

ПОДДЕРЖКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО  
ДВУХЭТАПНОГО ПЛАНА РАСХОЖДЕНИЯ С СУДАМИ

План безопасного расхождения судна оператора (OS - own ship) с судами-целями (TS - target ships) может включать один маневр (изменение курса, скорости, одновременно курса и скорости), или их последовательность [3]. Даже в самом распространенном случае, когда избежать столкновения можно одним изменением курса или скорости, в этом плане следует предусматривать и второе действие – возвращение к маршруту перехода или к намеченной скорости движения по нему [4]. Особенно это важно в стесненных водах, в частности, для предотвращения выхода OS за пределы безопасной в навигационном отношении акватории. Комбинированный маневр (одновременно курсом и скоростью) за счет большого количества его вариантов (сочетаний курса и скорости) обеспечивает возможность разрешения довольно сложных коллизионных ситуаций [5, 6]. Поэтому нахождению его эффективного варианта в ситуациях с несколькими судами уделяется все большее внимание.

Цель статьи состоит в определении для бортовых систем предупреждения столкновений (CAS - Collision Avoidance Systems) инструментов информационной поддержки, облегчающих выбор эффективного плана расхождения, включающего два комбинированных маневра и обеспечивающего возвращение к выполнению плана перехода.

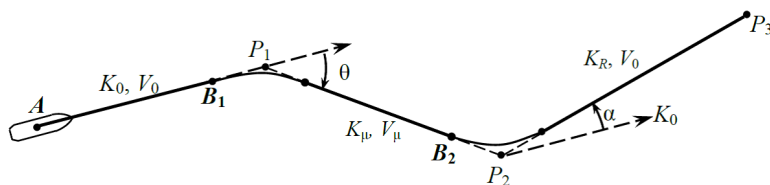


Рис. 1. Траектория движения судна при КД-маневре:

$P_1, P_2, P_3$  и  $B_1, B_2$  – путевые точки и точки начала действий;  $K_0, V_0$  – курс и скорость OS перед расхождением;  $\theta$  – изменение курса в точке  $P_1$ ;  $K_\mu, V_\mu$  – выбранные для расхождения курс и скорость OS;  $K_R, \alpha$  – курс и угол возвращения к маршруту перехода

На рис. 1 показана структура рассматриваемого плана расхождения. Совокупность действий OS в нем назовем комплексным двух-этапным маневром (КД-маневром), а точку  $P_2$  – его определяющей точкой. Выбор для расхождения с судами только двух последовательных изменений курса или скорости является частным случаем планирования КД-маневра.

Определение эффективного КД-маневра основывается на оценке качества его возможных безопасных вариантов с помощью подходящего критерия, отражающего цели действий по устранению угрозы столкновения. Анализ требований к расхождению с судами (МППСС-72, других нормативных документов) и рекомендаций обычной морской практики позволяет установить [1], что такими целями являются: безопасность; заблаговременность; заметность; экономность (минимальное увеличение времени перехода OS).

Отметим, что соответствие требованиям МППСС-72 относительно стороны изменения курса можно обеспечить, применяя для выбираемой стороны при разных видах сближения OS с опасной «целью» различную величину зоны безопасности OS [1]. На любом из путевых отрезков намеченной траектории КД-маневра не должно быть чрезмерного сближения OS с «целями» и возникновения опасности столкновения с ними. Последнее особенно неблагоприятно, когда «цель» становится «give-way» судном и с большой вероятностью может принять действие, в результате которого дальнейшее выполнение OS плана расхождения потеряет смысл.

В CAS должна быть возможность как определения эффективного плана расхождения в режиме диалога с CAS, так и его выработки для рекомендации вахтенному помощнику (OOW - Officer of the Watch) самой системой. Предлагаемые для решения первой задачи инструменты и методика их использования характеризуются ниже на примере выбора КД-маневра в ситуации, показанной на рис. 2. Параметры взаимного расположения и сближения судов в этом примере имеют следующие значения:

$K_0=20^0$ ;  $V_0=17,1$  узл.;

$K_1=278^0$ ;  $V_1=19,1$  узл.;  $\Pi_1=63^0$ ;  $D_1=69,1$  кб;  $d_1=2,0$  кб;  $\tau_1=14,7$  мин;

$K_2=307^0$ ;  $V_2=17,3$  узл.;  $\Pi_2=84^0$ ;  $D_2=58,7$  кб;  $d_2=20,3$  кб;  $\tau_2=13,2$  мин;

$K_3=11^0$ ;  $V_3=14,8$  узл.;  $\Pi_3=272^0$ ;  $D_3=18,5$  кб;  $d_3=8,9$  кб;  $\tau_3=-28,5$  мин;

$K_4=202^0$ ;  $V_4=10,1$  узл.;  $\Pi_4=1^0$ ;  $D_4=49,4$  кб;  $d_4=16,6$  кб;  $\tau_4=10,3$  мин;

$K_5=101^0$ ;  $V_5=15,8$  узл.;  $\Pi_5=343^0$ ;  $D_5=66,3$  кб;  $d_5=12,0$  кб;  $\tau_5=18,3$  мин.

В представленном списке:  $K_0$ ,  $V_0$  – исходные курс и скорость OS;  $K_J$ ,  $V_J$ ,  $\Pi_J$ ,  $D_J$ ,  $d_J$ ,  $\tau_J$  – соответственно курс, скорость, пеленг, дистанция, расстояние и время кратчайшего сближения  $TS_J$  ( $J=1, 2, 3, 4, 5$ ) в начальный момент решения задачи (до расхождения);

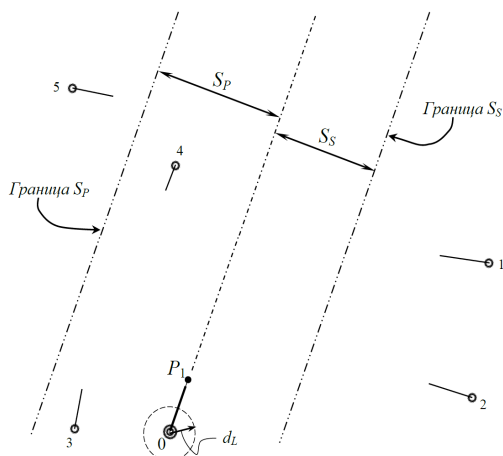


Рис. 2. Ситуация сближения судов: 0 – номер OS; 1, 2, 3, 4, 5 - номера «целей» («цель» 1 опасна);  $P_1$  – положение первой путевой точки траектории КД-маневра;  $d_L$  – радиус домена опасности OS;  $S_P, S_S$  – допустимые при КД-маневре боковые отклонения от запланированного пути

Для поиска КД-маневра в режиме диалога с CAS предлагается следующая методика.

Оператором задаются: положение точки  $P_1$ , в которой начало действий по избеганию столкновения является заблаговременным; значения  $d_L, S_P, S_S; \alpha$ ; пределы  $\theta^s, \theta^p$  для планируемых изменений курса вправо и влево; нижняя и верхняя границы  $V^m, V^M$  интервала для выбора  $V_\mu$ . В используемом примере  $d_L=5$  кб.,  $S_P=25$  кб.,  $S_S=21$  кб.,  $\alpha=15^\circ$ ,  $\theta^s=90^\circ, \theta^p=120^\circ, V^m=5$  узл.,  $V^M=22$  узл.

Системой по методу [4] расчета секторов относительных опасных курсов (СООК) находится соответствующая точке  $P_1$  область безопасных курсов и скоростей (ОБКС), не приводящих к чрезмерному сближению с «целями» (при условии неизменности их курсов и скоростей). Принцип получения СООК и выбора по нему маневра расхождения без учета инерционности OS характеризуется на рис. 3 [5], где  $K_0, V_0$  и  $K_J, V_J$  – курс, скорость OS и «цели»  $J$ . Безопасное расхождение обеспечивается, если конец выбираемого вектора скорости OS для уклонения от столкновения будет лежать за пределами СООК.

Соответствующая данным рассматриваемого примера ОБКС показана белым цветом на рис. 4, где СООК опасной «цели» 1 отмечен более темным цветом. ОБКС в CAS рекомендуется представлять на периферии экрана.

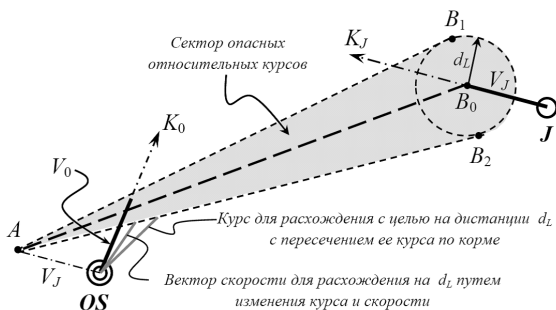


Рис. 3. COOK для облегчения выбора маневров расхождения

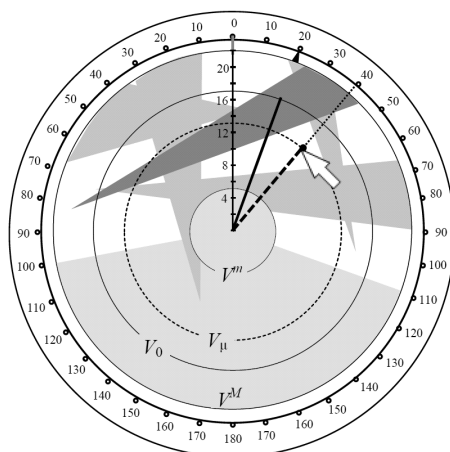


Рис. 4. Область безопасных курсов и скоростей

Оператором с помощью курсора в ОБКС задается предпочтительный, по его мнению, вектор скорости для расхождения. Для этого вектора по процедуре, описанной в работе [2], системой определяется положения точки  $P_2$  для КД-маневра с самым коротким участком  $P_1P_2$ . Также находятся точки  $B_1, B_2$  начала действий с учётом динамики OS и точка  $P_3$  участка возвращения к маршруту перехода. В рассматриваемом примере (см. рис. 4), выбран вектор скорости с параметрами  $K_\mu=40^\circ, V_\mu=13.0$  узл. Соответствующая ему траектория КД-маневра с самым коротким участком  $P_1P_2$  представлена на рис. 5.

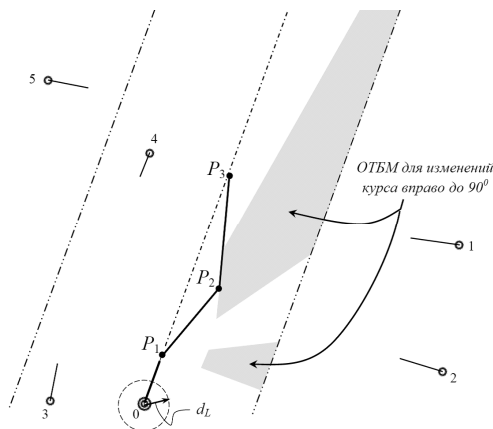


Рис. 5. Вид ситуации при выборе КД-маневра в режиме диалога с системой

По запросу система показывает численную оценку эффективности представляемого на экране варианта маневра, и область определяющих точек безопасных с выбранным  $V_{\mu}$  КД-маневров для изменений курса вправо и/или влево в заданных пределах ( $\theta^s, \theta^p$ ). Эта область (обозначим ее ОТБМ) выделяется для облегчения, при необходимости, коррекции отображенной траектории КД-маневра путем указания в ОТБМ нового положения точки  $P_2$ . Границы ОТБМ рассчитываются по методу, охарактеризованному в статье [2]. На рис. 5 показана ОТБМ для изменений курса вправо.

Определение системой множества безопасных вариантов маневра и возможность быстрого просмотра любого выбранного из них при использовании предлагаемой методики значительно облегчает выбор для расхождения с судами эффективного КД-маневра в режиме диалога с CAS. Достоверность представленных в статье результатов подтверждена моделированием процессов разрешения коллизионных ситуаций на компьютере. Разработка метода расчета оптимального КД-маневра для расхождения с несколькими судами в стесненных водах с целью его рекомендации ООВ является предметом дальнейшей работы по данному направлению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагущенко Л.Л. Критерий эффективности маневров расхождения с судами / Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко // Судовождение. – 2012. – Вып. 21. – С. 51 - 57.

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. 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. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

5. Degre T. A collision avoidance system / T. Degre, X. Lefevre //The Journal of Navigation. - 1981. – 34. – P. 294 – 302.

6. Pedersen E. Simulator studies on a collision avoidance display that facilitates efficient and precise assessment of evasive manoeuvres in congested waterways / E. Pedersen, K. Inoue, M. Tsugane //The Journal of Navigation. - 2003. – 56. – P. 411 – 427.