

TECHNICAL SCIENCES

Влияние безопасной зоны прямоугольной формы на определение величины предельно - допустимой дистанции сближения судов

А. В. Бородулин

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

Paper received 16.12.18; Accepted for publication 20.12.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-186VI22-12>

Аннотация. Показана зависимость значения предельно - допустимой дистанции сближения судов от их взаимного положения в случае применения безопасной зоны прямоугольной формы. Получены аналитические зависимости, позволяющие рассчитать величину предельно - допустимой дистанции сближения судов в зависимости от их ракурса. С помощью компьютера произведено моделирование величины предельно - допустимой дистанции сближения и оценены пределы ее изменения.

Ключевые слова: безопасность судоходства, расхождение судов при опасном сближении, форма безопасной зоны, предельно - допустимая дистанция сближения судов.

Введение. Интенсивное судоходство и навигационные препятствия способствуют повышенной аварийности судов при плавании в стесненных водах, чем и обусловлено их оборудование станциями управления движением судов (СУДС). Помимо контроля процесса судоходства СУДС осуществляет управление движением опасно сближающихся судов. Для их безопасного расхождения необходимо выбрать граничный относительный курс, который является касательным к безопасной зоне с учетом ее формы. Так как в последнее время помимо круговой рассматриваются другие формы безопасной зоны, то актуальным является вопрос определение величины предельно - допустимой дистанции сближения судов в зависимости от формы безопасной зоны.

Краткий обзор публикаций по теме. В работе [4] для описания процесса расхождения используются методы теории оптимальных дискретных процессов, а в работах [2, 3] предложена формализация взаимодействия судов при расхождении методами теории дифференциальных игр. В работе [1] предложен метод нелинейной интегральной инвариантности для описания процесса расхождения и выбора одношагового маневра предупреждения столкновения. Метод предупреждения столкновения судов путем смещения на параллельную линию пути рассмотрен в монографии [6]. Формализация взаимодействия судов при возникновении угрозы столкновения предложена в работе [5], с ее помощью предложена алгоритмизация МПСС-72, а в работе [7] изложены результаты исследования эффективности парных маневров расхождения. В монографии [8] всесторонне исследован принцип локально-независимого управления процессом расхождения и разработан метод гибких стратегий их расхождения, который позволяет произвести синтез стратегии расхождения судна с несколькими опасными целями с учетом навигационных опасностей и динамики судна.

Цель. Цель настоящей статьи - разработка процедуры определения величины предельно - допустимой дистанции сближения судов в случае применения безопасной зоны прямоугольной формы.

Материалы и методы. В работе [9] показано, что

для безопасного расхождения судна с опасной целью с учетом формы безопасной зоны (домена) судно должно выбрать граничный относительный курс, который является касательным к безопасной зоне. Как показано на рис. 1, таких граничных курсов существует два: относительным уклонением вправо K_{ot}^s и относительным уклонением влево K_{ot}^p .

Независимо от ракурса цели относительно судна касательная к границе безопасной круговой зоны $D_b^{(R_b)}$ сохраняет неизменное положение и зависит только от относительной позиции (рис. 2).

Из рис. 2 значения граничные относительные курсы уклонения определяется очевидным соотношением:

$$K_{ot}^s = \alpha + \arcsin \frac{R_b}{D},$$

$$K_{ot}^p = \alpha - \arcsin \frac{R_b}{D}.$$

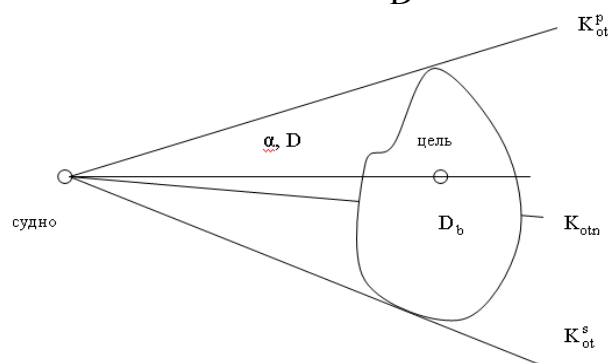


Рис. 1. Граничные относительные курсы уклонения

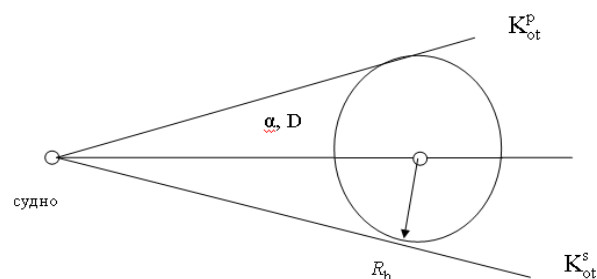


Рис. 2. Граничные относительные курсы уклонения кру-

говой зоны $D_b^{(Rd)}$

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим безопасную область цели $D_b^{(Rt)}$ прямоугольной формы и зависимость относительного курса уклонения, касательного к области, от взаимного положения судов. Безопасную область цели $D_b^{(Rt)}$ прямоугольной формы целесообразно задавать относительно центра цели четырьмя угловыми точками А, В, С и D (рис. 3).

Положения угловых точек А, В, С и D относительно центра будем задавать дистанциями D_n, D_k и углами ψ_n, ψ_k . Значения D_n, D_k, ψ_n и ψ_k в зависимости от параметров l_n, l_k и b безопасной области определяются, как следует с рис. 1, следующим образом:

$$\psi_n = \arctg \frac{b}{2l_n}, \quad \psi_k = \arctg \frac{b}{2l_k},$$

$$D_n = \sqrt{\frac{b^2}{4} + l_n^2}, \quad D_k = \sqrt{\frac{b^2}{4} + l_k^2}.$$

$$X_A = D_n \sin \psi_n,$$

$$X_B = D_k \sin(\pi - \psi_k),$$

$$X_C = D_k \sin(\pi + \psi_k),$$

$$X_D = D_n \sin(2\pi - \psi_n),$$

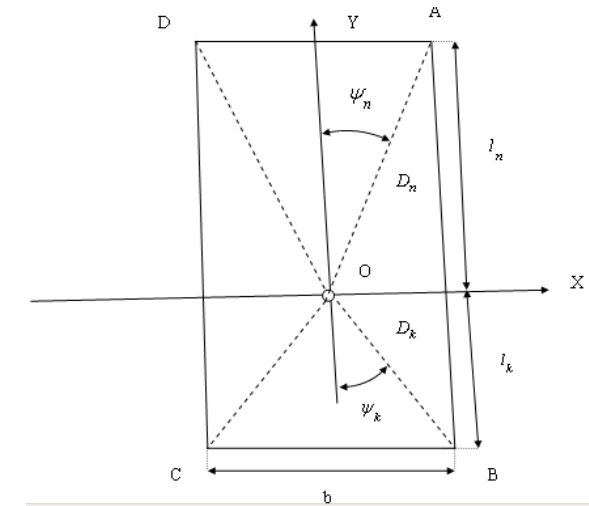


Рис. 3. Параметры безопасной зоны $D_b^{(Rt)}$ прямоугольной формы

С учетом полученных выражений положения угловых точек в судовой системе координат XOY определяется следующим образом:

$$Y_A = D_n \cos \psi_n,$$

$$Y_B = D_k \cos(\pi - \psi_k),$$

$$Y_C = D_k \cos(\pi + \psi_k),$$

$$Y_D = D_n \cos(2\pi - \psi_n).$$

Для получения формул расчета относительных минимальных курсов уклонения, проходящих через угловые точки следует ввести опорную \overline{XOY} и промежуточную \tilde{XOY} системы координат (рис. 3). При курсе цели K_c и положении его центра $\overline{X}_o, \overline{Y}_o$ в

системе координат \overline{XOY} , координаты критических точек А, В, С и D в этой же координатной системе определяются, как следует с рис. 4, следующими формулами:

$$\overline{X}_A = \overline{X}_o + D_n \sin(\psi_n + K_c),$$

$$\overline{X}_B = \overline{X}_o + D_k \sin(\pi - \psi_k + K_c),$$

$$\overline{X}_C = \overline{X}_o + D_k \sin(\pi + \psi_k + K_c),$$

$$\overline{X}_D = \overline{X}_o + D_n \sin(2\pi - \psi_n + K_c),$$

$$\overline{Y}_A = \overline{Y}_o + D_n \cos(\psi_n + K_c),$$

$$\overline{Y}_B = \overline{Y}_o + D_k \cos(\pi - \psi_k + K_c),$$

$$\overline{Y}_C = \overline{Y}_o + D_k \cos(\pi + \psi_k + K_c),$$

$$\overline{Y}_D = \overline{Y}_o + D_n \cos(2\pi - \psi_n + K_c).$$

Значения относительного курса уклонения \overline{K}_{yminI} , проходящего через угловые точки будет определяться выражениями:

$$\tilde{K}_{yminI} = 360 + \overline{K}_{yminI}, \text{ при } \overline{Y}_I > 0; (I = A, B, C, D)$$

$$\tilde{K}_{yminI} = 180 + \overline{K}_{yminI}, \text{ при } \overline{Y}_I < 0, \quad (1)$$

где \overline{K}_{yminI} определяется следующим образом:

$$\overline{K}_{yminA} = \arctg \frac{\overline{X}_o + D_n \sin(\psi_n + K_c)}{\overline{Y}_o + D_n \cos(\psi_n + K_c)},$$

$$\overline{K}_{yminB} = \arctg \frac{\overline{X}_o + D_k \sin(\pi - \psi_k + K_c)}{\overline{Y}_o + D_k \cos(\pi - \psi_k + K_c)},$$

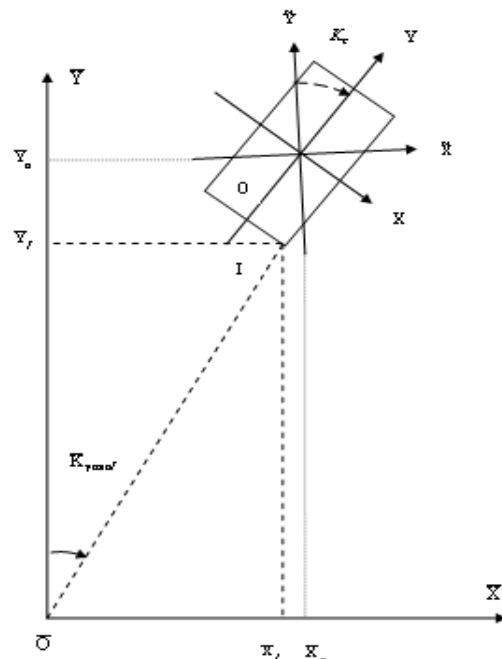


Рис. 4. К определению минимального курса уклонения

$$\bar{K}_{y\min}$$

$$\bar{K}_{y\min C} = \arctg \frac{\bar{X}_o + D_k \sin(\pi + \psi_k + K_c)}{\bar{Y}_o + D_k \cos(\pi + \psi_k + K_c)},$$

$$\bar{K}_{y\min D} = \arctg \frac{\bar{X}_o + D_n \sin(2\pi - \psi_n + K_c)}{\bar{Y}_o + D_n \cos(2\pi - \psi_n + K_c)}.$$

Используя полученные выражения, с помощью формулы (1) находим значение относительных минимального курсов уклонения $\tilde{K}_{y\min A}$, $\tilde{K}_{y\min B}$, $\tilde{K}_{y\min C}$, $\tilde{K}_{y\min D}$. Для выбора граничных относительных курсов уклонения K_{ot}^S и K_{ot}^P воспользуемся следующими соотношениями:

$$K_{ot}^S = \max\{\tilde{K}_{y\min A}, \tilde{K}_{y\min B}, \tilde{K}_{y\min C}, \tilde{K}_{y\min D}\}.$$

$$K_{ot}^P = \min\{\tilde{K}_{y\min A}, \tilde{K}_{y\min B}, \tilde{K}_{y\min C}, \tilde{K}_{y\min D}\}.$$

Величина предельно - допустимой дистанции сближения судов с учетом формы безопасной зоны зависит от стороны относительного уклонения и

определяется граничными относительными курсами K_{ot}^S и K_{ot}^P . Поэтому обозначим D_d^S и D_d^P - предельно - допустимые дистанции сближения при относительном уклонении судна соответственно вправо и влево, причем определение предельно - допустимых дистанций сближения производится с помощью очевидного выражения:

$$D_d^S = D |\sin(K_{ot}^S - \alpha)|;$$

$$D_d^P = D |\sin(K_{ot}^P - \alpha)|.$$

С помощью компьютерной программы был произведен расчет зависимости предельно - допустимые дистанции сближения от ракурса сближающихся судов для дистанции между судами 3,5 мили, результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 5. В правой части рисунка показана зависимость предельно - допустимые дистанции сближения от взаимного положения судов. Величина предельно - допустимой дистанции изменяется в пределах от 0,4 до 1 мили, учитывая, что большая дистанция D_n прямоугольной области равна 1 мили.

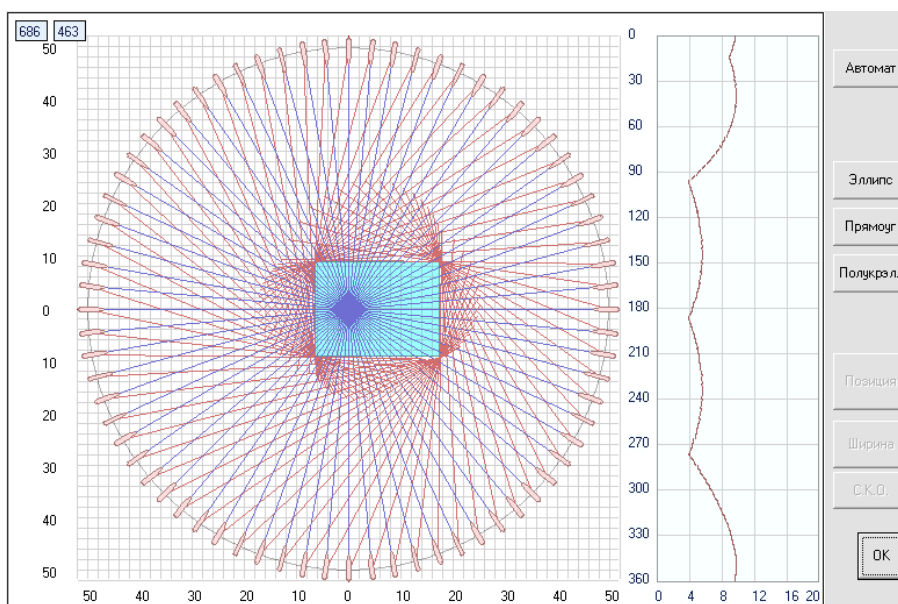


Рис.5. Результаты компьютерного моделирования

Выводы

1. Показана зависимость значения предельно - допустимой дистанции сближения судов от их взаимного положения в случае применения безопасной зоны прямоугольной формы.
2. Получены аналитические зависимости, позволяющие рассчитать величину предельно- допустимой

дистанции сближения судов в зависимости от их ракурса.

3. Приведены численный пример безопасного расхождения четырех судов и результаты имитационного моделирования, подтверждающие корректность предложенного метода.

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. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
7. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: 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. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

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.
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.
4. Kulikov A.M. Optimum management by divergence of vessels / Kulikov A.M., and Poddubnyy V.V.// Sudostroenie. - 1984.- №12.- p. 22 - 24.
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. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A.- LAP LAMBERT Academic Publishing, - Saarbryukken (Germany), – 2016. - 585 p.

Influence of safe area of rectangular form on determination of size is maximum - possible distance of rapprochement of vessels.

A. V. Borodulin

Abstract. Dependence of value maximum is shown - possible distance of rapprochement of vessels from their mutual position in the case of application of safe area of rectangular form. Analytical dependences allowing to expect size maximum are got - possible distance of rapprochement of vessels depending on their foreshortening. By a computer the design of size maximum is produced - possible distance of rapprochement and the limits of its change are appraised.

Keywords: *safety of navigator, divergence of vessels at dangerous rapprochement, form of safe area, maximum - possible distance of rapprochement of vessels.*