

УДК 656.61.052.484

DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.126-133

GRAPHIC REFLECTION OF REGIONS OF IMPERMISSIBLE VALUES OF PARAMETERS AND THEIR APPLICATION**ГРАФИЧЕСКОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ НЕДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ****М.А. Kulakov, PhD, senior lecturer, М.В. Korh, PhD, associate professor****М.А. Кулаков, старший преподаватель, М.В. Корх, доцент***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

It is indicated in work, that the decline of accident rate of vessels at sailing in the straitened waters is one of major problems of increase of safety of navigation. It is shown that the straitened districts of sailing with especially intensive motion presently by the stations of traffic control of vessels which along with the control of process of navigation are intended for the management by motion of the dangerously drawn together vessels. Therefore, development of methods of management by the dangerously drawn together vessels is actual and perspective scientific direction.

The analysis of the last achievements and publications is produced, the decision of the examined problem is begun in which. At the analysis the basic questions of warning of collision of vessels are lighted up, the choice of situation of rapprochement of ship with a target from the great number of standard situations is thus considered, whereupon determination of strategy of divergence is produced, and also conception of flexible strategies of divergence is explored. Principles of locally-independent and external are considered management by vessels in the situation of dangerous rapprochement.

It is shown that in a number of works the regions of impermissible values of parameters of motion of pair of vessels are offered, the scopes of which divide pair combinations of parameters of motion of vessels, as points of plane, the axes of which there are the chosen parameters, on possible and impermissible parts.

Four parameters of motion of pair of vessels are considered in work, two from which are permanent, and remaining two parameters are examined, as variable quantities, and equalization which characterizes dependence between in-out parameters is offered. The indicated dependence represents a curve on the plane of in-out parameters and is the border of region of their impermissible values. For points belonging to this region, rapprochement of vessels is dangerous, and in the case when the chosen point are on the border of region, or out of her, that rapprochement of vessels is safe. Therefore for estimation of danger of situations of rapprochement of vessels the graphic reflection of region of impermissible values of in-out parameters in the system of coordinates of these parameters with possibility of indication of point with the initial values of parameters is offered, according to the regulations of which

it is possible to judge about its belonging of region. A situation is considered, in which ships at dangerous rapprochement can not change the course, and warning their collision is possible only by the change of speeds. In this case speeds of vessels get out as in-out parameters, and the courses of vessels are unchanging. Equalizations of scopes of region for this case are resulted. It is shown that the scopes of regions of dangerous values of speeds are straight lines.

Keywords: safety of navigation, warning of collision of vessels, regions of impermissible values of parameters of motion.

РЕФЕРАТ

У роботі вказано, що зниження аварійності суден при плаванні в стислих водах є однією з найважливіших проблем підвищення безпеки судноводіння. Показано, що стислі райони плавання із особливо інтенсивним рухом в даний час облаштовуються станціями управління рухом суден, які разом з контролем процесу судноводіння призначені для управління рухом суден, що небезпечно зближуються. Тому розробка способів управління суднами, що небезпечно зближуються, є актуальним і перспективним науковим напрямом.

Зроблено аналіз останніх досягнень і публікацій, в яких почато рішення даної проблеми. При аналізі висвітлені основні питання попередження зіткнення суден, причому розглянуто вибір ситуації зближення судна з цілю з множини стандартних ситуацій, після чого проводилося визначення стратегії розходження, а також досліджена концепція гнучких стратегій розходження. Розглянуто принципи незалежного і зовнішнього управління судами в ситуації небезпечного зближення.

Показано, що у ряді робіт запропоновано області неприпустимих значень параметрів руху пари суден, межі яких розділяють парні поєднання параметрів руху суден, як точки площини, осями якої є вибрані параметри, на допустиму і неприпустиму частини.

У роботі розглянуто чотири параметри руху пари суден, два з яких є постійними, а два параметри, що залишилися, розглядаються, як змінні величини, і запропоновано рівняння, яке характеризує залежність між змінними параметрами. Вказана залежність представляє криву на площині змінних параметрів і є межею області їх неприпустимих значень. Для крапок, що належать даній області, зближення суден є небезпечним, а у разі, коли вибрана крапка знаходяться на межі області, або поза нею, то зближення суден є безпечним. Тому для оцінки безпеки ситуацій зближення суден запропоновано графічне відображення області неприпустимих значень змінних параметрів в системі координат цих параметрів з можливістю індикації крапки з початковими значеннями параметрів, по положенню якої можна судити про її приналежність області. Розглянуто ситуацію, в якій судна при небезпечному зближенні не можуть змінювати свій курс, і попередити їх зіткнення можна тільки зміною швидкостей. В цьому випадку як змінні параметри вибираються швидкості суден, а незмінними є їх курси. Приведені рівняння меж області для

цього випадку. Показано, що межі областей небезпечних значень швидкостей є прямими лініями.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнення суден, області неприпустимих значень параметрів руху.

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

Снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах является одной из важнейших проблем повышения безопасности судовождения. Стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением в настоящее время оборудуются станциями управления движением судов, которые наряду с контролем процесса судовождения предназначены для управления движением опасно сближающихся судов. Следовательно, разработка способов управления опасно сближающимися судами является актуальным и перспективным научным направлением.

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

Основные вопросы предупреждения столкновения судов освещены в работах [1] и [2], причем в работе [1] рассматривается выбор ситуации сближения судна с целью из множества стандартных ситуаций, после чего производится определение стратегии расхождения, а в работе [2] исследована концепция гибких стратегий расхождения.

В статье [3] предлагается формализация основных характеристик управляемой динамической системы судов, а принципы управления группой судов при возникновении ситуации опасного сближения рассмотрены в работе [4].

Работы [5,6] посвящены вопросам применения опасной области курсов судов для обеспечения безопасного судовождения, причем маневр расхождения трех судов изменением их курсов предложен в работе [5], а использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения рассмотрено в работе [6]. В работе [7] рассмотрены локально-независимое и внешнее управление судами в ситуации опасного сближения, а в работе [8] предлагается способ формирования стратегии экстренного расхождения при возникновении ситуации чрезмерного сближения судов. Оперативный способ определения параметров маневра расхождения судна изменением курса предложен в работе [9].

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является описание процедуры графического отображения областей недопустимых значений параметров и их применение.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В ряде работ предложены области недопустимых значений параметров движения пары судов, границы которых разделяют парные сочетания параметров движения судов, как точки плоскости, осями которой являются выбранные параметры, на допустимую и недопустимую части. В работе [10] получено уравнение:

$$V_1(\sin K_1 \cos \gamma - \cos K_1 \sin \gamma) = V_2(\sin K_2 \cos \gamma - \cos K_2 \sin \gamma), \quad (1)$$

где K_1, V_1, K_2, V_2 - параметры движения судов;

$$\gamma = \alpha \pm \arcsin\left(\frac{D_d}{D}\right),$$

причем α и D - соответственно пеленг и дистанция между судами;

D_d - предельно-допустимая дистанция сближения.

Анализ показывает, что при известном значении γ , зависящем от начальной позиции сближения судов, уравнение (1) связывает значения параметров движения судов K_1, V_1, K_2 и V_2 , при которых достигается граница между множествами опасных и допустимых ситуаций сближения судов и имеет место равенство между прогнозируемой дистанцией кратчайшего сближения $\min D$ судов и предельно-допустимой дистанцией сближения D_d , т. е. $\min D = D_d$. Поэтому, если из четырех параметров движения судов два параметра G_a и G_b являются неизменными, а оставшихся два G_x и G_y рассматривать, как переменные величины, то уравнение (1) позволяет получить зависимость между параметрами G_x и G_y :

$$G_y = F(\gamma, G_a, G_b, G_x), \quad (2)$$

которая представляет кривую на плоскости $G_x \times G_y$ и является границей области Ω недопустимых значений параметров G_x и G_y . Для точек, принадлежащих области Ω , т. е. $(g_x, g_y) \in \Omega$, сближение судов является опасным, а в случае когда точки (g_x, g_y) находятся на границе области Ω или вне нее, то сближение судов является безопасным, а ситуация сближения допустимой. Поэтому для оценки опасности ситуаций сближения судов необходимо графическое отображение области Ω недопустимых значений параметров G_x и G_y в системе координат этих параметров с возможностью индикации точки с начальными значениями параметров (g_{x0}, g_{y0}) , по положению которой можно судить о ее принадлежности области Ω . При этом данная процедура должна иметь компьютерную реализацию.

В общем случае на рис. 1 показана область Ω , границы Q_s и Q_p которой рассчитаны с помощью зависимости (2) и отображены на плоскости $G_x \times G_y$. На рисунке показана точка (g_{x0}, g_{y0}) , которая принадлежит области Ω , вследствие чего сближение судов является опасным. Очевидно, для безопасного расхождения следует выбрать точку параметров судов (g_{xd}, g_{yd}) , которая находится на границе области Ω ближе всего к точке начальных параметров. В этом случае безопасное расхождение достигается при минимальных изменениях значений начальных параметров судов.

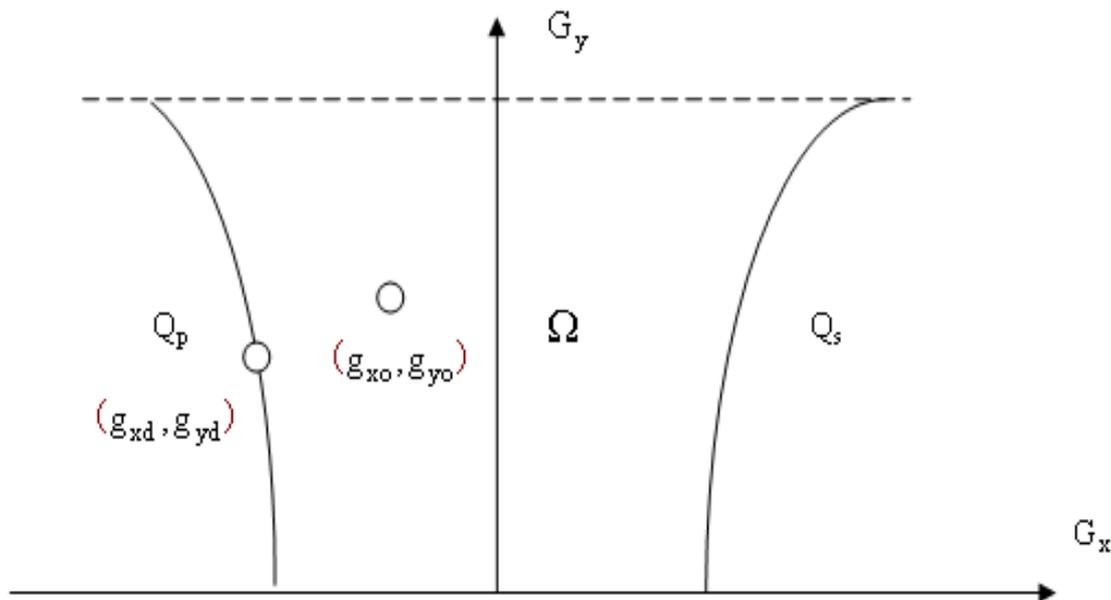


Рис. 1. Область Ω недопустимых значений параметров G_x и G_y

Рассмотрим ситуацию, в которой суда при опасном сближении не могут изменять свой курс, и предупредить их столкновение можно только изменением скоростей. В этом случае в качестве переменных параметров выбираются скорости судов, т. е. $G_x = V_2$ и $G_y = V_1$, а неизменными являются курсы судов K_1 и K_2 . Поэтому с учетом уравнения (1) выражение (2) принимает вид:

$$V_1 = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma)}{\sin(K_1 - \gamma)}.$$

Причем область опасных значений скоростей Ω_V имеет границы:

$$V_1^* = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma^*)}{\sin(K_1 - \gamma^*)} \quad \text{и} \quad V_{1*} = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma^*)}{\sin(K_1 - \gamma^*)},$$

где $\gamma^* = \alpha + \arcsin\left(\frac{D_d}{D}\right)$ и $\gamma = \alpha \pm \arcsin\left(\frac{D_d}{D}\right)$.

Границы областей опасных значений скоростей Ω_V являются прямыми линиями, как показано на рис. 2. Причем область опасных значений скоростей Ω_V сформирована для ситуации опасного сближения судов с параметрами: $\alpha = 90^\circ$, $D = 3,0$ мили, $D_d = 1,0$ мили, $K_1 = 45^\circ$, $K_2 = 315^\circ$, с начальными скоростями $V_1 = 15$ узлов и $V_2 = 15$ узлов.

В этом случае $\gamma^* = 70,5^\circ$ и $\gamma_* = 109,5^\circ$, а выражения для верхней $Q_p(V_1, V_2)$ и нижней $Q_s(V_1, V_2)$ границ имеют следующий вид:

$$V_1^* = 2,097V_2 \text{ и } V_{1*} = 0,477V_2.$$

Из рис. 2 следует, что точка M_o , координаты которой равны начальными скоростями судов, принадлежит области недопустимых скоростей, поэтому сближение судов является опасным. Если второе судно, имеющее скорость V_2 следует с неизменными параметрами, а судно со скоростью V_1 будет маневрировать изменением скорости, то безопасное расхождение на дистанции $D_d = 1,0$ мили возможно при увеличении скорости V_1 до значения 31,5 узла (точка M^*) или ее уменьшении до значения 7,2 узла (точка M_*). Указанные точки находятся на верхней $Gr^*(V_1, V_2)$ и нижней $Gr_*(V_1, V_2)$ границах области опасных скоростей, показанных на рис. 2.

Для отображения области недопустимых скоростей Ω_V была разработана компьютерная программа. С ее помощью для ситуации сближения с параметрами: $\alpha_0 = 45^\circ$, $D_0 = 3$ мили, $D_d = 1$ мили, $K_1 = 90^\circ$, $K_2 = 180^\circ$ была сформирована область Ω_V , графическое отображение которой показано на рис. 3. При начальных скоростях $V_1 = 18$ уз и $V_2 = 21$ уз дистанция кратчайшего сближения $D_{\min} = 0,23$ мили, точка начальных скоростей принадлежит области Ω_V , а сближением судов является опасным.

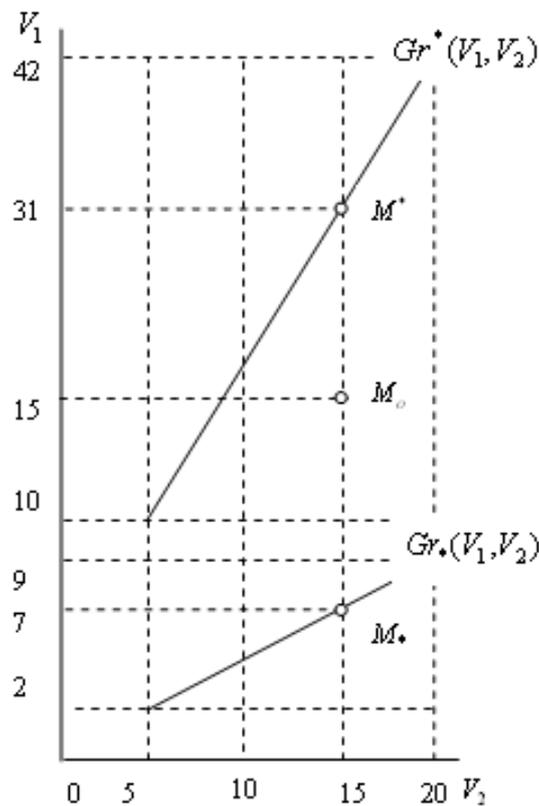


Рис. 2. Область недопустимых скоростей

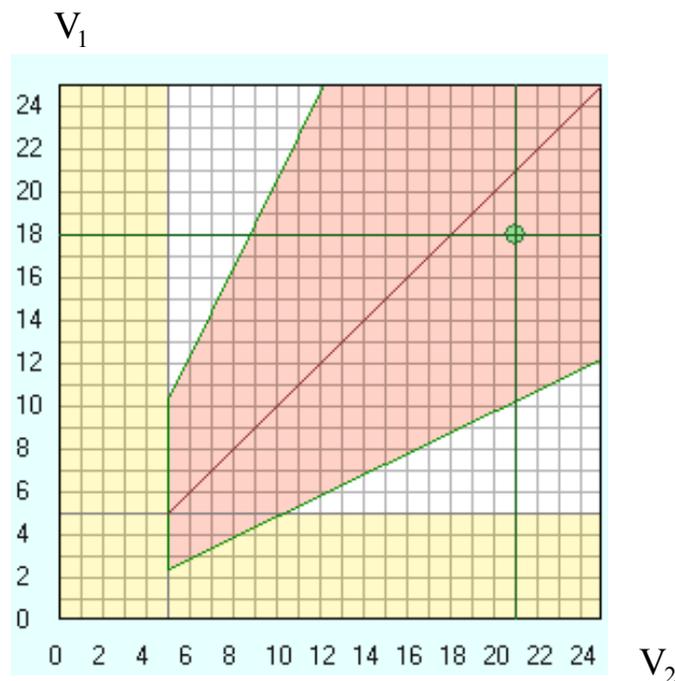


Рис. 3. Область опасных скоростей судов

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, рассмотрена процедура компьютерного графического отображения области недопустимых скоростей и показано ее использование для решения задач расхождения судов.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть ситуации опасного сближения нескольких судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
2. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
3. Булгаков А.Ю. Формализация основных характеристик управляемой динамической системы судов/ Булгаков А.Ю. // Судовождение. – 20013. - № 23. – С. 7-12.
4. Бурмака И.А. Управление группы судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург. – 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9 - 13.
5. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / Булгаков А.Ю., Алексейчук Б.М.// Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014. №1. – С. 75 - 81.
6. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения/ Булгаков А.Ю.// Водный транспорт. – 2014. №2 (20). – С. 12 – 17.
7. 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.
8. 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.
9. Петриченко О.А. Оперативный способ определения параметров маневра расхождения судна. / Петриченко О.А.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(22), Issue: 186, 2018.- С. 68-71.