

УДК 62.192.001.1

Наведено результати аналізу методів оцінок ризиків при експлуатації складних технічних систем. Когнітивно імітаційним моделюванням отримано оцінки ризиків складних технічних систем. Показано, що на оцінки ризиків складних технічних систем в аварійних сценаріях принципове значення надає облік структурних та функціональних особливостей систем, взаємопов'язаність і взаємодія їх елементів і межелементних зв'язків

Ключові слова: складні технічні системи, структурний і функціональний ризики, когнітивно імітаційна модель

Приведены результаты анализа методов оценок рисков при эксплуатации сложных технических систем. Когнитивно имитационным моделированием получены оценки рисков сложных технических систем. Показано, что на оценки рисков сложных технических систем в аварийных сценариях принципиальное значение оказывает учет структурных и функциональных особенностей систем, взаимосвязанность и взаимодействие их элементов и межэлементных связей

Ключевые слова: сложные технические системы, структурный и функциональный риски, когнитивно имитационная модель

ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РИСКОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. В. Вычужанин

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой*
E-mail: vint532@yandex.ru

Н. Д. Рудниченко

Аспирант*

E-mail: vint532@yandex.ru

*Кафедра информационных технологий
Одесский национальный морской университет
ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029

1. Введение

Статья посвящена определению технического состояния сложных технических систем (СТС) по оценкам рисков для автоматизации принятия решений в аварийных сценариях [1 – 4]. Оценки рисков СТС в аварийных сценариях определяются в результате сложных процедур, содержащих нелинейные операции, без комплексного учета структурных и функциональных особенностей систем, взаимосвязанности и взаимодействия их элементов и межэлементных связей (МС).

2. Анализ литературных данных и постановка задачи исследования

Многообразие методов оценки рисков СТС базируется на инженерных, модельных, экспертных и других подходах [3, 5 – 7]. Многие из перечисленных методов связаны со сложными и дорогостоящими расчетами, определяющими значения оценок рисков с точностью не выше первого порядка. В работах [6, 8, 9] для обеспечения безопасности СТС рекомендуется пользоваться данными, полученными сочетанием качественных и количественных методов оценок рисков. Это позволяет осуществить анализ рисков СТС при использовании меньшего объема информации и затрат труда. Однако авторы оценки рисков СТС для автоматизации принятия решений в аварийных сценариях осуществляют без комплексного подхода, основанного на оценках структурного и функционального рисков систем, учете взаимосвязанности и взаимодействия их структурных

компонентов (СК), состоящих из элементов и межэлементных связей.

3. Цель и задачи исследования

Цель работы – разработка метода оценки структурного и функционального рисков СТС для автоматизации принятия решений в аварийных сценариях.

Задачи исследования - оценки структурного и функционального рисков СТС в аварийных сценариях с учетом взаимосвязанности и взаимодействия их СК.

4. Основные положения исследования оценок структурного и функционального рисков СТС

Оценки в аварийных сценариях структурного и функционального рисков СТС с учетом взаимосвязанности и взаимодействия их СК включают этапы:

1. Выявление взаимосвязанности и взаимодействия СК в иерархии и топологии СТС с учетом используемого ресурса ЭВИ (энергия, вещество, информация).

2. Построение и исследование когнитивно имитационной модели (КИМ) СТС.

3. Оценка структурного и функционального ущербов СТС.

4. Оценка структурного и функционального рисков СТС.

4. 1. Когнитивно имитационная модель оценок структурного и функционального рисков СТС

Для математического описания и оценок структурного и функционального рисков СТС с учетом вы-

явленной взаимосвязанности и взаимодействия их СК используется КИМ, представленная в виде ориентированного графа с N вершинами и M ребрами. Приняты тождественными понятия: оргграф системы и структура системы; вершина оргграфа и элемент системы; ребро оргграфа и межэлементная связь. Множество вершин оргграфа $V = (V = \{v_i\}, i=1, N)$. Пары вершин v, w – ребра оргграфа $A = (A = \{a_j\} = \{(v_i, w_j)\}, j=1, M)$, v – начало вершины, w – конец ребра.

При моделировании поражающего влияния каждого СК на структуру СТС используются поражающие моделирующие импульсы (ПМИ) – $1\text{-imp}_k(t), k \in \{1, 2, 3, \dots, l\}$ с амплитудой $m_{\text{imp}_k}(t)$ для дискретных моментов времени $t = 0, 1, \dots, l$.

Функционал состояний элементов СК СТС

$$v = [F_{v.n.}; F_{v.l.}; a_{zi}; a_{zj}; H_m^v(t); K_{V.d.b.}], \quad (1)$$

$$i = 1 \dots k, j = 1 \dots m, k + m = M,$$

где $F_{v.n.}$ – номинальная работоспособность элемента;
 $F_{v.l.}$ – работоспособность элемента при ее частичной утрате;

a_{zi}, a_{zj} – входящие и исходящие для элемента МС;
 i, j – порядковый номер входящей и исходящей

для элемента МС;

k, m – общее количество входящих и исходящих для элемента МС;

$H_m^v(t)$ – передаточный коэффициент изменения амплитуды ПМИ ($H_m^v(t) = \frac{m_{\text{imp}_k}^v(t+1)}{m_{\text{imp}_k}^v(t)}$, $m_{\text{imp}_k}^v(t)$, $m_{\text{imp}_k}^v(t+1)$ – значение амплитуды ПМИ в моменты времени t и $t+1$);

$K_{V.d.b.}$ – коэффициент степени поражения элемента.

Функционал состояний МС СТС

$$a_z = [F_{a.n.}; F_{a.l.}; v; w; H_m^a(t); K_{A.d.b.}], \quad (2)$$

где $F_{a.n.}$ – номинальная работоспособность МС;

$F_{a.l.}$ – работоспособность МС при ее частичной утрате;

z – тип ресурса ЭВИ;

$H_m^a(t)$ – передаточный коэффициент изменения амплитуды ПМИ ($H_m^a(t) = \frac{m_{\text{imp}_k}^a(t+1)}{m_{\text{imp}_k}^a(t)}$, $m_{\text{imp}_k}^a(t)$,

$m_{\text{imp}_k}^a(t+1)$ – значение амплитуды ПМИ в моменты времени t и $t+1$);

$K_{A.d.b.}$ – коэффициент степени поражения МС.

Для оценки функционального ущерба СТС используется нормирующее воздействие (НВ) на вершины и ребра оргграфа КИМ СТС.

4. 2. Оценка структурного ущерба СТС

Принято, что исходному состоянию элемента (МС) соответствует 0, если ПМИ не проходит элемент (МС) и - 1, если ПМИ проходит элемент (МС). Обнуление значений состояний элементов (МС) перед каждой последующей итерацией движения ПМИ по МС осуществляется при $1\text{-imp}_j(t)$.

Воздействие ПМИ на вершину (ребро) оргграфа КИМ СТС в дискретный момент времени t определяется

$$1\text{-imp}_j(t) = \frac{w_{a(vj)}(t)}{w_{a(vj)}(t-1) \cdot K_{V.d.b.} \cdot K_{A.d.b.}}, \quad (3)$$

где $\text{imp}_j(t)$ – импульсный вектор для ребра с номером j ;

$w_{a(vj)}(t), w_{a(vj)}(t-1)$ – значение веса ребра (вершины) в моменты времени $t, t-1$.

При прохождении через МС от вершины v_i к вершине w_j импульсы imp_j и imp_i связаны соотношением

$$\text{imp}_j(t+1) = \text{imp}_i(t) \cdot H_m^a(t). \quad (4)$$

При прохождении через вершину от i -й МС к j -й МС импульсы imp_j и imp_i связаны между собой следующим образом

$$\text{imp}_j(t+1) = \text{imp}_i(t) \cdot H_m^v(t). \quad (5)$$

Завершению распространения импульса (завершению моделирования) по оргграфу соответствует равенство

$$S = \sum_{j=1}^M \text{imp}_j(t) = 0. \quad (6)$$

ПМИ генерируется в условно заданной пораженной вершине (ребре), движется к последующим вершинам (ребрам), последовательно выводя из строя взаимосвязанные СК КИМ. Степень поражения от ПМИ элемента (МС) СТС определяется коэффициентом степени поражения элемента (МС)

$$K_{V.d.b.} = \frac{w_v(t+1)}{w_v(t) \cdot (1 - m_{\text{imp}_k}^v(t))}, \quad (7)$$

$$K_{A.d.b.} = \frac{w_a(t+1)}{w_a(t) \cdot (1 - m_{\text{imp}_k}^a(t))}, \quad (8)$$

где $w_v(t), (w_a(t)), w_v(t+1), (w_a(t+1))$ – значение веса элемента (МС) в момент времени t до и $t+1$ после воздействия ПМИ.

Принята градация величин коэффициентов степени поражения по уровню поражающего влияния каждого СК на структуру СТС: более 0.7 – максимальное аварийное; от 0.7 до 0.3 – предаварийное; менее 0.3 – неаварийное.

Значения структурных ущербов вследствие пораженной i -й вершины, j -го ребра оргграфа для общего числа пораженных вершин (b), ребер (c) КИМ

$$Y_{s(v_i)} = \frac{b}{N}. \quad (9)$$

$$Y_{s(A_j)} = \frac{c}{M}. \quad (10)$$

4. 3. Оценка функционального ущерба СТС

При движении НВ по оргграфу КИМ СТС формируется массив значений, каждой вершине v_i и каждому ребру a_j которого присвоено численное значение модуля НВ. Изначально все значения модуля НВ принимаются равными 1. При движении НВ по оргграфу

они изменяются пропорционально весовым значениям СК. На основании критерия Бирнбаума [10] значение модуля НВ для выбранной вершины (ребра) орграфа КИМ СТС выражается как произведение значения модуля НВ для предшествующей ему вершины (ребра) на весовое значение выбранной вершины (ребра). Для вершины орграфа КИМ СТС, в которую входят сразу несколько ребер значения модулей НВ

$$m_i(t) = \sum_{j=1}^N m_j(t), \tag{11}$$

$$m_i(t) = s_i \cdot m_i(t-1) + s_j \cdot m_i(t-1), \tag{12}$$

где s_i, s_j - вес i -й вершины и j -го ребра; $m_i(t), m_i(t-1)$ - модуль НВ, проходящего через вершину или ребро в моменты времени t и $t-1$.

Количественные оценки функциональных ущербов определяются для: неисправного элемента (v_i) как разница номинальной работоспособности СТС и работоспособности системы при неисправном элементе (v_i); неисправной МС (a_j) как разница номинальной работоспособности СТС и работоспособности системы при неисправной МС (a_j).

4. 4. Оценки структурного и функционального рисков СТС

Структурные риски i -го элемента и j -й МС СТС определяются

$$R_{sv_i} = Y_{sv_i} \cdot p_{v_i}(t), \tag{13}$$

$$R_{sa_j} = Y_{sa_j} \cdot p_{a_j}(t), \tag{14}$$

где $p_{v_i}(t), p_{a_j}(t)$ - вероятности выхода из строя пораженного i -го элемента и j -й МС СТС.

Структурные риски всех элементов и МС СТС

$$R_S^a = \sum_i^N R_{sv_i} \cdot p_{v_i}(t). \tag{15}$$

$$R_S^S = \sum_j^M R_{sa_j} \cdot p_{a_j}(t). \tag{16}$$

Функциональные риски i -го элемента и j -й МС СТС определяются

$$R_{fv_i} = Y_{fv_i} \cdot p_{v_i}(t). \tag{17}$$

$$R_{fa_j} = Y_{fa_j} \cdot p_{a_j}(t). \tag{18}$$

Функциональные риски всех элементов и МС

$$R_F^a = \sum_i^N R_{fv_i} \cdot p_{v_i}(t). \tag{19}$$

$$R_F^S = \sum_j^M R_{fa_j} \cdot p_{a_j}(t). \tag{20}$$

Для ранжирования полученных оценок структурного и функционального рисков СТС в аварийных сценариях используется обобщенная функция желательности Харрингтона:

1. 0 - 0,2 - уровень риска оценивается как минимальный, последствия аварии минимальны, не оказывающие на эксплуатацию СТС существенного воздействия;

2. 0,2 - 0,37 - уровень риска оценивается как допустимый, последствия аварии незначительные, позволяющие эксплуатировать СТС без существенного ремонта;

3. 0,37 - 0,63 - уровень риска оценивается как максимальный, последствия аварии значительные, но позволяющие эксплуатировать СТС при выполнении ремонтных работ;

4. 0,63 - 1 - уровень риска оценивается как критический, последствия аварии катастрофические, не позволяющие эксплуатировать СТС.

5. Апробация результатов исследований

Исследование результатов воздействий ПМИ и НВ на КИМ СТС произведено в разработанном программном комплексе на основе использования кроссплатформенного языка Python 2.6, а также для структурного представления СТС в виде орграфа - языка dot. Для представления исходных данных элементов, МС при моделировании аварийных сценариев в КИМ СТС использовался формат JSON. Визуализация графов осуществлена с помощью программного продукта Graphviz. Для анализа результатов исследований использовались MS Office и Open Office.

Для апробации предложенного метода оценок структурного и функционального рисков СТС в аварийных сценариях в качестве примера исследована система, состоящая из 12 элементов и 26 МС (рис. 1), 17 из которых - носители энергии (обозначены сплошными линиями), 9 - носители вещества (обозначены пунктирными линиями). Результаты расчетов значений оценок структурных и функциональных рисков для вершин и ребер КИМ СТС приведены на рис. 2 - 5.

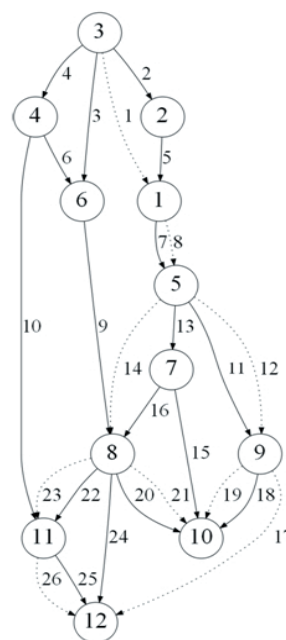


Рис. 1. Орграф исследуемой КИМ СТС

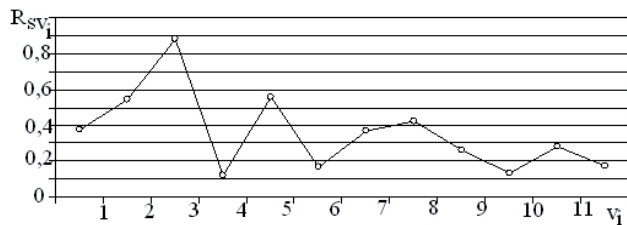


Рис. 2. Величины расчетных значений структурных рисков R_{sv_i} по элементам v_i СТС



Рис. 3. Величины расчетных значений рисков R_{sa_j} по межэлементным связям a_j СТС

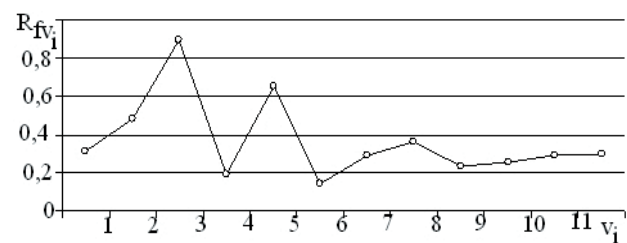


Рис. 4. Величины расчетных значений функциональных рисков R_{fv_i} по элементам v_i СТС

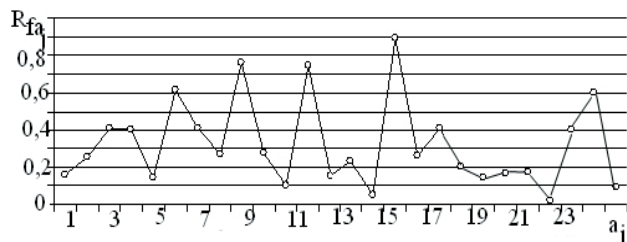


Рис. 5. Величины расчетных значений функциональных рисков R_{fa_j} по межэлементным связям a_j СТС

В ходе исследований подтверждено – если место приложения ПМИ и НВ не принадлежат СК сильной связности, то прохождение ПМИ и НВ в меньшей степени связано с риском СТС. В исследуемой СТС

компонентами сильной связности являются элементы 3, 8 и МС 2, 5, от работоспособности которых зависят риски смежных элементов и МС. При поражении МС 2 возникают риски при эксплуатации элементов 1, 5, 7-12, а при поражении элемента 3 возникают риски для всех СК СТС. Исследованиями установлено, что на риск СТС в наибольшей степени влияют элементы 2, 3, 5, 8 и МС 2, 6, 9, 12, 16. В меньшей степени - влияют риски при эксплуатации элементов 1, 7, 9, 11 и МС 4, 5, 7, 18, 24. Наиболее критические элементы 3, 5 и 8 и межэлементные связи 9 и 16.

Таким образом, разработанный метод, апробированный в результате когнитивно имитационного моделирования, позволяет определять взаимосвязанные и взаимодействующие элементы, межэлементные связи, а также степень их влияния на оценки структурных и функциональных рисков СТС, что в свою очередь позволяет автоматизировать процессы принятия решений в аварийных сценариях при эксплуатации СТС.

6. Выводы

Выявленные взаимосвязности и взаимодействия структурных компонентов в иерархии и топологии СТС позволяют установить величину поражающего влияния каждого компонента системы в аварийных сценариях на структуру СТС.

Исследование когнитивно имитационной модели СТС основано на использовании поражающих воздействий на систему поражающими моделирующими импульсами. Степень поражения от ПМИ элемента (МС) СТС определяется коэффициентом степени поражения элемента (МС).

Оценки структурных ущербов вследствие пораженных структурных компонентов определяются отношениями числа пораженных компонентов к общему числу компонентов в СТС. Количественные оценки функциональных ущербов определяются как разница номинальной работоспособности СТС и работоспособности системы при неисправном элементе (МС).

Оценки структурного и функционального рисков по элементам и межэлементным связям СТС определяются по оценкам структурного и функционального ущербов с учетом вероятностей выходов из строя пораженных элементов и межэлементных связей при эксплуатации систем в аварийных сценариях.

Данный метод может применяться для оценок рисков широкого класса СТС. Преимуществом предложенного метода является его простота и наглядность. Процедуры метода легко формализуются и трансформируются в вычислительный алгоритм и модель для оценок структурного и функционального рисков, что важно для СТС с большим количеством элементов и межэлементных связей.

Литература

1. Гуськов, А. В. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский. – Новосиб. Гос. Ун-т. – Новосибирск, 2007. – 427 с.
2. Кочкарев, А. А. Обеспечение стойкости сложных систем. Структурные аспекты [Текст] / А. А. Кочкарев, Г. Г. Малинецкий. – РАН. – Москва, 2005. – 43 с.

3. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2007. – 276 с.
4. Klein, J. H. An approach to technical risk assessment [Text] / J. H. Klein, R. B. Cork // International Journal of Project Management. – 1998. – 16 (6). – P. 345-351.
5. Rausand, M. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications, Second Edition [Text] / M. Rausand, A. Hoyland. – Wiley-Interscience, 2003. – 351 p.
6. Covelto, V. T. Risk Assessment Methods. Approaches for Assessing Health and Environmental Risks [Text] / V. T. Covelto, M. W. Merkhofer. – Plenum Press, New York and London, 1993. – 319 p.
7. O'Neill, John Technical Risk Assessment: a Practitioner's Guide [Text] / John O'Neill, Nitin Thakur, Alan Duus. – Australia, 2007. – 29 p.
8. Henley Ernest, J. Reliability engineering and risk assessment. [Text] / J. Ernest Henley, Hiromitsu Kumamoto. – New York : IEEE Press, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. - 1992. – 568 p.
9. Kertzner, P. Process Control System Security Technical Risk Assessment Methodology & Technical Implementation [Text] / P. Kertzner, J. Watters, D. Bodeau // Research Report. – 2008. – № 13. – 47 p.
10. Birnbraun, Z. W. On the importance of different components in a multicomponent system. Multivariate Analyses [Text] / Z. W. Birnbraun. – New York: Academic Press, 1969. – P. 581– 592.

В статті розглядається один із варіантів прогнозування зсувної небезпеки за значеннями коефіцієнта стійкості схилу. Продемонстровано на прикладі принцип дії створеного розрахункового модуля по оцінці стійкості схилів для геоінформаційної системи MarInfo. Даний модуль дозволяє визначати коефіцієнт стійкості зсувних схилів, що складені однорідними породами та мають круглоциліндричну форму поверхні ковзання

Ключові слова: зсувні процеси, коефіцієнт стійкості схилу, поверхня ковзання, геоінформаційні системи

В статье рассматривается один из вариантов прогнозирования оползневой опасности по значениям коэффициента устойчивости склона. Продемонстрировано на примере принцип действия созданного расчетного модуля по оценке устойчивости склонов для геоинформационной системы MarInfo. Данный модуль позволяет определять коэффициент устойчивости оползневых склонов, которые составленные однородными породами и имеют круглоцилиндрическую форму поверхности скольжения

Ключевые слова: оползневые процессы, коэффициент устойчивости склона, поверхность скольжения, геоинформационные системы

УДК 624.131.537:910:004.65

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО МОДУЛЯ ПО ОЦІНЦІ СТІЙКОСТІ ЗСУВНИХ СХИЛІВ ДЛЯ MARINFO

І. В. Крив'юк

Кандидат геологічних наук, доцент
Кафедра геотехногенної безпеки
та геоінформатики
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ,
Україна, 76019
E-mail: i_krivjyk@mail.ru

1. Вступ

Небезпека зсувних процесів проявляється як в їхніх катастрофічних наслідках, так і в широкому розповсюдженні. Зсуви зустрічаються на природних і штучних схилах, у руслах рік, на дамбах, бортах кар'єрів і водосховищ, на шляхах автомобільних і залізничних доріг, на трасах магістральних нафто- і газопроводів, і, що найнебезпечніше, на забудованих, освоєних та густо заселених людьми територіях, що

призводить не тільки до значних фінансових збитків, а і до багатьох випадків з численними людськими жертвами. Згідно з [1], в Україні станом на 2013 р. зареєстровано приблизно 30 тисяч зсувів. Тому їх дослідження з метод подальшого прогнозування є актуальною проблемою сьогодення.

На сьогоднішній день по суті єдиним кількісним показником, що визначає особливості розвитку зсувного процесу, є коефіцієнт стійкості схилу η . Даний коефіцієнт розраховується як відношення утримую-