода.

Ниже при рассмотрении этого метода на поясняющих его применение рисунках направление и длина векторов у обозначающих место судов символов характеризуют курс и скорость относительно грунта.

2. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Для оценки опасности ситуаций используются метки точек кратчайшего сближения (ТКС) «целей» [5] с СО, которые также называются метками для оценки опасности «целей». На экране СПС эти метки отображаются в допустимой для движения и маневров СО области – ОДМ (рис.1), которая также называется зоной для расхождения. На рис. 1 судну оператора присвоен номер 0, а целям – 1, 2, 3, 4. ОДМ обычно представляется в виде правой и левой полос, направление которых совпадает с линией пути СО. Внешние границы этих полос должны отсекают опасные в навигационном отношении области. Зона для расхождения определяется шириной (ξ_S, ξ_P) правой и левой ее полос и граничным углом отклонения γ . Целесообразно брать этот угол из диапазона $60^\circ-90^\circ$.

Каждая метка (рис.1) находится на линии пути соответствующей ей «цели» и включает отображаемый в ТКС ее номер, пунктирный и сплошной отрезки. ТКС «цели» является исходной точкой обоих этих отрезков. Пунктирный отрезок направлен на «цель», а сплошной - на точку, в которой будет СО в момент кратчайшего сближения с ней (ТКС судна оператора). Дистанция кратчайшего сближения с «целью» (ДСРА или \vec{d}) является расстоянием между ТКС «цели» и ТКС СО.

Длина сплошного отрезка метки равна заданному пределу d^s безопасных значений ДСРА. Если сплошной отрезок метки пересекает

линию пути СО, то «цель» представляет угрозу. При нескольких таких «целях» самой опасной (главной – ГЦ) из них будет та, метка ТКС которой ближайшая к СО. В представленной на рисунке ситуации – это судно 1.

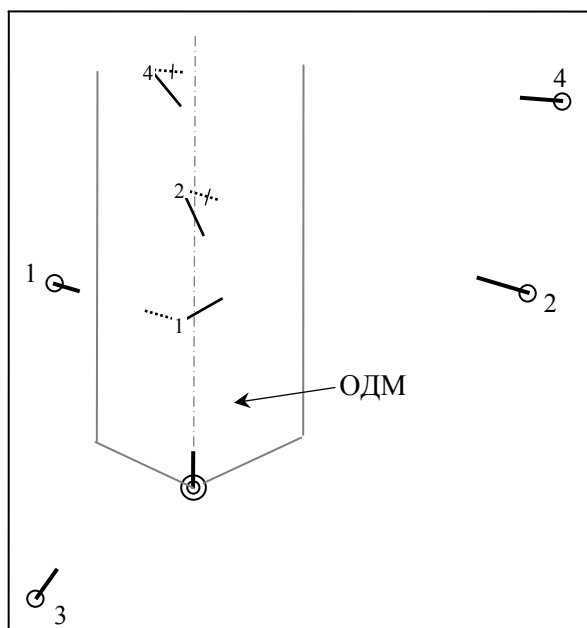


Рис. 1. Метки для оценки угрозы столкновений

По метке ТКС «цели» легко установить, пересекается ли ее курс по носу или по корме. Чтобы выделить это на экране, можно у меток «целей», курс которых пересекается по корме, пунктирный отрезок перечеркнуть, как показано у «целей» 2 и 4 на рисунке.

Стратегии расхождения могут включать: изменение курса (K) и/или скорости (V), циркуляцию и смещение на параллельную линию пути (В-маневр). Предложено для планирования этих действий применять метки ТКС или метки МОМ. Последние элементы называют также метками для В-маневра. Они отражают ограничения «целей» на В-маневр СО. Отметим, что в ряде источников В-маневр называется Z-маневром.

В-маневр (рис. 2), характеризуется смещением ξ и углом уклонения и от исходного пути [5]. Начальный курс СО обозначим $K_{Ш}$, курс уклонения влево - K_P , вправо - K_S . Определяет В-маневр (Z-маневр) точка F . Угол и выбирается из диапазона $10^0 \div 150^0$.

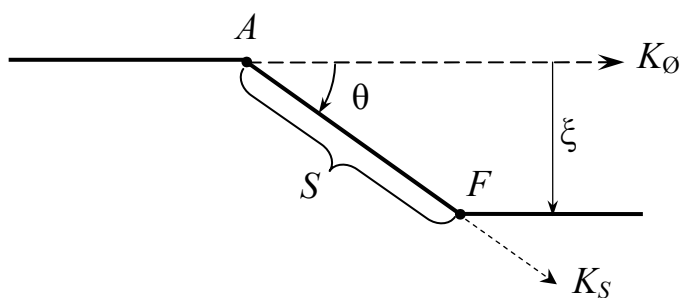


Рис. 2. Упрощенное представление В-маневра (Z-маневра)

Для выбора В-маневра угол γ ОДМ принимается равным θ . На рис. 3,а метка MOM показана в правой полосе ОДМ. Предлагаемая метка включает номер «цели», пунктирный и сплошной (MZ) отрезки. Первый отрезок показывает направление на «цель». Отрезок MZ определяется координатами A_M, A_Z, B_M, B_Z . Первые две из них отмечают на пути СО точки, в которых изменение курса на угол θ приводит к расхождению с «целью» на дистанции d^S . Такое же ДСРА будет, когда СО возвратится к прежнему курсу в точках B_M, B_Z . Алгоритм расчета координат отрезка MZ приведен в работе [5].

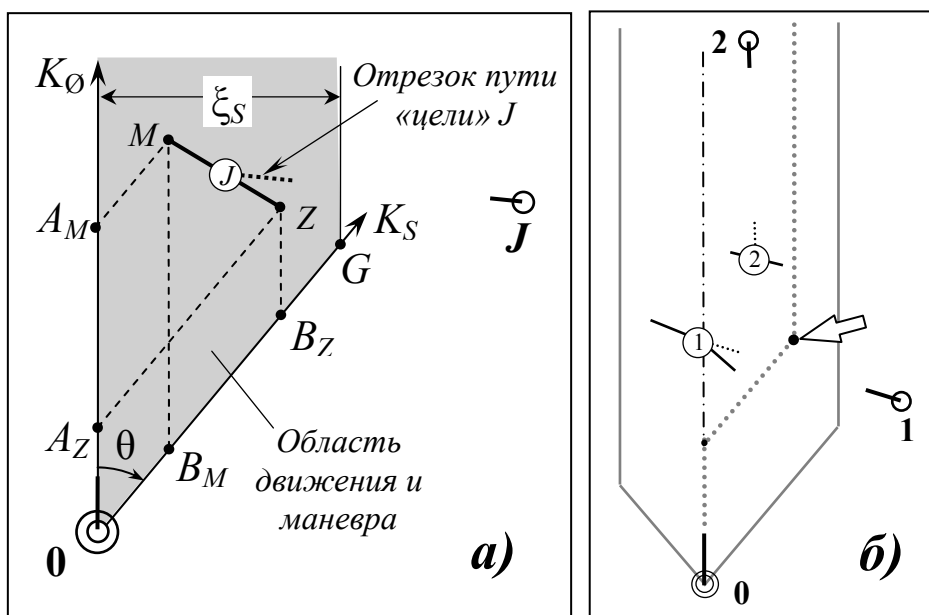


Рис. 3. Метки ограничения В-маневра «целями»

«Цель» J опасна, если сплошной отрезок ее метки пересекает линию пути СО. При отображении часть такой метки для уклонений вправо,

попадающая в левую полосу ОДМ не представляется. Соответственно не показывается в правой полосе ОДМ в случае опасной «цели» часть ее метки для уклонений влево. Общая для обеих полос ОДМ метка МОМ опасной «цели» содержит отображаемые части меток для уклонений вправо и влево. Такая метка представляется в виде, показанном для «цели» 1 на рис. 3,б.

Принцип планирования курсором В-маневра характеризуется на рис. 3,б. Намечаемый В-маневр безопасен, когда соответствующий ему будущий путь собственного судна не пересекает ни одну из меток МОМ «целей».

Таблица 1. – Данные для прогноза маневров

В-маневр, изменение К		Циркуляция	Изменение V	
Уклонение (θ^0)	Руль (β^0)	Руль (β^0)	ΔV , узл	РРД
40	15	15	-5,5	ЗМХ

Для определения траектории судна при намечаемых маневрах задаются параметры, представленные в табл. 1. В этой таблице РРД – режим работы двигателя для перехода к новому значению V. Значения параметров в таблице взяты в качестве примера. На ЭНК траектория маневрирующего судна при циркуляции, маневрах курсом и скоростью отображается своими точками, вычисляемыми по математической модели движения судна. Эти точки, например, можно выбрать соответствующими каждой секунде процесса маневрирования.

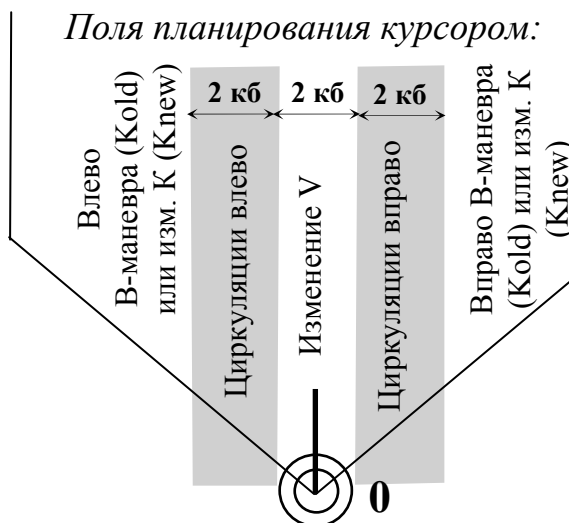


Рис. 4. Поля для задания маневров курсором

Чтобы планировать маневры разных видов, предложено выделять на экране специальные поля (рис. 4). Для выбора В-маневра или изменения K предусмотрены два режима: “Kold” и “Knew”. Предлагается наметить B -маневр (режим “Kold”) указанием его определяющей точки F курсором (рис. 5,а) в соответствующем поле ОДМ (см. рис. 4). Результат выполнения этого действия всегда оценивается по меткам МОМ. На рис. 5 точки A и C обозначают соответственно начало и конец маневра. В режиме “Knew” отрезок уклонения на угол θ и определяется любой из точек этого отрезка. При планировании *изменения курса* такая точка (P) намечается курсором (рис. 5,г). Режим “Knew” предназначен в основном для прогноза и оценки ситуации на момент выхода СО на новый отрезок запланированного маршрута.

Для *циркуляции* и *изменения V* курсором указывается их начало A в соответствующем поле ОДМ₀ (рис. 5,б,в).

Как известно, точность прогноза маневров ухудшается с ростом времени до их начала. Поэтому намечать для расхождения более двух, максимум трех, последовательных маневров нецелесообразно. Кроме того, существующая вероятность действий «целей» и появления новых объектов требует обеспечения возможности корректировки или замены выбранной стратегии расхождения в реальном времени.

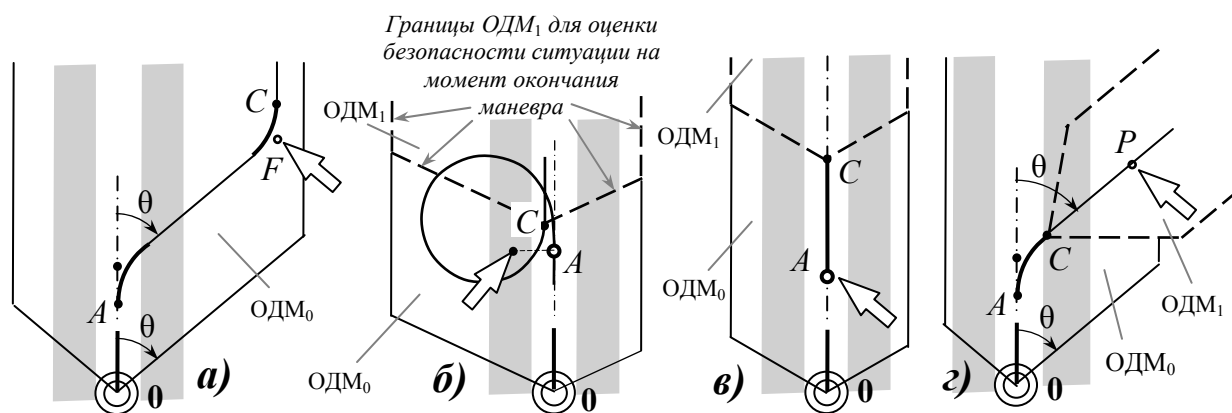


Рис. 5. Принцип планирования маневров курсором

При планировании маневров целесообразно определять:

- предельную точку начала безопасных маневров;
- степень риска столкновения после маневра;
- вероятность чрезмерного сближения с «целями» в процессе маневрирования СО.

Указание на линии будущего пути СО предельной точки начала безопасного маневра выбранного вида облегчает выбор этого действия. Эта точка может быть обозначена как показано в табл. 2.

Таблица 2. – Условные обозначения предельных точек начала маневра

Обозначение	Маневр	Обозначение	Маневр
 K	В-маневр или изменение K влево	 K	В-маневр или изменение K вправо
 K	Циркуляция влево	 K	Циркуляция вправо
 K	Уменьшение V	 K	Увеличение V

Безопасность ситуации после выполнения планируемых для избежания столкновения маневров может оцениваться по меткам ТКС или МОМ в ОДМ₁, образуемой на прогнозированный момент окончания этих действий (см. рис.5,б,в,г). Предпочтительней использовать первые метки, так как они значительно меньше по размерам, чем вторые.

При прогнозировании риска столкновения для процесса выполнения намечаемого маневра необходимо учитывать следующее. Изменение K происходит довольно быстро. Вероятность значительного изменения дистанции до «целей» в процессе выполнения этого действия мала. Поэтому маловероятно появление опасности столкновения в процессе выполнения выбранного безопасного маневра курсом. При нахождении В-маневра метки МОМ позволяют убедиться в отсутствии угрозы чрезмерного сближения с «целями» в процессе осуществления такого действия при условии, что «цели» будут сохранять курс и скорость. Для циркуляции и маневра скоростью должна быть процедура для оценки такой опасности. Принцип решения этой задачи поясняется на примере прогноза циркуляции (рис. 6).

Циркуляцию будем представлять в координатной системе $A\theta\zeta$, где A - точка начала маневра (рис. 6,а). Ось $A\zeta$ этой системы направлена по курсу K_{III} , а ось $A\xi$ - перпендикулярно к $A\zeta$. Из полученных по математической модели данных циркуляции выбирается время τ_M ее выполнения. Это время делится на n_τ интервалов $\Delta_\tau = \tau_M / n_\tau$. На рис. 6,а значение n_τ равно двенадцати. Затем из рассчитанных по модели координат точек циркуляции выбираются значения ξ_i, ζ_i , соответствующие моментам $\tau_i = i \cdot \Delta_\tau$, где $i = 0, 1, 2, \dots, n_\tau$.

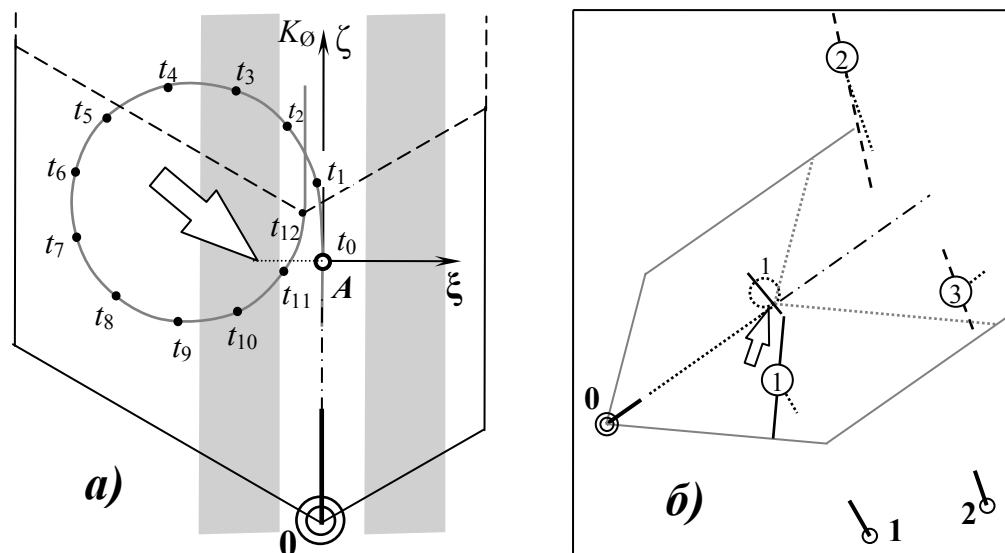


Рис. 6. К оценке опасности столкновения в процессе циркуляции

При изменении положения курсора в поле для прогноза циркуляции находятся:

- точка A начала маневра и момент t_0 прихода в нее (см. рис. 6,а);
- моменты $t_i = t_0 + \tau_i$ прихода СО в выделенные точки;
- соответствующие t_i координаты судна оператора, «целей» и расстояния D_{iJ} от СО до каждой «цели», где $J = 1, 2, \dots, n$ (n - количество целей).

Если какое-нибудь D_{iJ} окажется меньше d^s , то в процессе намечаемой циркуляции возникнет угроза столкновения с «целью». Перечеркивание

траектории маневра отрезком с указанием номера лимитирующей «цели» (рис. 6,б), либо другой метод могут использоваться для предупреждения об этой угрозе.

3. ВЫДЕЛЕНИЕ ЭТАПОВ СБЛИЖЕНИЯ С ГЛАВНОЙ «ЦЕЛЬЮ»

Будем обозначать время до кратчайшего сближения с опасной «целью» ТСРА или \vec{t} , а предел безопасных значений ТСРА - t^s . В интервале $0 < \vec{t} < t^s$ сближения судов выделяют три этапа [5]:

- заблаговременных мер ($t^l < \vec{t} \leq t^s$), где $t^l \approx t^s / 2$;
- запоздалых действий уступающего дорогу судна ($t^u < \vec{t} \leq t^l$), где t^u - граница, после которой обоим судам необходимо принять действия для избежания столкновения;
- срочных мер ($0 < \vec{t} \leq t^u$), т.к. ситуация чрезвычайна.

Выделение на экране СПС первого интервала способствует своевременному принятию мер для расхождения. Этот участок на пути СО можно отобразить, как показано на рис. 7.

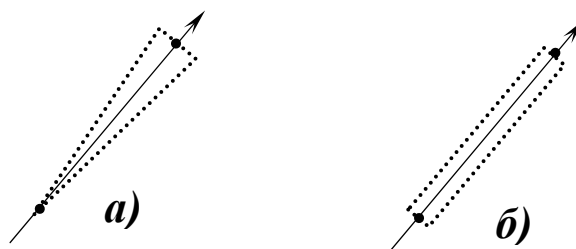


Рис. 7. Пример возможного отображения участка заблаговременных мер на линии пути СО
 а) уступающее дорогу СО, б) сохраняющее K и V СО

Принадлежность судна оператора к первому («уступающее дорогу») или ко второму («сохраняющее K и V ») типу определяется на основе формализации МППСС-72.

Когда планирует В-маневр уступающее дорогу СО, устанавливаемый угол уклонения I должен быть заметным и не приводить к излишней потере

ходового времени. Начало уклонения должно лежать на участке заблаговременных мер (рис. 8,*a*).

В случае неприятия анти-коллизийных действий «целью», уступающей дорогу, СО планирует В-маневр на участке, следующем за участком заблаговременных мер. Сохраняющее *K* и *V* судно оператора может предпринять действия по расхождению только в тех очевидных случаях, когда «цель» не предпринимает мер для избежания столкновения или когда ее маневр недостаточно эффективен. Перед этим СО должно доступными методами информировать уступающую дорогу «цель», что сближение опасно.

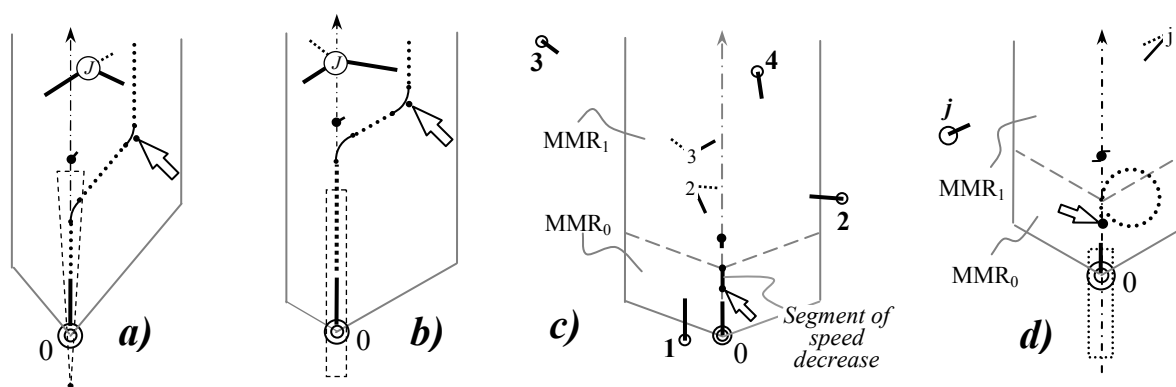
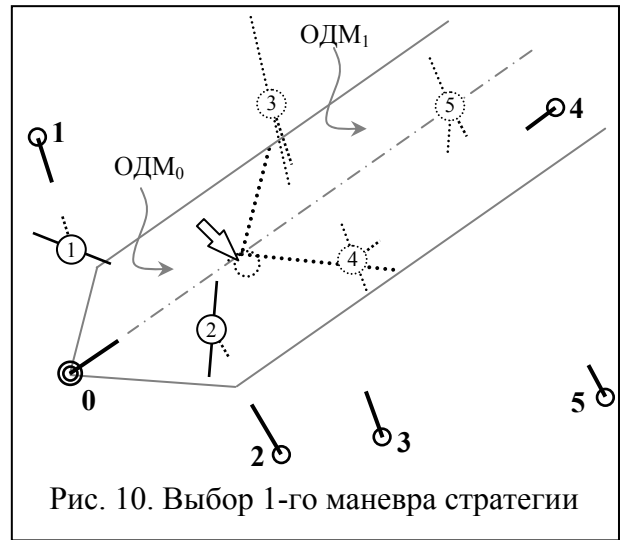
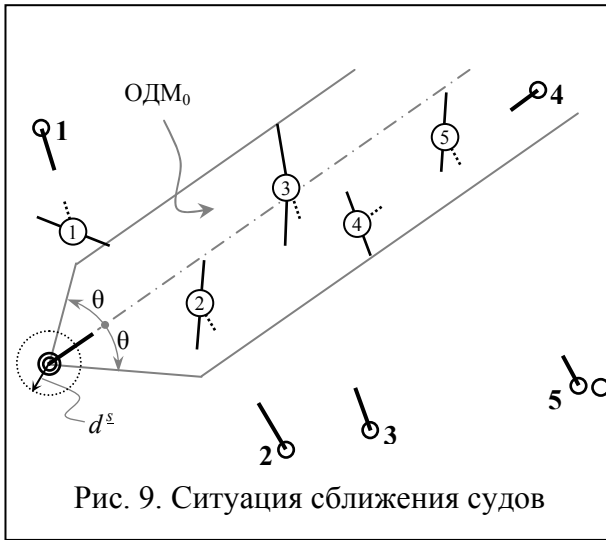


Рис. 8. Примеры выбора маневров расхождения

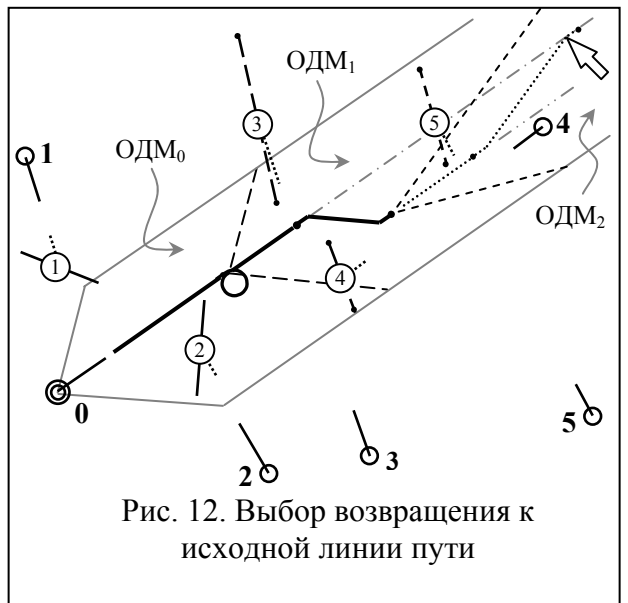
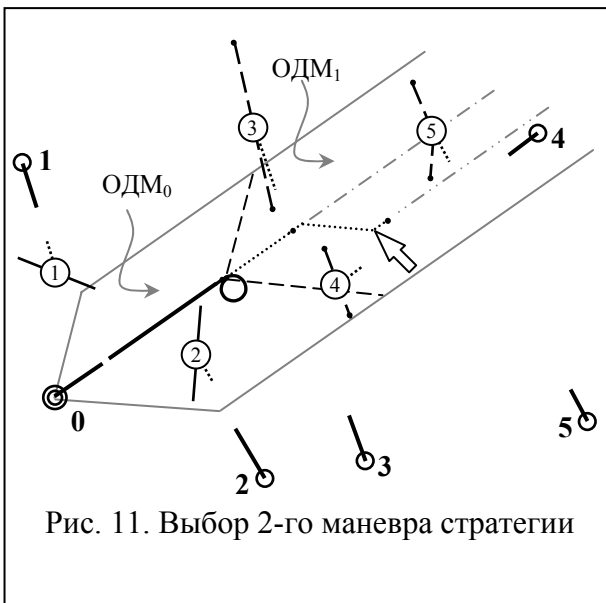
Примеры планирования для устранения угрозы столкновения уменьшения скорости и циркуляции представлены на рис. 8,*c,d*.

4. ПРИМЕР ПЛАНИРОВАНИЯ РАСХОЖДЕНИЯ

Предлагаемая методика выбора плана действий характеризуется на примере ситуации, показанной на рис. 9. Для облегчения пояснения задачи используются МОМ. На рис. 9 они соответствуют значениям μ и d^s двух параметров. Опасной в анализируемой ситуации является «цель» 3, так как ее метка находится на пути судна оператора.

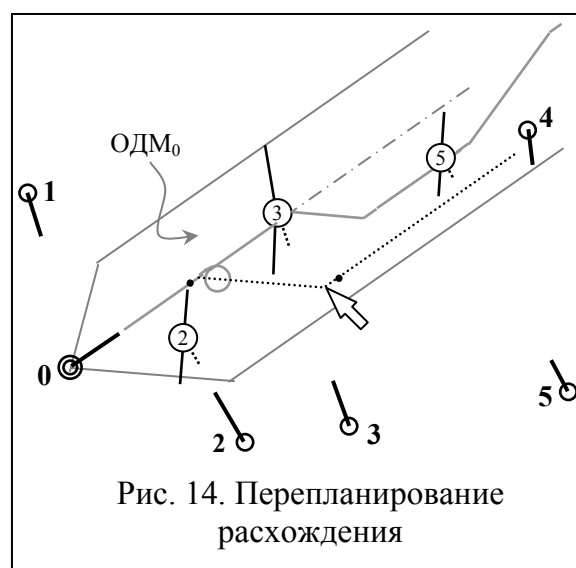
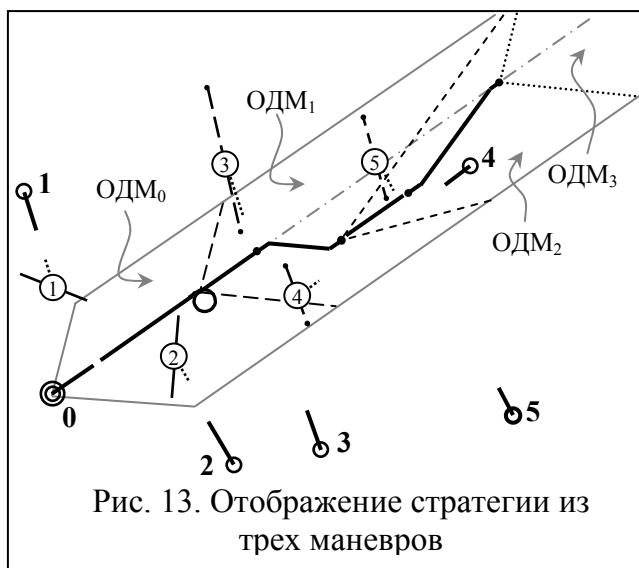


Допустим, для расхождения с этой «целью» намечается циркуляция вправо с углом перекладки руля 15° . В $ОДМ_1$ со скользящим началом, соответствующим положению курсора при его движении в поле для задания циркуляции вправо (см. рис. 4), отображаются метки ограничения В-маневра (рис. 10). Они характеризуют ситуацию после планируемого маневра. Начало циркуляции выбирается после пересечения по носу курса «цели» 2, так как в противном случае она станет опасной. По $МОМ$ в $ОДМ_1$ устанавливается, что после циркуляции «цель» 3 не представляет угрозы, так как ее метка смещается с пути $СО$. Однако «цель» 5 становится опасной.



После маневра до чрезмерного сближения с «целью» 5 достаточно времени, поэтому намеченная циркуляция вносится в план расхождения, представленный жирной линией - рис. 11, где торцевые границы ОДМ₁ и МОМ_г обозначены длинными штрихами.

Затем планируется В-маневр с $\alpha = 40^\circ$ для устранения угрозы столкновения с «целью» 5. Так как отрезок уклонения, соответствующий месту курсора на рис. 11, и линия нового параллельного исходному пути не пересекают МОМ, то намеченный В-маневр безопасен и вносится в стратегию расхождения (рис.12). В точке его окончания образуется ОДМ₂, в которой выбирается В-маневр с $\alpha = 20^\circ$ для возвращения к исходному пути. Соответствующая конечному плану траектория движения СО представлена на рис. 13.



Возможность коррекции или замены плана расхождения в реальном времени (адаптивность планирования) обеспечивается возможностью перехода в любую из образованных ОДМ для изменения намеченных в ней действий. При переходе в ОДМ_г следующие за ней области не отображаются. Когда в ОДМ_г вводится измененный маневр, то в этой и следующей за ней областях намеченные маневры исключаются из плана расхождения. Так например, на рис. 14 для случая, когда «цель» 4 изменила курс и перестала лимитировать действия СО, перешли в ОДМ₀, в которой вместо

запланированной стратегии наметили один обеспечивающий безопасное расхождение с «целями» В-маневр.

5. ВЫВОДЫ

Предложенная методика значительно упрощает планирование стратегий расхождения в режиме диалога с СПС.

Метки ТКС дают четкую картину распределения областей опасного сближения вдоль линии пути СО, глазомерно позволяют установить ДСПА, ТСПА и по носу или по корме будет пересекаться курс «целей». Эти метки облегчают оценку риска столкновения на текущий момент времени и при прогнозе результатов намечаемой для расхождения циркуляции, маневров курсом и скоростью.

Метки МОМ эффективны при выборе В-маневров (Z-маневров). При необходимости, они могут использоваться при прогнозе маневров другого вида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боул А.Г., Джоунс К.Д. Пособие по использованию средств автоматической радиолокационной прокладки. Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1986. – 128 с.
2. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
3. Управление судном: Учебник для вузов /С.И.Демин, Е.И.Жуков, Н.А.Кубачев и др.; под ред. В.И.Снопкова. – М.: Транспорт. 1991. – 359 с.
4. Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. Гибкие стратегии расхождения судов. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
5. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. Поддержка решений по расхождению с судами. – О., Фенікс, 2010. – 296 с.

ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАСХОЖДЕНИЯ С СУДАМИ

Убедиться в простоте выбора действий для расхождения по предложенной методике можно, используя программу МАНЕВРЫ-10И в режиме «Управление судном»/ «Цели» / «Кмб». Эту программу можно бесплатно скачать на сайте www.nav-eks.org.ua в разделе «НАУКА» и загрузить в память компьютера. Программа помещена в файле **STEERS** и активируется при его открытии. При активации программы по умолчанию устанавливается режим «Управление судном», в котором и происходит проверка предложенной методики.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОВЕРКИ

1. Активировать программу МАНЕВРЫ-10И.
2. Нажав на панели справа от поля карты кнопку «Спис», в появившемся диалоговом окне найти и открыть файл «МППСС p-1.mrc», содержащий один из вариантов исходных данных для задач расхождения.
3. Для наглядности отображения ситуации в пункте главного меню «К прокладке» (вверху экрана) подключить режим «Относительное движение», вид ориентации «ИП», числовое значение для которой взять равным начальному курсу судна - 55.
4. Вызвать форму «Для ситуаций с судами», нажав клавишу «Цели» на нижней панели в центре. На этой форме можно задать ряд параметров, в том числе $D_{крз}$ и $T_{крз}$. На этой форме видно, что наиболее опасной «целью» (Гл.цель) является «цель» 5.
5. Задать с помощью компонента «Рз» (справа от поля карты) перекладку руля для поворотов (по умолчанию **15**).
6. Подключить режим «Кмб», нажав одноименную кнопку на нижней панели. Установить на компоненте «Up-Down» (внизу экрана справа от «Кмб») желаемое значение изменения θ курса. По умолчанию $\theta = 45$.
7. Щелчком по пункту «Старт» в главном меню (вверху экрана) начать моделирование движения судов.
8. При перемещении курсора в области движения и маневров (поле для выбора В-маневров находится на расстоянии 3 кбт от линии пути СО) появляются метки МОМ «целей» и отображается соответствующая положению курсора траектория движения судна при В-маневре.

9. Передвигая курсор выбрать его положение, при котором траектория движения судна не пересекает метки как наиболее опасной пятой «цели» так и меток МОМ других «целей».

10. Двойным щелчком «мыши» задать этот маневр системе вождения по маршруту. (*Track Control Systems* - TCS). TCS проведет судно по заданной траектории и выполнит расхождение.

ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАСХОЖДЕНИЯ С СУДАМИ

На сайте www.nav-eks.org.ua в разделе «НАУКА» можно посмотреть видеоролик, в котором на конкретном примере представляются основные функции программы для планирования маневров.