

УДК 630.36

В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко

**КОНЦЕПЦИЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ РИСКА
СУДОВОЙ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Предложен концептуальный подход для анализа и оценки риска судовой сложной технической системы, функционирующей в условиях малопредсказуемых внешних воздействий, внутренних поражающих факторов и экстремальных аварийных ситуациях.

Ключевые слова: сложная техническая система, оценка риска, работоспособность, вероятность, ущерб.

This paper proposes a conceptual approach to analyze and evaluate the risk of the ship's complex technical system functioning the face of unpredictable external factors, internal factors affecting and extreme emergencies.

Keywords: complex technical system, risk assessment, performance, the probability of the damage.

Введение. К сложным техническим системам (СТС) относятся технические объекты, обладающие иерархически организованной во времени или пространстве структурой из разнообразных элементов и подсистем. Современная судовая сложная техническая система – комплекс СТС, состоящий из различных взаимосвязанных технических систем – специализированных трубопроводов, механизмов, агрегатов, устройств, предназначенных для обеспечения эксплуатации и условий обитаемости судна.

Управление техническим состоянием судовых СТС в процессе эксплуатации требует достоверной оценки их технического состояния. При этом задача определения технического состояния сводится к определению надежности СТС, анализу риска, оценке вероятности безотказного функционирования и т.д. [1-5]. Оценка риска СТС заключается в определении для нее величины (меры) риска [6, 7]. Основательная и точная оценка риска может быть получена при использовании современных расчетных методов научного прогнозирования, опирающихся на теорию катастроф, теорию безопасности, теорию надежности сложных технических систем и другие фундаментальные теории, а также современные информационные технологии.

Актуальность. В процессе эксплуатации судовых СТС надежность рассчитывают на основе статистических данных с учетом режимов, условий использования и восстановления их агрегатов. Вероятностный расчет надежности СТС сопряжен с существенными теоретическими и вычислительными сложностями и представляет собой многоступенчатую оценку различных взаимосвязанных между собой величин.

С анализом риска тесно связан процесс оценки риска СТС. Результаты оценки риска могут быть выражены как качественно, так и количественно. Установленные опасности оцениваются с целью выделения опасностей с неприемлемым уровнем риска и служат основой для разработки рекомендаций и принятия мер по их уменьшению.

Существуют различные подходы к оценке риска. Первый – инженерный, опирающийся на статистику реализовавшихся опасностей и на вероятностный анализ безопасности. Второй подход – модельный. В настоящее время известны результаты как теоретических изысканий в области теории надежности, так и практического применения различных моделей надежности для технических и технологических устройств, их агрегатов в различных отраслях промышленности [6-9]. Перспективными направлениями в области проектирования и эксплуатации сложных технических систем является моделирование условий эксплуатации с учетом специфики функционирования сложных систем. Модели должны позволять оценивать воздействия на СТС, как в ходе работы систем в штатном режиме, так и при возникновении в них аварийных ситуаций. Оба подхода основаны на расчетах. Однако, для таких расчетов не всегда хватает достоверных исходных данных.

Таким образом, для планирования компромисса между надежностью судовых СТС и их качественными характеристиками (стоимость, производительность, функциональность, масштабируемость, совместимость и т.д.) необходимо использовать новые подходы при анализе и оценке риска систем.

Целью работы является разработка концептуального подхода для анализа и оценки риска судовой сложной технической системы.

Изложение основного материала. Эффективность работы СТС зависит от надежности ее агрегатов и межагрегатных связей (МС), от специфики взаимовлияния агрегатов посредством МС.

Комплексный показатель надежности элементов СТС – технический риск, представляющий собой комбинацию вероятностей (P_{wi}) возникновения опасностей определенного класса (аварии, катастрофы и т.д.) из-за технического несовершенства, нарушения правил эксплуатации технических систем и размеров возможных ущербов (U_i) от нежелательных событий.

В качестве критериев концепции анализа и оценки влияния агрегата, МС на общую оценку рисков СТС рекомендуется использовать понятия угроз и рисков. Угроза – безразмерная немасштабная оценка «важности», «уязвимости» агрегата, МС с точки зрения оценки рисков структуры системы в целом.

При анализе риска СТС должна учитываться ее структура (иерархия и топология системы), функциональное состояние (работоспособность, исправность) ее агрегатов, а также межагрегатные связи (структура, топология, состав контекстных систем «обвязки»).

Оценка рисков СТС включает структурные и функциональные ее аспекты. Структурные аспекты оценки рисков СТС учитывают угрозы и риски, возникающие при взаимодействии агрегатов, МС в иерархии и топологии системы. Функциональные аспекты оценки рисков СТС учитывают угрозы и риски с точки зрения функционального состояния агрегатов, МС системы.

На СТС оказывает воздействие множество факторов, которые можно разделить на внешние и внутренние. К внешним воздействиям на агрегаты СТС и ее МС относятся различные воздействия со стороны внешней среды, характеризующиеся неопределенностью и трудной прогнозируемостью. К внутренним воздействиям относятся результаты влияния различных типов носителя (энергии, вещества, информации) между агрегатами СТС. При внешних или внутренних воздействиях на отдельные агрегаты или МС СТС, достигающих критических значений (выше нормативно установленных эксплуатационных значений), уменьшается эффективность функционирования агрегатов и всей СТС.

Концепция анализа и оценки рисков СТС, их агрегатов и МС в условиях малопредсказуемых внешних воздействий, внутренних поражающих факторов и экстремальных аварийных ситуациях основывается на объединении разнородных СТС в единую модель. Такая модель призвана обеспечить оценку рисков СТС, их агрегатов и МС с точки зрения значимости и критичности для функционирования всей системы в целом. При подобном подходе возможно масштабирование, выявление структурных и функциональных угроз, уязвимых мест в СТС.

Для оценки риска и математического описания различных по природе, назначению и принципу функционирования судовых СТС в условиях малопредсказуемых внешних воздействий, внутренних поражающих факторов и экстремальных аварийных ситуациях рекомендуется использовать математические модели, опирающиеся на теорию графов [8]. Для моделирования СТС используется ее представление когнитивной имитационной моделью (КИМ) в виде ориентированного графа, отражающего взаимодействие агрегатов и МС. Ориентированный граф СТС $G(V, A)$ с n вершинами (узлами) и m дугами (ориентированными ребрами). Множество вершин графа $V - (V = \{v_i\}, i = 1, n)$. Множество (упорядоченных) пар вершин v, w , называемых дугами (ориентированными ребрами) графа $A - (A = \{a_j\} = \{(v_i, w_j)\}, j = 1, m)$, вершину v называют началом, а w – концом дуги. Величина надежности агрегата СТС, соответствующего вершине v_i определяется $v_i(t) = P_{v_i}(t \leq T)$.

Если можно выделить конструктивные или функциональные агрегаты СТС, вершины графа соответствуют структурным агрегатам системы, ребра графа – МС. Если выделить агрегаты затруднительно – вершины графа соответствуют параметрам системы, а ребра графа – причинно-следственным связям между параметрами. В каждый узел может входить

или из узла может выходить несколько ребер. В этом случае говорят о множестве ребер, инцидентных данному узлу графа. Каждому ребру инцидентны два узла, расположенные на его концах.

Качественное отражение состояния агрегатов и МС СТС выражается функционалом зависимости между состоянием агрегатов или МС, а также определенным типом нагрузки внешних или внутренних воздействий.

Для оценки рисков СТС необходимо установить степень влияния изменений внешних и внутренних воздействий на агрегаты и МС системы. Для этого в КИМ используются поражающие моделирующие импульсы (ПМИ) $-1 - \text{imp}_k(t), k \in \{1, 2, 3, \dots, l\}$ со значением амплитуды ПМИ $m_{\text{imp}}(t)$ в дискретные моменты времени $t = 0, 1, 2, 3, \dots, l$.

Степень поражения агрегатов (вершин) и межагрегатных связей (ребер) СТС определяется их коэффициентами степени поражения

$$K_{c.n.} = \frac{w(t+1)}{w(t) \cdot (1 - m_{\text{imp}}(t))},$$

где $w(t+1)$ – значение веса элемента (вершины или ребра) орграфа в момент времени $t+1$;

$w(t)$ – значение веса элемента (вершины или ребра) орграфа в момент времени t .

Изменение амплитуды ПМИ при прохождении через вершины или дуги графа КИМ СТС характеризуется передаточным коэффициентом

$$H_m = \frac{m_{\text{imp}}(t+1)}{m_{\text{imp}}(t)},$$

где $m_{\text{imp}}(t+1)$ – значение амплитуды ПМИ в момент времени $t+1$.

Для оценки фактической функциональной работоспособности СТС используется нормирующее воздействие на агрегаты и МС КИМ СТС.

Последовательность оценки риска СТС включает этапы:

- оценка вероятности выхода из строя вершины (ребра) КИМ СТС;
- оценка структурного и функционального ущерба от пораженной вершины (ребра) КИМ СТС;
- оценка риска пораженной вершины (ребра) КИМ СТС.

Оценка вероятности выхода из строя вершины (ребра) КИМ СТС определяется на основе Байесовского метода анализа СТС [9]

$$P(C|D) = \frac{P(D|C) \cdot P(C)}{P(C)},$$

где $P(C)$ – априорная вероятность гипотезы C выхода из строя вершины (ребра);

$P(C|D)$ – вероятность гипотезы C при наступлении события D (апостериорная вероятность);

$P(D|C)$ – вероятность наступления события D при истинности гипотезы C ;

$P(D)$ – полная вероятность наступления события D .

Количественная оценка структурного ущерба от пораженной вершины (ребра) КИМ СТС определяется по ущербу при нарушении связности топологических структур СТС как отношение пораженных агрегатов (МС) к общему числу агрегатов (МС) СТС при единичном поражении агрегата (МС) и беспрепятственном распространении ПМИ по СТС.

Количественная оценка функционального ущерба от пораженной вершины (ребра) КИМ СТС определяется по ущербу при нарушении функционирования агрегатов (МС) как отношение работоспособности СТС при ее частичной утрате агрегатом (МС) к номинальной работоспособности СТС.

Оценка риска пораженной вершины (ребра) КИМ СТС определяется произведением значений вероятностей выхода из строя вершины (ребра) КИМ СТС и соответствующих оценок структурного и функционального ущербов пораженных вершин (ребер) орграфа.

Оценка риска при структурном ущербе от пораженной i -й вершины КИМ СТС

$$R_{svi} = k_{svi} \cdot p_{vi}(t),$$

где k_{svi} – оценка структурного ущерба от пораженной i -й вершины КИМ СТС;

$p_{vi}(t)$ – вероятность выхода из строя пораженной i -й вершины КИМ СТС.

Оценка риска при структурном ущербе от пораженного j -го ребра КИМ

$$R_{saj} = k_{saj} p_{aj}(t),$$

где k_{saj} – оценка структурного ущерба от пораженного j -го ребра КИМ СТС;

$p_{aj}(t)$ – вероятность выхода из строя пораженного j -го ребра КИМ СТС.

Оценка риска при функциональном ущербе от пораженной i -й вершины КИМ СТС

$$R_{fvi} = k_{fvi} \cdot p_{vi}(t),$$

где k_{fvi} – оценка функционального ущерба от пораженной i -й вершины КИМ СТС.

Коэффициент риска при функциональном ущербе от пораженного j -го ребра КИМ СТС

$$R_{faj} = k_{faj} \cdot p_{aj}(t),$$

где k_{faj} – оценка функционального ущерба от пораженного j -го ребра КИМ СТС.

Полученные результаты разработки концептуального подхода для анализа и оценки риска судовой сложной технической системы позволят создать методические основы оценки риска СТС, функционирующих в условиях малопредсказуемых внешних воздействий, внутренних поражающих факторов и экстремальных аварийных ситуациях.

Выводы. Концепция оценки рисков СТС, их агрегатов и меж-агрегатных связей в условиях малопредсказуемых внешних воздействий, внутренних поражающих факторов и экстремальных аварийных ситуациях учитывает вероятности поражения агрегатов и МС, а также ущерб от их поражения. Концепция оценки риска СТС, их агрегатов и межагрегатных связей базируется на оценках, полученных при минимальном участии обслуживающего СТС персонала.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бусленко Н.П. К теории сложных систем [Текст] / Н.П. Бусленко // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1963. – № 5.
2. Коваленко И.Н. О некоторых классах сложных систем [Текст] / И.Н. Коваленко // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1964. – № 6.
3. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И.А. Рябинин. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
4. Гуськов А.В. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2007. – 427 с.
5. Острейковский В.А. Теория надежности [Текст] / В.А. Острейковский. – М.: Высш.шк., 2003. – 463 с.

6. Биргер И. А. Техническая диагностика [Текст] / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
7. ИСО/МЭК 31010:2009 «Менеджмент риска. Методы оценки риска» (ISO/IEC 31010:2009 «Risk management – Risk assessment techniques»). – М.: Стандартинформ, 2012. – 70 с.
8. Райнишке К. Оценка надежности систем с использованием графов [Текст] / К. Райнишке, И.А. Ушаков. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
9. Калман Р. Очерки по математической теории систем [Текст] / Р. Калман, П. Фалб, М. Арбиб. – М., 1971.

Стаття надійшла до редакції 21.10.2013

Рецензент – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Електротехніка та електрообладнання суден» Одеського національного морського університету **В.О. Яровенко**