

С. Н. Некрасов,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

К. И. Ефимов,
ассистент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

Д. В. Трененков,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ ПРИ ПРОХОДЕ УЗКОСТИ

NAVIGATIONAL RISKS CALCULATION WHEN MODELING OF SAILING THROUGH THE NARROWS

Статья посвящена вопросу безопасного плавания судов в стесненных условиях. Произведена оценка влияния гидрометеорологических факторов на безопасность судовождения и расчет навигационных рисков прохода судна по участку со стесненными условиями.

The paper consider the problem of safety of ships piloting through the narrows. The estimation of hydrometeorology factors for safety and calculation of navigational risks for ships passage through the narrows are made.

Ключевые слова: определение навигационных рисков, анализ навигационной безопасности, определение ширины маневренной полосы движения судна.

Key words: navigational risks calculation; analysis of navigation safety; estimation of the maneuvering lane width for ship's moving.

ИМИТАЦИОННОЕ моделирование применяется для оценки навигационных рисков при проектировании и строительстве сооружений и объектов, эксплуатация которых сопряжена с дополнительными рисками для судовождения. Одним из главных параметров, определяющих область возможного нахождения судна, является ширина маневренной полосы движения судна. Она зависит от размерений судна и углов сноса. Кроме этого, целесообразно рассматривать уклонение центра тяжести (ЦТ) судна от эталонной (заданной) траектории $\Delta x(t)$.

Будем полагать, что процесс $\Delta x(t)$ распределен по нормальному закону и имеет некоторые значения математического ожидания ($m_{\Delta x}$) и дисперсии ($\sigma_{\Delta x}^2$).

Помимо процесса $\Delta x(t)$, положение судна на траектории движения будет характеризоваться шириной маневренной полосы движения $B(t)$ при угле дрейфа $C \neq 0$ [2].

Тогда совместный учет статистических характеристик процессов $\Delta x(t)$ и $B(t)$, характеризующих качество управления судном, позволяет оценить изменчивость параметров траектории движения судна, а значит, и навигационные риски прохода узкости.

Процессы $\Delta x(t)$ и $B(t)$ статистически независимы, поэтому оценка общего среднего значения изменчивости траектории судна составит

$$m_{\Sigma} = m_{\Delta x} + m_B, \quad (1)$$

где $m_{\Delta x}$ — математическое ожидание изменчивости ЦТ судна;

m_B — математическое ожидание изменчивости ширины полосы движения судна;

m_{Σ} — суммарное математическое ожидание.

Значение дисперсии изменчивости полосы траектории движения судна составит

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sigma_{\Delta x}^2 + \sigma_B^2, \quad (2)$$

где $\sigma_{\Delta x}^2$ — дисперсия изменчивости ЦТ судна;
 σ_B^2 — дисперсия изменчивости ширины полосы движения судна;
 σ_{Σ}^2 — общая дисперсия изменчивости параметров движения судна.

Для оценки навигационных рисков прохода судном узкости можно применить «правило трех сигм», которое позволяет оценивать вероятность свершения события:

$$P = \{(x - m_B) \geq k \sigma_B\} = 2\Phi(k), \quad (3)$$

где $\Phi(k)$ — функция Лапласа;
 $k = 1, 2, 3, \dots$ — число.

В частности, при $k = 1$ $P = 0,673$, при $k = 2$ $P = 0,950$, при $k = 3$ $P = 0,997$.

Известно, что среднее квадратическое отклонение изменчивости ширины маневренной полосы движения имеет вид [2]:

$$\frac{\sigma_B}{B_C} = \frac{\sigma_C}{57,3^\circ} \left| \frac{L_C}{B_C} \cos C - \sin C \right|. \quad (4)$$

Суммарное математическое ожидание изменчивости параметров движения судна составит

$$\frac{m_{\Sigma}}{B_C} = \frac{L_C}{B_C} \sin m_C + \cos m_C + m_{\Delta x}. \quad (5)$$

На основании (4) дисперсия составит

$$\sigma_B^2 = \left(B_C \frac{\sigma_C}{57,3} \left| \frac{L_C}{B_C} \cos C - \sin C \right| \right)^2. \quad (6)$$

Полученные результаты позволяют оценить вероятность изменения суммарной маневренной полосы в пределах допустимой ширины судового хода:

$$P\{a_1 < x < a_2\} = \Phi\left(\frac{a_2 - m_{\Sigma}}{\sigma_{\Sigma}}\right) - \Phi\left(\frac{a_1 - m_{\Sigma}}{\sigma_{\Sigma}}\right), \quad (7)$$

где a_1, a_2 — границы ширины судового хода.

Например, пусть получены значения $m_{\Delta x} = 5$ м, $\sigma_{\Delta x} = 1$ м, $m_C = 2^\circ$, $\sigma_C = 2^\circ$.

Для соотношения размеров судна $\frac{L_C}{B_C} = 10$ и $m_C = 2^\circ$ в табл. 2 [2] можно определить $\frac{m_B}{B_C} = 1,35$, следовательно, $m_B = 1,35B_C$. При ширине судна (B_C) = 16,5 м математическое ожидание ширины полосы движения судна составит $m_B = 22,275$ м. А общее значение m_{Σ} составит $m_{\Sigma} = 5 + 22,275 = 27,275$ м.

Для соотношения размеров судна $\frac{L_C}{B_C} = 10$ и $\sigma_C = 2^\circ$ в табл. 3 [2] можно определить $\frac{\sigma_B}{B_C} = 0,348$, следовательно $\sigma_B = 0,348B_C$. При ширине судна (B_C) = 16,5 м среднее квадратическое отклонение ширины маневренной полосы движения судна $\sigma_B = 5,742$ м. По формуле (3) находится $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{1^2 + 5,742^2} = \sqrt{33,97} = 5,828$ м.

Тогда значение вероятности безопасного прохода узкости при допустимой ширине 40 м составит

$$2\Phi\left(\frac{a-m_{\Sigma}}{\sigma_{\Sigma}}\right)=2\Phi\left(\frac{40-27,275}{5,828}\right)=2\Phi\left(\frac{12,725}{5,828}\right)=2\Phi(2,183).$$

В приложении 2 [1] находятся значения функции Лапласа $\Phi(2,183) = 0,486$, для $2\Phi(2,183) = 0,972$. Следовательно, значение навигационного риска при проходе узкости шириной 40 м составляет $1 - 0,972 = 0,028 = 2,8 \cdot 10^{-2}$.

Выводы

Уточнены основные навигационные параметры, характеризующие безопасность прохода судов в узкости.

Показана методика оценки навигационных рисков с учетом изменчивости основных навигационных параметров движения судна.

Список литературы

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. — М.: КНОРУС, 2010. — 480 с.
2. *Некрасов С. Н.* Оценка навигационных рисков при проектировании Ново-Адмиралтейского моста / С. Н. Некрасов, Ю. Г. Андреев. — 2012.
3. *Справочник по вероятностным расчетам* / Г. Г. Абезгауз [и др.]. — М.: Воениздат, 1970.