

**АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ГРАНИЦЫ БЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ
РАСХОЖДЕНИЯ ПО ДОМЕНУ «ПОЛУКРУГ-ПОЛУЭЛЛИПС»***Вагущенко А.Л.**Одесская национальная морская академия*

В статье представлен алгоритм определения границы безопасных расстояний кратчайшего сближения двух судов в зависимости от геометрии их сближения по домену опасности «полукруг-полуэллипс». Такие домены образуются у судов-целей. Для разных «целей» используются неодинаковые по размерам домены, что позволяет учесть особенности этих судов, такие как размеры, скорость сближения с судном оператора и др.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, домен опасности, расстояние кратчайшего сближения.

Введение. Объективная оценка коллизийной ситуации является важным этапом обработки информации, обобщающим результат визуального, слухового наблюдения, и информацию, полученную с помощью технических средств. Она должна включать оценку, как текущего состояния обстановки, так и прогнозируемого на определенное время вперед. Для определения риска столкновения судов и для выбора маневров расхождения большое значение имеет граница безопасных значений их дистанций кратчайшего сближения.

Актуальность работы. При исследовании проблемы предупреждения столкновений судов рассматривались различные виды доменов опасности: круговые, эллиптические, в виде полигонов и других фигур [1-3]. Преобладающее применение в бортовых системах предупреждения столкновений (СПС) нашел круговой домен с центром в центре массы судна. Его граница задается одним значением расстояния кратчайшего сближения [4-6]. Недостаток несмещенного домена круговой формы состоит в том, что он не отражает отличия по степени опасности объектов, появляющихся на его границе, на носовых и кормовых курсовых углах. Поэтому стремятся, чтобы домен опасности был пространством вокруг судна, ограниченным линией, представляющей собой геометрическое место точек, находясь в которых другое судно или другой объект представляет для первого судна одну и ту же опасность. В последние годы чаще всего встречаются предложения [7, 8] в качестве модели такого домена использовать область, состоящую из частей круга и эллипса – домен «полукруг-полуэллипс». Чтобы использовать эту область в СПС при компьютерной оценке опасности столкновения и выборе маневров расхождения, требуется иметь процедуру для расчета по ней границы безопасного расстояния расхождения при разной геометрии сближения судна оператора с «целью».

Цель статьи. Разработка алгоритма расчета границы безопасных расстояний кратчайшего сближения по домену «полукруг-полуэллипс», образуемого у «цели».

Основная часть. Допустим, у «цели» J образован домен опасности (ДО) «полукруг-полуэллипс», который задан полуосями a и b (рис. 1). Требуется найти при относительном курсе k_0 судна оператора границу d^s безопасных расстояний кратчайшего сближения. Известно, что опасность столкновения существует, когда линия курса k_0 судна оператора по отношению к «цели» (ЛОД₀) пересекает домен опасности «цели». Граничное значение безопасных расстояний кратчайшего сближения получается, когда ЛОД₀ касается границы ДО (см. рис. 1). Отметим, что курс k_j «цели» по отношению к судну оператора противоположен относительному курсу k_0 . По рисунку нетрудно установить, что при пересечении судном оператора курса «цели» по корме и при расхождении на параллельных курсах значение d^s будет равным малой полуоси эллипса. Поэтому остается найти d^s для ситуаций, когда судно оператора пересекает курс «цели» по носу. Эта задача решается следующим образом.

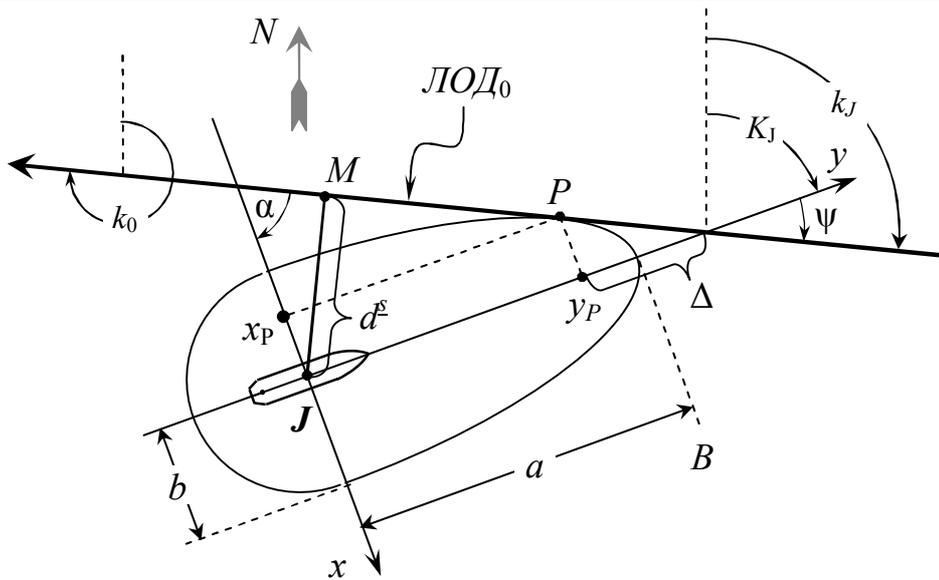


Рисунок 1 – К определению d^s

Жестко свяжем с «целью» координатную систему Jxy , где ось Jy лежит в ДП и направлена в сторону носа «цели», а ось Jx находится в плоскости мидель шпангоута и направлена в сторону правого борта. Уравнение ЛОД₀ в этой системе представим так

$$y = h \cdot x + C \quad (1)$$

В этом уравнении $h = \tan \alpha$. Угол α (рис. 1) находится по формуле $\alpha = 90^\circ - \psi$, где

$$\psi = k_j - K_j = k_0 - K_j \pm 180^\circ,$$

где K_j – курс «цели».

Передняя половина домена опасности является полуэллипсом. Каноническое уравнение эллипса имеет вид

$$\frac{y^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1, \quad (2)$$

где $y \geq 0$.

Касательная к эллипсу линия описывается уравнением

$$\frac{y_p \cdot y}{a^2} + \frac{x_p \cdot x}{b^2} = 1, \quad (3)$$

где x_p, y_p – координаты точки касания P .

Представим это уравнение в виде

$$y = h_E \cdot x + C_E.$$

В этом выражении

$$C_E = a^2 / y_p, \quad h_E = -x_p \cdot a^2 / (y_p \cdot b^2) = \lambda \cdot a^2 / b^2, \quad (4)$$

где $\lambda = x_p / y_p$.

Так как рассматривается касательная к эллипсу ЛОД₀, то h_E должно быть равным h , где $h = \tan \alpha$. Отсюда следует, что

$$\lambda = \left| -h \cdot b^2 / a^2 \right|. \quad (5)$$

Подставляя x_p в (2) и преобразуя, получим уравнение, из которого находится координата y_p точки касания P

$$y_p = a \cdot b \sqrt{1 / (b^2 + \lambda^2 a^2)}. \quad (6)$$

Вторая координата этой точки $x_p = \lambda \cdot y_p$. Предельное значение d^s безопасных расстояний кратчайшего сближения при рассмотренном виде встречи судов будет равно

$$d^s = (y_p + \Delta) \cdot \sin \psi = (y_p + x_p \cdot \operatorname{ctg} \psi) \cdot \sin \psi . \quad (7)$$

Выводы. Предложенный алгоритм может быть использован в СПС при оценке опасности столкновения и выборе маневров расхождения. Следует отметить, что у разных «целей» при разрешении коллизионных ситуаций могут образовываться неодинаковые по размерам домены «полукруг-полуэллипс», чтобы учесть особенности этих судов, такие как их размеры, скорость и др.

В перспективе предполагается разработка метода, позволяющего определять форму и размеры доменов опасности «целей» в зависимости от навигационного статуса и геометрии сближения судна оператора с этими «целями». Это позволит повысить качество рекомендаций, вырабатываемых СПС о действиях по разрешению коллизионных ситуаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goodwin E. M. Statistical Study of Ship's Domain / E. M. Goodwin // Journal of Navigation, vol. 28. No 3, 1975. – P. 328-341.
2. Pietrzykowski Z. Ship fuzzy domain in assessment of navigational safety in restricted areas / Z. Pietrzykowski // Gdynia. – III. Navigational Symposium, Vol. I. – 1999.
3. Szłapczyński R. A unified measure of collision risk derived from the concept of a ship domain / R. Szłapczyński // Journal of Navigation, 59, issue 3. – 2006.
4. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев – Одесса : Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
5. Управление судном : Учебник для вузов / С. И. Демин, Е. И. Жуков, Н. А. Кубачев и др. ; под ред. В. И. Снопкова. – М. : Транспорт, 1991. – 359 с.
6. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.
7. Chee Kuang Tam Collision risk assessment for ships / Chee Kuang Tam and Richard Bucknall // Journal of Marine Science and Technology, Volume 15, Number 3, 2010. – P. 257-270.
8. Zhao J. Comments of ship domains / Z. Wu, F. Wang // Journal of Navigation, 46. – 1993.

Вагущенко О.Л. АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ МЕЖІ БЕЗПЕЧНИХ ВІДСТАНЕЙ РОЗХОДЖЕННЯ ПО ДОМЕНУ «ПІВКОЛО-НАПІВЕЛІПС»

У статті представлений алгоритм визначення межі безпечних відстаней найкоротшого зближення двох суден залежно від геометрії їх зближення по домену небезпеки «півколо-напівеліпс». Такі домени утворюються у суден-цілей. Для різних «цілей» використовуються неоднакові за розмірами домени, що дозволяє врахувати особливості цих суден, такі як розміри, швидкість зближення з судном оператора та ін.

Ключові слова: попередження зіткнень, домен небезпеки, відстань найкоротшого зближення.

Vagushchenko A.L. ALGORITHM OF CALCULATION OF BORDER OF SAFE PASSING DISTANCES ON A DOMAIN «SEMI-CIRCLE SEMI- ELLIPSE»

In the article the algorithm for determination of border of safe distances at closest point of approach of two vessels is represented. This border is determined on the domain of danger «semi-circle semi-ellipse» depending on geometry of vessels approachment. Such domains are built at targets. For different targets different on sizes domains are used. That allows to take into account the features of these targets, such as sizes, speed of approachment with the ship of operator and others.

Keywords: collisions avoidance, domain of danger, distance at closest point of approach.