

## Способ последовательного расхождения судна с двумя опасными целями

Пятаков Владислав Эдуардович, Петриченко Ольга Александровна,  
Калюжный Владислав Витальевич  
НУ "Одесская морская академия", Одесса, Украина

## Method of successive divergence of ship with two dangerous targets

Pyatakov Vladislav, Petrichenko Olga, Kaliuzhny Vladislav  
NU "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine

*Аннотация – Рассмотрена ситуация опасного сближения судна с двумя целями, когда расхождение с ними общим маневром невозможно. Предлагается безопасное расхождение двумя последовательными маневрами: изменением курса с первой ближайшей целью и изменением скорости со второй. Предложены аналитические выражения и алгоритм расчета курса уклонения, момента времени начала снижения скорости активным торможением и скорость расхождения со второй целью. Приведен численный пример и его графическая иллюстрация.*

*Abstract – In the article resulted analytical expressions of calculation of duration of transitional process of the active braking and size the passed distance for this time, allowing to expect parameters of maneuver of divergence of ship with the second target by the decline of speed. Offered method of divergence of ship with two dangerous targets by the successive changes of course and speed realized in the computer program. As an example the situation of dangerous rapprochement of ship with targets with the preset parameters was considered.*

В районах интенсивного судоходства зачастую возникает ситуация сближения судна с двумя опасными целями, в которой судно не может безопасно разойтись с обоими целями общим маневром, поэтому возникает необходимость проведения двух последовательных манев-

ров расхождения с каждой из целей.

В работе [1] рассмотрены принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов, а также приведен анализ методов их реализации. Вопросы учета навигационных опасностей и инерционности судна при выборе стратегии расхождения судна освещены в работах [2, 3], а в работе [4] предложено описание процесса расхождения судов в терминах дифференциальной игры.

Взаимодействие судов в ситуации опасного сближения и выбор стратегии расхождения для предупреждения их столкновения рассмотрены в работе [5], причем выбор оптимального стандартного маневра расхождения пары судов рассмотрен в работе [6], а в работе [7] предложена экстренная стратегия расхождения в ситуации чрезмерного сближении судов.

Целью публикации является разработка способа последовательного расхождения судна с двумя опасными целями вначале изменением курса, а затем - снижением скорости активным торможением.

Рассмотрим ситуацию опасного сближения оперирующего судна с двумя целями, причем расхождение с первой целью судно выполняет изменением курса, а со второй - изменением скорости. В общем случае ситуация опасного сближения и маневр расхождения показаны на рис. 1.

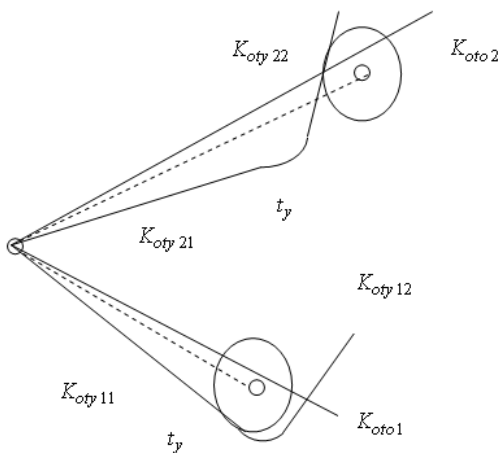


Рис. 1. Ситуация опасного сближения и маневр расхождения

Для безопасного расхождения судно вначале уклоняется от первой (ближайшей) цели курсом  $K_y$ , который выбирается таким образом, чтобы относительный курс  $K_{отy11}$  обеспечивал равенство дистанции кратчайшего сближения судна с первой целью  $D_{\min11}$  с предельно-допустимой дистанцией  $D_d$ , т. е.  $D_{\min11} = D_d$ .

Относительный курс уклонения (вправо, влево) определяется с помощью выражения:

$$K_{отy11}^{(s,p)} = \alpha_1 \pm \arcsin\left(\frac{D_d}{D_1}\right),$$

а соответствующий истинный курс:

$$K_y^{(s,p)} = K_{отy11}^{(s,p)} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_1 - K_{отy11}^{(s,p)})],$$

где  $\rho = V_c / V_1$ .

Момент времени  $t_y$  завершения расхождения с первой целью и начала торможения для расхождения со второй целью определяется как момент времени достижения траверзного расстояния с первой целью, т.е.:

$$t_y = \frac{D_1 \cos[\alpha_1 - K_{отy11}^{(s,p)}]}{V_{отy11}^{(s,p)}},$$

где  $V_{отy11}^{(s,p)}$  - относительная скорость сближения судна с первой целью на участке уклонения.

На полученный момент времени  $t_y$  следует определить расстояние до второй цели

$$D_2(t_y) = \sqrt{\Delta X_{от2}^2 + \Delta Y_{от2}^2},$$

где  $\Delta X_{от2}$ ,  $\Delta Y_{от2}$  - приращение относительных координат между судном и второй целью, причем:

$$\Delta X_{от2} = D_2 \sin \alpha_2 - V_{отy21} t_y \sin K_{отy21};$$

$$\Delta Y_{от2} = D_2 \cos \alpha_2 - V_{отy21} t_y \cos K_{отy21}.$$

Затем производится сравнение значений  $D_2(t_y)$  и  $D_d$ , причем в случае  $D_2(t_y) < D_d$  следует увеличить значение приращения курса уклонения  $K_y^{(s,p)}$  до тех пор, пока  $D_2(t_y) > D_d$ . Для данного расстоя-

ния определяется пеленг  $\alpha_2(t_y)$  на вторую цель, причем сближение со второй целью при данном курсе является опасным.

Маневр скоростью для расхождения со второй целью осуществляется следующим образом. Задаемся начальными координатами судна  $X_c, Y_c$  и второй цели  $X_2, Y_2$ , исходя из их относительной позиции на момент времени  $t_y$ :

$$X_c = 0, Y_c = 0, X_2 = D_2(t_y) \sin[\alpha_2(t_y)], Y_2 = D_2(t_y) \cos[\alpha_2(t_y)].$$

Проверяем возможность безопасного расхождения остановкой судна в результате торможения. Для этого определяем выбег судна  $S$  и интервал времени  $\tau$  до остановки судна с учетом режима торможения. Координаты судна  $X_{cf}, Y_{cf}$  и второй цели  $X_{2f}, Y_{2f}$  на момент остановки судна  $t_y + \tau$  принимают значения:

$$X_{cf} = S \sin K_c, Y_{cf} = S \cos K_c,$$

$$X_{2f} = D_2(t_y) \sin[\alpha_2(t_y)] + V_2 \tau \sin K_2, Y_{2f} = D_2(t_y) \cos[\alpha_2(t_y)] + V_2 \tau \cos K_2.$$

При этом дистанция между судном и второй целью

$$D_{2f} = \sqrt{(X_{cf} - X_{2f})^2 + (Y_{cf} - Y_{2f})^2}$$

сравнивается с предельно-допустимой дистанцией  $D_d$ . Если  $D_{2f} < D_d$ , то необходимо увеличить изменение курса уклонения судна от первой цели, в противном случае следует определить пеленг  $\alpha_{2f}$  на вторую цель в момент остановки  $t_y + \tau$ . Учитываем, что в данной ситуации относительный курс равен обратному курсу второй цели и определяем дистанцию кратчайшего сближения

$$D_{\min 2f} = |D_{2f} \sin[\alpha_{2f} - K_{0922}]|.$$

Если  $D_{\min 2f} \geq D_d$ , то безопасное расхождение со второй целью остановкой судна возможно. Более того, если  $D_{\min 2f} > D_d$ , то возможно расхождение снижением скорости до определенного значения  $V_{cy}$ , при котором справедливо равенство:

$$D_{\min 2}(V_{cy}) = D_d.$$

В этом случае для активного и пассивного торможения сниженному значению скорости соответствуют продолжительность переходного процесса  $\tau(V_{cy})$  и пройденное за это время расстояние  $S(V_{cy})$ . Так, для рассматриваемого активного торможения [1]

$$\tau(V_{cy}) = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} [\text{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_c) - \text{arctg}(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{cy})],$$

$$S(V_{cy}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_c^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{cy}^2 + \frac{P}{\mu}} \right|,$$

где  $(1+k)m$  - масса судна с присоединенными массами воды;  $P$  - упор винта;  $\mu$  - коэффициент сопротивления.

Предложенный способ расхождения судна с двумя опасными целями последовательными изменениями курса и скорости был реализован в компьютерной программе. В качестве примера была рассмотрена ситуация опасного сближения с параметрами: параметры движения судна  $K_c = 75^\circ$ ,  $V_c = 23$  уз, параметры движения целей  $K_1 = 199^\circ$ ,  $V_1 = 20$  уз,  $K_2 = 16^\circ$ ,  $V_2 = 21$  уз,  $\alpha_1 = 36^\circ$ ,  $D_1 = 3$  мили,  $\alpha_2 = 135^\circ$ ,  $D_2 = 5$  миль (рис. 2).

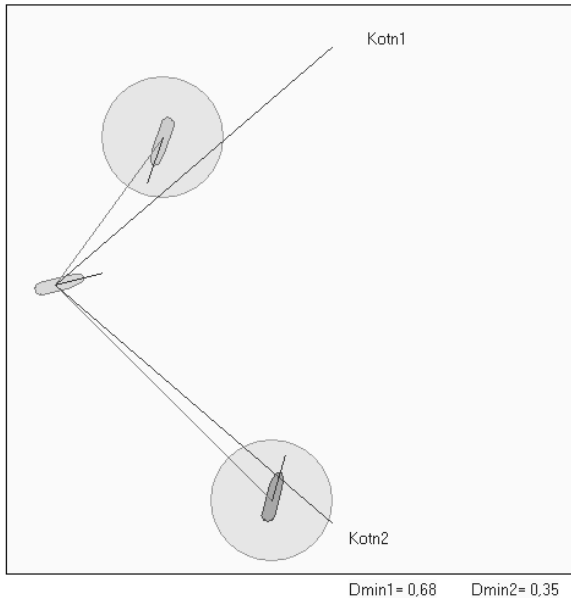


Рис. 2. Пример ситуации опасного сближения

Компьютерной программой были рассчитаны параметры маневра расхождения  $K_y = 86^\circ$ ,  $V_{cy} = 15$  уз,  $t_y = 284$  с. Относительные траектории расхождения судна с каждой из целей показаны на рис. 3.

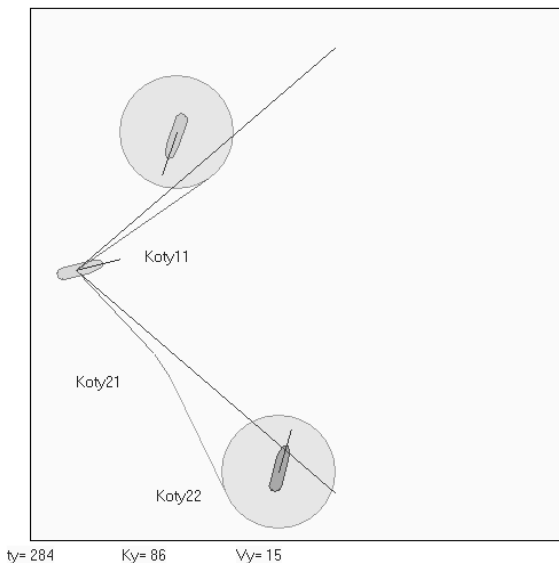


Рис. 3. Относительные траектории расхождения

Таким образом, при сближении судна с двумя опасными целями в ситуации отсутствия общего маневра расхождения с ними безопасное расхождение может быть обеспечено последовательными маневрами изменения курса и скорости судна с помощью предложенного в статье способа, когда столкновение с ближайшей целью предупреждается уклонением судна, а безопасное расхождение со второй целью осуществляется снижением скорости судна в режиме активного торможения.

#### ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, – Саарбрюккен (Германия), – 2016. – 585 с.
2. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества до-

пустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №. 6. – С. 103 – 107.

3. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. – №10. – С. 21 – 25.

4. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71 – 78.

5. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. – 312 с.

6. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / И.В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. – 2002. – № 7. – С. 115 – 120.

7. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А.И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.