

УДК 656.61.052.484

СИТУАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ВЫБОРЕ МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗМЕРНОГО СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ

А.И. Бурмака¹

Предложена процедура решения ситуационно-технической проблемы выбора оптимального курса уклонения при чрезмерном сближении с опасной целью и наличием мешающего судна в районе маневрирования. Процедура обеспечивает расчет курса уклонения, который максимизирует время до возможного столкновения с опасной целью при наилучшем ее маневре и не затруднит движение мешающего судна. Она также может быть использована при наличии навигационной опасности в районе, где происходит расхождение судна с целью. Предлагаемая процедура может быть использована в бортовых автоматизированных системах предупреждения столкновений.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, оптимальный курс уклонения, мешающее судно.

В ситуациях чрезмерного сближения международные правила МППСС-72 предписывают обоим судам предпринимать должные меры, обеспечивающие безопасное расхождение. Практически в таких ситуациях оба судна принимают решения в условиях неопределенности относительно предстоящих действий партнера, поэтому безопасный исход в таких ситуациях возможен использованием минимаксных стратегий. Такому подходу в ситуации чрезмерного сближения посвящена работа [1], в которой показано, что оптимальным курсом уклонения судна является курс, равный обратному пеленгу на опасную цель. При таком курсе значение времени до возможного столкновения при наиболее опасном маневре цели достигает максимума. Учет угловой скорости при выборе оптимального курса уклонения рассмотрен в работе [2], а работа [3] посвящена выбору экстренного маневра уклонения с учетом навигационных опасностей.

Цель статьи – разработка процедуры выбора безопасного курса уклонения в ситуации чрезмерного сближения при наличии мешающего судна.

¹ © Бурмака А. И., аспирант ОНМА.

Изложение материалов исследования. Допустим, оперирующее судно $V_{S_{op}}$ уклоняется от опасной цели Trg_{den} оптимальным курсом равным пеленгу с цели на оперирующее судно, т.е. $K_{yop} = \alpha(t)$. Однако имеется мешающее судно V_{S_m} , которое опасно сближается с оперирующим судном, при следовании судна $V_{S_{op}}$ курсом K_{yop} , как показано на рис. 1, причем с начальным относительным курсом K_{otyop} оперирующего судна с мешающим судном. Как следует из указанного рисунка, дистанция кратчайшего сближения оперирующего судна с мешающим судном меньше предельно-допустимого значения R . Граничными относительными курсами по отношению к мешающему судну являются K_{yotpr} и K_{otyyst} .

Как следует из рис. 1, значения граничных относительных курсов K_{yotpr} и K_{otyyst} определяются из следующих соотношений:

$$K_{otyyst} = \alpha_o(t) + \arcsin \frac{R}{D_o(t)},$$

$$K_{yotpr} = \alpha_o(t) - \arcsin \frac{R}{D_o(t)},$$

где $\alpha_o(t)$ и $D_o(t)$ - соответственно пеленг и дистанция до мешающего судна.

Подмножество M_n истинных курсов оперирующего судна, которые являются недопустимыми из-за опасного сближения с мешающим судном, определяется соотношением:

$$M_n = \{K_{ym}^*, K_{ym^*}\},$$

где K_{ym}^* и K_{ym^*} - верхняя и нижняя границы допустимых истинных курсов.

Если учесть соотношения между относительными и истинными курсами, то можно получить равенства:

$$K_{ym}^* = K_{otyyst} + \arcsin [\rho^{-1} \sin(K_c - K_{otyyst})],$$

$$K_{ym^*} = K_{yotpr} + \arcsin [\rho^{-1} \sin(K_c - K_{yotpr})].$$

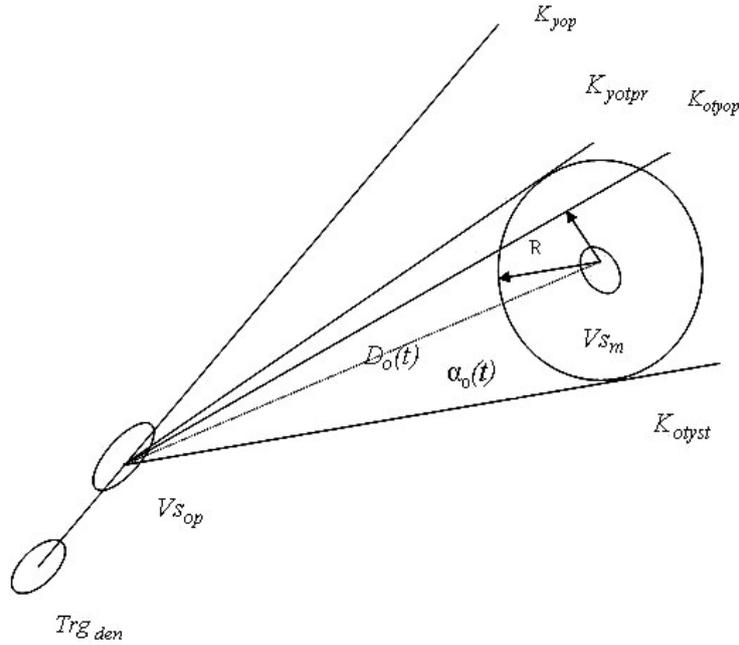


Рис. 1. Выбор курса расхождения при наличии мешающего судна

Таким образом, допустимыми относительно мешающего судна курсами уклонения оперативного судна K_y являются те, которые удовлетворяют условию:

$$K_y \notin \{K_{ym}^*, K_{ym*}\}.$$

Очевидно, ближе всего к оптимальному курсу уклонения K_{yop} будут граничные допустимые курсы K_{ym}^* и K_{ym*} . В качестве курса уклонения K_y оперирующего судна при наличии мешающего судна следует выбрать гранично-допустимый курс, минимально отличный от значения K_{yop} . Аналитически это выражается следующим образом:

$$K_y = K_{ym}^*, \quad \text{при} \quad \left| K_{ym}^* - K_{yop} \right| < \left| K_{ym*} - K_{yop} \right|,$$

$$K_y = K_{ym*}, \quad \text{при} \quad \left| K_{ym}^* - K_{yop} \right| \geq \left| K_{ym*} - K_{yop} \right|.$$

В ситуациях, которые характеризуются одновременно наличием навигационных опасностей и мешающих судов, выбор курса уклонения, минимально отличающегося от оптимального, производится аналогично.

Допустим, имеется линейная распределенная опасность и мешающее судно (рис. 2). Для предупреждения посадки оперирующего судна на мель получены граничные предельные истинные курсы \tilde{K}_{ypr} и \tilde{K}_{yst} , которые рассчитываются при известных координатах точек излома А и В (рис. 2).

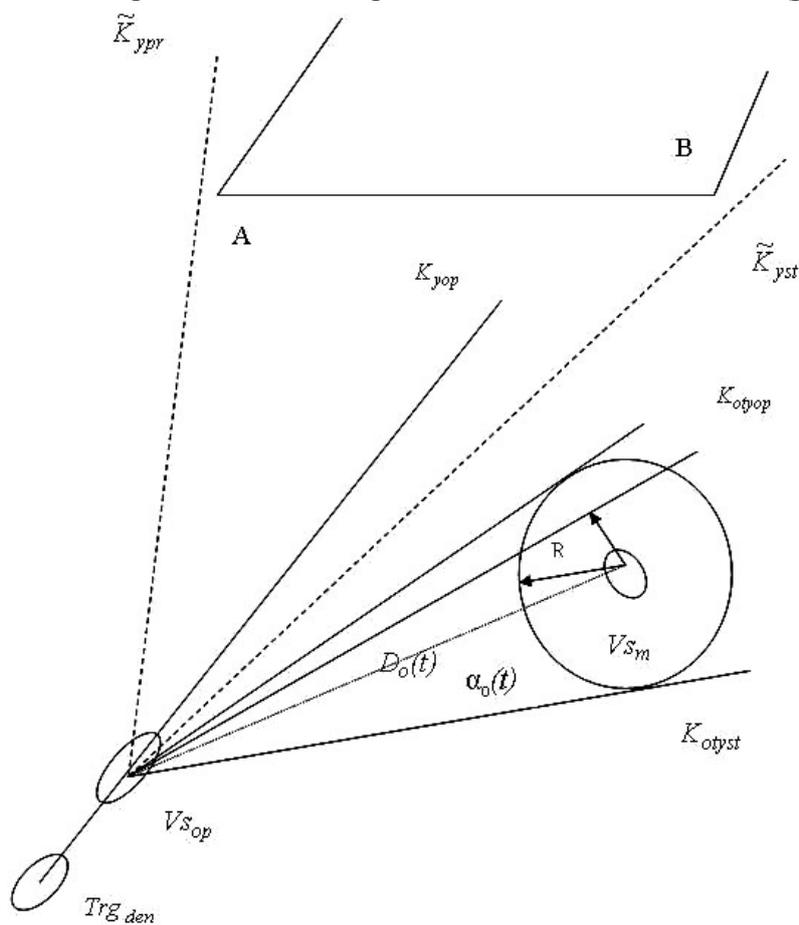


Рис. 2. Выбор курса расхождения при наличии мешающего судна и навигационной распределенной опасности

Для того чтобы не столкнуться с мешающим судном, необходимо по ранее полученным формулам рассчитать граничные допустимые курсы K_{ym}^* и K_{ym}^{*} . А для того, чтобы безопасно разойтись с мешающим судном и не попасть на мель необходимо, чтобы курс уклонения оперирующего судна K_y удовлетворял следующим требованиям:

$$K_y \notin \{K_{ym^*}, K_{ym}^*\},$$

$$K_y \notin \{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\}.$$

При этом оптимальным курсом уклонения \tilde{K}_{yop} является курс, который, во-первых, не принадлежит объединению подмножеств $\{K_{ym^*}, K_{ym}^*\}$ и $\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\}$, а также, во-вторых, имеет минимальное отклонение от курса K_{yop} равного пеленгу с цели на судно, т.е.:

$$\tilde{K}_{yop} \notin (\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\} \cup \{K_{ym^*}, K_{ym}^*\}),$$

$$Abs(\tilde{K}_{yop} - K_{yop}) = \min.$$

На рис. 2 если подмножества курсов $\{K_{ym^*}, K_{ym}^*\}$ и $\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\}$ не пересекаются, т.е. $\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\} \cap \{K_{ym^*}, K_{ym}^*\} = \emptyset$, то оптимальным курсом \tilde{K}_{yop} является граничный курс \tilde{K}_{yst} .

Выводы

1. Рассмотрены ситуационно-технические проблемы выбора оптимального курса уклонения при расхождении с опасным судном в случае наличия мешающего судна в районе маневрирования.
2. Получена процедура совместного учёта мешающего судна и навигационной опасности в ситуации расхождения с опасным судном в условиях чрезмерного сближения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурмака А.И. Разработка стратегии расхождения судов в ситуации опасного сближения // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. – Одесса: «ИздатИнформ», 2011. – Вып. 20. – С. 32-35.
2. Бурмака А. И. Учет угловой скорости судна при расчете параметров маневра расхождения в ситуации чрезмерного сближения // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. – Одесса: «ИздатИнформ», 2012. – Вып. 21. – С. 38-41.
3. Урбанский И.А. Учет навигационных опасностей при экстренном расхождении // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. – Одесса: «ИздатИнформ», 2007. – Вып. 14. – С. 136-140.

Рукопись поступила в редакцию 29.12.2012 г.