

**ZESZYTY NAUKOWE NR 2 (74)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE**

EXPLO-SHIP 2004

Евгений М. Лушников

**Использование систем AIS для обеспечения
навигационной безопасности**

Ключевые слова: AIS, радар, навигационная безопасность, точность навигации

В статье рассматривается вопрос об использовании AIS для предотвращения столкновений судов. Представлено математическое описание точности определения CPA для радара и системы AIS. Произведено их сравнение. Показано, что в пределах зоны обсервации и зоны маневрирования AIS более эффективна. Радар имеет преимущество лишь в зоне чрезмерного сближения при условии, что система AIS ретранслирует координаты от СНС в режиме GPS.

The Use of AIS for the Maintenance of Navigational Safety

Key words: AIS, radar, safety of navigation, accuracy of navigation

The mathematical description of accuracy as the basic criterion of the safety at CPA with the use of a radar and AIS is presented. The accuracy of a radar and that of an AIS in the mode of coordinates relayed from GPS and DGPS is compared. It is proved that within the limits of an observation zone and a zone of maneuvering the AIS is always more effective, than the radar, while and the radar is more effective in a zone of excessive approach on condition that the AIS uses the GPS.

Введение

Правила предупреждения столкновения судов МППСС-72 рекомендуют заблаговременное определение элементов движения встречных судов и своевременное выполнение маневра на расхождение. В комментариях к этим правилам приводится схема (см. рис. 1), поясняющая принципы заблаговременности и своевременности. Зона между кругами дальности 12 и 8 миль квалифицируется как зона обсервации, из чего следует, что в этой зоне необходимо производить наблюдение и определение элементов движения встречных судов. В зоне между кругами дальности 8 и 4 мили выполняется маневрирование. Зона от 4-х мильного круга дальности [1] считается зоной чрезмерного сближения. Это означает, что маневр должен быть выполнен до пересечения 4-х мильного круга дальности.



Рис. 1. Схема действий при расхождении встречных судов
 Fig. 1. Circuit of kind zone for collisions preventing

1. Критерии безопасности расхождения судов с использованием радара

В условиях плохой видимости задачи расхождения решаются в основном с использованием РЛС, которые при хорошей видимости включать не принято. Глазомерная оценка не отличается очень высокой точностью, а при больших расстояниях даже и РЛС позволяет прогнозировать СРА (основной критерий безопасности расхождения) с достаточно низкой точностью [2, 3, 4]. От точности определения СРА и ТСРА зависит надёжность оценки ситуации как опасной или безопасной.

Величина СРА определяется [2, 3, 4] из выражения:

$$CPA = \frac{D_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\Delta D}{D_2 \cdot \Delta \Pi}\right)^2}} \quad (1)$$

где:

D_1 и D_2 – дистанции до встречного судна в моменты времени t_1 и t_2 соответственно;

$\Delta D = D_1 - D_2$ – изменение дистанции за время между наблюдениями;

$\Delta \Pi = \Pi_1 - \Pi_2$ – изменение пеленга за время между наблюдениями.

При малом изменении пеленга $\Delta \Pi$ (опасность столкновения значительна) выражение может быть упрощено ещё более:

$$CPA = \frac{D_1 D_2 \cdot \Delta \Pi}{\Delta D} \quad (2)$$

Как видно из выражения (2) точность оценки ситуации зависит от величин приращения $\Delta \Pi$ и ΔD , в связи с чем, отрезок времени между наблюдениями рекомендуется иметь не менее 3 минут. Средняя квадратическая погрешность определения CPA [6] определяется из выражения:

$$m_{CPA} = 1.41 \sqrt{\left(\frac{m_D}{\Delta D}\right)^2 + \left(\frac{m_{\Delta \Pi}}{\Delta \Pi}\right)^2} \cdot CPA \quad (3)$$

где:

m_{CPA} – СКП определения CPA;

m_D – СКП измерения дистанции;

$m_{\Delta \Pi}$ – СКП определения разности пеленгов.

Чем меньше m_{CPA} , тем больше доверия оценке ситуации и принятому на этой основе решению – маневрировать или не маневрировать. Из выражения (3) видно, что при прочих равных условиях степень доверия величине CPA тем больше, чем больше ΔD и $\Delta \Pi$, которые увеличиваются с увеличением временного интервала наблюдения.

Стандартные погрешности измерения дистанции m_D и измерения пеленга m_{Π} для конкретного типа радара известны, что позволяет однозначно оценить степень доверия значению найденного критерия CPA. Риск

ошибочной оценки ситуации расхождения со встречным судном довольно значителен и не всегда позволяет заблаговременно оценить ситуацию и принять правильное решение. Сказанное хорошо видно из таблицы 1, которая представлена в [4, 5].

Таблица 1
Риск ошибочной оценки радиолокационной информации (%) при $\Delta D = 1$ миль
Risk of an erroneous estimation of the radar-tracking information (%) at $\Delta D = 1$ Nm

Вид зоны			Расстояние кратчайшего сближения					
D_1	D_2	D_{cp}	D_{min}					
(12 – 8) миль			0.5	1	1.5	2	2.5	3
12	11	11.5	38.1	27.2	19.3	11.3	6.6	3.6
11.5	10.5	11	37	25.3	16.1	9.4	5.0	2.2
11	10	10.5	35.8	23.3	13.8	7.4	3.6	1.6
10.5	9.5	10	34.3	21.1	11.4	5.5	2.8	0.9
10	9	9.5	32.8	18.7	9.2	3.9	1.4	0.4
9.5	8.5	9	31	16.1	6.9	2.5	0.7	0.2
9	8	8.5	28.9	13.3	4.8	1.4	0.3	0.1
(8 – 4) миль			0.5	1	1.5	2	2.5	3
8	7	7.5	23.7	7.7	1.6	0.2	0.0	0
7.5	6.5	7	20.7	5.1	0.7	0.1	0	0
7	6	6.5	17	2.9	0.2	0	0	0
6.5	5.5	6	13.2	1.3	0.1	0	0	0
6	5	5.5	9.1	0.4	0	0	0	0
5.5	4.5	5	5.3	0.1	0	0	0	0
5	4	4.5	2.3	0	0	0	0	0

Из этой таблицы видно, что именно в наиболее опасных ситуациях, когда D_{min} мала, степень доверия радиолокационной информации минимальна. Именно по этой причине представляют существенный интерес все альтернативные способы получения надёжной информации для принятия решения о безопасном расхождении судов.

Развитие современных средств коммуникации на базе цифровой техники открывает большие возможности снижения аварийности судов. Концепция развития AIS, разработанная под контролем ИМО, предполагает обмен текущей информацией обо всех важнейших данных характеризующих навигационное состояние судна. Информация о высокоточных непрерывно подаваемых обсервованных координатах от спутниковых

приёмоиндикаторов сегодня не используется в полной мере для повышения безопасности мореплавания. Прежде всего, это относится к решению задач расхождения судов.

2. Использование AIS для определения CPA

В условиях современной навигации системы GPS дают непрерывные во времени обсервации, а координаты, поступающие в базу данных в цифровой форме, без дополнительной обработки готовы к ретрансляции их по каналу AIS. Наличие в базе данных текущих значений координат своего и встречного судов даёт возможность оценки степени безопасности расхождения со встречным судном путём расчёта CPA и TCPA. По известным координатам φ_c, λ_c и φ_g, λ_g в моменты времени t_1 и t_2 дистанция кратчайшего сближения CPA и время TCPA может быть рассчитано с использованием выражения (1) или (2). Для этого расстояния D_1 и D_2 , изменение расстояния ΔD , и изменение пеленга $\Delta \Pi$ необходимо выразить через координаты судов в моменты времени t_1 и t_2 с использованием формул:

$$\begin{aligned}
 D_1 &= \sqrt{\Delta\varphi_1^2 + \Delta\lambda_1^2 \cos^2 \varphi_{cp1}} \\
 D_2 &= \sqrt{\Delta\varphi_2^2 + \Delta\lambda_2^2 \cos^2 \varphi_{cp2}} \\
 \Delta D &= D_1 - D_2 \\
 \Delta \Pi &= \frac{D_1 \Delta\lambda_2 \cos \varphi_{cp2} - D_2 \Delta\lambda_1 \cos \varphi_{cp1}}{D_1 \cdot D_2 \cdot \cos \Pi_1}
 \end{aligned} \tag{4}$$

где:

$$\Delta\varphi_1 = \varphi_{C1} - \varphi_{B1};$$

$$\Delta\lambda_1 = \lambda_{C1} - \lambda_{B1};$$

$$\Delta\varphi_2 = \varphi_{C2} - \varphi_{B2};$$

$$\Delta\lambda_2 = \lambda_{C2} - \lambda_{B2};$$

$\varphi_{C1}, \lambda_{C1}$ – широта и долгота своего судна в момент времени t_1 ;

$\varphi_{C2}, \lambda_{C2}$ – широта и долгота своего судна в момент времени t_2 ;

$\varphi_{B1}, \lambda_{B1}$ – широта и долгота своего судна в момент времени t_1 ;

$\varphi_{B2}, \lambda_{B2}$ – широта и долгота своего судна в момент времени t_2 ;

$\varphi_{cp1}, \varphi_{cp2}$ – средние широты в моменты времени t_1 и t_2 ;

Π_1 – пеленг встречного судна в момент первого наблюдения;
 $\Delta\Pi$ – изменение пеленга за время наблюдения.

Величина средней квадратической погрешности $m_{D_{\min}}$ при определениях по радару, полученная из выражения (3) с учётом (2) вид:

$$m_{D_{\min}}^r = 1.41 \sqrt{\frac{m_D^2 \Delta\Pi^2}{\Delta D^2} \cdot \frac{D_1^2 D_2^2}{\Delta D^2} + m_{\Pi}^2 \cdot \frac{D_1^2 D_2^2}{\Delta D^2}} \quad (5)$$

Учитывая, что в наиболее интересных ситуациях опасного сближения всегда имеет место соотношение:

$$\frac{m_D^2 \cdot \Delta\Pi^2}{\Delta D^2} \ll m_{\Pi}^2, \quad (6)$$

выражение (5) можно упростить к виду:

$$m_{D_{\min}}^r = \frac{1.41 \cdot D_1 D_2 \cdot m_{\Pi}}{\Delta D} \cong \frac{1.41 \cdot D_{cp}^2 \cdot m_{\Pi}}{\Delta D} \quad (7)$$

Величина $m_{D_{\min}}$ при определениях D_{\min} с помощью AIS, полученная с точностью до слагаемых второго порядка малости имеет вид:

$$m_{D_{\min}}^{AIS} = \frac{2 \cdot \sqrt{D_1 D_2} \cdot m_0}{\Delta D} \cong \frac{2 \cdot D_{cp} \cdot m_0}{\Delta D} \quad (8)$$

где m_0 – круговая погрешность обсервации по GPS.

Выражение (8) можно переписать и иначе:

$$m_{D_{\min}}^{AIS} = k \cdot m_{D_{\min}}^r \quad (9)$$

где k – коэффициент снижения погрешности $m_{D_{\min}}$ получаемого параметра D_{\min} от AIS по сравнению с таковым у радара:

$$k = \frac{\sqrt{2} m_0}{D_{cp} \cdot m_{\Pi}} = \frac{1.41 \cdot m_0}{D_{cp} \cdot m_{\Pi}} \quad (10)$$

Из анализа выражения (8) видно, что коэффициент снижения тем меньше, чем меньше величина круговой погрешности обсервации m_0 спутникового приёмника, чем больше погрешность курсоуказателя и чем больше величина среднего расстояния D_{cp} до наблюдаемого судна.

Это означает, что система AIS дает повышение точности именно там, где РЛС мало эффективна, а именно на этапе обсервации между кругами дальности 12 и 8 миль и в зоне маневрирования от 8 до 4 миль.

Величина коэффициента снижения погрешности m_{Dmin} для случая $m_0 = 50$ м., $D_{cp} = 4$ мили, $m_{II} = 0.5^\circ$ определяется величиной $k = 1$.

Для случая $m_0 = 50$ м., $D_{cp} = 8$ миль, $m_{II} = 0.5^\circ$ величина коэффициента снижения погрешности $k = 0.5$.

Для случая $m_0 = 50$ м., $D_{cp} = 12$ миль, $m_{II} = 0.5^\circ$ величина коэффициента снижения погрешности $k = 0.33$.

В зоне чрезмерного сближения РЛС оказывается более эффективной, чем AIS, ретранслирующая координаты от GPS.

Если AIS работает в режиме ретрансляции координат от станций DGPS, то в этом случае при $m_0 = 3 - 5$ метров РЛС оказывается вообще не конкурентоспособной с AIS вплоть до момента расхождения судов.

Заключение

Использование системы AIS для решения задач расхождения судов позволяет радикально решить задачу своевременного и заблаговременного маневрирования судов с целью предотвращения их столкновения.

РЛС может быть эффективнее системы AIS лишь непосредственно в зоне чрезмерного сближения при условии, что система AIS ретранслирует координаты, полученные в режиме GPS.

Литература

1. *Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972*; адм. № 9018 ГУНИО МО СССР, 1982, 83с.
2. Лушников Е.М., Рамм В.О., *Безопасность мореплавания и ведения промысла*. Москва: Изд. "Колос" 1994, 384с.
3. Lushnikov E., Ferlas Z., *Bezpieczeństwo żeglugi*, Szczecin: Wydawnictwo WSM 1999, 234 s.
4. Lushnikov E., *Ship's navigational safety*, Szczecin, Maritime University 2001, 140 str.
5. Лушников Е., *Навигационная безопасность мореплавания* г. Калининград изд. БГАРФ 2003г, 155 стр.

6. Лушников Е., Юзвический П., *К вопросу об оценке степени доверия радиолокационной информации*. Сборник научных трудов "Теория и практика судовождения" Выпуск 40 Калининград, БГАРФ 2000 г., с. 92-102.
7. Лушников Е.М., *Достоверность информации о курсе и скорости в системах АРПА* Научно-техническая конференция «Транском – 2003» Санкт-Петербург СПГУВК 2003 г.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.

Recenzenci

dr hab. inż. Stanisław Kołaczyński, prof. AMW
prof. dr hab. inż. kpt.ż.w. Stanisław Gucma

Adres Autora

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Łusznikow
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nawigacji Morskiej
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin