

**ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ГРАНИЦ БЕЗОПАСНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
РАССТОЯНИЯ И ВРЕМЕНИ КРАТЧАЙШЕГО СБЛИЖЕНИЯ***Вагущенко А.Л.**Одесская национальная морская академия*

В статье анализируются особенности определения границ безопасности, используемых при оценке коллизионных ситуаций и выборе маневров для расхождения с судами. Характеризуется влияние погрешностей измерений РЛС и АИС на эти границы. Установлено, что пока наилучшими показателями границ безопасных значений расстояния и времени кратчайшего сближения являются экспертные оценки.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, границы безопасности, кратчайшее сближение, экспертные оценки.

Введение. Несмотря на принимаемые меры, аварийность судов от столкновений остается на высоком уровне. Отсюда следует, что работы, направленные на повышение безопасности расхождения судов, являются актуальными и в настоящее время.

Актуальность исследования. Определение границ d^s и t^s безопасных значений расстояния (ДСРА) и времени (ТСРА) кратчайшего сближения является важным вопросом оценки коллизионных ситуаций. Этот вопрос обсуждается во многих работах, в частности в [1-4]. Особенностью границ d^s и t^s является зависимость от условий плавания. Из-за многочисленности объективных и субъективных факторов, влияющих на мореплавание, правилами МППСС-72 значения d^s и t^s конкретно не установлены. Обязанность их обоснованного выбора возложена на судоводителя. Он назначает эти значения, сообразуясь с условиями плавания, опираясь на рекомендации хорошей морской практики и свой опыт. Из-за субъективности такой оценки вероятность ошибок вахтенного помощника, особенно недостаточно опытного, в выборе d^s и t^s все еще существенна. Одним из путей понижения влияния субъективного фактора в этом случае является выработка системой предупреждения столкновений (СПС) рекомендаций о величине d^s и t^s для различных условий плавания.

Цель статьи. Анализ особенностей и возможных методов определения границ безопасности для оценки коллизионных ситуаций, и выбор из этих методов наиболее эффективного.

Основная часть. Значения d^s и t^s адекватные ситуации, образованной судами и границами судоходной акватории, называются рациональными. Ниже они обозначены d^{sr} и t^{sr} . Осветим возможные варианты получения в СПС таких границ. Так как методика поиска d^{sr} и t^{sr} одинакова, подробно характеризуется выбор первой границы.

В информации, полученной от РЛС и средств радиолокационной прокладки (СРП), место судна оператора представляют координаты места антенны РЛС, а положение «цели» отвечает центру ее радиолокационной отметки. В информации АИС положение судна оператора и «цели» совпадают с местом антенны спутниковой навигационной системы (СНС) на судах. Обычно в задачах судовождения траектории судов представляет перемещение их центров массы (ЦМ), что упрощает математическое описание маневров. Ниже считается, что в СПС по информации датчиков найдены координаты ЦМ судов. Будем считать, что d^s является границей безопасных значений ДСРА между центрами массы судов. При назначении предела d^s рекомендуется учитывать:

- возможные непредвиденные неблагоприятные отклонения «цели» от своего курса;
- погрешности в определении ДСРА;
- размеры судов.

Возможные непредвиденные отклонения «цели» от линии своего пути могут быть весьма значительными, т.к. ее маневр по информации РЛС/СРП обнаруживается через 2÷3 мин., а по данным АИС – через 0.5÷1.0 мин.

Задаваемый предел d^s можно рассматривать как сумму трех компонентов:

$$d^s = \delta^s + \Delta_L + \Delta_\varepsilon, \quad (1)$$

где δ^s – граница безопасных значений дистанции расхождения ближайших оконечностей судов; Δ_L – поправка на размеры судна оператора и «цели»; Δ_ε – погрешность определения ДСРА.

По информации РЛС/СРП найти с удовлетворительной точностью размеры «цели» не удастся. В этом случае обычно поправку Δ_L принимают равной длине L собственного судна, когда она больше одного кабельтова, и один кабельтов, когда L меньше этой величины. Информация АИС позволяет расчетным методом находить Δ_L .

Среднюю квадратичную величину σ_d погрешности определения дистанции кратчайшего сближения, можно рассчитать по формуле:

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_m^2 + (\vec{s} \cdot \sigma_k)^2} \approx \vec{s} \cdot \sigma_k. \quad (2)$$

В этом выражении:

σ_m – средняя квадратичная погрешность (СКП) определения положения «цели» относительно места судна оператора;

σ_k – СКП относительного курса «цели»;

\vec{s} – расстояние по линии относительного движения (ЛЮД) от «цели» до точки кратчайшего сближения с ней.

Средняя квадратичная погрешность места «цели» относительно положения судна оператора равна

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_J^2}, \quad (3)$$

где σ_0 , σ_J – соответственно СКП места судна оператора и «цели».

Значение σ_k при установившемся сглаживании засечек «целей» в СРП в среднем составляет $\pm 1,5 \div 2,5^\circ$ [6]. Из-за значительной величины погрешности σ_k при использовании данных РЛС/СРП даже в стесненных условиях d^s меньше 5 кб. не задают. В открытом море используют d^s из диапазона 15÷30 кб.

Дистанцию 5 кб назначают, когда условия плавания ограничивают маневры в такой степени, что на большем расстоянии разойтись затруднительно. Если же в стесненных водах такая возможность имеется, то обычно d^s устанавливают 10 кб. Больше 30 кб d^s обычно не задают. Этот верхний предел обозначим $\widehat{d^s}$.

При использовании АИС точность определения относительного курса значительно выше, чем по РЛС/СРП. В среднем она характеризуется СКП $\sigma_k \approx \pm 0,5 \div 1,0^\circ$. Кроме того, транспондер АИС передает данные о размере судна и месте расположения на нем антенны СНС, что позволяет рассчитать поправку Δ_L . В результате точнее определяется ДСРА и можно применять, при необходимости, меньшие 5 кб. значения d^s .

Погрешность в определяемом относительном курсе «цели» зависит от многих факторов. Если проанализировать влияние на нее только относительной скорости u сближения судов, то можно установить, что при прочих равных условиях σ_k приближенно обратно пропорциональна u . Учитывая это в формуле (2), получим выражение для СКП ДСРА в зависимости от ТСРА

$$\sigma_d \approx \sqrt{\sigma_m^2 + (\vec{t} \cdot \psi)^2}, \quad (3)$$

где \vec{t} – время до кратчайшего сближения с «целью» ($\vec{t} = \vec{s} / u$); $\psi = \sigma / u$.

На рис. 1 представлены усредненные графики [7] для нахождения σ_d по данным GPS (DGPS) о положении, скорости и курсе собственного судна и «цели», когда данные о «цели» получены по линии АИС.

В открытом море можно использовать наивысший уровень безопасности, при котором потери ходового времени на маневрирование вполне приемлемы. В этом случае задают d^s близкое к \hat{d}^s .

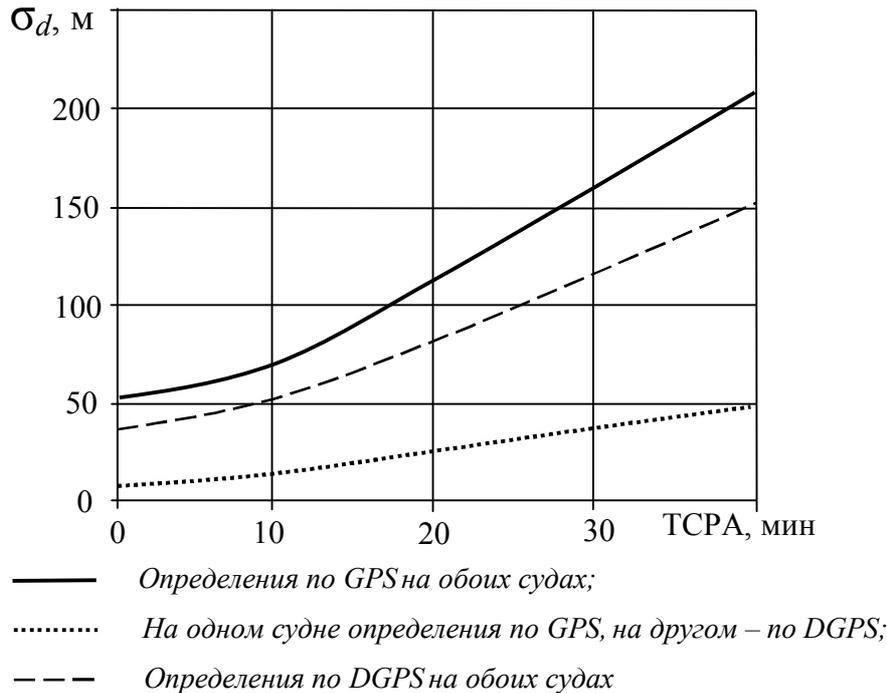


Рисунок 1 – Точность определения ДСПА по данным АИС

В стесненных водах такая граница может оказаться больше ширины безопасной полосы движения, так что разойтись на такой дистанции будет невозможно. Уменьшение размеров акватории из-за наличия навигационных препятствий и судов заставляет снижать d^s вплоть до наименьшей допустимой нормы, чтобы снизить вероятность чрезмерного сближения с ними при выполнении маневра расхождения.

Минимальная допустимая норма \check{d}^s параметра d^s находится по наименьшей безопасной дистанции $\check{\delta}^s$ между ближайшими оконечностями судов. Если, определяя $\check{\delta}^s$, исходить из расстояния, на котором возникает «присасывание» при обгоне «цели» на параллельном курсе, то можно считать

$$\check{\delta}^s = 3 \cdot B_M,$$

где B_M – ширина меньшего из расходящихся судов.

Соответствующая $\check{\delta}^s$ норма \check{d}^s складывается из $\check{\delta}^s$ и поправок, учитывающих размеры судов и погрешность определения ДСПА.

В стесненных водах не всегда может быть удовлетворено требование, учета при назначении d^s возможных неблагоприятных действий «цели». Более реальным здесь является условие минимизации риска столкновения в предположении нормального

выполнения судами своих функций. Наименьшему риску в этом случае соответствует расхождение судов на максимальной допустимой в сложившейся ситуации дистанции.

Находящаяся в диапазоне $[\tilde{d}^s, \hat{d}^s]$ наибольшая дистанция, на которой возможно расхождение в конкретных условиях плавания, называется рациональной границей безопасности и обозначается d^{sr} . На основе опыта мореплавания установлено, что при $d^s = \hat{d}^s$ у судна оператора достаточно свободного пространства для предупреждения столкновения даже при непредвиденных действиях «цели». При d^s из диапазона $[\tilde{d}^s, \hat{d}^s]$ такого пространства может и не быть, но при нормальном функционировании судов удается обеспечивать безопасность движения. И только на расстоянии $d^s < \tilde{d}^s$ расхождение недопустимо из-за очень большой вероятности столкновения.

При выработке рекомендации о d^{sr} и t^{sr} должна учитываться зависимость этих границ от многих факторов, в частности:

- географического положения (стесненности района плавания);
- размеров судов;
- маневренных характеристик судна оператора;
- интенсивности движения судов;
- состояния видимости.

Значения d^{sr} и t^{sr} можно, например, рассчитывать по значениям параметров, характеризующие названные выше факторы. Из-за многочисленности таких параметров и неоднозначности их влияния на искомые величины пока не удалось найти математические процедуры, позволяющие получать адекватные условиям плавания значения d^{sr} , t^{sr} расчетным методом.

Другой путь определения в СПС значений d^{sr} и t^{sr} базируется на использовании опыта мореплавателей. Судоводители выработали вполне определенные количественные значения d^{sr} и t^{sr} для различных районов плавания. Логично предположить, что эти оценки отражают целесообразный критерий безопасности. Поэтому на основе представительного опроса можно получить для судов различных размеров и для основных районов плавания обобщенные оценки d^s , t^s и их распределение. Наиболее часто используемые для определенных размеров судов в рассматриваемой акватории значения d^s , t^s могут быть приняты в качестве рациональных. При таком подходе косвенно учитывается присущая районам интенсивность движения судов. При нахождении d^{sr} , t^{sr} можно не опрашивать многих судоводителей, а опираться на мнение только самых опытных из них (экспертов). Прибегнув к их консультациям, также можно выполнить поставленную задачу.

Кроме границы безопасности t^s , отмечающей момент возникновения коллизионной ситуации, желательно в СПС находить и границы t^l , t^u заблаговременных и срочных маневров. Необходимость использования t^u возникает чрезвычайно редко, так как все предпринимаемые международными и другими морскими организациями меры направлены на то, чтобы чрезвычайных ситуаций расхождения вообще не было. Нижняя граница t^l заблаговременных действий четко или нечетко должна устанавливаться при каждом расхождении. Ее можно принять равной половине t^s .

Выводы. Безопасность процесса расхождения напрямую определяется минимальной дистанцией $\tilde{\delta}$ между ближайшими оконечностями судов. Соответствующая d^s величина δ^s может считаться показателем уровня безопасности. Повышение этого уровня в среднем сопровождается ростом времени маневра расхождения и необходимого для него размера акватории.

Наилучшими значениями границ безопасности пока являются оценки экспертов, соответствующие конкретным районам плавания, размерам судов и состоянию

видимости. Для получения таких оценок проводятся консультации с опытными капитанами.

Из-за трудности учета всех факторов, влияющих на процесс расхождения в разных условиях плавания, вырабатываемые СПС в соответствии с той или иной методикой значения d^{sr} и t^{sr} должны считаться рекомендуемыми. Судоводитель в любом случае обязан производить анализ обстановки и на его основе может принять или отвергнуть рекомендуемые СПС значения.

Получение сводной таблицы экспертных оценок границ безопасных расстояний и времени кратчайшего сближения, соответствующих конкретным районам плавания, размерам судов и состоянию видимости, является целью нашей дальнейшей работы. В перспективе эти оценки могут быть использованы в системах поддержки принятия решений по расхождению с судами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боул А. Г. Пособие по использованию средств автоматической радиолокационной прокладки. Пер. с англ. / А. Г. Боул, К. Д. Джоунс – Л. : Судостроение, 1986. – 128 с.
2. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев – Одесса : Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
3. Таратынов В. П. Расчет момента «критического положения» судов и понятие «района непосредственной близости» / В. П. Таратынов // Судовождение. – 1975. – № 16. – С. 68-75.
4. 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.
5. Zhao J. The calculating model of critical CPA in uncoordinated action / J. Zhao // The Journal of Dalian Maritime University, vol. 14, no. 3. – 1988. – P. 42-47.
6. Жерлаков А. В. Радиолокационные системы предупреждения столкновений судов / А. В. Жерлаков, Н. С. Зимин, О. В. Кононов. – Л. : Судостроение, 1984. – 200 с.
7. Кургузов С. С. Определение реальной дистанции расхождения судов по информации АИС / С. С. Кургузов, М. П. Хаджинов // Эксплуатация морского транспорта : Сб. науч. трудов ГМА – СПб. : ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2009. – С. 31-33.

Вагушенко О.Л. ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ МЕЖ БЕЗПЕЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ВІДСТАНІ І ЧАСУ НАЙКОРОТШОГО ЗБЛИЖЕННЯ

У статті аналізуються особливості визначення меж безпеки, використовуваних при оцінці колізійних ситуацій і виборі маневрів для розходження з суднами. Характеризується вплив погрешностей вимірювань РЛС і АІС на ці межі. Встановлено, що поки найкращими показниками меж безпечних значень відстані і часу найкоротшого зближення є експертні оцінки.

Ключові слова: попередження зіткнень, межі безпеки, найкоротше зближення, експертні оцінки.

Vagushchenko A.L. FEATURES OF CHOICE OF SAFE LIMITS OF DISTANCE AND TIME OF CLOSEST POINT OF APPROACH

The features of determination of safety scopes, used for collision situations assessment and choice of manoeuvres for passing ships, are analyzed in the paper. Influence on these scopes of the radar and AIS errors is characterized. It is set that expert estimations are the best for limits of safe values of distance and time of closest point of approach.

Keywords: collision avoidance, scopes of safety, shortest approchement, expert estimations.