

ОПЕРАТИВНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ МАРШРУТА ДЛЯ РАСХОЖДЕНИЯ
С СУДАМИ И ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Проблеме выбора маневров для предупреждения столкновений судов посвящено большое количество работ. Их результаты в определенной мере отражены в публикациях [1, 3, 4]. В настоящее время для судов разрабатываются многоцелевые системы путепрокладки, оценки ситуаций и вождения судна. В них судном управляет навигационно-информационная система (НИС). В режиме управления она должна позволять оперативно и легко на электронной карте (ЭК) корректировать намеченный маршрут перехода для уклонения от столкновения с препятствием или судном, просто оценивать по изображению на ЭК эффективность намечаемых мер, активировать их с модуля ЭК, контролировать процесс движения судна по измененному маршруту.

Целью исследования является разработка для автоматического режима вождения судна по заданному маршруту алгоритмов, позволяющих в режиме диалога с НИС на электронной карте оперативно корректировать маршрут перехода для предупреждения чрезмерного сближения с судами и препятствиями, оценивать безопасность движения по измененному пути и выбирать эффективный вариант коррекции маршрута.

Для оперативной коррекции маршрута предлагаются два метода: параллельного смещения активного отрезка пути и вставки путевой точки.

Во многих ситуациях для предупреждения чрезмерного сближения с другими судами целесообразным является смещение на параллельную линию пути (СПЛП) [2]. Этот стандартный маневр может использоваться с углом отклонения от курса следования вплоть до 150° . Траектория ЦМ судна при маневре СПЛП показана на рис. 1. Этот маневр характеризуется: углом изменения курса Δ_K , заданным параметром поворотов (допустим радиусом R_3), временем поворота $\tau_{пов}$ на угол Δ_K и проходимым за это время расстоянием l_Δ , дистанциями s_Δ , b_Δ от путевой точки Z до точек начала A и конца B поворота, длиной $S_{л}$ прямолинейного отрезка, прямым $s_{см}$ и боковым $r_{см}$ смещением конечной точки E относительно начальной A , продолжительностью τ_m маневра и моментом t_m его начала.

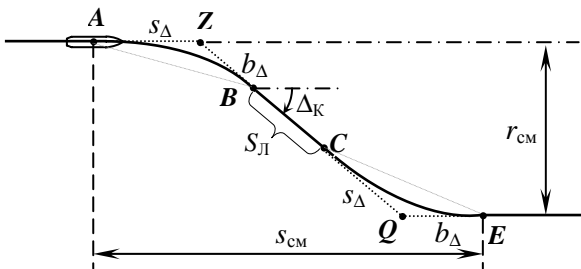


Рис. 1. Маневр смещения на параллельную линию пути

В зависимости от заданного радиуса R_3 и угла поворота значения s_Δ и b_Δ можно рассчитать, по упрощенным формулам, поясняемым рис. 2:

$$s_\Delta = (R_3 + k_{R_3}L) \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta_K}{2}, \quad b_\Delta = R_3 \operatorname{tg} \frac{\Delta_K}{2}.$$

Здесь L - длина судна; k_{R_3} - коэффициент, соответствующий конкретному судну (обычно лежит в диапазоне от 0,7 до 1,7, в среднем его считают равным единице). Таким образом, траектория поворота упрощенно представляется совокупностью участка задержки поворота AP и дугой окружности PB . Длина траектории поворота

$$l_\Delta = k_{R_3}L \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta_K}{2} + R_3 \Delta_K.$$

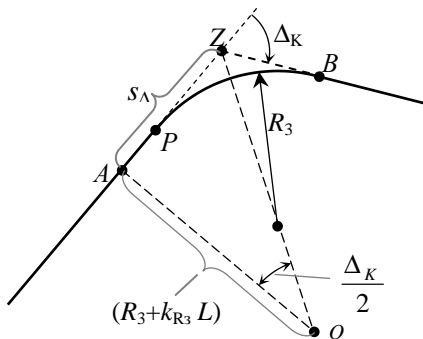


Рис. 2. Параметры маневра s_Δ, b_Δ

Точнее параметры маневра $s_\Delta, b_\Delta, l_\Delta$ находятся моделированием

в ускоренном времени поворота с помощью эталонной модели системы автоматического управления курсом. Время поворота на угол Δ_K и продолжительность маневра СПЛП вычисляются по формулам:

$$\tau_{\text{пов}} = l_{\Delta} / V, \quad \tau_{\text{м}} = 2\tau_{\text{пов}} + S_{\text{л}} / V.$$

Маршрут перехода в ряде случаев представляют как ломаную линию с круговыми областями радиусом $s_{\Delta} = f(R_3, \Delta_K)$ около путевых точек (рис. 4). Эти области, на границе которых начинается поворот, называют зонами эволюционного движения.

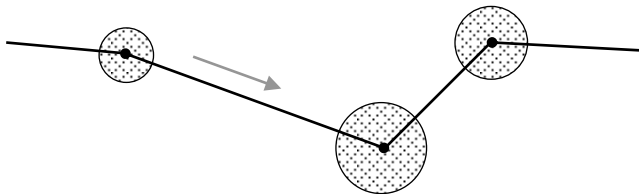


Рис. 3. Маршрут с зонами эволюционного движения

Чтобы в режиме вождения по отрезку [J-1, J] маршрута (рис. 4), избежать чрезмерного сближения с судами смещением на параллельную линию пути, задается угол уклонения от курса (Δ_K) и смещение ($r_{\text{см}}$) оставшейся части активного отрезка пути без изменения его направления. В результате в маршрут вводятся две новые путевые точки (Z, Q) и изменяется положение точки поворота J.

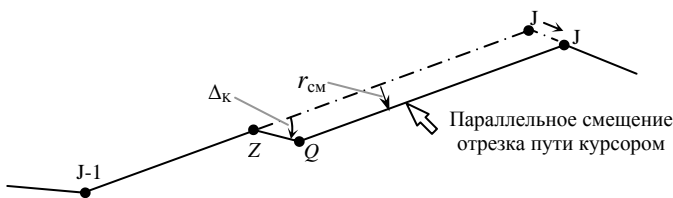


Рис. 4. Изменение маршрута для расхождения с судном маневром смещения на параллельную линию пути

Точкой Z обычно считается место на расстоянии s_{Δ} впереди текущего положения ЦМ судна. Если начало маневра намечается с задержкой ($t_{\text{зд}}$) по времени, то в качестве Z принимается будущее по-

ложение ЦМ судна на расстоянии $(s_{\Delta} + V \cdot t_{зд})$ от его текущего места. Положение путевых точек Q, J находится в зависимости от $\Delta_K, r_{см}$, а также курсов вдоль активного и следующего за ним отрезков маршрута.

Если при малых значениях $r_{см}$ зоны эволюционного движения в точках Z и Q перекрываются, то для таких $r_{см}$ маневр СПЛП с заданными Δ_K, R_3 не существует.

Для оперативного изменения маршрута рассматриваемым способом в НИС необходимо ввести специальную функцию и программу ее реализации. Эта программа должна позволять назначать R_3, Δ_K и смещение $r_{см}$ отрезка пути. Целесообразно предусмотреть и ввод времени задержки $t_{зд}$ маневра.

Смещать активный отрезок маршрута удобно "перетаскиванием" его курсором при нажатой левой клавише манипулятора. При выполнении этой операции необходимо вычислять значения параметров маневра СПЛП (в области его существования), соответствующие смещению $r_{см}$ отрезка пути. На экране при этом следует отображать: прогноз пути судна и рассчитанное на конец маневра его место с вектором скорости и областью безопасности; суда-цели, их путь от текущего места до прогнозируемого на конец маневра, вектора истинного и относительного движения.

На рис. 5 - 7 приведен пример отображения данных при выборе маневра СПЛП для расхождения с 4-мя целями. Исходная ситуация представлена на рис. 5. Время векторов истинного движения взято равным 6 мин, векторов относительного движения – 12 минут, время задержки маневра – 0 мин. Допустимая дистанция кратчайшего сближения ($D_{кр3}$) установлена 10 кб.

При выборе маневра (рис. 6) прогноз траектории перехода нашего судна на смещаемый курсором активный отрезок маршрута показан точечной линией. Около прогнозируемого на конец маневра СПЛП места судна отображен сплошной линией вектор его скорости и зона безопасности с радиусом $D_{кр3}$.

Действительное положение цели на рис. 6 обозначено ее номером. У прогнозируемого на время окончания маневра места цели показаны вектора истинного и относительного движения. Если на момент конца маневра цель неопасна, то вектор истинного движения будет тонким сплошным, а вектор относительного движения - тонкой точечной линией. Если же цель опасна, вектор истинного движения будет жирной сплошной линией, а вектор относительного движения – жирной

штриховой линией. Если в интервале от начала до конца маневра СПЛП не будет чрезмерного сближения с целью, то ее путь от действительного до прогнозируемого на конец маневра положения показывается тонкой штриховой линией. Если опасное сближение в названном интервале времени будет иметь место, то этот путь отображается линией "штрих-две точки". Приведенный метод отображения данных выбран для пояснений. На экране монитора НИС для улучшения понимания обстановки информации выделяется более эффективными способами: разными цветами, миганием и т.д.

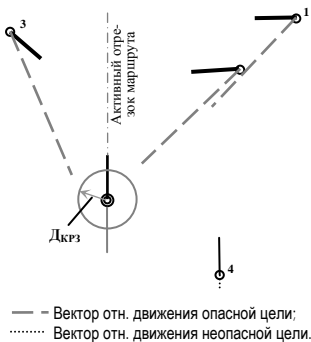


Рис. 5. Ситуация до маневра

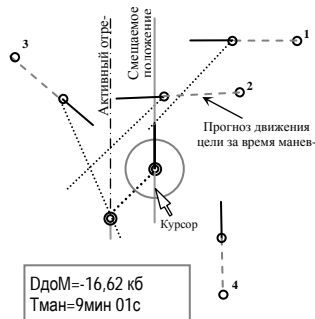


Рис. 6. Выбор маневра

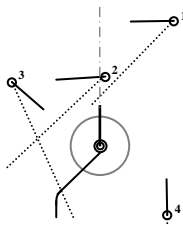


Рис. 7. Ситуация в момент окончания маневра

В области цифровых данных при "перетягивании" курсором отрезка пути отображается $r_{сМ}$ и время маневра $\tau_{м}$ (на рис. 6 - ДдоМ и Тман). Здесь можно показать и параметры интересующей оператора цели.

Выбор маневра расхождения заключается в нахождении (при смещении курсором вправо и влево отрезка пути относительно его начального положения) наименьшего $r_{см}$, при котором маневр СПЛП не противоречит МППСС и не приводит к опасности чрезмерного сближения с другими судами в процессе уклонения и в момент его завершения. В рассматриваемом примере такое смещение ($r_{см} = 16,62$ кб) приведено на рис. 6.

Выбрав $r_{см}$, судоводитель в зависимости от ситуации определяет точку начала маневра. При приходе судна в нее дает команду начать движение по измененному маршруту. По этой команде в НИС в запланированный маршрут вводятся путевые точки Z , Q , J , соответствующие выбранному значению $r_{см}$. НИС, обеспечивая движение по измененному маршруту, выполнит задачу расхождения. Ситуация сближения судов в момент выхода на смещенный отрезок пути показана на рис. 7.

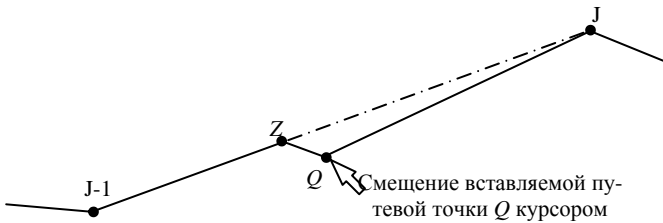


Рис. 8. Изменение маршрута для расхождения с судном вставкой путевой точки Q

Второму предлагаемому способу выбора изменения траектории для расхождения с судами соответствует вставка двух путевых точек Z и Q (рис. 8). Точка Q появляется при нажатии клавиши манипулятора в режиме выбора маневра расхождения этим способом. Ее место совпадает с положением курсора. При нажатой клавише точка Q может перетягиваться курсором по полю ЭК. Точка Z появляется при отображении Q . Место Z определяется положением нашего судна, точки Q и назначенным временем задержки маневра. При любом выбираемом курсором положении точки Q можно просматривать (в области существования маневра), какой будет ситуация сближения судов в момент выхода нашего судна на отрезок QJ и какой будет величина потери ходового времени.

Программно устанавливается, что при перетягивании точки Q с нажатой правой клавишей манипулятора первый поворот при маневре расхождения (на рис. 9, а – поворот на угол Δ_{K1}) будет вправо, а при перетягивании точки Q с нажатой левой клавишей – влево. Это позволяет задавать угол уклонения от цели вправо и влево от нуля до 360° (рис. 9, б). Второй поворот (на угол Δ_{K2} , рис. 9, а) выполняется в ту сторону, в которую он меньше.

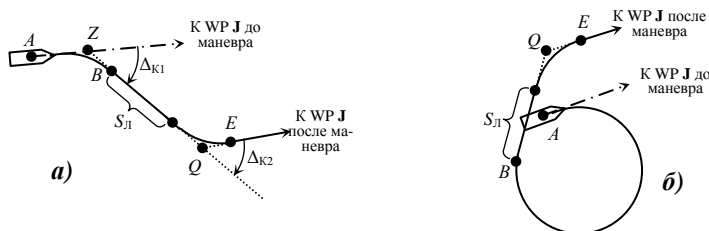


Рис. 9. Примеры задания путевой точки Q

На экране в режиме выбора маневра прогнозируемая ситуация при перемещении курсором путевой точки Q отображается в виде, аналогичном для маневра СПЛП (см. рис. 6). Показывается прогнозируемый путь нашего судна в точку E конца маневра. В точке E отображается символ судна и направленный к WP J (см. рис. 8) вектор его скорости, а также зона безопасности с радиусом $D_{KРЗ}$.

Для целей показывается их действительное место, от него путь к прогнозируемому на конец маневра положению, у этой точки - вектора истинного и относительного движения. Способы выделения опасных в интервале маневра целей и опасных целей после завершения его такие же, как при прогнозе маневра СПЛП.

Безопасным маневрам соответствует область положений точки Q , при которых все цели безопасны, как на этапе маневрирования, так и в конце его. В этой области судоводитель выбирает положение Q , при котором маневр уклонения отвечает требованиям МППСС и сопровождается минимальной потерей ходового времени. После этого подается команда начала маневра. По ней в НИС вводятся соответствующие выбранному положению точки Q изменения в запланированный маршрут. НИС, обеспечивая движение по измененному маршруту, выполнит расхождение с судами.

Для проверки эффективности предложенных методов составлена

имитационная модель вождения судна по заданной траектории при наличии движущихся целей (до 50), позволяющая оперативно корректировать маршрут рассмотренным выше образом, чтобы разойтись с целями. Анализ с помощью этой программы многих ситуаций расхождения показал, что предложенные способы обеспечивают простоту выбора эффективных вариантов коррекции маршрута для расхождения с несколькими судами и позволяют учитывать наличие навигационных опасностей в районе движения. Выбор маневра расхождения и его выполнение производятся в режиме автоматического вождения судна по маршруту и не требуют перехода на ручной режим управления судном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексейчук М.С. Основные принципы системы принятия оптимального решения при расхождении судов //Судовождение: сб. науч. трудов ОГМА. – 1999. – Вып. 1. – С. 7 - 14.
2. Вагущенко А.Л. Алгоритм расхождения с судном смещением на параллельную линию пути //Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2006 . – Вып. 11. – Одесса, ОНМА – С. 10 - 20.
3. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
4. 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.