

УДК 656.61.08

А.Ю. Гаршин<sup>1</sup>, О.В. Иванченко<sup>2</sup>, Е.Н. Машенко<sup>2</sup><sup>1</sup>Академия Военно-Морских Сил им. П.С. Нахимова, Севастополь<sup>2</sup>Севастопольский национальный технический университет, Севастополь

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ МОРСКОЙ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рассмотрен способ вероятностной оценки опасности и риска использования морской критической инфраструктуры с учетом результатов диагностирования и восстановления работоспособности. Выполнен анализ эффективности их функционирования посредством сравнительной количественной оценки согласованных показателей безошибочности, времени, бездефектности и безаварийности.

**Ключевые слова:** морская критическая инфраструктура, управление риском, эргатические функциональные структурные модели.

### Введение

Предоставляя людям новые, ещё вчера недоступные возможности, современная техника вместе с тем зачастую создает для них и новые опасности, предпосылки аварий и несчастных случаев. Статистика аварийности кораблей и судов мирового флота свидетельствует, что около 80% всех аварий происходит из-за ошибок и просчетов людей. На дне Мирового океана по самым скромным подсчетам покоится миллион затонувших кораблей – на каждые сорок квадратных километров дна в среднем одно затонувшее судно. По статистике ежегодно погибает в среднем 350 – 400 судов общим тоннажем в 600 – 800 тысяч тонн. Между тем, за последние тридцать лет общий объем морских перевозок увеличился в семь раз. Свыше ста стран имеют сейчас транспортные флоты [1].

Современный корабль или судно можно рассматривать как морскую критическую инфраструктуру (МКИ), представляющую собой большие автономные системы искусственного происхождения и различного функционального назначения. Морские критические инфраструктуры являются как источниками, так и объектами воздействия на них многогранных опасностей и угроз (антропогенных, физических, природных, и др.) связанных с выполняемой деятельностью, с риском для их функционирования, для окружающей среды и других инфраструктур.

Для МКИ негативные последствия реализации существующих опасностей и угроз часто приобретают эффект каскадного характера, они не имеют одного хозяина (оператора), единых регуляторных инструментов, имеют разные целевые направления, их функционирование определено разными, часто противоположными нормами и принципами.

Острая необходимость повышения безопасности МКИ бесспорна. Это – комплексная и давняя проблема, которой посвящена обширная литература и серии национальных, межгосударственных европейских стандартов [1 – 4, 6]. Анализ этих источников показывает, что среди ученых и практиков до

сих пор нет единства по ключевым понятиям и близким к ним, таким как: опасность, безопасность, риск, угроза, ущерб, их оценки в количественных показателях и т.д.

**Анализ известных исследований, публикаций, терминов и определений, связанных с опасностью и риском.** В настоящее время во многих областях современной науки все больший интерес проявляется к проблеме риска, его контролю и управлению им. В качестве численной оценки последствий опасности в [5] используется риск, который определяется по выражению:

$$R_o = \bar{M} / Z = \prod_{i=1}^n z_i \prod_{i=1}^n i, \quad (1)$$

где  $R_o$  – риск опасности;  $Y$  – численное выражение факторов возникновения и развития опасности  $i$ ;  $Z$  – численное выражение факторов, обеспечивающих снижение возможности возникновения опасности  $i$ , гибели людей и причинения другого ущерба.

Из выражения (1) следует, что путем определенных мер ( $Z$ ) можно обеспечить снижение риска возникновения опасности до значений меньше нормативного (допустимого или приемлемого) и тем самым обеспечить безопасность.

Под общим уровнем опасности системы понимается произведение полной вероятности реализации события появления опасностей в течение определенного промежутка времени и размера ущерба:

$$R_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n P_i A_i, \quad (2)$$

где  $R_{\text{общ}}$  – общий уровень опасности анализируемой системы;  $R_i$  – уровень опасности появления  $i$ -го события в анализируемой системе;  $P_i$  – вероятность реализации  $i$ -го события;  $A_i$  – размер ущерба от реализации  $i$ -го события.

Широкое распространение в теории принятия решений получил критерий Байеса [7], в соответствии с которым минимизируется показатель *среднего риска*

$$R = \sum_{i=1}^n P_i F_i = \sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^m F_{ij}, \quad (3)$$

где  $p_i$  – распределение ситуаций – ряд распределения  $\{p_i\}$ ,  $r_{ij}$  – условный риск  $j$  в ситуации  $i$ .

Характерны определения *общего риска* в теории жизнедеятельности и его оценки [3]:

$$R = \int \rho(x)r(x)dx = \int \rho(x) \sum_{j=1}^m r_j(x), \quad (4)$$

где  $r_j(x)$  – условный риск при  $j$ -м источнике опасности при условии  $x$ ,  $\rho(x)$  – плотность вероятности условий. Рассмотрим на основе системного анализа порядок разработки модели, используемой для оценки последствий проявления уязвимостей МКИ.

### Изложение основного материала

Поскольку целью статьи является получение численной оценки уровня опасности судового технического объекта как элемента морской критической инфраструктуры, то в качестве основного метода оценивания будем использовать известный метод функциональных структурных математических моделей процесса проверки работоспособности [6].

На рис. 1 представлена структура процесса проверки работоспособности и восстановления критически важного технического объекта (ТО) – объекта морской критически важной инфраструктуры, определяющий состояние ее функциональности.

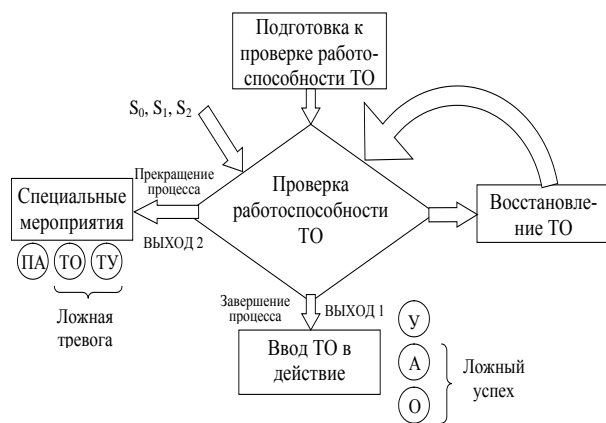


Рис. 1. Структура процесса проверки работоспособности и восстановления технического объекта

Диагностируемый ТО может иметь аварийно-опасные дефекты, обычные устраняемые (неаварийно-опасные) дефекты или быть работоспособным с соответствующими вероятностями  $S_0, S_1, S_2$ . При проверке работоспособности принимается одно из трех решений: объект работоспособен и он вводится в действие; объект имеет аварийноопасный дефект, восстановлению в корабельных условиях не подлежит; объект имеет устраняемый дефект, восстанавливается с последующей повторной проверкой работоспособности.

В зависимости от принятого решения процесс может быть завершен (выход 1) или прекращен (выход 2). Завершение рассматриваемого процесса связано с переходом к последующим действиям по борьбе за живучесть. Прекращение его выполнения связано с отказом от решения поставленной задачи и переходу к специальным мероприятиям.

В ходе исследований учитывались три вероятных исхода по каждому выходу:

1) по выходу 1: У – успех (ввод в действие работоспособного объекта); А – авария (ввод в действие ТО с аварийноопасным дефектом приведет к аварии); О – ввод в действие объекта с обычным устраняемым дефектом, что не приведет, или не сразу приведет к аварии;

2) по выходу 2: ПА – предупреждение аварии; ТО – тревога по обычному дефекту (отказ от решения поставленной задачи при неаварийноопасном устраняемом дефекте); ТУ – тревога при успехе (отказ от решения поставленной задачи при работоспособном объекте).

Каждому возможному исходу соответствует своя вероятность его появления (1), математические ожидания (2), (3) и дисперсии времени появления [4, 7]. При выводе расчетных зависимостей для них использован метод основных соединений.

Обращение к методологии функциональных эргосетей [6] привело к определению взаимосвязанных непротиворечивых показателей *эффективности, опасности и защищенности* систем, а применение развитого в этом научном направлении метода позволяет разрабатывать формулы, необходимые для вычисления этих показателей по типовым структурам. Численные значения показателей свойств МКИ могут быть определены с помощью следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} P_y = \frac{D^{22}}{1D^{21}} \left( S_0 \frac{D^{01}B_0}{1D^{0*}} + S_1 \frac{D^{11}B_1}{1D^{1*}} + S_2 \right); \\ P_A = S_0 \frac{D^{02}}{1D^{0*}}; P_O = S_1 \frac{D^{12}}{1D^{1*}}; \\ P_{ПА} = S_0 \frac{D^{00}}{1D^{0*}}; P_{ТО} = S_1 \frac{D^{10}}{1D^{1*}}; \\ P_{ТУ} = \frac{D^{20}}{1D^{21}} \left( S_0 \frac{D^{01}B_0}{1D^{0*}} + S_1 \frac{D^{11}B_1}{1D^{1*}} + S_2 \right), \end{cases} \quad (5)$$

где  $S_0, S_1, S_2$  – вероятности аварийного, обычного дефекта или работоспособного состояния объекта;  $D^{ij}$  – условные вероятности правильных и ошибочных решений (фактическое состояние объекта  $i = 0, 1, 2$ ; решение о его состоянии  $j = 0, 1, 2$ );  $B_0$  – вероятность восстановления объекта с аварийным дефектом за один восстановительный цикл;  $B_1$  – эта же характеристика для объекта с обычным дефектом.

Небезынтересным являются выполненные исследования [6, 7] зависимостей:  $P_y$  – вероятность успеха;  $P_A$  – вероятность аварийной ситуации;  $P_{ПА}$  – вероятность предупреждения аварии от условной вероятности неправильного диагностирования  $D^{02}$ .

В качестве примера рассмотрим ситуацию диагностирования и восстановления валопровода траулера с опорными подшипниками после пожара в машинном отделении. Зададим вероятность работоспособного

состояния опорного подшипника после пожара  $S_2=0,7$ , вероятность аварийного дефекта  $S_0=0,1$ ; вероятности принятия правильных решений  $D^{00}=D^{11}=D^{22}$  примем равными 0,95, что может свидетельствовать о высокой степени подготовленности и оснащенности экипажа. Результаты расчетов представлены в табл. 1. Из табл. 1 видно, что вероятность успеха достаточно высока, а вероятность аварии сравнительно мала. Однако, окончательный вывод о ее значимости должен делаться с учетом возможных последствий аварии.

Таблица 1

Результаты расчетов

Исходные данные	Результаты расчета
$S_2=0,7; S_1=0,2; S_0=0,1;$ $m_{дн,0}=10; m_{дн,1}=10;$ $m_{вн,0}=10; m_{вн,1}=15;$ $m_{ди}=10; m_{ви}=15;$ $D^{00}=D^{11}=D^{22}=0,95;$ $D^{01}=D^{02}=D^{10}=D^{12}=D^{20}=$ $=D^{21}=0,25; V_1=0,95; V_0=0$	$P_y=0,867; P_A=2,56 \cdot 10^{-3};$ $P_0=5,25 \cdot 10^{-3}; P_{ПА}=0,097$ $P_{т0}=5,25 \cdot 10^{-3};$ $P_{тУ}=0,023;$ $m_y=16,22; m_A=10,51;$ $m_0=11,25; m_{ПА}=10,51;$ $m_{т0}=11,25; m_{тУ}=16,23$

Согласно результатов расчетов вероятность предупреждения аварии  $P_{ПА} = 0,097$ , а так как вероятность аварийного дефекта  $S_0 = 0,1$ , то в 97% случаев авария предупреждается. Наряду с этим, вероятность ложного перехода к аварийным действиям  $P_{ЛП} = 0,024$ . Вероятность отсутствия аварийного дефекта есть  $S_1+S_2 = 0,9$ , а вероятность успеха равна 0,867, т.е. в 33% случаев может быть достигнут успех, но эта возможность не реализована за счет ложных тревог и ложных успехов.

Последние происходят примерно в 0,8% случаев от общего числа рассматриваемых работ. Среднее время выполнения работ составляет:

$$m = P_y m_y + P_A m_A + \dots + P_{тУ} m_{тУ} = 15,6 \text{ минут.}$$

Представляет интерес изменение вероятности возникновения аварии  $P_A$  в функции от  $S_0$  и  $D^{02}$  (рис. 2).

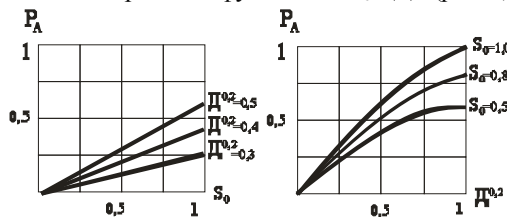


Рис. 2. Зависимости вероятности возникновения аварии от вероятности наличия аварийноопасного дефекта  $S_0$  и условной вероятности неправильного диагностирования  $D^{02}$

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ РІВНЯ НЕБЕЗПЕКИ МОРСЬКОЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

О.Ю. Гаршин, О.В. Иванченко, О.М. Машенко

Розглянуто спосіб імовірнісної оцінки небезпеки та ризику використання морської критичної інфраструктури з урахуванням результатів діагностування й відновлення працездатності. Виконано аналіз ефективності їхнього функціонування за допомогою порівняльної кількісної оцінки погоджених показників безпомилковості, часу, бездефектності й безаварійності.

**Ключові слова:** морська критична інфраструктура, керування ризиком, ергатичні функціональні структурні моделі.

## DANGER LEVEL RATE METHODIC OF NAVAL CRITICAL INFRASTRUCTURE

A.U. Garshin, O.V. Ivanchenko, E.N. Mashenko

A way of risk rating probability of the naval critical infrastructure (NCI) usage considering diagnostic results and workability restoration was reviewed. The NCI functional efficiency was analyzed with the help of quantitative rating of faultness, flawness and fail-safety.

**Keywords:** naval critical infrastructure, postaccident situation, ergatic functional structure models.

## Результаты исследований

Результаты исследований взаимосвязи входных характеристик и выходных показателей разработанной модели могут быть использованы для выработки практических рекомендаций по повышению живучести МКИ, совершенствованию средств их технического диагностирования и восстановления. Кроме того, авторами статьи решена задача получения численной оценки уровня опасности судового технического объекта как элемента морской критической инфраструктуры, необходимого для оценки риска.

Перспективы использования разработанного подхода связаны с решением задач по достоверному разделению ошибок операторов и отказов технических средств элементов МКИ; по оптимизации процесса функционирования комплексов технических средств МКИ с совместным учетом их эффективности, опасности, защищенности; по разработке алгоритмов действий в аварийно-опасных для МКИ ситуациях.

## Список литературы

1. Абчук В.А. Теория риска в морской практике / В.А. Абчук. – Л.: Судостроение, 1983. – 150 с.
2. Безопасность оборудования. Основные понятия, общие принципы конструирования. 4.1. Основные термины, методика: ГОСТ ИСО/ТО 12100-1-2001. – [Действует с 2003-01-01]. – 16 с.
3. Безопасность жизнедеятельности / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова: 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1999. – 448 с.
4. Гаршин А.Ю. Риск, как численная оценка уровня опасности системы «человек-техника» / А.Ю. Гаршин, В.В. Сапига // Зб. наук. праць СВМІ ім. П.С. Нахімова. – Севастополь: ВМС ЗС України, 2003. – Вип. 2. – С. 147-150.
5. Радзиевский С.И. Безопасность и живучесть береговых объектов ВМС / С.И. Радзиевский. – Севастополь: СВМИ, 1995. – 214 с.
6. Чабаненко П.П. Опасность, риск и эффективность, их оценка в объективных показателях / П.П. Чабаненко, В.А. Крынцило, А.Н. Пинчук // Зб. наук. праць СВМІ ім. П.С. Нахімова. – Севастополь: ВМС ЗС України, 2009. – Вип. 1(16). – С. 4-13.
7. Abelle-Wigert, I., Dunn, M., An Inventory of 20 National and 6 International Critical Information Infrastructure Protection Policies, International CIP Handbook, Center for Security Studies, ETH, Zurich, 2006.

Поступила в редколлегию 29.09.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.Г. Коноплев, Академия ВМС имени П.С. Нахимова, Севастополь.