

Применение области недопустимых значений параметров движения судов для безопасного расхождения при наличии мешающего судна

И. А. Бурмака

Национальный Университет «Одесская Морская Академия», Одесса, Украина
Corresponding author. E-mail: burmaka-mob@ukr.net

Paper received 16.12.18; Accepted for publication 21.12.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-186VI22-14>

Аннотация. Рассмотрен аналитический способ определения маневра расхождения судов совместным маневром изменения курса одного судна и скорости второго в ситуации присутствия мешающего судна в районе маневрирования. Предложена компьютерная реализация такого способа, позволяющая выбор безопасного маневра расхождения для всех трех судов.

Ключевые слова: безопасность судоходства, расхождение судов, внешнее управление процессом расхождения, области опасных курсов, безопасное расхождение судов при наличии мешающего судна.

Введение. Плавание в стесненных водах затруднено интенсивным судоходством и навигационными опасностями, которые ведут к росту рисков возникновения аварий судов. Это обстоятельство ведет к установке станций управления движением судов (СУДС) в стесненных районах плавания с особенно интенсивным движением, которые предназначены для контроля процесса судоходства и обеспечения его безопасности, в том числе и предупреждения столкновений опасно сближающихся судов. Для эффективной работы СУДС необходимо их оснащение современными техническими средствами и информационными технологиями безопасного расхождения нескольких опасно сближающихся судов. Это обстоятельство обуславливает актуальность и перспективность исследования управления судами в ситуации опасного сближения при плавании в районах контроля СУДС.

Краткий обзор публикаций по теме. Многочисленные работы посвящены вопросам формализации взаимодействия судов в ситуации опасного сближения. С позиций локально-независимого управления процессом расхождения рассмотрена задача предупреждения столкновений судов в работах [1-8]. В работе [4] для выбора безопасного маневра расхождения судна с несколькими опасными целями используются методы теории оптимальных дискретных процессов. Описание процесса расхождения и выбор маневра предупреждения столкновения с помощью метода нелинейной интегральной инвариантности предлагается в работе [1]. Унифицированный подход к формализации взаимодействия судов при возникновении угрозы столкновения изложен в работе [5], с помощью которого предложена алгоритмизация МППСС-72, а работы [2, 3] посвящены формализации взаимодействия судов при расхождении методами теории дифференциальных игр. В монографии [6] предложен метод предупреждения столкновения судов путем смещения на параллельную линию пути, а книга [8] посвящена подробному исследованию принципа локально-независимого управления процессом расхождения и в ней разработан метод гибких стратегий расхождения, который с учетом требований МППСС-72 позволяет синтезировать стратегию расхождения судна с несколькими опасными целями. В работе [7] изложены результаты исследования эффективности парных маневров расхождения.

Управление процессом расхождения судов с помощью СУДС реализует принцип внешнего полного управления, а его методы изложены в работах [9, 10, 11].

Цель. Целью настоящей статьи является разработка процедуры выбора безопасного маневра расхождения пары опасно сближающихся судов методами внешнего управления при наличии третьего мешающего судна.

Материалы и методы. В работе [12] для формирования области Ω_{KVj} опасных курсов одного судна и скоростей второго судна с учетом инерционно - тормозных характеристик второго судна была разработана компьютерная программа, реализующая предложенный в статье алгоритм расчета границы области.

В качестве примера была рассмотрена ситуация опасного сближения судов с параметрами: $\alpha=130^\circ$, $D=3$ мили, $K_1=130^\circ$, $V_1=22$ узла, $K_2=315^\circ$, $V_2=18$ узлов, $D_d=1$ мили, графическое изображение которой представлено на рис. 1. Прогнозируемое значение дистанции кратчайшего сближения равно $D_{\min}=0,1$ мили, что свидетельствует об опасном сближении судов.

Для приведенной ситуации опасного сближения судов на рис. 2 показана область Ω_{KVj} при снижении скорости второго судна пассивным торможением. Сочетание параметров расхождения судов $K_{1y}^{(s)}$ и V_{2y} на границе области обеспечивает дистанцию кратчайшего сближения $D_{\min f}=1$ мили. На рис. 2 выбрана стратегия расхождения судов с параметрами $K_{1y}^{(s)}=163^\circ$ и $V_{2y}=15,6$ узла (точка границы показана концентрическими окружностями), которые обеспечивают кратчайшую дистанцию расхождения $D_{\min f}=1,01$ мили. Для той же ситуации опасного сближения программой была сформирована область Ω_{KVj} при активном торможении второго судна, показанная на рис. 3.

На границе области Ω_{KVj} выбрана точка соответствующая параметрам стратегии расхождения судов $K_{1y}^{(p)}=85^\circ$ и $V_{2y}=18,4$ узла, при которых достигается $D_{\min f}=1,00$ мили.

Результаты и их обсуждение. В предыдущем пункте была получена процедура выбора безопасного совместного маневра расхождения судов с помощью области Ω_{KVj} при отсутствии каких-либо мешающих факторов, ограничивающих множество безопасных маневров расхождения.

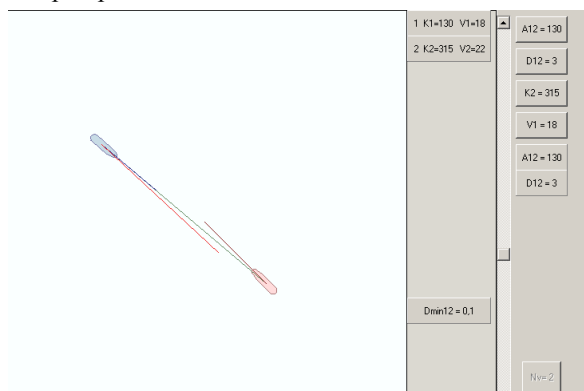


Рис. 1. Ситуация опасного сближения судов

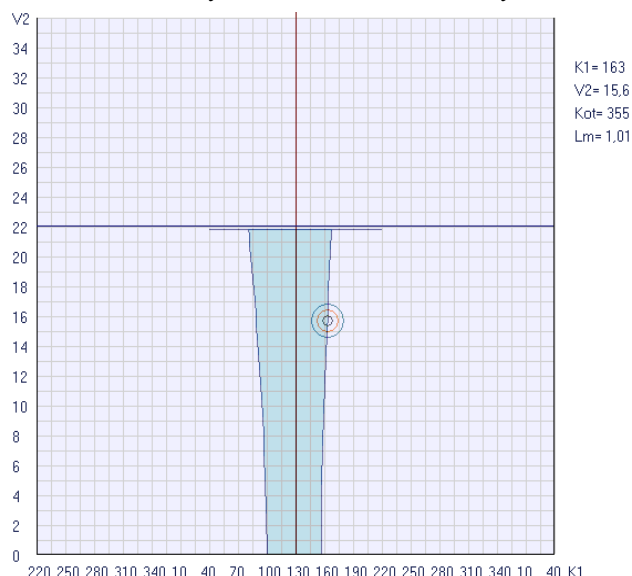


Рис. 2. Область Ω_{KVj} при пассивном торможении второго судна

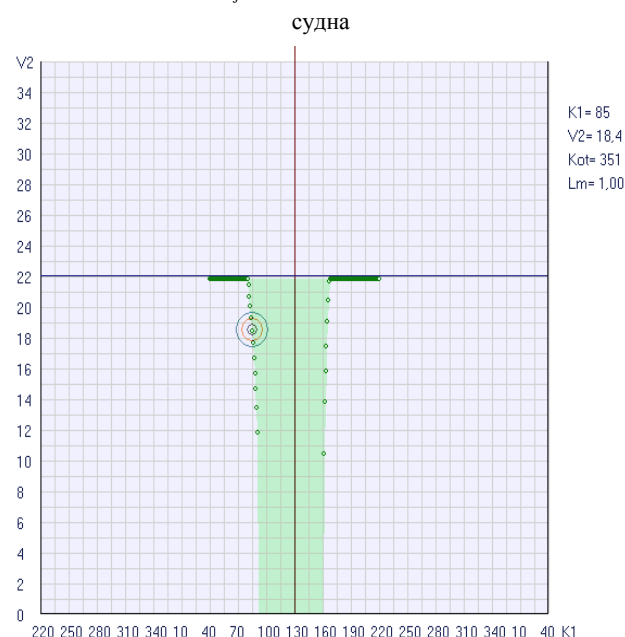


Рис. 3. Область Ω_{KVj} при активном торможении второго судна

Рассмотрим в районе предполагаемого маневрирования наличие третьего судна, которое не задействовано в процессе расхождения, однако ограничивающее маневр расхождения судов, так как может создать угрозу опасного сближения с одним из них или с обоими судами. Такое третье судно будем называть мешающим. При наличии мешающего судна параметры маневра расхождения K_{1y} и V_{2y} для безопасного расхождения должны удовлетворять условию превосходства дистанций кратчайшего сближения между судами над предельно-допустимой дистанцией сближения, что аналитически выражает следующим образом:

$$\begin{cases} \min D_{12}(K_{1y}, V_{2y}) \geq d_d, \\ \min D_{13}(K_{1y}) \geq d_d, \\ \min D_{23}(V_{2y}) \geq d_d. \end{cases} \quad (1)$$

При этом очень важным является соотношения прогнозируемых значений времени кратчайшего сближения каждой пары судов, которые зависят от начальных параметров их движения. Очевидно, при наличии мешающего судна следует рассматривать три значения времени кратчайшего сближения $\min t_{12}$, $\min t_{13}$ и $\min t_{23}$. Наиболее частая ситуация опасного сближения с мешающим судном характеризуется соотношением $\min t_{12} > \min t_{13} > \min t_{23}$. В этом случае для маневрирующих первого и второго судов следует сформировать область Ω_{KVj} недопустимых курсов первого судна и скоростей второго судна с учетом режима торможения, чем учитывается первое равенство системы (1). После выбора безопасного маневра расхождения, как точки (K_{1y}, V_{2y}) границы области Ω_{KVj} необходимо рассчитать значения дистанций кратчайшего сближения $\min D_{13}(K_{1y})$ и $\min D_{23}(V_{2y})$ соответственно первого и третьего, а также второго и третьего судов.

Дистанция кратчайшего сближения $\min D_{13}(K_{1y})$ между первым и третьим судами определяется, исходя из следующих соображений. Если обозначить дистанцию между первым и третьим судами после поворота первого судна на курс уклонения K_{1y} через D_{13k} , а пеленг - α_{13k} , то, учитывая, что оба судна следуют с неизменными параметрами движения K_{1y} , V_1 и K_3 , V_3 кратчайшая дистанция $\min D_{13}(K_{1y})$ определяется по известной зависимости [10]:

$$\min D_{13}(K_{1y}) = |D_{13k} \sin(K_{0y13} - \alpha_{13k})|,$$

где K_{0y13} - относительный курс

Для определения дистанции D_{13k} и пеленга α_{13k} необходимо найти разность координат ΔX_{13k} и ΔY_{13k} между первым и третьим судами после завершения поворота первого судна, исходя из значений начальных пеленга α_n и дистанции D_n .

Очевидно:

$$\Delta X_{13k} = D_{13n} \sin \alpha_{13n} - \Delta x_0 - V_3 \tau_1 \sin K_3,$$

$$\Delta Y_{13k} = D_{13n} \cos \alpha_{13n} - \Delta y_o - V_3 \tau_1 \cos K_3,$$

где Δx_o и Δy_o - приращение координат первого судна за время поворота τ_1 .

Значения дистанции D_{13k} и пеленга α_{13k} рассчитываются с помощью выражений:

$$D_{13k} = \sqrt{\Delta X_{13k}^2 + \Delta Y_{13k}^2},$$

$$\alpha_{13k} = \arcsin \frac{\Delta X_{13k}}{D_{13k}}.$$

В свою очередь, для определения дистанции кратчайшего сближения $\min D_{23}(V_{2y})$ между вторым и третьим судами необходимо рассчитать дистанцию D_{23k} и пеленг α_{23k} между ними в момент времени окончания торможения второго судна, когда его скорость расхождения v_{2y} станет неизменной. Для этого необходимо найти разность координат ΔX_{23k} и ΔY_{23k} между первым и третьим судами на указанный момент времени:

$$\Delta X_{23k} = D_{23n} \sin \alpha_{23n} - S \sin K_2 - V_3 \tau_b \sin K_3,$$

$$\Delta Y_{23k} = D_{23n} \cos \alpha_{23n} - S \cos K_2 - V_3 \tau_b \cos K_3,$$

где α_{23n} и D_{23n} - начальные пеленг и дистанция между вторым и третьим судами;

τ_b и S - время торможения второго судна и пройденное за это время расстояние, расчет которых производится в зависимости от режима торможения.

Дистанция D_{23k} и пеленг α_{23k} вычисляются с помощью формул:

$$D_{23k} = \sqrt{\Delta X_{23k}^2 + \Delta Y_{23k}^2},$$

$$\alpha_{23k} = \arcsin \frac{\Delta X_{23k}}{D_{23k}}.$$

Дистанция кратчайшего сближения $\min D_{23}(V_{2y})$ между вторым и третьим судами определяется с помощью выражения:

$$\min D_{23}(V_{2y}) = |D_{23k} \sin(K_{отy23} - \alpha_{23k})|,$$

где $K_{отy23}$ - относительный курс.

Для оценки безопасности маневра расхождения судов при наличии мешающего третьего судна была разработана компьютерная программа, которая при выборе маневра расхождения, соответствующего определенной точке границы области Ω_{KVj} , рассчитывает также дистанции $\min D_{13}(K_{1y})$ и $\min D_{23}(V_{2y})$, выводит их значения на экран монитора и сравнивает из предельно-допустимой дистанцией сближения.

В качестве примера на рис. 4 приведена ситуация опасного сближения судов при наличии третьего мешающего судна, которая характеризуется параметрами: $\alpha_{12}=313^\circ$, $D_{12}=3$ мили, $K_1=339^\circ$, $V_1=22$ узла, $K_2=102^\circ$, $V_2=18$ узлов, $d_d=1$ мили, $\alpha_{13}=25^\circ$, $D_{13}=3$ мили, $K_3=224^\circ$, $V_3=18$ узлов. Снижение скорости вторым судном производится активным торможением.

На рис. 5 показана область Ω_{KVj} опасных параметров курса одного судна и скорости второго судна для приведенной ситуации сближения трех судов. Выбран маневр расхождения, соответствующий точке границы области Ω_{KVj} с параметрами $K_{1y}=4^\circ$, $V_{2y}=13,9$ узлов. Программой были рассчитаны дистанции кратчайшего сближения $\min D_{13}(K_{1y})=0,16$ мили и $\min D_{23}(V_{2y})=0,60$ мили, которые меньше предельно-допустимой дистанции сближения. Данное обстоятельство на рис. 5 отражено в красном цвете информационных панелей вывода дистанций кратчайшего сближения.

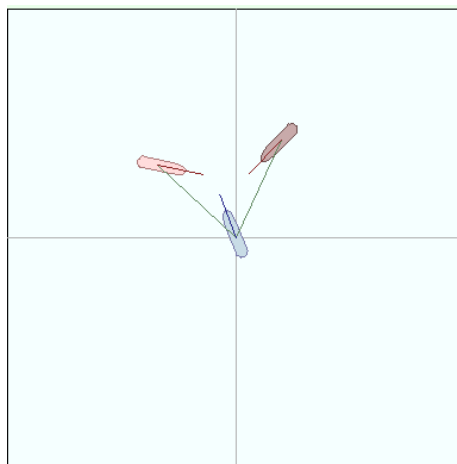


Рис. 4. Четвертая стандартная ситуация сближения трех судов

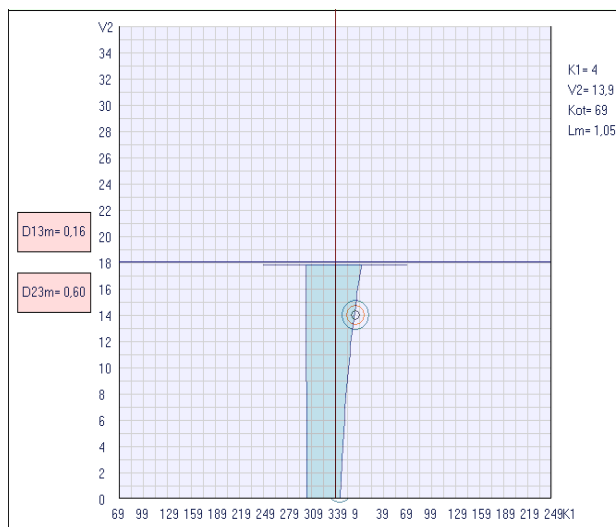


Рис. 5. Выбор маневра расхождения, опасного для третьего судна

На рис. 6 выбран другой маневр расхождения с параметрами $K_{1y}=349^\circ$ и $V_{2y}=4,5$ узла. В этом случае дистанция кратчайшего сближения $\min D_{13}(K_{1y})=0,59$ мили и $\min D_{23}(V_{2y})=1,20$ мили. Такой маневр расхождения также является неприемлемым, так как при допустимых дистанциях кратчайшего сближения $\min D_{12}(K_{1y}, V_{2y})$ и $\min D_{23}(V_{2y})$ дистанция $\min D_{13}(K_{1y})$ не обеспечивает безопасное расхождение судов.

Поэтому была осуществлена еще одна попытка выбора безопасного маневра расхождения, результаты чего показаны на рис. 7. На границе области Ω_{KVj} выбран маневр с параметрами $K_{1y}=296^\circ$ и $v_{2y}=7,15$ узла. Как следует из рисунка, первое и второе суда расходятся на дистанции 1,08 мили, дистанции $\min D_{13}(K_{1y})=2,04$ мили и $\min D_{23}(v_{2y})=1,03$ мили превосходят предельно-допустимую дистанцию сближения. Выбранный маневр безопасный для всех трех судов, что подтверждает зеленый цвет информационных панелей дистанций кратчайшего сближения.

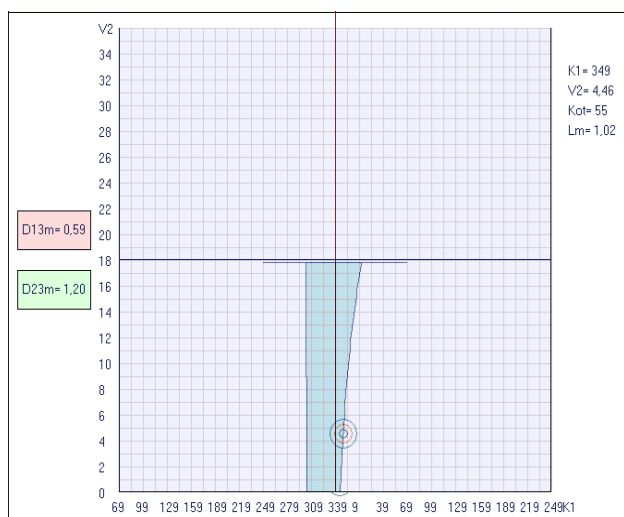


Рис. 6. Маневр с одним опасным сближением

Выводы

1. Рассмотрен аналитический способ определения маневра расхождения судов совместным маневром изменения курса одного судна и скорости второго в ситуации наличия мешающего судна в районе маневрирования..
2. Предложена компьютерная реализация предложенного способа, которая позволяет выбор безопасного маневра расхождения для всех трех судов.
3. Приведен пример выбора безопасного маневра расхождения судов при снижении скорости одного из судов активным торможением.

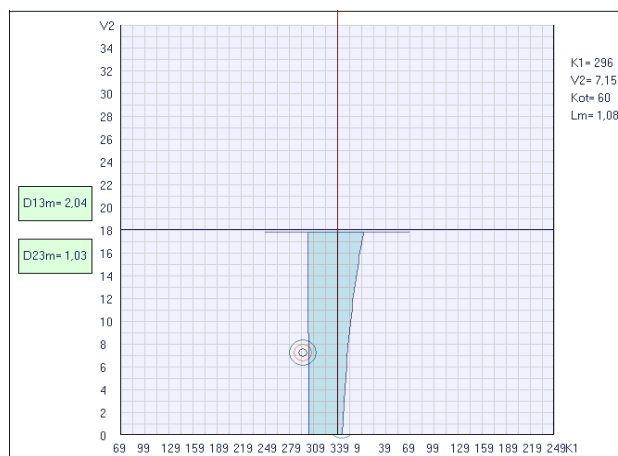


Рис. 7. Маневр расхождения безопасный для всех судов

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов В.В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов/ В.В. Павлов, Н.И. Сеньшин // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. - № 68. - С. 43-45.
2. Кудряшов В. Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / В. Е. Кудряшов // Судостроение. – 1978.- №5. – С. 35-40.
3. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.
4. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.
5. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015.-312 с.
6. Вагушенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагушенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
7. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судостроение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.
8. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н.Цымбал, И.А.Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
9. Бурмака И.А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов/ И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. - С. 18 -23.
10. 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.
11. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения/ А.Ю Булгаков// Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 12 – 17.
12. Пасечнюк С.С. Использование маневра снижения скорости одного из судов при внешнем управлении процессом расхождения/ Пасечнюк С.С.// East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. - С. 25 - 30.

REFERENCES

1. Pavlov V.V. Some questions of choice of maneuver in the situations of divergence of vessels/ Pavlov V.V., Senshin N.I. // Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika. - 1985.- №68. - p. 43 - 45.
2. Kudryashov V.E. Synthesis of algorithms of safe management by a ship at divergence with a few objects/Kudryashov V.E. //Sudostroenie .- 1978.- №5.- p. 35 - 40.
3. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.
4. Kulikov A.M. Optimum management by divergence of vessels / Kulikov A.M., and Poddubnyy V.V.// Sudostroenie. -1984.- №12.- p. 22 - 24.
5. Pyatakov E.N. Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / Pyatakov E.N., Buzhbeckij R.Y., Burmaka I.A., Bulgakov A. Y. - Kherson: Grin D. S.- 2015.- 312 p.
6. Vagushchenko L.L. Divergence with vessels by displacement on the parallel line of way / Vagushchenko L.L.- Odessa: Feniks.- 2013.- 180 p.
7. Pyatakov E. N. Estimation of efficiency of pair strategies of going away vessels / Pyatakov E. N., Zaichko S.I.// Sudovozhdenie.- 2008.- №15 .- p. 166 – 171.
8. Tsimbal N.N. Flexible strategies of divergence of vessels/ Tsimbal N.N., Burmaka I.A. and Tyupikov E.E. - Odessa: KP OGT.- 2007.- 424 p.
9. Burmaka I.A. Maneuver of divergence of three vessels by the change of courses/ Burmaka I.A., Bulgakov A. Y.// Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv. - 2014.- №20 . - p. 18 -23.
10. Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A.- LAP LAMBERT Academic Publishing, - Saarbrücken (Germany), – 2016. - 585 p.
11. Bulgakov A.Y. Use of dangerous region of courses of two vessels for the choice of possible maneuver of divergence/ Bulgakov A.Y.// Vodnyy transport.- 2014.- №2 (20).- p. 12 – 17.
12. Pasechnjuk S.S. Using of maneuver change of speed one vessel in case external process control of divergence of ships/ Pasechnjuk S.S.// East European Science Journal, №5 (33), 2018, part 1. - C. 25 - 30.

Application of region of impermissible values of parameters of motion of vessels for safe divergence at presence of preventing ship

I. A. Burmaka

Abstract. The analytical method of determination of maneuver of divergence of vessels by the joint maneuver of change of course of one ship and speed of presence of preventing ship second in a situation in the district of maneuvering is considered. Computer realization of such method is offered, allowing the choice of safe maneuver of divergence for all three vessels.

Keywords: *safety of navigator, divergence of vessels, external process of divergence, region of dangerous courses control, safe divergence of vessels at presence of preventing ship.*