

Булгаков А.Ю.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПАСНОЙ ОБЛАСТИ КУРСОВ ДВУХ СУДОВ ДЛЯ ВЫБОРА ДОПУСТИМОГО МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ

*Получены аналитические выражения границ опасной области курсов двух сближающихся судов, с помощью которой возможен выбор курсов судов, обеспечивающих их безопасное расхождение на заданном расстоянии. Приведены результаты имитационного моделирования, позволяющие формирование опасных областей курсов двух судов в графическом виде.*

**Ключевые слова:** маневр расхождения, опасная область курсов, имитационное моделирование.

**Постановка проблемы.** В настоящее время стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением оборудуются станциями управления движением судов (СУДС), которые предназначены для контроля процесса судовождения и управления движением опасно сближающихся судов. Поэтому разработка алгоритмов управления опасно сближающимися судами, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным направлением.

**Анализ последних достижений и публикаций, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Вопросам расхождения судов с использованием классификации начальных ситуаций посвящена работа [1], а результаты исследования эффективности парных маневров расхождения рассмотрены в работе [2].

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Цель статьи заключается в разработке процедуры расчета совместного маневра изменением курса пары судов с различным отношением скоростей для предупреждения их столкновения.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.**

Допустим, в районе контроля станции управления движением судов находятся два судна, которые опасно сближаются. В начальный момент времени их взаимное положение характеризуется пеленгом  $\alpha_{ij}$  и дистанцией  $D_{ij}$ , а взаимное перемещение - относительным курсом  $K_{otij}$  и скоростью  $V_{otij}$ . Дистанция кратчайшего сближения  $\min D_{ij}$  судов меньше предельно- допустимой дистанции  $d_d$ , т.е.  $\min D_{ij} < d_d$ , и суда сближаются опасно.

СУДС, осуществляющей управление судами, необходимо найти курсы судов  $K_i$  и  $K_j$ , при которых их дистанции кратчайшего сближения будут больше предельно- допустимой дистанции  $d_d$ .

Аналитически это выражается следующим образом. Из работы [3] используем выражение для  $\min D_{ij}$  и получим

$$\min D_{ij} = \Delta_{ij} D_{ij} \sin(\alpha_{ij} - K_{otij}) \geq d_d \quad (1)$$

где  $\Delta_{ij} = -1$ , при  $\sin(\alpha_{ij} - K_{otij}) < 0$ , в противном случае  $\Delta_{ij} = 1$ .

Дистанцию кратчайшего сближения  $\min D_{ij}$  можно увеличить изменением относительного курса  $K_{otij}$ , т.е. курсов судов  $K_i$  и  $K_j$ . Найдем значения курсов судов, обеспечивающих выполнение условия (1).

Неравенство (1) можно представить в следующем виде

$$\operatorname{tg} K_{otij} \leq \operatorname{tg} [\alpha_{ij} - \arcsin(\frac{d_d}{\Delta_{ij} D_{ij}})]. \quad (2)$$

Обозначая  $\gamma_{ij} = \alpha_{ij} - \arcsin(\frac{d_d}{\Delta_{ij} D_{ij}})$  и учитывая, что согласно [3]

$$\operatorname{tg} K_{otij} = \frac{V_i \sin K_i - V_j \sin K_j}{V_i \cos K_i - V_j \cos K_j},$$

выражение (2) принимает следующий вид

$$(\sin K_i \cos \gamma_{ij} - \cos K_i \sin \gamma_{ij}) \leq \rho_{ij} (\sin K_j \cos \gamma_{ij} - \cos K_j \sin \gamma_{ij}), \quad (3)$$

где  $\rho_{ij} = V_j/V_i$ .

Рассмотрим вначале соответствующее равенство:

$$(\sin K_i \cos \gamma_{ij} - \cos K_i \sin \gamma_{ij}) = \rho_{ij} (\sin K_j \cos \gamma_{ij} - \cos K_j \sin \gamma_{ij}) \quad \text{или}$$

$$\sin(K_i - \gamma_{ij}) = \rho_{ij} [\sin(K_j - \gamma_{ij})],$$

которое представляет аналитическое выражения границы опасной области  $S_{Dij}$ , ограждающей недопустимые сочетания значений пар соответствующих курсов  $K_i$  и  $K_j$ , причем полученное уравнение имеет два корня, т. е. справедливы следующие аналитические зависимости

$$K_i - \gamma_{ij} = \arcsin\{\rho_{ij} [\sin(K_j - \gamma_{ij})]\},$$

$$K_i - \gamma_{ij} = \pi - \arcsin\{\rho_{ij} [\sin(K_j - \gamma_{ij})]\}.$$

Как показало проведенное исследование, первый из двух корней уравнения соответствует ситуации сближения судов, а второй – ситуации их удаления. Так как опасность столкновения возникает при сближении судов, то уравнения границ опасных областей при сближении судов определяется уравнением

$$K_i = \gamma_{ij} + \arcsin\{\rho_{ij} [\sin(K_j - \gamma_{ij})]\}. \quad (4)$$

Полученное выражение (4) характеризует границу между опасной и допустимой областями курсов  $K_i$  и  $K_j$ .

Если  $V_i > V_j$ , т. е.  $\rho_{ij} > 1$ , то в выражении (4) должно соблюдаться условие  $\rho_{ij}[\sin(K_j - \gamma_{ij})] \leq 1$ , или  $\sin(K_j - \gamma_{ij}) \leq \rho_{ij}^{-1}$ . Следовательно, граничные значения курса  $K_j$  равны

$$\begin{aligned} K_{j1} &= \gamma_{ij} + \arcsin(\rho_{ij}^{-1}); \\ K_{j2} &= \gamma_{ij} + \pi - \arcsin(\rho_{ij}^{-1}); \\ K_{j3} &= \gamma_{ij} + \pi + \arcsin(\rho_{ij}^{-1}); \\ K_{j4} &= \gamma_{ij} + 2\pi - \arcsin(\rho_{ij}^{-1}), \end{aligned}$$

а область значений переменной  $K_j$  определяется выражением

$$K_j \in \{S_1 \cup S_2\}.$$

В последнем выражении области  $S_1$  и  $S_2$  возможных значений курса  $K_j$  аналитически определяются следующим образом

$$\begin{aligned} S_1 &= [\gamma_{ij} + 2\pi - \arcsin(\rho_{ij}^{-1}), \gamma_{ij} + \arcsin(\rho_{ij}^{-1})], \\ S_2 &= [\gamma_{ij} + \pi - \arcsin(\rho_{ij}^{-1}), \gamma_{ij} + \pi + \arcsin(\rho_{ij}^{-1})]. \end{aligned}$$

Области  $S_1$  и  $S_2$  возможных значений курса  $K_j$ , удовлетворяющих определяющему неравенству  $\sin(K_j - \gamma_{ij}) \leq \rho_{ij}^{-1}$ , представлены на рис. 1.

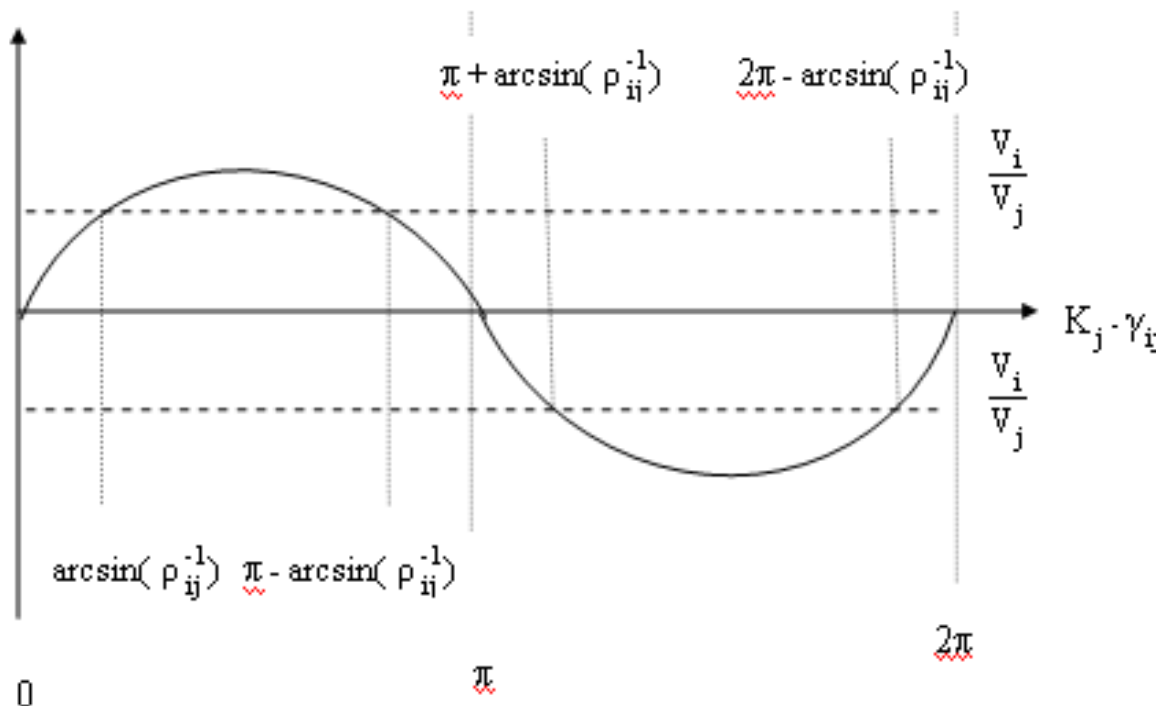


Рис. 1. Определение областей  $S_1$  и  $S_2$

Для графического отображения границы между опасной и допустимой областями курсов  $K_i$  и  $K_j$  была разработана имитационная компьютерная программа.

Опасная область  $S_{Dij}$  курсов  $K_i$  и  $K_j$ , в которой  $\min D_{ij} < d_d$ , для ситуации с параметрами  $\alpha = 75^\circ$ ,  $D = 3$  мили,  $d_d = 1$  мили,  $V_i = 15$  уз,  $V_j = 20$  уз, представлена на рис. 2.

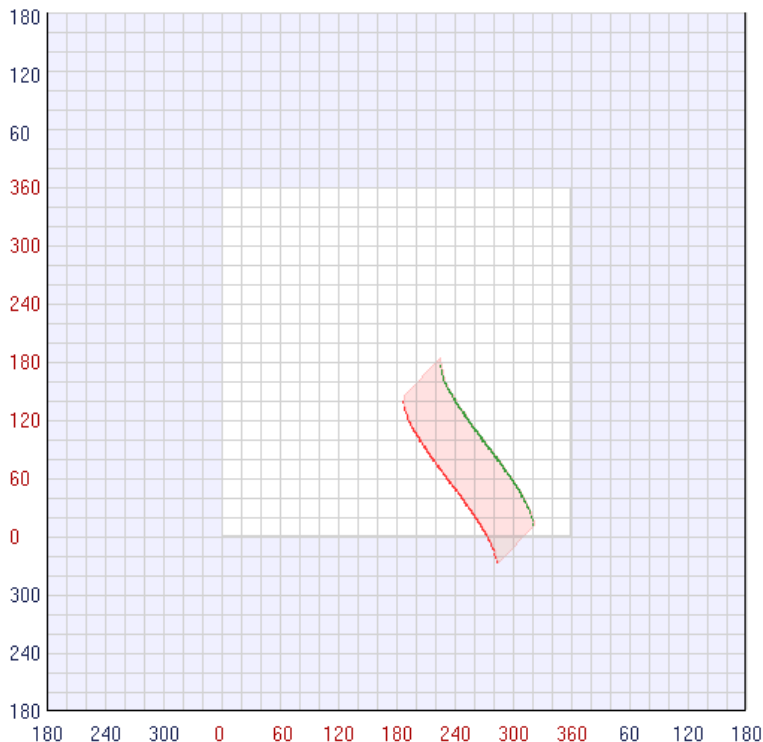


Рис. 2. Опасная область  $S_{Dij}$  курсов  $K_i$  и  $K_j$  при  $V_i > V_j$

В случае  $V_i = V_j$  следует:

$$K_i - \gamma_{ij} = \arcsin\{[\sin(K_j - \gamma_{ij})]\},$$

$$K_i - \gamma_{ij} = \pi - \arcsin\{[\sin(K_j - \gamma_{ij})]\},$$

Условию сближения соответствует зависимость  $K_i = \pi + 2\gamma_{ij} - K_j$ .

На рис. 3 показана опасная область  $S_{Dij}$  курсов  $K_i$  и  $K_j$  для той же ситуации, но с  $V_i = 15$  уз,  $V_j = 15$  уз.

Если  $V_i < V_j$ , т. е.  $\rho_{ij} < 1$ , то зависимость между курсами судов  $K_i$  и  $K_j$  для случая сближения выражается следующим образом:

$$K_i = \gamma_{ij} + \arcsin\{\rho_{ij}[\sin(K_j - \gamma_{ij})]\}.$$

Так как  $\rho_{ij} < 1$ , то курс  $K_j$  принимает все значения от 0 до  $2\pi$ .

На рис. 4 приведена опасная область  $S_{Dij}$  курсов  $K_i$  и  $K_j$  для  $V_i = 20$  уз,  $V_j = 15$  уз.

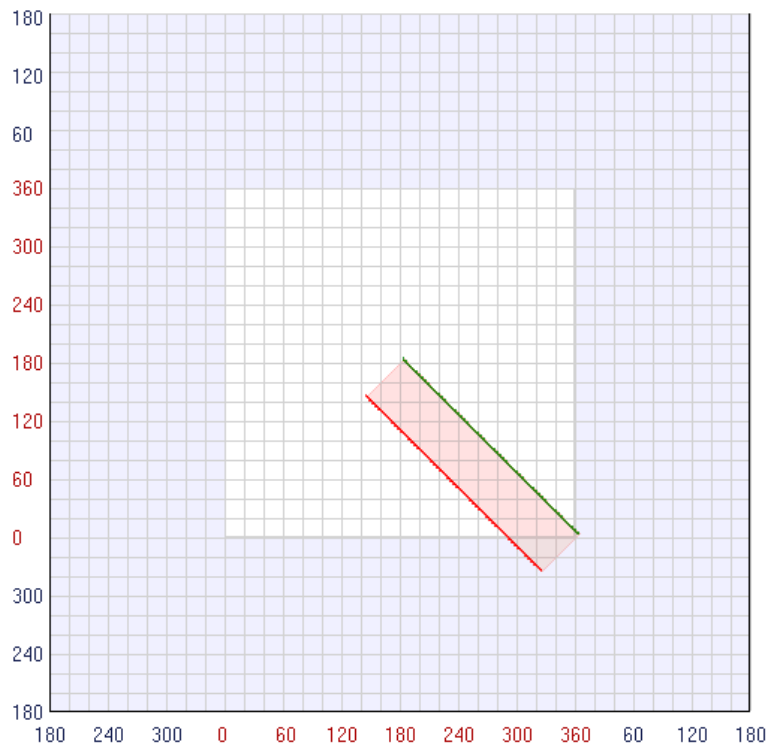


Рис. 3. Опасная область  $S_{Dij}$  курсов  $K_i$  и  $K_j$  при  $V_i = V_j$

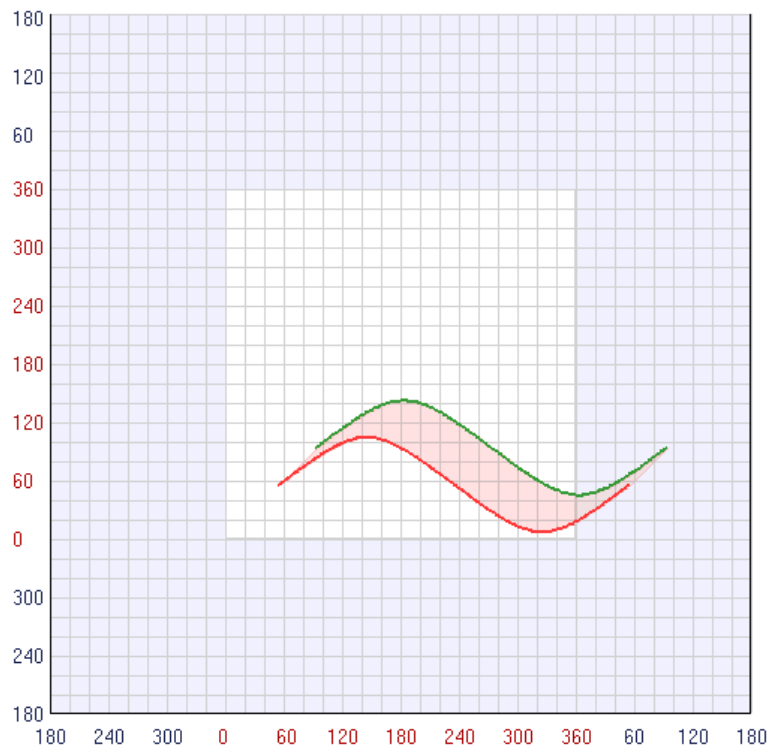


Рис. 4. Опасная область  $S_{Dij}$  курсов  $K_i$  и  $K_j$  при  $V_i < V_j$

Таким образом, располагая опасной областью  $S_{Dij}$  курсов двух судов можно выбрать их безопасные курсы уклонения, обеспечивающие их расхождение на расстоянии, которое больше величины предельно-допустимой дистанции.

---

---

### **Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.**

Получены аналитические выражения границ опасной области курсов двух сближающихся судов, с помощью которой возможен выбор курсов судов, обеспечивающих их безопасное расхождение на заданном расстоянии.

Приведены результаты имитационного моделирования, позволяющие формирование опасных областей курсов двух судов в графическом виде.

В дальнейшем целесообразно исследовать ситуацию опасного сближения нескольких судов и разработать алгоритм выбора безопасных курсов станцией управления движения судов, используя опасные области курсов каждой пары судов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
2. Пятаков Э. Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Пятаков Э.Н., Заичко С.И // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. – Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166-171.
3. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

**Булгаков О.Ю.**

### **ВИКОРИСТАННЯ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ОБЛАСТІ КУРСІВ ДВОХ СУДЕН ДЛЯ ВИБОРУ ДОПУСТИМОГО МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ**

*Одержані аналітичні вирази меж небезпечної області курсів двох суден, що зближуються, за допомогою якої можливий вибір їх курсів, що забезпечують безпечне розходження на заданій відстані. Приведені результати імітаційного моделювання, які дозволяють формування небезпечних областей курсів двох суден в графічному вигляді.*

*Ключові слова: маневр розходження, небезпечна область курсів, імітаційне моделювання.*

**Bulgakov A.**

### **USE OF DANGEROUS REGION OF COURSES OF TWO VESSELS FOR CHOICE OF POSSIBLE MANOEUVRE OF DIVERGENCE**

*Analytical expressions of scopes of dangerous region of courses of two drawn together vessels are got, which the choice of courses of vessels providing their safe divergence on the set distance is possible by. The results of imitation design are resulted, allowing forming of dangerous regions of courses of two of vessels in a graphic kind.*

*Keywords: maneuver of divergence, dangerous region of vessels, imitation design.*