

FORMALIZATION OF VESSELS' INTERACTION AT DANGEROUS APPROACH

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУДОВ ПРИ ОПАСНОМ СБЛИЖЕНИИ

R. Y. Buzshbetskiy, *senior lecturer*

Р. Ю. Бужбецкий, *старший преподаватель*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

It is shown that at dangerous approach of pair of vessels between them there is interaction which is detailed in the publication. Interaction is directed on indemnification of arising situation disturbance by the passing by vessels.

The system of binary coordination is briefly considered, regulative interaction of pair of vessels in part of their concerted maneuvering conducting to the increase of distance of the close range approach.

The fragment of the COLREG -72 formalization is resulted, as binary coordinator, for the situation of dangerous approach of vessels in the conditions of good visibility.

Key words: safety of navigation, interaction of vessels, binary coordination, the COLREG-72 formalization.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.

Значительная часть эксплуатационного времени морских судов приходится на работу в стесненных условиях, где движение судна ограничено интенсивным судоходством и навигационными опасностями. Маневрирование судна в таких районах затруднено, и плавание производится по единственно безопасным, нередко весьма стесненным путям. Стесненные воды являются сложнейшими по своим условиям районами плавания, где в наибольшей степени проявляется человеческий фактор. Так морское судно проводит в стесненных водах в среднем 5-10 % ходового времени, однако на эти районы приходится свыше 80 % всех навигационных аварий. Это свидетельствует не только о большой сложности условий плавания, но и о недостаточном совершенстве методов судовождения, применяемых в стесненных водах, их большую зависимость от личных и профессиональных качеств судоводителей.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Для снижения отрицательного влияния человеческого фактора на безопасность судовождения, особенно в стесненных водах при опасных сближениях судов, в последние десятилетия на основе исследований по автоматизации маневра уклонения судна от столкновения, электронных карт и информационных систем предложен новый тип автоматизированной системы VICAN (Vessel Intelligent Collision Avoidance Navigator) [1]. С этой же целью разработана модель автоматизированной системы предупреждения столкновений судов, которая может использоваться для построения базы знаний [2]. При разработке таких интеллектуальных системы возникает необходимость в формализации взаимодействия судов и их координации для безопасного расхождения, чем и обусловлен выбор темы данной работы.

Вопросам взаимодействия судов при опасном сближении посвящены работы [3, 4], причем в работе [3] рассмотрены вопросы формализации взаимодействия пары судов в различных ситуациях опасного сближения, а взаимодействие в ситуации чрезмерного сближения освещено в работе [4].

Формулировка целей статьи (постановка задачи). Целью публикации является формализация взаимодействия пары судов при опасном сближении и координации их маневров расхождения.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.

После возникновения ситуационного возмущения ω , его компенсация может производиться одним из судов или обоими судами. Для обеспечения безопасности расхождения необходима согласованность маневров расхождения судов, т. е. координация маневров, позволяющая увеличивать дистанцию кратчайшего сближения.

Стратегия расхождения судна содержит два участка: участок уклонения судна с программной траектории для увеличения $D_{\min}$ и участок возвращения на программную траекторию движения.

С появлением ситуационного возмущения ω между судами возникает взаимодействие Bz , которое трансформирует программный участок относительного движения с ситуационным возмущением (когда дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, т. е. $D_{\min} < D_d$) в относительную траекторию без ситуационного возмущения (в случае дистанции кратчайшего сближения на участке уклонения большей предельно-допустимой дистанции, т. е. $D_{\min} \geq D_d$). Взаимодействие Bz прогнозирует поведение судов при расхождении и предполагает выработку согласованных стратегий каждому из взаимодействующих судов.

Поэтому взаимодействие Bz формально может быть записано следующим образом [3]:

$$G = Bz(F),$$

где $F = (D, \alpha, V_1, K_1, V_2, K_2)$ - вектор состояния системы двух судов;

$G = (G_1, G_2)$ - стратегия расхождения судов.

Таким образом, взаимодействие судов Bz – оператор или отображение параметров состояния системы двух судов во множество параметров стратегии расхождения G , причем взаимодействие Bz состоит из двух операторов: Crd - координации маневров уклонения и Prm – процедуры расчета параметров стратегии расхождения.

Взаимодействие Bz , как механизм согласования по достижению общей цели предупреждения опасного сближения, определяющее поведение каждого из судов в процессе расхождения, и прогнозирующее изменение ситуации, является крайне важным фактором, влияющим на безопасность расхождения. Таким образом, процесс расхождения является процессом компенсации ситуационного возмущения, а стратегией расхождения G является алгоритм реализации процесса расхождения.

Реализация взаимодействия Bz производится с помощью системы бинарной координации или координатора c_o , на вход которого подается вектор состояния F , а выходом являются адресные сигналы судам β_1 и β_2 . В свою очередь, каждый из сигналов β_i содержит координирующий сигнал γ_i и сигнал связи μ_i . Координирующие сигналы γ_i предписывают подмножество курсов уклонения каждого судна, обеспечивающих согласованность маневров расхождения, а сигналы связи μ_i содержат информацию каждому судну о прогнозируемом поведении другого судна. Причем, $\mu_1 = \gamma_2$ и $\mu_2 = \gamma_1$.

Координирующий сигнал γ_i состоит из трех компонентов: сигнал q_{1i} содержит информацию для каждого из судов о наличии приоритета, предписываемого координатором, а сигналы q_{2i} и q_{3i} регламентируют взаимодействующим судам возможность уклонения соответственно вправо и влево. Приведенные сигналы имеют следующие значения:

- $q_{1i} = 1$, при требовании маневра расхождения (активное судно);
- $q_{1i} = -1$, в случае требования неизменного движения (пассивное судно);
- $q_{2i} = 1$, если правилами поворот вправо разрешен;
- $q_{2i} = -1$, если правила запрещают поворот вправо;
- $q_{3i} = 1$, если правилами поворот влево разрешен;
- $q_{3i} = -1$, если правила запрещают поворот влево.

С помощью адресного сигнала β_i и вектора состояния F каждое из пары судов производит выбор маневра расхождения G_i из допустимого подмножества курсов уклонения, которое регламентируется координирующим сигналом γ_i .

Формализация МППСС-72 рассмотрена в работе [4], в которой каждому правилу маневрирования соответствует ситуация опасного сближения и предложена процедура, определяющая условие ее возникновения. Также для

каждой ситуации указываются сигналы координатора для каждого из взаимодействующих судов. В табл. 1 приведен фрагмент формального описания МППСС-72 для ситуаций опасного сближения в условиях хорошей видимости. Таблица содержит перечень ситуаций, возникающих при опасном сближении в области стандартных взаимных ситуаций (первая часть Правила 17), условия их возникновения и соответствующего

Таблица 1. Фрагмент формализации бинарной координации МППСС-72

№ п/п	Ситуации, условия ее возникновения и соответствующее Правило	Сигналы координатора
1.	Чрезмерное сближение судов. $\{\dot{D} < 0, \max(\min D) < \min D_{dop}\}$ Правило 17.	$q = (1,1,1)$ $\mu = (1,1,1)$
2.	Ситуация обгона, обгоняющее судно, $\sin(K_2 + 67,5 - \alpha) > 0, \sin(\alpha + 67,5 - K_2) > 0$, Правило 13.	$q = (1,1,1)$ $\mu = (-1,-1,-1)$
3.	Ситуация обгона, обгоняемое судно, $\sin(\alpha - 112,5 - K_1) > 0, \sin(K_1 + 247,5 - \alpha) > 0$. Правило 13.	$q = (-1,-1,-1)$ $\mu = (1,1,1)$
4.	Суда с различным статусом, Правило 18. $r_1 > r_2$.	$q = (-1,-1,-1)$ $\mu = (1,1,1)$
5.	Противоположные встречные курсы, $\cos(\alpha - K_1) \leq \cos 5$, $\cos(\alpha + 180 - K_2) \leq \cos 5$. Правило 14.	$q = (1,1,-1)$ $\mu = (1,1,-1)$
6.	Пересекающиеся курсы, цель справа, $\sin(\alpha - K_1) > 0$, Правило 15.	$q = (1,1,-1)$ $\mu = (-1,-1,-1)$
7.	Пересекающиеся курсы, цель слева, $\sin(\alpha - K_1) < 0$, Правило 15.	$q = (-1,-1,-1)$ $\mu = (1,1,-1)$

Правила МППСС-72. Для каждой из ситуаций приведены сигналы координатора: координационный сигнал q и сигнал связи μ , причем каждый из сигналов имеет три составляющих:

$$q = (q_1, q_2, q_3), \mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3),$$

где, как выше указывалось, первая составляющая каждого из сигналов характеризует признак активности судна и цели, вторая составляющая характеризует возможность поворота вправо, а третья составляющая – возможность поворота влево. В таблице обозначено r_1 и r_2 – статусы соответственно судна и цели. По результатам формализации системы бинарной координации МППСС-72 проводилось имитационное моделирование, которое

позволило оценить корректность и эффективность МППСС-72 в части бинарной координации взаимодействия судов в ситуации опасного сближения.

На рис. 1 показан интерфейс имитационной программы для ситуации опасного сближения судов с различным статусом (судно с механическим двигателем и судно, стесненное своей осадкой). Программой определяется правило, регламентирующее взаимодействие судов. В данном примере указывается Правило 18, а также определяются значения координирующих сигналов и сигналов связи судна и цели, которые выводятся на соответствующих информационных панелях, имеющих отношение к судну и к цели.

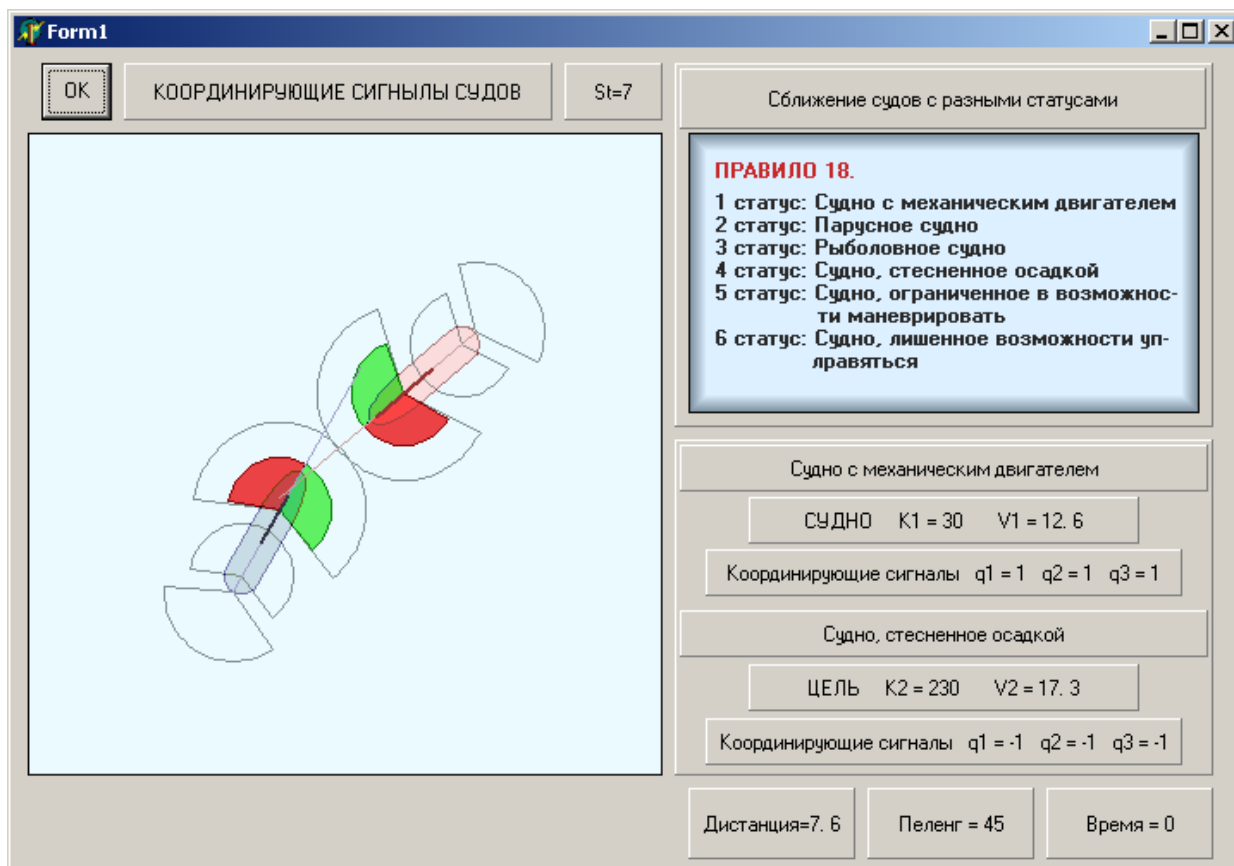


Рис. 1. Вывод координирующих сигналов и сигналов связи

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

Таким образом, в статье произведено аналитическое описание взаимодействия опасно сближающихся судов и предложена формализация МППСС-72 в части бинарной координации маневров расхождения судов, что создает предпосылки к разработке системы поддержки принятия решений судоводителем. В дальнейшем целесообразно формализовать МППСС-72 в части маневрирования для безопасного расхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129 - 142.
2. Lisowski J. Safety of navigation based – mathematical models of game ship control/ Lisowski J. // Journal of Shanghai Maritime University. - 2004. - No 104, Vol. 25. – P. 65 - 74.
3. 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.
4. Бурмака И. А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И. А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), 2014. - 202 с.