

УДК 656.61.052

**METHODS TO FACILITATE THE CHOICE OF COMBINED
MANEUVER FOR SAFE CLEARING WITH SEVERAL VESSELS****МЕТОДЫ ОБЛЕГЧЕНИЯ ВЫБОРА
КОМБИНИРОВАННОГО МАНЕВРА ДЛЯ РАСХОЖДЕНИЯ
С НЕСКОЛЬКИМИ СУДАМИ****A. A. Vagushchenko****А. А. Вагущенко***V. Ships Ukraine, Odessa**ДП «В.Шипс Украина», Одесса***ABSTRACT**

Two methods for facilitating the choice of maneuver by change of course and speed for the safe clearing with several ships are offered in this article. First method implies use of special mark at closest point of approach to targets by own ship, second - the danger zones, which reflect the restrictions of target on this action. The abovementioned elements are calculated taking into account the own ship dynamics, by means of non-linear mathematical model, which increases planned maneuver accuracy and action effectiveness.

Key words: collision avoidance, course and speed alteration, predicted area of danger, mark at closest point of approach.

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

Несмотря на принимаемые меры, уровень аварийности от столкновений судов остается достаточно высоким. Поэтому совершенствование теоретических методов и разработка практических рекомендаций по повышению безопасности расхождения судов остается важным направлением научных исследований в области судовождения. Одним из используемых, хотя и редко, для предупреждения столкновений действий является комбинированный маневр - изменение и курса и скорости судна. Задача обеспечения эффективности этого маневра в ситуациях с несколькими «целями» в ограниченных водах остается пока недостаточно проработанной.

**Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато
решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей
проблемы**

В практике судовождения встречаются ситуации, когда применение для расхождения только изменения курса или скорости по тем или иным причинам не приводит к желаемому результату. Обычно это случается при плавании в стесненных водах или в районах нахождения большого количества рыболовных судов, где не редко для достижения эффективного расхождения приходится

использовать комбинированный маневр. Способы его выбора рассматриваются во многих источниках, например [3-5]. Основными недостатками этих методов является недостаточно корректный учет инерционности судна при прогнозе выполнения маневра и последовательности его осуществления. К этому следует добавить также определенные трудности оценки результатов его выполнения при наличии нескольких судов по изображаемой на экране судовой радиолокационной системе ситуации.

Поэтому актуальным является разработка методов, позволяющих облегчить нахождение для расхождения с несколькими судами комбинированного маневра в режиме диалога с бортовой системой предупреждения столкновений.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью работы является разработка методов изображения ситуаций для облегчения определения в режиме диалога с бортовой системой для предупреждения столкновений комбинированного маневра для расхождения с несколькими судами.

Изложение материалов исследования с обоснованием полученных научных результатов

При использовании комбинированного маневра следует учитывать ряд факторов.

Во-первых, обычно в ситуациях, когда предпочтителен комбинированный маневр, существует ограничение на величину отворота от курса следования.

Во-вторых, из-за инерционности судна длительность рассматриваемого маневра достаточно большая. Ее уменьшение можно достичь, применяя «сильный» маневр торможения. Однако использование полного заднего хода для этой цели неблагоприятно для главного двигателя и приводит к резкому ухудшению управляемости судна по курсу. Поэтому компромиссным вариантом является применение для торможения малого или среднего заднего хода. На переднем ходу работа машины назад приводит к ухудшению эффективности руля и к затруднению изменения курса в одну из сторон. Чтобы избежать такого ухудшения при применении комбинированного маневра, целесообразно сначала производить изменение курса и сразу после его завершения давать задний ход для снижения скорости. Такая последовательность выполнения комбинированного маневра принята нами при рассмотрении поставленной задачи.

В-третьих, при малом угле отворота, чтобы маневр был заметным с других судов, снижение хода должно быть существенным, по крайней мере, составлять не меньше третьей части от первоначальной скорости. В то же время следует учитывать, что потеря скорости уменьшает маневренность судна по курсу (скорость поворота снижается пропорционально уменьшению скорости хода). При слишком малой скорости судно может стать неуправляемым, и превратиться в пассивного наблюдателя за развитием ситуации. И если она

начнет развиваться в опасную сторону, то потерявшее скорость судно будет не в состоянии ее улучшить.

В-четвертых, успешность выбранного для расхождения маневра зависит от точности прогноза движения судна при планировании этого действия. Чтобы маневр был эффективным, нужно при его планировании применять адекватную математическую модель движения судна и использовать алгоритм выполнения маневра, соответствующий порядку его осуществления на практике.

Для определения с помощью средств автоматизации комбинированного маневра для расхождения с несколькими «целями» ниже предлагается следующий порядок действий. При появлении опасной «цели» в ситуации, когда наилучшим действием является комбинированный маневр, заблаговременно выбираются в соответствии с рекомендациями МППСС72 параметры (величина изменения курса, скорости и режим работы двигателя) маневра расхождения. Следует убедиться, что остается время, в течение которого его начало обеспечивает расхождение с опасным судном на расстоянии, не меньшем заданной дистанции кратчайшего сближения $d^{\text{с}}$. Это будет, когда предельная точка (обозначим ее P) начала такого действия находится по носу на линии пути судна оператора (OS – own ship). В противном случае (точка P на линии прошлого пути OS) маневр не приведет к безопасному расхождению и его необходимо усилить. Здесь следует отметить, что обычно ставится задача не точного расхождения с опасной «целью» на $d^{\text{с}}$, а на дистанции, не меньшей ее. Поэтому начало маневра должно выбираться на участке от текущего места OS до точки P , чтобы обеспечить не только заметность, но и заблаговременность маневра. Кроме того, при наличии других «целей» маневр на этом участке следует начинать в точке, когда он не приводит к опасному сближению с ними.

Для нахождения времени начала маневра расхождения можно предложить два способа. Первый состоит в прогнозе маневра рассматриваемого вида с началом в указанной на экране курсором точке на линии пути OS с отображением меток ТКС [1] у точек кратчайшего сближения «целей» с судном оператора в его маневренной и пост маневренной зоне движения. Анализируя расположение этих меток относительно линии пути собственного судна при разных началах маневра, можно выбрать приемлемый вариант.

Второй способ заключается в построении специальных зон, отражающих ограничения «целей» на выбранный маневр OS.

Первый способ представлен на примере ситуации, отображенной на рис. 1, на котором судно оператора присвоен номер 0, опасной «цели» - 1, ограничивающей маневр OS «цели» - 2. Ситуацию характеризуют следующие параметры:

– Курс и скорость судна оператора до и после намечаемого маневра: $K_0=0^0$; $V_0=17,1$ узл.; $K_M=15^0$; $V_M=8,7$ узл.

– Параметры намечаемого маневра: $\Delta K=15^0$; $\Delta V=-8,4$ узл., использование работы двигателя на малом заднем ходу для снижения скорости.

– Курс и скорость, пеленг и расстояние, дистанция и время кратчайшего сближения «цели» 1 в начальный момент времени: $K_1=256^0$; $V_1=13,0$ узл.; $\Pi_1=33^0$; $D_1=51,0$ кб; $d_1=1,1$ кб; $t_1=12,9$ мин. Эта «цель» является опасной.

– Курс и скорость, пеленг и расстояние, дистанция и время кратчайшего сближения «цели» 2 в начальный момент времени: $K_2=256^0$; $V_2=14,8$ узл.; $\Pi_2=43^0$; $D_2=52,4$ кб; $d_2=7,3$ кб; $t_2=12,4$ мин.

– Заданные дистанция и время кратчайшего сближения: $d^s=5$ кб; $t^s=15$ мин.

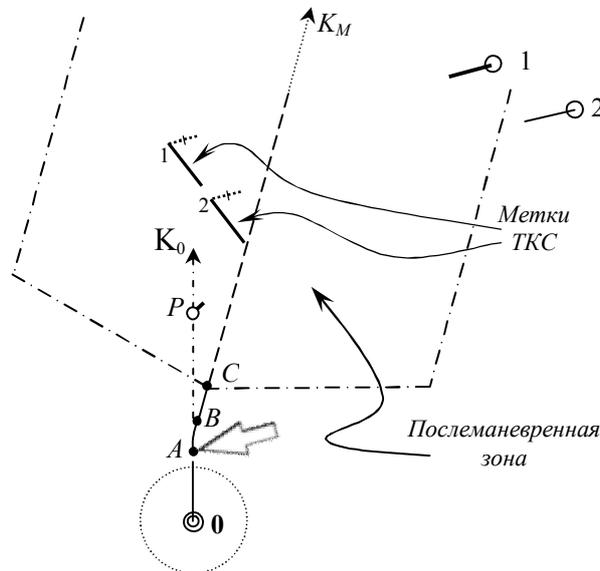


Рис. 1. Использование меток ТКС при определении начала маневра расхождения

Изменению курса на рисунке соответствует участок AB , а изменению скорости – отрезок BC . Точка P на рисунке является предельной точкой начала намечаемого маневра, приводящего к расхождению с опасной «целью» 1 на дистанции, не меньшей d^s . Для имитации выбора маневра с получением меток ТКС при разных ситуациях сближения судов была составлена специальная программа, в которой для представления движения собственного судна применяется модель его динамики в виде взаимосвязанной системы нелинейных дифференциальных уравнений [2]. По этой модели были найдены время τ_K и точки траектории AB поворота OS на заданный угол $\Delta K=15^0$, а также время τ_V , точки участка BC (см. рис. 1) изменения скорости на заданную величину ΔV .

Анализируя ситуацию при компьютерной имитации выбора маневра в представленной на рис 1 ситуации при разных, указываемых курсором до точки P его началах, можно установить, что:

– на участке от точки A до точки P инициация намеченного маневра хотя и обеспечит безопасное расхождение с «целью» 1, но приведет к чрезмерному сближению с «целью» 2;

– безопасное расхождение с обоими «целями» будет достигнуто, когда намеченный маневр будет начат на участке OA .

Осветим также на примере ситуации, показанной на рис. 1, и второй способ решения задачи, состоящий в предсказании опасных зон (predicted area

где $s_{kx} = v_k \tau_K \sin k_k$, $s_{ky} = v_k \tau_K \cos k_k$, $s_{vx} = v_v \tau_V \sin k_v$, $s_{vy} = v_v \tau_V \cos k_v$ -

соответственно проекции отрезков $ab = v_k \cdot \tau_K$ и $bc = v_v \cdot \tau_V$ на оси ox, oy .

Координаты точки Z находятся по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_Z &= X_0 + V_0 \cdot \tau_{0a} \cdot \sin K_0 + V_K \cdot \tau_K \cdot \sin K_K + V_V \cdot \tau_V \cdot \sin K_M + V_M \cdot \tau_{cz} \cdot \sin K_M \\ Y_Z &= Y_0 + V_0 \cdot \tau_{0a} \cdot \cos K_0 + V_K \cdot \tau_K \cdot \cos K_K + V_V \cdot \tau_V \cdot \cos K_M + V_M \cdot \tau_{cz} \cdot \cos K_M \end{aligned} \right\} \cdot (3)$$

Аналогичная методика применяется при нахождении других точек границы PAD_{KV} . Если при планируемом комбинированном маневре с задаваемой точкой его начала траектория будущего движения OS при этом маневре пройдет через PAD_{KV} , то после выполнения маневра сразу или через определенное время появится опасность чрезмерного сближения с «целью», которой соответствует эта зона. Т.е. по этой зоне можно определить интервал начала маневра, в котором после его выполнения дальнейшее движение приведет к сближению с «целью» на дистанции, меньшей $d^{\text{с}}$, и промежуток времени следования до границы опасной зоны после маневра.

Следует отметить, что для предотвращения загромождения зонами опасности экрана, они могут представляться отрезками (метками), соединяющими точки, при прохождении траектории движения судна через которые обеспечивается расхождение с «целью» точно на дистанции $d^{\text{с}}$ (на рис. 1 это точки Z, N).

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению

Представленные методы отображения ситуаций с помощью меток ТКС «целей» или зон PAD_{KV} , отражающих ограничения «целей» на комбинированный маневр, позволяют облегчить выбор этого действия при расхождении с несколькими судами. Названные элементы отображения при намеченном изменении курса и скорости на определенные значения вычисляются с учетом динамики судна. Это способствует повышению точности выбранного по этим элементам комбинированного маневра и улучшению оценки результатов его выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути /Л.Л. Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
2. Гофман А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна / А.Д. Гофман – Л.: Судостроение, 1988. – 360 с.
3. 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.

4. Снопков В. И. Управление судном / В. И. Снопков - М.: СПб.: «Профессионал», 2004. – 536 с.
5. Шарлай Г. Н. Управление морским судном /Г. Н. Шарлай – Владивосток: «Морской государственный университет им. адмирала Г. И. Невельского», - 2011. – 543 с.