

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ
СУДОВОЖДЕНИЯ

Одной из актуальных является проблема обеспечения безопасности судоходства в стесненных районах плавания. Ее решение предусматривает снижение числа аварий, возникающих по причине посадок судов на мель, навалов на причал и столкновений, чего можно достичь с помощью математической модели формирования вероятности безаварийного плавания судна P_b по выбранному маршруту. Такая модель позволяет выявить существенные факторы и предупредить их отрицательное влияние на процесс судоходства.

Вопросы по оценке надежности судоходства в случае, когда судно следовало мимо выделяющихся (точечных) навигационных опасностей рассматривались в работе [1], а работа [2] посвящена обоснованию критерия навигационной безопасности. Настоящая публикация посвящена вопросу формализации безопасности судоходства.

Целью статьи является разработка процедуры, позволяющей количественно оценивать безопасность судоходства.

Безопасность судоходства определяется возникающими авариями группы судов, причем группа судов оценивается с точки зрения исследования и может содержать от одного судна до всего мирового флота.

Аварии судов в процессе судоходства возникают по причине посадок на мель и навалов из-за позиционных погрешностей, столкновений судов и посадок на мель и навалов из-за погрешностей управления.

В общем случае аварийность характеризуется потоком аварийных событий по каждой из указанных причин. Следует отметить, что упомянутые три потока аварийных событий являются независимыми и в первом приближении их можно рассматривать, как простейшие (стационарные пуассоновские) потоки. Поэтому и их суммарный поток также можно считать простейшим.

Так как простейший поток обладает свойствами стационарности, ординарности и является потоком без последствия, то число аварийных событий суммарного потока, возникающих в течение интервала времени τ , распределено по закону Пуассона с математическим ожиданием [3]:

$$a_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma} \tau,$$

где λ_{Σ} – плотность суммарного потока, которая равна среднему числу аварийных событий, возникающих в единицу времени.

Основной характеристикой безопасности судовождения является вероятность безаварийного плавания $P_b(\tau)$, которая является вероятностью отсутствия аварийного события в течение интервала времени τ . В общем случае вероятность того, что за время τ произойдет ровно n аварийных событий при их распределении по закону Пуассона, равна:

$$P_n(\tau) = \frac{(\lambda_{\Sigma} \tau)^n}{n!} e^{-\lambda_{\Sigma} \tau}.$$

Выражение вероятности безаварийного плавания $P_b(\tau)$ получим, принимая в предыдущем выражении значение $n = 0$. Следовательно

$$P_b(\tau) = P_0(\tau) = \frac{(\lambda_{\Sigma} \tau)^0}{0!} e^{-\lambda_{\Sigma} \tau}, \text{ или}$$

$$P_b(\tau) = e^{-\lambda_{\Sigma} \tau}.$$

Промежуток времени T между двумя последовательными произвольными аварийными событиями в простейшем суммарном потоке, т.е. время безаварийного плавания, распределено по экспоненциальному закону с плотностью распределения

$$f(t) = \lambda_{\Sigma} e^{-\lambda_{\Sigma} t}.$$

Математическое ожидание времени безаварийного плавания $M(T)$ и его дисперсия $D(T)$ определяются выражениями:

$$M(T) = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}, \quad D(T) = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}^2}.$$

Интенсивность суммарного потока

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3,$$

где λ_1 – интенсивность аварийных событий по причине посадок на мель и навалы из-за позиционных погрешностей; λ_2 – интенсивность аварийных событий по причине столкновений судов; λ_3 – интенсивность аварийных событий по причине посадок на мель и навалы из-за погрешностей управления.

Интенсивности λ_1 , λ_2 и λ_3 могут быть определены по статистическим данным или оценены с помощью математических моделей. Для выявления факторов, влияющих на вероятность безаварийного плавания, и разработки мер по обеспечению необходимого уровня

безопасности судовождения необходимо создать математические модели для оценки интенсивностей λ_1 , λ_2 и λ_3 .

Рассмотрим математическую модель для оценки интенсивности λ_1 . В работе [4] рассмотрена процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна P_b в стесненных условиях по выбранному маршруту, причем получено выражение для вероятности

$$P_b = \exp \left\{ S \sum_{i=1}^{\Delta b} \varphi(b_i) \ln [F(L_{sti}) + F(b_i - L_{sti})] \right\},$$

которая зависит от основных существенных факторов: характеристики стесненности $\varphi(b)$ допустимой области плавания; характеристик точности, обеспечиваемой системой навигационного оборудования, выражающихся в параметрах функции двумерного распределения векториальной погрешности $F(b)$; выбора программной траектории в допустимой области плавания, что влияет на соотношение нормальных расстояний L_{st} и $b - L_{st}$, и длины программной траектории s .

Таким образом, каждая проводка судна по маршруту в стесненных условиях сопряжена с вероятностью возникновения аварии $1 - P_b$. Поэтому число a_1 возможных посадок судов на мель по причине влияния позиционных погрешностей за интервал времени τ зависит от частоты попадания судна в стесненные воды q :

$$a_1 = \lambda_1 \tau = (1 - P_{bm}) q \tau,$$

где P_{bm} – осредненное значение вероятности безаварийного плавания судна P_b в стесненных условиях.

Из последнего выражения следует

$$\lambda_1 = (1 - P_{bm}) q,$$

причем частоту q в первом приближении можно оценить отношением среднего времени пребывания судов в стесненных водах T_m к среднему эксплуатационному периоду T_e в течение года. В среднем морские суда в стесненных водах находятся 20 % эксплуатационного времени.

Следовательно, окончательно

$$\lambda_1 = 0,2(1 - P_{bm}).$$

Очевидно, снижение интенсивности λ_1 возможно уменьшением осредненной вероятности P_{bm} путем выбора требуемых значений существенных параметров, от которых зависит P_{bm} .

Для оценки вероятности безаварийного плавания судна P_b производилось имитационное моделирование с помощью разработанной компьютерной программы, которая генерирует случайные траекторий движения судна относительно программной, для чего относительно каждой обсервованной точки случайным образом формируется векториальная погрешность, подчиненная распределению Гаусса с заданной с.к.о. и нулевым математическим ожиданием. Она определяет истинное место судна, а соединение всех таких точек дает реализацию случайной траектории. Программой генерируется 1000 таких траекторий и проверяется принадлежность каждой из них к допустимой области безопасного плавания D (рис. 1). Доля траекторий, принадлежащих области D , как раз и определяет вероятность P_b , которая индицируется на информационном табло. На рис. 1 показана ситуация безопасного плавания судна в стесненных водах, корректный выбор программной траектории и допустимое значение с.к.о. относительно стесненности допустимой области плавания обеспечивают значение $P_b = 1,000$.

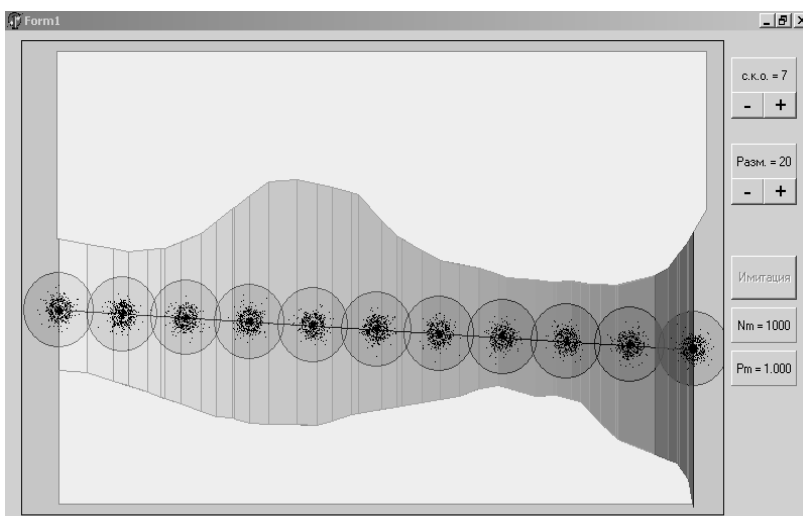


Рис. 1. Ситуация безопасного плавания судна в стесненных водах

На рис. 2. приведена ситуация с недопустимо низкой вероятностью $P_b = 0,490$, грозящей посадкой судна на мель. Причиной та-

кой низкой вероятности является несимметричное расположение программной траектории относительно границ безопасной области плавания и большая стесненность области относительно с.к.о. позиционной векториальной погрешности. Вероятность P_b можно повысить, если программную траекторию движения судна представить несколькими участками, расположенными симметрично в допустимой области плавания и повысить точность обсерваций (уменьшить с.к.о. векториальной погрешности).

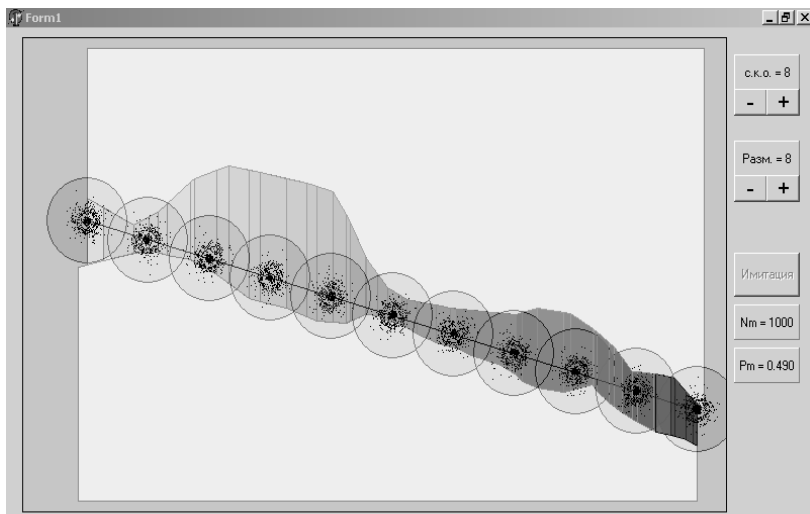


Рис. 2. Ситуация плавания судна в стесненных водах с недопустимой P_b

Таким образом, предложена математическая модель определения интенсивности посадок на мель по причине позиционных векториальных погрешностей.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть модельный подход к оценке интенсивностей λ_2 и λ_3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / В.Т. Кондрашихин – М.: Транспорт, 1989. – 230 с.
2. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Е.Ф Мельник. // Судовождение. – 2002. – № 5. – С. 65 – 73.

3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 564 с.

4. Ворохобин И.И. Процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах / И.И Ворохобин., В.В Сиверин. // Проблемы техники: Науково-виробничий журнал. – 2014. – № 4. – С. 119 – 126.