

УДК 656.61.052.484

## INDEXES OF INTERACTIVE VESSELS SYSTEM SAFETY LEVEL

### ПОКАЗАТЕЛИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СУДОВ

**I.A. Burmaka, PhD, associate professor**

**И.А. Бурмака, к.т.н., доцент**

*Odessa National Maritime Academy, Ukraine*

*Одесская Национальная Морская Академия, Украина*

#### ABSTRACT

The dynamic managed system of interactive ships which is characterized by matrix of twin probabilities of possible collision is considered. It is suggested to present vessel's system safety characteristic, which is expressed by probability of absence of system's vessels collisions and mathematical expectation of possible collision quantity.

Expressions are obtained for the conversion of matrix elements in the safety features of the system of ships.

**Key words:** safety of navigation, danger of collision, system of interactive vessels, safety criteria.

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

Одной из наиболее актуальных является проблема безопасного расхождения судов, и ее решение осуществляется путем исследования разных аспектов внедрения полученных результатов. Одним из аспектов обеспечения безопасности судовождения является разработка методов управления группой судов при плавании в зоне контроля СУДС, что определяет перспективность указанной тематики.

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

В работе [1] освещаются вопросы учета маневренных характеристик судов для обеспечения безопасности плавания в стесненных условиях

Основные вопросы теории и практики управления судов в различных ситуациях рассмотрены в работе [2], а вопросы расхождения судов с применением классификации начальных ситуаций изложены в работе [3].

В последнее время с появлением СУДС возникла проблема совместного управления группы судов, одной из характеристик которой является безопасность перемещения судов в локальном районе.

Поэтому корректный выбор показателей безопасности группы взаимодействующих судов является актуальной тематикой, которой посвящена настоящая публикация.

### Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью данной статьи является разработка процедуры оценки уровня безопасности системы взаимодействующих судов.

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

При плавании в районах интенсивного судоходства группы судов в некоторых ограниченных областях можно рассматривать как взаимодействующие элементы динамической управляемой системы  $S_n$  [4].

Очевидно, такая система может выполнять свои целевые функции производственной деятельности только при условии обеспечения безопасности движения в части предупреждения возможных столкновений. Поэтому одной из важнейших характеристик системы  $S_n$  является показатель безопасности взаимного перемещения судов системы, показывающий степень возникновения возможных столкновений.

В качестве общей характеристики безопасности можно рассмотреть матрицу безопасности системы  $S_n$ , которая обозначена  $P$ , причем элементом этой матрицы является вероятность столкновения пары судов  $p_{ij}$ , которая может принимать значения от 0 до 1. Не обсуждая способа, с помощью которого можно произвести оценку вероятности  $p_{ij}$ , отметим, что матрица не позволяет наглядно интерпретировать количественный уровень опасности их взаимного перемещения.

Очевидно, что матричное представление парных угроз возможного столкновения судов системы  $S_n$  надлежит трансформировать в количественную меру, характеризующую уровень безопасного функционирования системы с помощью скалярной величины. Если матрица  $P$  содержит в качестве элементов вероятности, то общей характеристикой безопасности системы также следует выбрать вероятностные величины. Закономерными для рассматриваемой ситуации является в качестве характеристик системы предложить вероятность отсутствия столкновений  $P_0$ , при условии неизменных параметров движения судов. Второй величиной, характеризующей безопасность системы, целесообразно предложить математическое ожидание числа возможных столкновений  $N_c$ . Обе характеристики оцениваются, исходя из значений вероятностей  $p_{ij}$  матрицы  $P$ .

Рассмотрим зависимость предлагаемых характеристик  $P_0$  и  $N_c$  от элементов  $p_{ij}$  матрицы  $P$ . Если число судов в системе  $S_n$  обозначить через  $n$ , то состояние  $X_{ci}$  системы  $S_n$  с позиций безопасности, определяется количеством возможных

столкновений, а полной группой событий, характеризующих безопасность системы  $S_n$ , является множество ее состояний  $X_i$ .

Очевидно, что число  $m$  событий полной группы определяется выражением  $m = n + 1$ , т.е. возможным количеством столкнувшихся судов и состоянием, характеризующимся отсутствием столкнувшихся судов. Если вероятность каждого из событий (состояний) обозначить  $P_{xi}$ , то справедливо соотношение

$\sum_{i=0}^n P_{xi} = 1$ , а интересующие нас характеристики  $P_0$  и  $N_c$  определяются следующим образом:

$$P_0 = P_{x0} \text{ и } N_c = \sum_{i=1}^n iP_{xi}. \quad (1)$$

Найдем выражения для вероятностей  $P_{xi}$ , как вероятностей того, что произойдет столкновение  $i$  судов. Очевидно, что такое событие заключается в объединении сочетаний элементарных событий  $Y_{ij}$ , заключающихся в том, что каждая пара судов столкнется, при условии отсутствия столкновения остальных пар. Если вероятность столкновения пары судов характеризуется элементом  $p_{ij}$  матрицы  $P$ , то вероятность отсутствия столкновения этой же пары судов, очевидно, равна  $\bar{p}_{ij} = 1 - p_{ij}$ , ( $i \neq j$ ).

Условная вероятность  $\tilde{p}_{ij}$  элементарного события  $Y_{ij}$  столкновения пары судов выражается следующим образом:

$$\tilde{p}_{ij} = p_{ij} \prod_{k,s=1..n, k \neq i, s \neq j} \bar{p}_{ks}.$$

Так, например, если система  $S_n$  состоит из трех судов, то условная вероятность столкновения первого и второго судов  $\tilde{p}_{12} = p_{12} \bar{p}_{13} \bar{p}_{23}$ . Вероятность  $P_{xi}$  характеризует объединение элементарных событий  $Y_{ij}$ , поэтому  $P_{xi} = \sum \tilde{p}_{ij}$ . Если обратиться к примеру системы из трех судов, то вероятность возникновения одного столкновения  $P_{x1}$  определяется следующим образом:

$$P_{x1} = p_{12} \bar{p}_{13} \bar{p}_{23} + p_{13} \bar{p}_{12} \bar{p}_{23} + p_{23} \bar{p}_{12} \bar{p}_{13}.$$

Аналогично рассуждая, убеждаемся, что вероятность столкновения  $q$  судов ( $q \neq 0$  и  $q \neq n$ ) определяется выражением:

$$P_{xq} = \prod_q p_{ij} \prod_{n-q} \bar{p}_{ks}. \quad (k, s \neq i, j)$$

Для примера трех судов вероятность возникновения двух столкновений:

$$P_{x2} = p_{12} p_{13} \bar{p}_{23} + p_{23} p_{12} \bar{p}_{13} + p_{23} p_{13} \bar{p}_{12}.$$

Для случая отсутствия столкновений  $P_{x0} = \prod_n \bar{p}_{ij}$  и для столкновения всех судов  $P_{xp} = \prod_n p_{ij}$ .

Очевидно, вероятность отсутствия столкновений  $P_0 = \prod_n \bar{p}_{ij}$ , а математическое ожидание числа возможных столкновений  $N_c$  определяется выражением (1) при полученных значениях  $P_{xi}$ .

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

В результате выполненной работы получена процедура оценки уровня безопасности системы взаимодействующих судов.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть другие характеристики рассмотренной системы, и определить влияние на них существенных факторов

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Мальцев А.С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. - 1989. - №5. – С. 29-31.
2. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
3. Мальцев А. С. Управление движением судна / Мальцев А. С. – Одесса: Весть, 1995.- 230 с.
4. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.