

**ESTIMATION OF MINIMUM POSSIBLE DISTANCE OF  
VESSELS' APPROACHING****ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОЙ ДОПУСТИМОЙ ДИСТАНЦИИ  
СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ**

**T.Y. Omelchenko**, *senior lecturer*, **K.S. Martinenko**, *PhD student*,  
**Т.Ю. Омельченко**, *старший преподаватель*, **К.С. Мартыненко**,  
*аспирант*,

*National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine*  
*Национальный университет «Одесская морская академия», Украина*

**ABSTRACT**

Procedure of formulating the stochastic constituent of minimum-possible distance of vessels' approaching is considered out, depending on the errors of the radio-location measurings and errors of determination of parameters of approaching vessels. Analytical expression for estimation of value of stochastic constituent of minimum-possible distance of vessels' approaching is got.

**Key words:** safety of navigation, minimum-possible distance, stochastic constituent.

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

Снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах является важнейшей проблемой обеспечения безопасности судовождения. До сих пор аварийность по причине столкновений судов находится на высоком уровне, что требует разработки эффективных мер по предупреждению их столкновений.

Поэтому разработка способов совершенствования процесса расхождения опасно сближающихся судов, в частности корректной оценкой предельно-допустимой дистанцией сближения, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

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

Анализ факторов, определяющих значение предельно-допустимой дистанции сближения судов, произведен в работах [1] и [2], а работа [3] посвящена формированию безопасных доменов.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи)**

Целью статьи является рассмотрение процедуры оценки стохастической составляющей предельно-допустимой дистанции сближения судов.

### Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Как указывается в работе [4] при оценке значения предельно-допустимой дистанции сближения судов учитываются детерминированные и стохастические составляющие. К детерминированным факторам относятся габариты судов, явление присасывания и составляющая минимаксного запаса дистанции, который должен учитывать возможность возникновения непрогнозируемых событий, и такой запас целесообразно выбирать в пределах диаметра циркуляции судна. Стохастическая составляющая определяется погрешностями радиолокационных измерений и погрешностями определения параметров движения судов.

Рассмотрим учет погрешностей радиолокационных измерений. Допустим, измерены дистанция  $L$ , пеленг  $\alpha$ , а также получена величина относительного курса  $K_{ot}$ , содержащие независимые погрешности измерений  $\delta L$ ,  $\delta \alpha$  и  $\delta K_{ot}$ . Учитываем, что дистанция кратчайшего сближения  $L_m$  определяется очевидной зависимостью от величин  $L$ ,  $\alpha$  и  $K_{ot}$ , которая имеет следующее аналитическое выражение:

$$L_m = L \sin(\alpha - K_{ot}).$$

Пренебрегая слагаемыми высшего порядка малости, получим выражение для погрешности в дистанции кратчайшего сближения  $L_m$ , которую обозначим  $\delta L_m$ . Для этого необходимо найти полный дифференциал величины  $L_m$  по переменным  $L$ ,  $\alpha$ ,  $K_{ot}$  и дифференциалы заменить конечными приращениями, т. е.:

$$dL_m = L \cos(\alpha - K_{ot}) d\alpha - L \cos(\alpha - K_{ot}) dK_{ot} + dL \sin(\alpha - K_{ot}),$$

или

$$dL_m = L \cos(\alpha - K_{ot})(d\alpha - dK_{ot}) + dL \sin(\alpha - K_{ot}).$$

В свою очередь, полный дифференциал относительного курса  $dK_{ot}$  определяется параметрами движения обоих судов и дифференциалами параметров. Поэтому в общем виде можно записать:

$$dK_{ot} = (f_{V1} + f_{V2})dV + (f_{K1} + f_{K2})dK.$$

Функции  $f_{V1}$ ,  $f_{V2}$ ,  $f_{K1}$  и  $f_{K2}$  находим из следующих соображений.

Зависимость относительного курса  $K_{ot}$  от параметров движения судов определяется следующим выражением [5]:

$$K_{otn} = \arcsin \left[ \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{\sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos(K_1 - K_2)}} \right],$$

из которого получим частные производные по курсу и по скорости [6,7]:

$$\frac{\partial K_{ot}}{\partial K_1} = \frac{V_1[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_{ot}^2},$$

$$\frac{\partial K_{otn}}{\partial V_1} = -\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K},$$

где  $\Delta K = K_1 - K_2$ ;

$$V_{ot}^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K.$$

Следовательно:

$$dK_{ot} = \frac{V_1[V_1 - V_2 \cos(K_1 - K_2)]}{V_{ot}^2} dK_1,$$

$$dK_{otn} = -\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K} dV_1.$$

Поэтому выражения для функций  $f_{V1}$ ,  $f_{V2}$ ,  $f_{K1}$  и  $f_{K2}$  имеют вид:

$$f_{V1} = -\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K};$$

$$f_{V2} = \frac{V_1 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K};$$

$$f_{K1} = \frac{V_1(V_1 - V_2 \cos \Delta K)}{V_{ot}^2};$$

$$f_{K2} = \frac{V_2(V_2 - V_1 \cos \Delta K)}{V_{ot}^2}.$$

С учетом полученных выражений полный дифференциал  $dK_{ot}$  принимает следующий вид:

$$dK_{ot} = \frac{1}{V_{ot}^2} \sin \Delta K (V_1 + V_2) dV + dK.$$

Переходя к конечным приращениям, окончательно получим выражение для оценки погрешности  $\delta L_m$  в определении дистанции кратчайшего сближения  $L_m$ :

$$\delta L_m = L \cos(\alpha - K_{ot}) \left[ \delta \alpha - \frac{1}{V_{ot}^2} \sin \Delta K (V_1 + V_2) \delta V - \delta K \right] + \delta L \sin(\alpha - K_{ot}).$$

Очевидно, стохастическая составляющая предельно-допустимой дистанции, которая обозначена  $L_d$ , не должна превосходить погрешности дистанции кратчайшего сближения  $\delta L_m$  с вероятностью  $P_d$ , близкой по величине к единице. Стохастическая составляющая предельно-допустимой дистанции  $L_d$  определяется из соотношения  $P(L_d \geq \delta L_m) = P_d$ .

Рассмотрим, как использовать полученную предельно-допустимую дистанцию кратчайшего сближения  $L_d$  для безопасного расхождения судна с целью. Соотношение между дистанцией кратчайшего сближения  $L_m$  и ее предельно-допустимым значением  $L_d$  определяет наличие (или отсутствие) угрозы столкновения судна с целью.

Если имеет место соотношение  $L_m > L_d$ , то, очевидно, при неизменных параметрах движения судна и цели опасность столкновения отсутствует. В противном случае вероятность столкновения отлична от нуля и увеличивается с уменьшением величины  $L_m$ , обращаясь в единицу при  $L_m = 0$ .

В первом приближении зависимость вероятности столкновения  $P_{col}$  от соотношения  $L_m$  и  $L_d$  можно описать следующим образом. Исходим из того, что при  $L_m = 0$  вероятность столкновения  $P_{col} = 1$ , а при  $L_m \geq L_d$  она обращается в 0. Таким свойством обладает следующее выражение:

$$P_{col} = 1 - \frac{L_m}{L_d}, \quad \text{при } L_m \in [0, L_d],$$

$$P_{col} = 0, \quad \text{при } L_m > L_d.$$

Сектор опасных относительных курсов, ведущих к столкновению, как следует из рис., ограничен относительными курсами  $K_{отр}$  и  $K_{отс}$ .

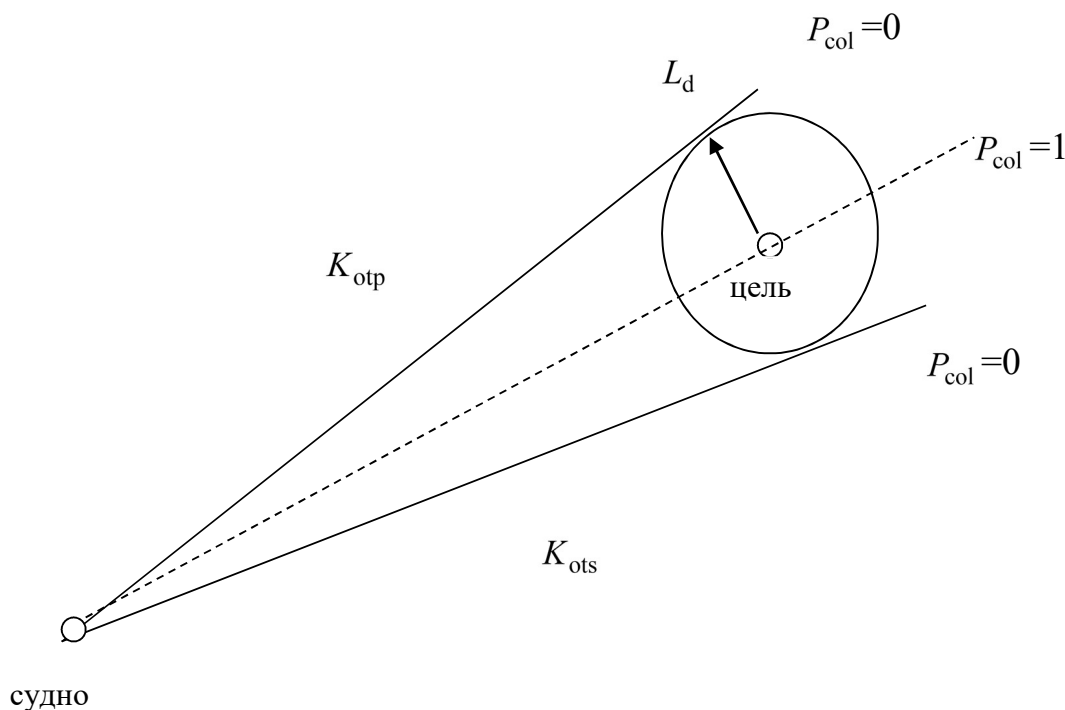


Рис. Сектор опасных относительных курсов

Другими словами, множество опасных относительных курсов уклонения, которое обозначено  $Mn_{colot}$ , включает все относительные курсы, заключенные между значениями  $K_{отр}$  и  $K_{отс}$ , т.е.  $Mn_{colot} = [K_{отр}, K_{отс}]$ .

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

Таким образом, в публикации рассмотрена процедура формирования стохастической составляющей минимально-допустимой дистанции сближения судов, которая зависит от погрешностей радиолокационных измерений и погрешностей определения параметров движения сближающихся судов. Получено аналитическое выражение для оценки значения стохастической составляющей минимально-допустимой дистанции сближения судов.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть преобразование граничных относительных курсов  $K_{отр}$  и  $K_{отс}$  в истинные курсы, воспользовавшись соотношениями между параметрами относительного и истинного движения.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
2. Бинай Кумар Синх. Выбор предельно-допустимой дистанции кратчайшего сближения / Бинай Кумар Синх // Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 38 – 42.
3. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. - 1989. - №5. – С. 29-31.
4. 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.
5. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
6. Булгаков А.Ю. Расчет изменения относительного курса в автоматизированных системах принятия решений / Булгаков А.Ю. // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2013. № 4. – С 111 - 114.
7. Пятаков Э.Н. Учет в автоматизированных системах принятия решений влияния изменения скорости судна на относительный курс / Пятаков Э.Н. // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2013. № 4. – С 140 - 144.