

ОТОБРАЖЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВЫБОРА СРОЧНОГО
МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ

Одной из сложных и недостаточно проработанных задач судовождения является определение действий для предупреждения столкновения, когда они требуются практически в данный момент времени. Пока рассмотрены лишь некоторые аспекты этой задачи [1, 3, 5, 6], но в общей постановке она далека от решения. Известно, что невозможно выработать универсальную рекомендацию по выбору неотложных мер по расхождению, так как они зависят от многих факторов. В этих условиях целесообразна информационная помощь судоводителю со стороны компьютера, состоящая в отображении ситуации сближения судов в виде, позволяющем принять правильное решение. Это и стало целью исследования, результаты которого приведены ниже.

Ситуации, требующие выполнения срочного маневра, характеризуются следующими признаками:

расстояние кратчайшего сближения D_{KP} мало (движение неизменным курсом и скоростью приводит к столкновению);

оставшееся время T_{KP} до момента сближения на D_{KP} мало, что требует незамедлительных мер;

не действуют правила, регламентирующие обычное расхождение;

предотвращение столкновения может быть достигнуто только "сильным" маневром;

большая вероятность маневра опасного судна-цели (СЦ).

Если оба сближающихся судна предпринимают действия для расхождения, то маневр одного судна, улучшающий результаты маневра другого судна, будем называть содействующим, а маневр, ухудшающий эти результаты, – противодействующим.

Границу (по времени или по расстоянию) для установления принадлежности ситуации к требующей неотложного маневра, четко определить вряд ли возможно, так как она зависит от многих факторов. Ниже ориентировочно считается, что такой границей ($T_{ГР}$) по времени можно принять значение

$$T_{ГР} = \text{Max}\{T_{STOP}, T_{180}\}, \quad (1)$$

где T_{STOP} - время торможения оперирующего судна работой машины в режиме заднего полного хода (ЗПХ) от скорости его движения (V)

до остановки; T_{180} - время поворота с максимальной перекладкой руля на 180° при скорости V .

Таким образом, ситуация срочного маневра ориентировочно определяется неравенством: $T_{КР} \leq T_{ГР}$. В табл. 1 приведены значения T_{STOP} и T_{180} для одного из судов, которое шло перед маневром передним полным либо средним или малым ходом. Из таблицы видно, что при движении полным ходом уклонение курсом от судна-цели (СЦ) происходит значительно быстрее, чем при торможении. На малом ходу это преимущество маневра курсом перед торможением теряется.

Таблица 1

Значения для выбора $T_{ГР}$

$T_{ГР}$	ППХ (17,0 уз.)	ПСХ (13,0 уз.)	ПМХ(8,8 уз.)
T_{STOP}	3 ^m 30 ^s	2 ^m 40 ^s	1 ^m 55 ^s
T_{180}	1 ^m 55 ^s	2 ^m 30 ^s	3 ^m 45 ^s

Неотложный маневр расхождения, рассчитываемый без учета динамики судна, а в ряде случаев и таких особенностей как падение скорости при изменении курса и разная поворотливость вправо и влево, вряд ли будет эффективным. Анализируя предложенные для использования при выборе срочных маневров математические процедуры, можно заметить, что динамика судов в них учтена недостаточно полно. Такое обстоятельство объясняется объективной причиной – еще до недавнего времени мощности компьютеров было недостаточно для получения в реальном времени прогнозов маневров судов по моделям, адекватным реальному процессу. На современном этапе это стало возможным. Поэтому решение поставленной задачи было основано на математической модели, отражающей достаточно точно поведение судна при "сильных" маневрах.

Для конкретизации условия задачи предполагается, что оперирующее судно имеет главную дизельную энергетическую установку с винтом фиксированного шага; судно-цель передает характеризующие его движение данные по линии АИС; срочным маневром оперирующего судна является один трех видов: торможение работой машины на ЗПХ, изменение курса вправо и поворот влево с максимальной перекладкой руля. При таком перечне возможных действий выбор срочного маневра сводится к определению его вида и параметров, при которых расхождение безопасно с учетом геометрии сближения, размеров судов, навигационной обстановки, вероятного маневра СЦ.

Для прогнозирования на компьютере «сильных» маневров была выбрана приведенная в [2] нелинейная дифференциальная модель управляемости судна. В ней вектор состояния движения судна образуют параметры:

V_L, V_B – продольная и боковая компоненты вектора скорости судна;

ω – скорость поворота судна вокруг вертикальной оси;

$\eta = \dot{n}$ – скорость изменения частоты n вращения гребного винта;

$\Omega = \dot{\beta}$ – скорость перекладки β пера руля.

Учитываются следующие воздействия на судно: инерционная сила и ее момент (P_A, M_H); центробежная сила ($P_{Ц}$); позиционная гидродинамическая сила и ее момент (P_K, M_K); демпфирующий гидродинамический момент (M_D); упор винта, боковая сила винта и ее момент (P_L, P_B, M_B); сила на руле и ее момент (P_P, M_P); аэродинамическая сила и ее момент (P_a, M_a). Значения этих параметров находятся по формулам, приведенным в справочниках по теории корабля, в частности [4]. Изменение состояния судна представлено системой уравнений:

$$\frac{dV_L}{dt} = \frac{1}{m_L} (P_{ЦL} + P_{KL} + P_L + P_{PL} + P_{aL});$$

$$\frac{dV_B}{dt} = \frac{1}{m_B} (P_{ЦB} + P_{KB} + P_B + P_{PB} + P_{aB});$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_\omega} (M_K + M_D + M_B + M_P + M_a);$$

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{1}{T_\eta} [k_\eta (n_U - n) - \eta];$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{T_\Omega} (k_\Omega \nabla \hat{\beta} - \Omega).$$

Здесь m_L, m_B, J_ω – массы и момент инерции судна с присоединенными частями; T_η, k_η – постоянная времени и передаточный коэффициент двигателя; n_U – задаваемая частота вращения винта (управляющий сигнал); T_Ω, k_Ω – постоянная времени и передаточный коэффициент рулевого устройства; $\nabla \hat{\beta}$ – приведенная разность между задаваемой кладкой руля β_U (управляющий сигнал) и действительным

ее значением β . Индексами L , B обозначены составляющие названных сил на продольную и боковую оси судна соответственно.

Координаты места судна на поверхности Земли, его курс и скорость находятся по известным формулам [4] с использованием начальных значений этих параметров и компонентов вектора состояния.

Охарактеризованная дифференциальная модель движения судна была приведена к разностному виду и дополнена алгоритмами выработки сигналов управления для выполнения судном поворотов на любой угол с заданным положением руля и торможения до назначенной скорости работой машины на разных режимах заднего хода. Полученная рекуррентная процедура стала основой программы для имитации и прогнозирования процессов маневрирования судов. Расчеты по этой программе показали, что при максимально ускоренной имитации движения примерно за 1с компьютер обеспечивает получение 15-ти минутной реализации процесса маневрирования. Такое быстрое действие обеспечивает возможность в реальном времени получать и использовать при решении задач расхождения численные прогнозы маневров судна по имитационной модели.

Отображение результатов вычислений по имитационной модели выбиралось таким, чтобы обеспечить быстрое понимание обстановки и оперативный выбор действий для расхождения. Это отображение включает две формы: основную и дополнительную. На основной форме, поясняемой рис. 1, где C - место оперирующего судна, показываются прогнозы траекторий трех маневров (торможения ЗПХ до остановки и циркуляций влево и вправо). На траекториях отмечаются участки роста и уменьшения дистанции от оперирующего судна до СЦ, а также выделяется ряд важных для выбора маневров элементов. Среди них - координаты точек (W_L , W_S на циркуляциях и W_Z на пути торможения), в которых впервые при последовательном вычислении точек траекторий значение D_{KP} становится максимальным при $T_{KP} \geq 0$. Графически и в цифровом виде представляются: K, V и $K_{Ц}, V_{Ц}$ - курс, скорость оперирующего судна и СЦ; $D_{\min Z}$, $D_{\min L}$, $D_{\min S}$ и $T_{\min Z}$, $T_{\min L}$, $T_{\min S}$ - минимальное расстояние между оперирующим судном и СЦ при торможении, циркуляции влево, вправо и время от начала маневра до момента минимума расстояния между судами; θ_{WL} , θ_{WS} и T_{ML} , T_{MS} - углы поворота с окончанием в точке W_L , W_S и время поворота оперирующего судна на эти углы; $K_{WL} = K + \theta_{WL}$, $K_{WS} = K + \theta_{WS}$; D_{KPL} , D_{KPS} и T_{KPL} , T_{KPS} - расстояния кратчайшего сближения на курсах K_{WL} , K_{WS} и время от начала

маневра до момента кратчайшего сближения. Чтобы учесть размеры судов, на прогнозируемых траекториях маневров оперирующего судна и пути движения СЦ в точках минимального расстояния между судами показываются их контуры в масштабе отображения. Составленной программой наглядность ситуации на экране компьютера обеспечивается возможными способами выделения информации, в том числе и разными цветами. На рис. 1 данные выделены разным типом линий черного и серого цвета. С течением времени значения отображаемых параметров непрерывно меняются, так как изменяется взаимное расположение судов.

$K=0^{\circ}$; $V=17.1$ уз;	$K_{\Pi}=257^{\circ}$; $V_{\Pi}=14.0$ уз;	$D_{KP}=0.25$ кб; $T_{KPL}=1^{m}15^s$;
$D_{minL}=2.0$ кб; $T_{minL}=2^{m}5^s$;	$D_{minZ}=0.2$ кб; $T_{minZ}=1^{m}23^s$;	$D_{minS}=1.3$ кб; $T_{minS}=1^{m}2^s$;
$\theta_{WL}=80^{\circ}$; $T_{ML}=1^{m}9^s$; $D_{KPL}=2.1$ кб; $T_{KPL}=1^{m}16^s$;	$\theta_{WS}=68^{\circ}$; $T_{MS}=1^{m}1^s$; $D_{KPS}=1.3$ кб; $T_{KPS}=1^{m}3^s$.	

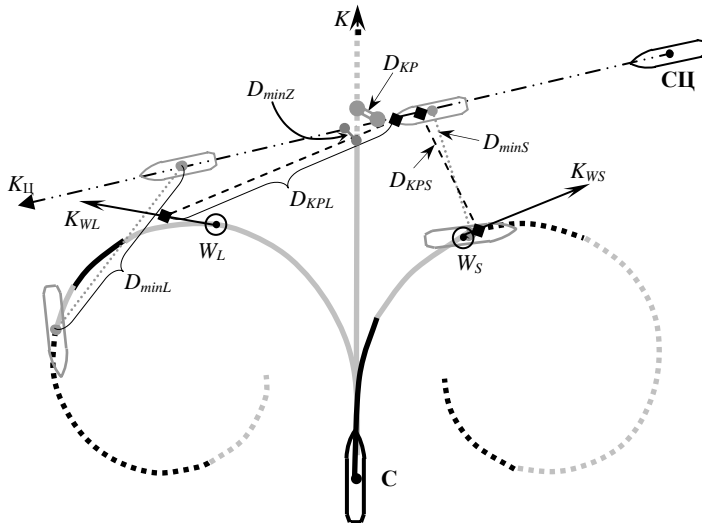


Рис. 1. Схема основной формы отображения данных:

- D уменьшается с ускорением; - - - - D растет с ускорением;
- D уменьшается с замедлением; ····· D растет с замедлением

Основная форма отображения информации служит для быстрого определения первого из действий оперирующего судна по расхождению. По этой форме обычно видно, какое из трех действий (торможение, либо уклонение вправо или влево) даст лучший результат. По данным основной формы оценивается, не проходят ли траектории прогнозируемых маневров по опасным глубинам, и приводит ли ма-

неврирование к расхождению. Так, например, можно установить, что маневр торможения в ситуации на рис. 1 не предупреждает столкновения. Если навигационных ограничений нет, в качестве первого действия рассматриваются минимальные по времени изменения параметров движения ($\theta_{WL}, \theta_{WS}, \Delta_W$), обеспечивающие максимум D_{KP} при $T_{KP} \geq 0$. Предпочтительней с этой точки зрения маневр, в момент окончания которого D_{KP} больше, а относительная скорость сближения с СЦ меньше.

Чтобы убедиться, не приведет ли к столкновению в процессе осуществления намеченного маневра возможный противодействующий маневр СЦ, служит дополнительная форма отображения информации. Она появляется при нажатой левой клавише мыши после указания курсором на одной из трех отображенных траекторий точки конца намечаемого маневра. В этом случае для выбранного действия показываются прогнозируемые траектории относительного движения (ЛЮД) цели (одна из них для $K_{Ц}, V_{Ц}$; вторая - $K_{Ц} + \Delta_{КЦ}, V_{Ц}$; третья - $K_{Ц} - \Delta_{КЦ}, V_{Ц}$) и соответствующие этим траекториям относительные курсы цели $K'_{Ц}, K'_{ЦП}, K'_{ЦЛ}$ на момент конца маневра оперирующего судна. Здесь $\Delta_{КЦ}$ - предполагаемая величина маневра СЦ курсом. По умолчанию считается, что $\Delta_{КЦ} = 30^0$. Предусмотрена возможность изменения значения $\Delta_{КЦ}$. Хотя для упрощения в программе изменение курса судном-целью считается мгновенным, тем не менее, отображаемые линии относительного движения дают ясное представление о влиянии такого изменения на намечаемый оперирующим судном маневр.

При отжатии клавиши мыши, когда отстояние курсора от траектории маневра не превышает принятую в программе малую величину, выбранный параметр маневра и отображение дополнительной формы сохраняются. Эта форма заменяется основной, когда при нажатой клавише мыши место курсора отстоит от траектории на большую величину, чем принято в программе.

Для ситуации (см. рис. 1) показана на рис. 2 дополнительная форма с прогнозом выбранного изменения курса на угол θ_{WL} . По отображению ситуации видно, что любое изменение курса СЦ не вызовет столкновения с оперирующим судном в процессе маневрирования. Следует отметить, что в данном случае это является следствием того, что V больше $V_{Ц}$. В других ситуациях может потребоваться коррекция выбранного на первом этапе маневра для расхождения.

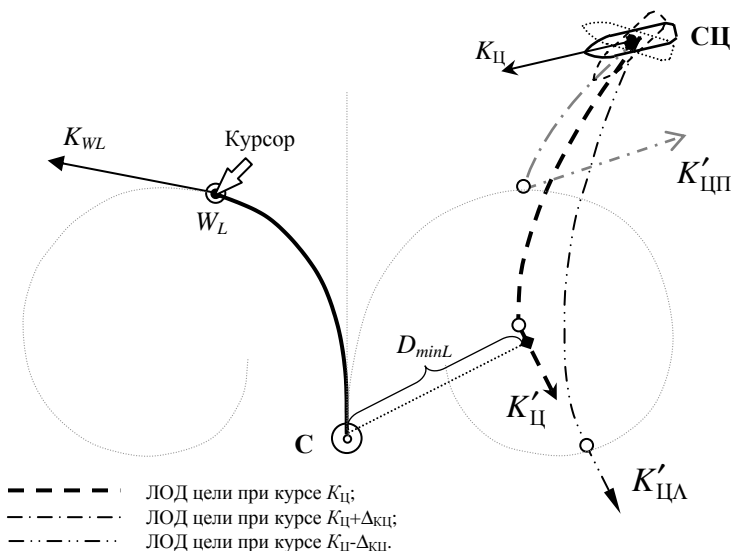


Рис. 2. Схема дополнительной формы отображения данных

Если до маневра оперирующего судна СЦ начало изменять свои элементы движения, то с помощью предложенного вида отображения информации нетрудно выбрать содействующий маневр. Когда в момент начала маневра оперирующего судна судно-цель еще двигалось прежним курсом и скоростью, то в процессе этого маневра по изображению на экране должно контролироваться движение СЦ. В зависимости от того, сохраняет ли оно неизменными элементы движения, совершает ли содействующий или противодействующий маневр, следует выбирать дальнейшее действие по уклонению от столкновения либо по возвращению к прежней линии пути.

В заключение можно отметить, что предлагаемое отображение данных дает возможность быстро проанализировать результат применения возможных срочных маневров для расхождения, выбирать действие для предупреждения столкновения как при постоянном курсе и скорости СЦ, так и при получении информации об их изменении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Л.П. Учет инерции судов во время их маневрирования для расхождения // Труды ЦНИИМФ. – 1982. - №271. – С. 50 - 53.

2. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна: Учебник. –3-е изд., перераб. и доп. - М.: ТрансЛит. 2007. – 376 с.

3. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса: ООО "Морской тренажерный центр", 2002. – 208 с.

4. Справочник по теории корабля. Том 3. /Под ред. Я.И.Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 544 с.

5. Таратынов В.П. Расчет момента "критического положения" судов и понятие "района непосредственной близости" //Судовождение. – 1975. – №16. – С. 68 - 75.

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