

УДК 656.61.052

CONCORDANCE OF MANOEUVRES OF DIVERGENCE OF A FEW VESSELS**СОГЛАСОВАНИЕ МАНЕВРОВ РАСХОЖДЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ СУДОВ**

E.N. Pjatakov, *PhD, associate professor*, **V.E. Pjatakov**, *PhD student*,
К.Ya. Stankevich, *senior lecturer*,

Э. Н. Пятаков, *к.т.н., доцент*, **В.Э. Пятаков**, *аспирант*, **К.Я. Станкевич**,
старший преподаватель

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

The modern system of binary coordination which is realized in COLREG does not respond to request law of the necessary variety Eshbi, through what possible existence of situations of dangerous rapprochement, situation indignation of which cannot be compensated by the binary coordination COLREG. The law of the necessary variety Eshbi is executed, if the system of binary coordination foresees indemnification of possible situation indignation in the case of standard divergence by the following methods: by the general maneuver of both ships or maneuver of ship with greater speed.

These methods of indemnification of situation indignation are used in the first region of mutual duties of ships of standard divergence. By the first method situation indignation is compensated by two active ships. In this case it is necessary concordance of maneuvers of divergence of both ships, which provides the increase of distance of the shortest rapprochement in the case of implementation of maneuvers of divergence of ships. It takes place for ships which are drawn together on meeting courses, at the change of their courses in one side (for example, increase of courses of both ships). In the case of rapprochement of ships on passing courses for coordination of maneuvers of divergence necessary change of courses of ships in different sides, for example, one ship multiplies a course, and other ship - diminishes a course. The change of distance of the shortest rapprochement is determined by the constituent of total speed of ships, what orthogonal to the line to bearing. In the first method this constituent always more large zero, that is multiplied distance of the shortest rapprochement.

The second method foresees indemnification of situation indignation by one ship, that the maneuver of divergence is executed by one of ships, while other ship keeps unchanging it course and speed, therefore in this case there is no necessity in coordination of their cooperation. If the second region of mutual duties of ships was realized, situation indignation is compensated by urgent divergence.

In work the also offered system of coordination at dangerous rapprochement three ships, which takes into account the requirements of law of the necessary variety Eshbi, which foreseen four regions of mutual duties of ships.

The system of coordination of cooperation of three ships is the universal system of coordination at dangerous rapprochement two and three ships, which responds to request law of the necessary variety Eshbi. At divergence of two ships the system of coordination of cooperation of three ships is transformed in the system of binary coordination.

Keywords: safety of navigation, warning of collisions, concordance of cooperation of a few vessels.

РЕФЕРАТ

Сучасна система бінарної координації, яка реалізована в МППЗС-72, не відповідає вимогам закону необхідної різноманітності Ешбі, через що можливе існування ситуацій небезпечного зближення, ситуаційне збурення яких не може бути компенсовано бінарною координацією МППЗС-72. Закон необхідної різноманітності Ешбі виконується, якщо система бінарної координації передбачає компенсацію можливого ситуаційного збурення в разі стандартного розходження наступними способами: спільним маневром обох суден або маневром судна з більшою швидкістю.

Ці способи компенсації ситуаційного збурення використовуються в першій області взаємних обов'язків суден стандартного розходження. Першим способом ситуаційне збурення компенсується двома активними суднами. В цьому випадку необхідно узгодження маневрів розходження обох суден, яке забезпечує збільшення дистанції найкоротшого зближення в разі виконання маневрів розходження суден. Це має місце для суден, які зближаються на зустрічних курсах, при зміні їх курсів в одну сторону (наприклад, збільшення курсів обох суден). У випадку зближення суден на попутних курсах для координації маневрів розходження потрібна зміна курсів суден в різні сторони, наприклад, одне судно збільшує курс, а інше судно - зменшує курс. Зміна дистанції найкоротшого зближення визначається складовою сумарної швидкості суден, яка ортогональна до лінії пеленгу. В першому способі ця складова завжди більша нуля, тобто дистанція найкоротшого зближення збільшується.

Другий спосіб передбачає компенсацію ситуаційного збурення одним судном, тобто маневр розходження виконується одним із суден, в той час, як інше судно зберігає незмінними свої курс та швидкість, тому в цьому випадку не виникає необхідність в координації їх взаємодії. Якщо реалізувалася друга область взаємних обов'язків суден, то ситуаційне збурення компенсується екстремним розходженням.

В роботі також запропонована система координації при небезпечному зближенні трьох суден, яка враховує вимоги закону необхідної різноманітності Ешбі, якою передбачені чотири області взаємних обов'язків суден.

Система координації взаємодії трьох суден являється універсальною системою координації при небезпечному зближенні двох і трьох суден, яка відповідає вимогам закону необхідної різноманітності Ешбі. При розходженні двох суден система координації взаємодії трьох суден трансформується в систему бінарної координації.

Ключові слова: безпечність судноводіння, попередження зіткнень суден, узгодження взаємодії декількох суден.

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

Аварийность судов по причине столкновений в стесненных водах продолжает оставаться на недопустимо высоком уровне. В интенсивных районах плавания нередко возникают ситуации одновременного опасного сближения более двух судов, когда выполнение маневра расхождения согласно требованиям МППСС-72 зачастую становится невозможным. Одновременное опасное сближение более трех судов в стесненных водах является достаточно редким, поэтому разработка универсальной системы координации двух и трех судов в ситуации опасного сближения является актуальным и перспективным направлением научных исследований.

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

Работы [1-4] посвящены вопросам разработки системы бинарной координации взаимодействия судов в ситуации опасного сближения. Определению интенсивности ситуационного возмущения при опасном сближении судов посвящена работа [1], а в работах [2,3] предложен возможный вариант системы, содержащей два иерархических уровня, причем первый уровень системы рассмотрен в публикации [3], а описание ее второго уровня приведено в статье [4]. В работе [5] предложена альтернативная существующей, более эффективная система бинарной координации, а система координации взаимодействия трех судов описана в публикации [6]. Предложение разных систем координации для ситуации опасного сближения двух и трех судов ведет к усложнению их возможного использования. Поэтому следует произвести разработку единой универсальной системы координации $Sc_{(\Sigma)}$, пригодной к использованию при опасном сближении как двух, так и трех судов.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью данной статьи является разработка структуры универсальной системы координации взаимодействия двух и трех судов в процессе расхождения при компенсации ситуационного возмущения.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Как показано в работе [5], современная система бинарной координации, которую содержат МППСС-72, не соответствует требованиям закона необходимого разнообразия Эшби, что допускает существование ситуаций опасного сближения, ситуационное возмущение ω_{12} которых не может быть компенсировано бинарной координацией МППСС-72. Поэтому в работе [5] доказывается, что закон необходимого разнообразия Эшби выполняется, если система бинарной координации $Sc_{(2)}$ предусматривает компенсацию возможного ситуационного возмущения при стандартном расхождении ($\omega_{12} = 1$) следующими способами:

1. Совместным маневром обоих судов c_1 и c_2 .
2. Маневром судна с большей скоростью c_2 .

Эти способы компенсации ситуационного возмущения применяются в первой области взаимных обязанностей судов стандартного расхождения. Активным является судно, которому системой бинарной координации $Sc_{(2)}$ предписывается выполнение маневра расхождения, а пассивным - судно, сохраняющее неизменными параметры движения по требованию $Sc_{(2)}$.

Первым способом ситуационное возмущение компенсируется двумя активными судами. В этом случае необходимо согласование маневров расхождения обоих судов, т. е. их координация, которая обеспечивает увеличение дистанции кратчайшего сближения при выполнении маневров расхождения судов. Это происходит для судов, сближающихся на встречных курсах, при изменении их начальных курсов в одну сторону (например, увеличение курсов обоих судов). В случае сближения судов на попутных курсах для координации маневров расхождения требуется изменение курсов судов в разные стороны, например, судно c_1 увеличивает курс, а судно c_2 - уменьшает курс. Изменение дистанции кратчайшего сближения D_{\min} определяется составляющей суммарной скорости судов $V_2 \sin(K_{2y} - \alpha) - V_1 \sin(K_{1y} - \alpha)$, перпендикулярной к линии пеленга. Указанная скорость увеличивается, если составляющие скорости имеют разные знаки, чем и обоснованы выводы по координации маневров расхождения двух активных судов. Второй способ предусматривает компенсацию ситуационного возмущения одним судном, т. е. маневр расхождения производится одним из судов, в то время как второе судно сохраняет неизменными свои курс и скорость, поэтому в этом случае не возникает необходимость в координации их взаимодействия. Следовательно, при компенсации ситуационного возмущения судном с большей скоростью или обоими судами выполняются требования закона необходимого разнообразия Эшби. Если же ситуационное возмущение $\omega_{12} = 2$, то имеет место вторая область взаимных обязанностей судов, в которой ситуационное возмущение компенсируется экстренным расхождением.

В работе [6] предложена система координации $Sc_{(3)}$ при опасном сближении трех судов, которая учитывает требования закона необходимого разнообразия Эшби. В зависимости от значений ситуационных возмущений ω_{12} , ω_{13} и ω_{23} судов в системе координации $Sc_{(3)}$ предусмотрены четыре области взаимных обязанностей, как показано в табл. 1.

Таблица 1. Области взаимных обязанностей трех взаимодействующих судов

№ сочетан.	ω_{12}	ω_{13}	ω_{23}	Области
1	1	1	0	A
2	1	0	1	B
3	0	1	1	B
4	1	1	1	B
5	1	2	0	C
6	2	1	0	C
7	1	0	2	C
8	2	0	1	C
9	0	1	2	C
10	0	2	1	C
11	1	1	2	C
12	1	2	1	C
13	2	1	1	C
14	2	2	0	D
15	2	0	2	D
16	0	2	2	D
17	2	2	1	D
18	2	1	2	D
19	1	2	2	D
20	2	2	2	D

Как показал анализ табл. 1, всего возможно 20 сочетаний ситуационных возмущений. В сочетаниях 1...4, когда значения их ситуационных возмущений не превосходят 1, безопасное расхождение возможно стандартным маневром одного или двух судов. Для сочетания 1 необходимое разнообразие маневров достигается маневром судна s_1 с наибольшей скоростью, в то время, как суда с меньшими скоростями s_2 и s_3 остаются пассивными. Такая ситуация присуща первой области взаимных обязанностей А. В сочетаниях 2...4 соблюдение требования закона необходимого разнообразия Эшби требует маневрирования двух судов s_1 и s_2 , а судно с минимальной скоростью s_3 является пассивным. Данные ситуации характеризуют вторую область взаимных обязанностей В.

Сочетания 5...20 содержат ситуационные возмущения со значением 2, предполагающих экстренное маневрирование при расхождении. Сочетания ситуационных возмущений с 5-го по 13-й номер содержат одно ситуационное возмущение со значением равным 2. В данных ситуациях суда, для которых

$\omega_{ij} = 2$, активные и поэтому выполняют маневр экстренного расхождения с учетом мешающего судна, а третье судно является пассивным. Это характеристика области взаимных обязанностей С. В сочетаниях с номерами 14...20 не менее двух ситуационных возмущений характеризуются значениями, равными 2. Указанные сочетания формируют область взаимных обязанностей D. В этой области все три судна выполняют маневры экстренного расхождения, т. е. являются активными.

Произведем анализ возможности применения системы координации $Sc_{(3)}$ при возникновении ситуации опасного сближения двух судов. В этом случае табл. 1 вырождается в таблицу столбец, содержащую первый столбец с ситуационным возмущением ω_{12} , значения которого отличаются от 0, т. е. $\omega_{12} = 1$ или $\omega_{12} = 2$ и соответствующие области становятся первой областью стандартного расхождения или второй областью экстренного расхождения. Следовательно, при отсутствии третьего судна система координации $Sc_{(3)}$ взаимодействия трех судов трансформируется в систему бинарной координации $Sc_{(2)}$ взаимодействия двух судов.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, система координации $Sc_{(3)}$ взаимодействия трех судов является универсальной системой координации $Sc_{(\Sigma)}$ взаимодействия двух и трех судов в процессе расхождения. В дальнейшем целесообразно произвести анализ универсальной системы координации $Sc_{(\Sigma)}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов/ Пятаков Э.Н., Заичко С.И. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С. 166 –171.
2. Пятаков Э.Н. Совершенствование методов координации судов при расхождении. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.13/ ОНМА. – Одесса, 2008. – 23 с.
3. Заичко С.И. Возможности синтеза системы формирования стратегий расхождения группы судов/ Заичко С.И., Пятаков Э.Н. // Судовождение. – 2006. - № 12. – С. 63 – 66.
4. Пятаков Э.Н. Требование к процедуре формирования второго уровня иерархической системы управления взаимодействием судов / Пятаков Э.Н. // Судовождение. – 2007. - № 13. – С. 145 – 148.
5. Пятаков Э.Н. Формирование системы бинарной координации судов с учетом закона необходимого разнообразия Эшби // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ "ОМА". – С. 75 – 78.

6. Пятаков Э. Н., Копанский С. В., Волков Е. Л. Координация безопасного расхождения трех судов // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С.